



State of the art - Betydning af pakkegas i MAP

Optimeret detailpakning af svinekød

24. maj 2013
Proj.nr. 2001533-13
Version 2
MATN/MT

Mari Ann Tørngren

Forord

Fokus i nærværende projekt 'Optimeret detailpakning af svinekød' er at undersøge, om der findes en alternativ gassammensætning til traditionel MA-pakning med 70 - 80 % O₂ og 20 - 30 % CO₂. Målet er at kunne sænke iltkoncentrationen og derved hindre tekstur- og smagsforandringer samt premature-browning af MAP-pakket svinekød, uden at farvestabilitet og holdbarhed påvirkes.

Detailpakning

MAP

Pakning i modifieret atmosfære (MAP) har været anvendt siden 1970'erne og anvendes i stadig stigende omfang til pakning af kølede fødevarer, heriblandt fersk kød og kødprodukter. De to vigtigste faktorer for optimal MAP-kvalitet er god råvarekvalitet (sensorisk og mikrobiel) og temperaturstyring gennem hele kæden. Desuden er faktorer som pakkemateriale, pakkeudstyr og gassammensætning vigtige for succesfuld MA-pakning. Der anvendes forskellige pakkegasser afhængig af produktets egenskaber, men oxygen O₂, nitrogen N₂ og kuldioxid CO₂ er de mest anvendte til fødevarer (McMillin, 2008; Singh et al., 2011).

Vakuum

Et kendt alternativ til MA-pakning er vakuum- eller vakuumskinpakning (VSP), hvor kødet pakkes i tætsluttende emballage. Det luftfrie miljø sikrer smag, farve og mørhed bedre end i MAP med højt oxygenindhold (Lagerstedt et al., 2011b), samtidig med at lagringssvindet kan reduceres (Lund et. al, 2007). Ulempen ved iltfri pakning er dog, at pigmentet ikke bloomer, dvs. at det findes i violet deoxymyoglobinform (Baron and Andersen, 2002). Sammenlignes vakuum og vakuumskinpakning, medfører skinpakning bedre farvestabilitet (Li et al., 2012) og lavere dryptab, men også ændret form, da bøffer trykkes mere flade (Lagerstedt et al., 2011b).

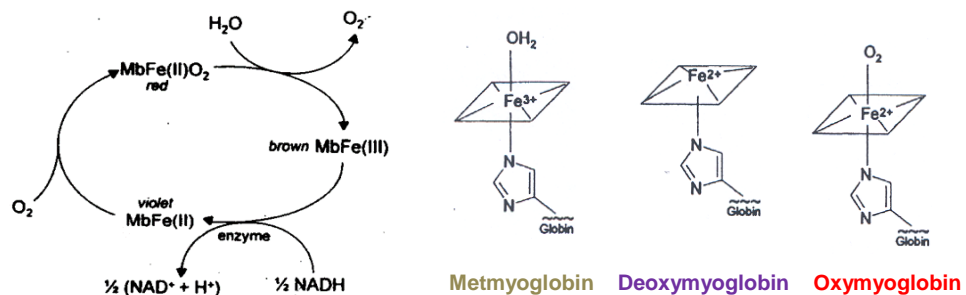
Farvestabilitet

Grundlæggende er det kødets pigment, myoglobin, der afgør fersk køds farve. Myoglobin kan antage forskellige farver, afhængig af hvilken kemisk tilstand det befinder sig i. Pigmentets tilstandsform, og dermed farvestabiliteten, kan påvirkes af en række faktorer så som pH, temperatur, mikrobiologi, oxidation, oxygen partialtryk samt muskelvariation.

Pigment

Myoglobin kan antage 3 forskellige tilstandsformer illustreret ved farvecyklisten i figur 1. Når der ikke er ilt til stede, forekommer myoglobin som det violette deoxymyoglobin (deoxyMb, MbFe(II)), der ved reaktion med ilt 'bloomer' til oxymyoglobin (oxyMb, MbFe(II)O₂) og giver kødet en attraktiv rød farve. Under oxiderende forhold kan oxyMb og deoxyMb omdannes til det grå/brune metmyoglobin (metMb, MbFe(III)), der er dominerende på overfladen af misfarvet kød (Fox, 1966).

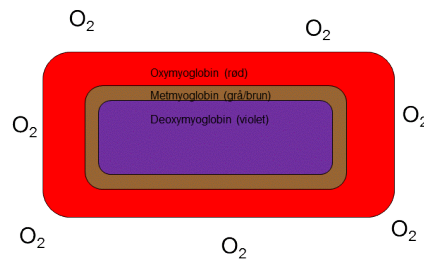
DeoxyMb er den mest ustabile tilstandsform og vil derfor hurtigt omdannes til én af de to andre tilstandsformer. Det er iltkoncentrationen omkring kødet, der afgør, hvorvidt pigmentet bloomer til oxyMb (reaktion 1) eller misfarves til metMb (reaktion 2).



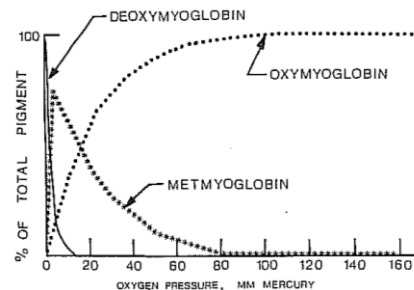
Figur 1. Farvecyklus og pigmentformer (Skibsted et al 1998)

- (1) $MbFe(II) + O_2 \leftrightarrow MbFe(II)O_2$ (blooming)
- (2) $MeFe(II)O_2 + MbFe(II) + 2H + 2H+ \rightarrow 2MbFe(III) + H_2O$ (misfarvning)

For vakuumpakket kød er pigmentets tilstandsform deoxyMb, men så snart emballagen brydes, begynder pigmentet på overfladen at reagere med luftens ilt (21 % O₂) og omdanne deoxyM til oxyMb (figur 2). Hvis der er tilstrækkeligt med ilt, vil oxyMb-laget gradvist blive tykkere, i takt med at oxygen diffunderer ind i vævet. OxyMb-lagets tykkelse vil afhænge af bloomingstid, og hvor meget oxygen der er tilrådighed for pigmentet (Hunt & Kropf, 1987).



Figur 2. Myoglobinlag ind gennem et tværsnit af et stykke friskskåret kød (efter Purslow, 2000).



Figur 3. Sammenhængen mellem oxygen partialtryk (mmHg) og andelen af deoxymyoglobin, oxymyoglobin og metmyoglobin (Kropf, 1993).

Bloomingsprocessen er en ligevægt, og derfor vil iltmolekylet konstant frigives fra og bindes til myoglobin. Derfor vil der over tid ske en langsom men konstant oxidation af det ustabile deoxyMb, hvorved kødets overflade misfarves.

Misfarvning (reaktion 2) sker hurtigst, når koncentrationen af deoxyMb og oxyMb er lige store (Ledward, 1970; Skibsted et al., 1998), og acceleres ved 4 - 6 mmHg oxygen (ca. 0,5 % - 1 %) afhængig af temperatur og kødtype (Kropf, 1993; O'Keeffe and Hood, 1982). Det er derfor ofte 'restilt' i pakningen, der er årsag til, at helt frisk kød sommetider misfarves lige efter vakuumpakning, eller at utætte vakuumpakninger misfarves over tid.

Figur 3 viser, hvordan stigende oxygenkoncentration får hastigheden for metMb-dannelse til at aftage. Allerede ved 30 mmHg oxygentryk (ca. 4 %) er andelen af metMb aftaget kraftigt, mens det kræver 80 mmHg (ca. 10 %), før metMb-dannelsen ikke længere er negativt påvirket af oxygentrykket. For at hindre eller forsinke misfarvning af kød skal oxygenindholdet derfor styres nøje og bør enten fjernes helt eller være til stede i rigelige mængder (Kropf, 1993).

Restoxygen er dermed kritisk ved iltfri pakning som fx vakuumpakning eller MAP (CO₂/N₂). Der kan være adskillige kilder til restoxygen, fx bør man være særlig opmærksom på at anvende emballage med lav iltpermeabilitet (< 10 mg/24hr/m² eller mindre) og tilstrækkeligt vakuum (Kropf, 1993) eller minimere iltning af kødets overflade inden pakning. Sidstnævnte gælder især udskæringer med stor overflade (tern, skrimler og hakket kød), samt kød der har været eksponeret overfor ilt i en længere periode inden vakuumpakning (Pierson et al., 1970).

Et højt ilttryk under bloomingsprocessen vil øge farveintensiteten af kødets overflade under blooming, men vil på sigt øge både lipidoxidation (harskning) og misfarvning (Lanari et al., 1995).

Metmyoglobinreducerende aktivitet

Som vist i figur 1, er kødet fra naturens side udstyret med et system, der kan omdanne metMb til deoxyMb ved en enzymkatalyseret reaktion, kaldet kødets 'metmyoglobinreducerende aktivitet' (MRA). Reduktion af metMb kan ske både under iltfri og iltholdige forhold (Sammel et. al., 2002), men afhænger af enzymaktiviteten af 'metmyoglobin reductase' og koncentrationen af co-enzymet 'NADH' (O'Keeffe and Hood, 1982).

NADH dannes naturligt ved nedbrydning af glukose i de levende dyr, men ophører *post mortem*. Derfor falder MRA gradvist *post mortem* og vil på et givet tidspunkt være inaktivt (Ledward, 1977), hvilket ofte forklares ved, at NADH er opbrugt. I modstrid med denne betragtning har enkelte forsøg vist, at NADH-koncentrationen kan stige *post mortem* (Li et al., 2012; Tørngren 2012.). Denne stigning sker sandsynligvis som følge af regenerering af NADH i musklen. MRA er positivt korreleret til muskler med højt pigmentindhold og højt pH (Ledward et al, 1977).

Adskillige faktorer har betydning for farvestabilitet, og MRA er sandsynligvis ikke den vigtigste faktor, da muskler med stort MRA godt kan have ringe farvestabilitet (Renerre and Labas, 1987), mens faktorer som oxidationslabilitet og musklens oxygenforbrug kan have større betydning (O'Keeffe and Hood, 1982).

Oxygenforbrug

Generelt har muskler med høj farvestabilitet et lavt oxygenforbrug, høj oxygenpenetrering, lavt pigmentindhold og lav følsomhed overfor oxidation. I modsætning hertil har muskler med lav farvestabilitet generelt høj MRA, oxygenforbrug og myoglobinindhold og derfor lille oxygenpenetrering (McKenna, 2005).

Når oxygenforbruget er højt, er der kamp om oxygenmolekylerne, og oxy-myoglobinlaget vil blive relativt tyndere. Dette betyder, at metmyoglobinlaget dannes tættere på overfladen, end hvis iltrykket var højere (figur 2), hvilket er medvirkende til, at muskler med højt oxygenforbrug misfarves hurtigere. Der er flere faktorer end myoglobin, der bidrager til oxygenforbruget. Et andet bidrag er fx fra cellernes mitochondriaer, der er de cellekomponenter, der omdanner næringsstofferne til energi (ATP) ved en såkaldt oxidativ phosphorylering. Denne proces kræver ilt og er virksom længe *post mortem* (Madhavi and Carpenter, 1993). Det tredje bidrag kommer fra aerobe mikroorganismer på kødets overflade. Bakterierne respirerer, og derved opbruges O₂ under dannelse af CO₂. Ved mikrobiel vækst øges dette bidrag. Alle tre systemer er temperaturafhængige og medfører øget oxygenforbrug ved stigende temperatur.

Oxygenforbruget påvirkes også af mekaniske påvirkninger, fx øges oxygenforbruget ved hakning af oksekød, idet kødet får en større overflade. Det samme stykke kød har derfor den bedste farvestabilitet, når det er skåret som knivskårede bøffer > savskåret bøffer > hakket kød (Madhavi and Carpenter, 1993).

pH

Køds pH-værdi ligger normalt i området 5,4 - 5,8 (Faustman and Cassens, 1990). Oxidation af myoglobin favoriseres af lavt pH, og hastigheden stiger med en faktor 10, når pH falder 1 pH-enhed (Andersen et al., 1988b), og det er vist, at oksekød med pH 5,8 var mere farvestabilt end tilsvarende kød med pH 5,6 (Ledward et al., 1986). Som kompensation for øget metmyoglobin-dannelse, ved lavt pH, øges samtidig hastigheden for metMb-reduktion, dog i mindre grad (Andersen et al., 1988a).

Temperatur

Stigende lagringstemperatur øger hastigheden for misfarvning, idet metmyoglobinlaget rykkes tættere mod overfladen, der på et givent tidspunkt bliver synligt. Det er derfor muligt at forsinke misfarvning ved at sænke temperaturen under display. Forsøg har vist, at misfarvning kan være 2 - 5 gange større efter 4 dage ved 10 °C sammenlignet med 0 °C afhængig af muskeltype (Hood, 1980).

Displaylys

Lyspåvirkning under lagring kan medvirke til øget pigmentoxidation sammenlignet med kød, der opbevares i mørke (Kropf, 1980). Der er dog ikke enighed om, hvorvidt misfarvningen skyldes en direkte påvirkning eller en indirekte effekt af højere temperatur (Greer and Jeremiah, 1980), der fx kan øge vækst af mikroorganismer (Marriott et al., 1967).

Der er således ikke kun én årsag til misfarvning, da den påvirkes af både indre og ydre faktorer. Ses bort fra de ydre faktorer, vil forskellige muskler, pga. varierende oxiderende og reducerende potentiale, alligevel udvise forskellig grad af farvestabilitet (Mc Kenna et al, 2005). I tabel 1 er vist eksempler på muskler med meget lav til høj farvestabilitet.

Tabel 1. Farvestabilitet af forskellige muskler.

Farvestabilitet	Muskel	Udskæring
Høj	M. longissimus lumborum	Filet
	M. longissimus thoracis	Filet
	M. semitendinosus	Lårtunge
Moderat	M. semimembranosus	Inderlår
Lav	M. gluteus medius	Tyndsteg
	M. biceps femoris	Yderlår
	M. adductor	Inderlår
Meget lav	M. psoas major	Mørbrad

Modificeret atmosfærepakning (MAP)*Headspace*

Headspace:produkt forholdet er et udtryk for fyldningsgraden af en bakke. Ved et lille headspace vil gassammensætningen hurtigere kunne påvirkes under lagring end ved et stort headspace, da gassernes funktionalitet afgøres af mængden af molekyler. Forsøg har vist at pakkes oksebøffer med headspace:produkt forhold på 2:1, 1:1 og ½:1, var der ingen påvirkning af pH, farve, tekstur og mikrobiologi under lagring, mens sensorisk kvalitet var uacceptabel ved meget lille headspace ½:1. Pakkestørrelsen kan derfor reduceres til en vis grad, uden negativ betydning for kvalitet og holdbarhed (Murphy et al 2013). For at kunne modstå trykforandring under lagring er det alligevel hensigtsmæssigt at anvende et relativt stort headspace, hvis man ønsker at anvende over 30 % CO₂ i pakkegassen. Alternativt kan kødet mættes med CO₂ inden pakning, men dette kan medføre andre kvalitetsforringelser. Minimale trykforandringer opnås ved en CO₂-koncentration på ca. 23 %, da optag og udledning fra respiration er i balance (Clausen, 2007).

Gassammensætning

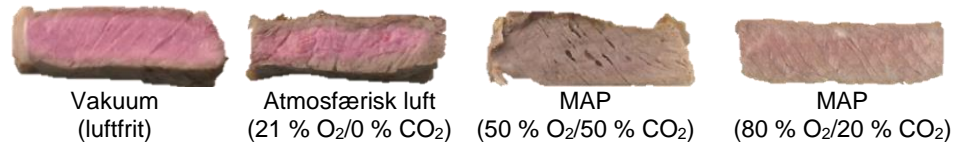
Til MA-pakning kan anvendes forskellige pakkegasser, men oxygen O₂, nitrogen N₂ og kuldioxid CO₂ er de mest anvendte til fødevarer (McMillin, 2008; Singh et al., 2011). Pakkegasserne anvendes enten rene eller blandet i forskellige forhold, men til MA-pakning af kød anvendes traditionelt 70 - 80 % oxygen og 20 - 30 % kuldioxid.

Oxygen

Oxygen anvendes for at sikre en attraktiv rød og bloomet farve af kødet under lagring (Pearson and Young, 1989), men vil også oxidere umættede fedtsyrer, strukturproteiner (Estévez, 2011) og pigment i kødet samt medføre harskning, sejhed og gennemstegt udseende i både svinekød (Lund et al., 2007), oksekød (Clausen and Baltzer, 2004; Tørngren, 2003; Clausen et al., 2009; Clausen, 2003; Lagerstedt et al., 2011a) og fjerkræ (Tørngren & Gunvig, 2011; Jongberg et al. 2013).

Gennemstegt udseende, eller premature browning (PMB), er betegnelsen på et fænomen, der forekommer ved avendelse af pakkegasser med høj indhold af O₂, idet PMB er relateret til pigmentets tilstandsform (Warren et al., 1996). Jo tykkere oxymyoglobinlaget er, jo mere gennemstegt vil kødet se ud, selvom om kødet er tilberedt til kun 55 °C (Hunt et al., 1999). Årsagen er, at deoxyMb kan bloome efter tilberedning, mens oxyMb og metMb ikke kan, hvilket skyldes en højere denatureringstemperatur for deoxyMb (Machlik, 1965).

Følgende oksebøffer viser, hvordan PMB påvirkes af forskellige pakkegasser. Det er tydeligt, at oxygenlaget spiller en vigtig rolle, men kuldioxid har også en betydning i for huldannelse og PMB.



Kuldioxid

Kuldioxid anvendes ved MA-pakning til hæmning af mikrobiel vækst. Den antimikrobielle effekt stiger ved stigende CO₂-koncentration fra 20 - 100 % i både svinekød og oksekød (Sørheim et al., 1996; Nissen et al., 1996), dog med minimal effektøgning i området 20 - 50 % CO₂ (Jakobsen and Bertelsen, 2002). Ved 5 °C opnås relativt til atmosfærisk luft + 8 dage ved pakning i 40 % CO₂ + 16 dage i 80 % CO₂ og + 20 dage i 100 % CO₂ (Skandamis and Nychas, 2002). Det er alligevel ikke hensigtsmæssigt at pakke kød med for høj CO₂ i headspace, da det er vist for svinekød, at 60 - 100 % CO₂ gør kødet mere sejt, tørt og hullet (Hviid & Bejerholm, 2001). Kuldioxid absorberes hurtigt i kødet og vil derfor kunne forårsage 'snug-down' eller undertryk i pakken. Snug-down ses især ved MA-pakket kød med højt CO₂-indhold.

Kuldioxid påvirker ikke kødfarven direkte (Gill, 1996), men ved iltfri pakning vil små mængder restoxygen kunne forårsage øjeblikkelig misfarvning af overfladen (Ledward, 1970). Derudover kan iltfri pakning medføre risiko for putrid lugt ved åbning og samtidig resultere i ikke-bloomet kødfarve (Tørngren, 2013).

Nitrogen

Nitrogen (N₂) er både inert og smagsløst og anvendes primært som fyldgas eller til fjernelse af andre gasarter. Fx kan N₂ anvendes som erstatning for ilt (O₂) og dermed mindske oxidation og harskning og samtidig indirekte hæmme aerobe mikroorganismer. Nitrogen anvendes ofte som en stødpudegas, som et alternativ til vakuumpakning af skrøbelige produkter eller for at modvirke kollaps/snug down som følge af opløseligheden af CO₂ (Sing et al, 2011).

Gassammensætningen i head-space er ikke stabil under lagring, men påvirkes af gasabsorption i kød og fedt, diffusion over emballagen, kødets respiration og mikrobiel vækst. Kødets iltforbrug er størst de første dage efter slagtning, mens mikrobiel respiration tiltager ved vækst af aerobe bakterier. Bakterier forbruger O₂ under dannelse af CO₂, derfor vil en lille mængde O₂ medføre en lille CO₂-produktion (Jakobsen & Bertelsen, 2002).

I amerikanske undersøgelser tilsættes ofte CO i små mængder ved iltfri MA-pakning, da CO's binding til myoglobin er irreversibel, og farvestabiliteten derfor er optimeret. CO er imidlertid ikke tilladt at anvende i EU og behandles derfor ikke videre i denne sammenhæng.

Der er således fordele og ulemper ved at ændre koncentrationen af oxygen og kuldioxid. Som alternativ til traditionel 2-gas MAP (O₂, CO₂) kan også anvendes 3-gas MAP (O₂, CO₂, N₂), hvor nitrogen anvendes som inert fyldgas. Der er meget lidt viden om de sensoriske konsekvenser ved 3-gas MAP. Enkelte undersøgelser konkluderer imidlertid, at det er muligt at opnå en acceptabel holdbarhed ved MA-pakning af svinekam i 40 % O₂, 30 % CO₂ og 30 % N₂ (Hviid et al., 2007) og ved MA-pakning af hakket oksekød i 50 % O₂, 30 % CO₂ og 20 % N₂ (Esmer et al., 2011). Desuden kan spisekvaliteten optimeres for kamkoteletter og schnitzler ved at MA-pakke kødet i 40 % O₂, 20 % CO₂ og 40 % N₂. Dermed reduceres PMB samt harsk og genopvarmet smag, samtidig med at mørhed optimeres (Tørngren, 2013).

Tabel 2 viser betydningen af pakkegas for kødkvalitet afhængig af koncentration og gastype. Langt de fleste undersøgelser sammenligner MA-pakning med 70 - 80 % oxygen med vakuumpakning, mens der er relativt begrænset viden omkring de kvalitetsmæssige udfordringer ved at sænke oxygenkoncentrationen i head-space.

Tabel 2. Betydning af pakkegas og koncentration for kvalitet af kød

Gas	Betydning for kødkvalitet	Reference
0 - 10 % O ₂	Ved 0 % O ₂ er overfladen ikke-bloomet, men har maksimal farvestabilitet og vil bloome, så snart pakken åbnes. Ulempen ved iltfri pakning er risiko for restilt, der ved koncentrationer på 0,5 - 1 % O ₂ hurtigt misfarver overfladen. Øges iltkoncentrationen, vil kødet derimod bloome, men det kræver ca. 5 % O ₂ for at reducere misfarvningshastigheden betydeligt og ca. 10 % O ₂ , før misfarvningen ikke længere er påvirket af oxygentrykket.	Ledward, 1970 Kropf, 1993
	MA-pakning af svinekød i iltfri atmosfære (N ₂ /CO ₂) giver en stabil (ikke bloomet) farve i mere end 13 dage for hakket bov og koteletter, mens holdbarhed (rå lugt) er 7 - 8 dage for hakket bov og 10 - 12 dage for koteletter ved 5 °C. Risiko for harskning og PMB er minimeret og mørhed optimeret. Ved iltfri pakning kan forekomme putrid lugt ved åbning af pakken.	Tørngren, 2012 Tørngren, 2013
	Ved vakuumskinpakning (VSP) optimeres både dryptab, mørhed, saftighed og smag, da hverken CO ₂ eller O ₂ er til stede. VSP af bøffer kan resultere i tyndere skiver efter pakning sammenlignet med vakuum og MAP.	Lund et al. 2007 Tørngren, 2003 Clausen, 2007 Lagerstedt et al., 2011b
	Forskel i spisekvalitet mellem vakuumpakket kød og MAP med højt oxygenindhold er stor nok til, at forbrugere i både Danmark, Norge og Sverige overvejende vil foretrække iltfri pakke-oksebøffer frem for MA-pakkede bøffer med 70 % O ₂ .	Aaslyng et al, 2010

20 - 50 % O ₂	<p>For MA-pakket bøffer af oksefilet er kødfarven stabil i området 40 - 80 % O₂. Generelt set vil stabiliteten dog afhænge af kødets oxygenforbrug.</p> <p>Koteletter forbliver bloomedede i mere end 9 dage ved både 20 % O₂ og 50 % O₂, mens hakket bov, pakket med både 20 og 50 % O₂, vil forbruge ilten i headspace og misfarves, når det kritiske område på 0,5 - 1 % passerer.</p> <p>Ved MA-pakning med 40 - 50 % O₂ er kødfarven stabil i > 13 dage for koteletter og 7 - 8 dage for hakket svinebov, mens der kan forekomme begyndende PMB fra 40 % O₂ for både krebinetter og koteletter.</p> <p>Pakkes koteletter eller schnitzler i 0 - 50 % O₂, er smagen mindre harsk og genopvarmet, mens oxygen skal reduceres til 0 - 40 % for at opnå bedre mørhed sammenlignet med 80 % O₂.</p>	<p>Bro & Jakobsen, 2002</p> <p>Tørngren, 2012</p> <p>Hviid, 2007 Tørngren, 2013</p>
50 - 80 % O ₂	<p>Farvestabiliteten er ca. 9 dage for både svinekød og oksekød, men det høje oxygenindhold vil forårsage lipidoxidation under lagring, dog til et lavere niveau ved pakning i 50 % O₂ sammenlignet med 80 % O₂.</p> <p>Omkring 50 % O₂ begynder der at ske ændringer i spisekvaliteten. Pakkes svinekød i 50 % O₂, vil det opleves som mindre mørt sammenlignet med iltfri pakning, mens harsk eller genopvarmet smag endnu ikke er dominerende. Både koteletter og krebinetter vil udvise premature browning ved pakning i 50 - 80 % O₂.</p> <p>Pakkes hakket oksekød i 50 % O₂ + 30 % CO₂ + 20 % N₂ opnås acceptabel farve og holdbarhed i op til 14 dage ved 4 °C. Øges CO₂ til 50 - 70 %, eller sænkes O₂ til 30 %, vil farve påvirkes negativt.</p> <p>Pakkes kød i 70 - 80 % O₂, vil både svinekød og oksekød blive mindre mørt og saftigt, med en mere harsk og genopvarmet smag sammenlignet med iltfri pakning. Samtidig vil kødet blive PMB, dvs. få en grå og gennemstegt farve ved tilberedning til kun 55 °C.</p>	<p>Tørngren, 2012 Zakrys-Waliwander et al (2011)</p> <p>Tørngren, 2013</p> <p>Esmer et al., 2011</p> <p>Tørngren, 2003 Lund et al. 2007 Clausen, 2007 Lagerstedt et al., 2011a</p>

<p>20 - 40 % CO₂</p>	<p>Antimikrobiel effekt øges fra 20 - 100 % CO₂ i både svinekød og oksekød, dog med minimal effektøgning i området 20 - 50 % CO₂.</p> <p>Fra 40 % CO₂ ses en negativ effekt på stegesvind og saftighed af koteletter og schnitzler, mens dryptabet/lagringssvindet påvirkes, når CO₂ øges fra 20 % til 40 % for koteletter, schnitzler og hakket bov.</p> <p>Der er risiko for begyndende huldannelse og øget PMB fra omkring 40 % CO₂, også selvom oxygenindholdet holdes konstant (50 %).</p> <p>Ønskes et lavere dryptab kan man vælge at vakuumpakke kødet, fx er det vist, at vakuumpakning af koteletter kan reducere dryptabet fra 6 % i MAP til kun 1 %.</p>	<p>Sørheim et al., 1996 Nissen et al., 1996 Jakobsen and Bertelsen, 2002</p> <p>Hviid, 2007 Tørngren 2013</p> <p>Lund et al., 2007</p>
<p>50 - 80 % CO₂</p>	<p>Antimikrobiel effekt øges ved stigende CO₂ i området 20 - 100 %. Ved 5 °C opnås relativt til atmosfærisk luft + 8 dage for 40 % CO₂ + 16 dage for 80 % CO₂ og + 20 dage for 100 % CO₂. Ved moderate koncentrationer har CO₂ ingen betydning for kødets rå farve, men ved 50 - 70 % CO₂ tyder enkelte undersøgelser på, at farven, i nogen grad, påvirkes negativt.</p> <p>Pakkes koteletter i 60 -100 % CO₂, ændres teksturen, og koteletterne bliver mere hårde, trevlede, seje og hullede, og saftigheden reduceres i forhold til pakning i 20 % CO₂.</p>	<p>Sørheim et al., 1996 Nissen et al, 1996 Skandamis and Nychas, 2002</p> <p>Esmer el al 2011</p> <p>Hviid & Bejerholm, 2001</p>

Referencer

Andersen, H.J., Bertelsen, G., Boeg-Soerensen, L., Shek, C.K., and Skibsted, L.H. 1988a. Effect of light and packaging conditions on the colour stability of sliced ham. Great Britain: Elsevier Science Ltd., 283-292.

Andersen, H.J., Bertelsen, G., and Skibsted, L.H. 1988b. Salt effect on acid-catalyzed autoxidation of oxymyoglobin. 226-236.

Aaslyng, M.D., Tørngren, M.A., and Madsen, N.T. 2010. Scandinavian consumer preference for beef steaks packed with or without oxygen. Meat Science 85:519-524.

Baron, C. P., & Andersen, H. J. (2002). Myoglobin-induced lipid oxidation. A review. 3887-3897.

Bro, R. & Jakobsen, M. (2002). Exploring complex interactions in designed data using GEMANOVA. Color changes in fresh beef during storage. Journal of Chemometrics, 16, 294-304.

- Clausen, I. (2003). Forbrugerpakning af oksekød - modningstid og pakkemetode - effekt på sensorisk og mikrobiologisk kvalitet. DMRI rapport af 20. maj 2003. Projekt 01794, dokument 11633.1.
- Clausen, I. (2007). Oksekød - forbrugerpakning og marinerings. DMRI Slutrapport af 9. februar 2007. Projekt. 01837, dokument 36725.1.
- Clausen, I., & Baltzer, M. (2004). Forbrugerpakning af oksekød - Pakkesystem 2 (modning og detail) effekt på sensorisk kvalitet og farve. DMRI rapport af 9. september 2004. Projekt 01794, dokument 20620.1.
- Clausen, I., Jakobsen, M., Ertbjerg, P., and Madsen, N. T. (2009). Modified atmosphere packaging affects lipid oxidation, myofibrillar fragmentation index and eating quality of beef. *Packaging Technology and Science* 22:85-96.
- Esmer, O., Irkin, R., Degirmencioglu, N., and Degirmencioglu, A. 2011. The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, color and oxidation values of minced beef meat. *Meat Science* 88:221-226.
- Estévez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat Science* 89:259-279.
- Faustman, C., and Cassens, R.G. 1990. The biochemical basis for discoloration in fresh meat: The Review. Food & Nutrition Press: 217-243.
- Fox, J.B. 1966. The chemistry of meat pigments. *Food Processing*. 207-210.
- Gill, C. O. (1996). Extending the storage life of raw chilled meat. *Meat Science* 43:S99-S109.
- Greer, G.G., and Jeremiah, L.E. 1980. Influence of retail display temperature on psychrotrophic bacterial growth and beef case-life. 542-546.
- Hood, D.E. 1980. Factors affecting rate of myoglobin accumulation in pre-packaged beef. 247-265.
- Hunt, M.C., and Kropf, D.H. 1987. Color and appearance. In *Advances in Meat Research*. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York. 125-159.
- Hunt, M.C., Sørheim, O., and Slinde, E. 1999. Colour and heat denaturation of myoglobin forms in ground beef. *Journal of Food Science* 64:847-851.
- Hviid, M. og Bejerholm, C. (2001). CO₂ emballering af detailpakket svinekød - sensorisk analyse. DMRI rapport af 28. september 2001. Projekt 18.404.

Hviid, M, Bejerholm, C. & Christensen, H. (2007). Case Ready svinekød. Sammenligning af 9 forskellige gasblandinger. DMRI rapport af 25. oktober 2007. Projekt 03774, dokument 43833.1.

Jakobsen, M., & Bertelsen, G. (2002). The use of CO₂ in packaging of fresh meats and its effect on chemical quality changes in the meat: A review. 143-168.

Jongberg, S., Wen, J., Tørngren, M. A., Lund, M. N. (2013). High-oxygen atmosphere packaging induces thiol oxidation and protein disulfide cross-link formation in chicken breast (m. pectoralis) and thigh (m. peroneus longus) during chill storage (Submitted to Meat Science).

Kropf, D.H. 1980. Effects of retail display conditions on meat color. 15 - 32.

Kropf, D.H. 1993. Colour stability – factors affecting the colour of fresh meat. Meat Focus international, Overviews, june 1993, 269-275.

Lagerstedt, Å., Lundstrøm, K., & Lindahl, G. (2011a). Influence of vacuum or high-oxygen modified atmosphere packaging on quality of beef M. longissimus dorsi steaks after different ageing times. Meat Science 87:101-106.

Lagerstedt, Å., Ahnström, M. L., and Lundström, K. (2011b). Vacuum skin pack of beef - A consumer friendly alternative. Meat Science 88:391-396.

Lanari, M.C., Schaefer, R.G., Cassens, R.G., and Scheller, K.K. 1995. Atmosphere and blooming time affect color and lipid stability of frozen beef from steers supplemented with vitamin E. Great Britain: Elsevier Science Ltd., 33-44.

Ledward, D. A. (1970). Metmyoglobin formation in beef stored in carbon dioxide enriched and oxygen depleted atmospheres. 33-37.

Ledward, D.A., Dickinson, R. F., Powell, V. H., and Shorthose, W. R. 1986. The colour and colour stability of beef longissimus dorsi and semimembranosus muscles after effective electrical stimulation. Great Britain: 245-265.

Ledward, D.A., Smith, C.G., Clarke, H.M., and Nicholson, M. 1977. Relative role of catalysts and reductants in the formation of metmyoglobin in aerobically stored beef. Great Britain: 149-156.

Li, X., Lindahl, G., Zamaratskaia, G., and Lundstrøm, K. (2012). Influence of vacuum skin packaging on color stability of beef longissimus lumborum compared with vacuum and high-oxygen modified atmosphere packaging. Meat Science 92:604-609.

- Lund, M. N., Lametsch, R., Hviid, M. S., Jensen, O. N., and Skibsted, L. H. (2007). High-oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine longissimus dorsi during chill storage. *Meat Science* 77:295-303.
- Machlik, S.M. 1965. The effect of heat on bovine myoglobin derivatives in model systems and in beef semitendinosus muscle
- Madhavi, D. L., and Carpenter, C. E. 1993. Ageing and processing affect color, metmyoglobin reductase and oxygen consumption of beef muscles. 939-947.
- Marriott, N. G., Naumann, H. D., Stringer, W. C., and Hedrick, H. B. 1967. Color stability of prepackaged fresh beef as influenced by pre-display environments. 104-106.
- McKenna, D.R., Mies, P. D., Baird, B. E., Pfeiffer, K. D., Ellebracht, J. W., and Savell, J. W. 2005. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. *Meat Science* 70:665-682.
- McMillin, K. W. 2008. Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. 43-65.
- Murphy, K. M., O'Grady, M. N., and Kerry, J. P. 2013. Effect of Varying the Gas Headspace to Meat Ratio on the Quality and Shelf-life of Beef Steaks Packaged in High Oxygen Modified Atmosphere Packs. *Meat Science*. Vol. 94, issue 4, 477-454.
- Nissen, H., Sørheim, O., and Dainty, R. (1996). Effects of vacuum, modified atmospheres and storage temperature on the microbial flora of packaged beef. 183-191.
- O'Keeffe, M., and Hood, D. E. 1982. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation on beef from muscles of different colour stability. *Great Britain*: 209-228.
- Pearson, A. M., and Young, R. B. (1989). Sarcoplasmic Proteins. In *Muscle and meat biochemistry*. A. M. Pearson, and R. B. Young, editors. 296-334.
- Pierson, M. D., Collins-Thompson, D.L., and Ordal, J. Z. 1970. Microbiological, sensory and pigment changes of aerobically and anaerobically packaged beef. 129-133.
- Purslow, P.P. 2000. Meat colour - definitions and measurement. In *Meat as a raw material*. Compendium. P.P. Purslow, editor. Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, København, Frederiksberg.

Renerre, M., and Labas, R. 1987. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation in beef muscles. Great Britain: 151-165.

Sammel, L.M., Hunt, M.C., Kroph, D.H., Hachmeister, K.A., and Johnson, D.E. 2002. Influence of chemical characteristics of beef inside and outside semimembranosus. 1323-1330.

Singh, P., Wani, A., and Saengerlaub S. (2011). Understanding critical factors for the quality and shelf-life of MAP fresh meat. A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51:146-177.

Skandamis, P., and Nychas, G. 2002. Preservation of fresh meat with active and modified atmosphere packaging conditions. *International Journal of Food Microbiology* 79:35-45.

Skibsted, L.H., Mikkelsen, A., and Bertelsen, G. 1998. Lipid-derived off-flavours in meat. In *Flavor of meat, meat products and seafood*. F. Shahidi, editor. Blackie academic & Professional, St. John's. 219-256.

Sørheim, O., Kropf, D. H., Hunt, M. C., Karwoski, M. T. & Warren, K. E. (1996). Effects of modified gas atmosphere packaging on pork loin colour, display life and drip loss. *Meat Science* 43:203-212.

Tørngren, M. A. (2003). Effect of packing method on colour and eating quality of beef loin steaks. 49th International Congress of Meat Science and Technology. Brazil, September. 495-496.

Tørngren, M. A. & Gunvig, A. M. (2011). Forbedret holdbarhed og kvalitet af detailpakket kyllingekød. DMRI rapport af 13.12.2011. Projekt 2000711.

Tørngren, M.A.(2012). Lagringsstabilitet af filet og hakket svinekød pakket i forskellige MAP gassammensætninger. DMRI Rapport af 11. september 2012. Projekt 2001533.

Tørngren, M. A. & Darré, M. T. (2013). Guidelines for detailpakning af fersk svinekød (2013). DMRI rapport af 14. marts 2013. Projekt 2001533-13.

Warren, K.E., Hunt, M.C., and Kropf, D.H. 1996. Myoglobin oxidative state affects internal cooked color development in ground beef patties. *Journal of Food Science* 61:513-515.

Zakrys-Waliwander, P. I., O'Sullivan, M.G., Walsh, H., Allen, P., and Kerry, J. P. 2011. Sensory comparison of commercial low and high oxygen modified atmosphere packed sirloin beef steaks. *Meat Science* 88:198-202.