

Rapport

3. juli 2012
Proj.nr. 2001519
Version 1
MDAG/MT

Kvalitet og udbytte af kyllingekød - faktorer af betydning

Overblik over muligheder for at øge kvaliteten af kyllingekød gennem optimerede processer før og efter slagtning

Sammendrag

En forudsætning for at kunne optimere kvalitet og udbytter ved slagtning og forarbejdning af fjerkræ er et indgående kendskab til sammenhængen mellem processerne før slagtning, selve slagteprocessen, køling og den endelige produktkvalitet.

Indfangning, transport og opstaldning er tre processer, der alle har betydning for kødkvalitet (pH, dryptab og farve), skader, blødninger og dødelighed, og som indbyrdes vekselvirker med hinanden. Meget af den til gengængelige litteratur fokuserer kun på et enkelt led af kæden og er gennemført under ekstreme forhold f.eks. subtropiske eller meget kolde temperaturer.

Bedøvelse er velundersøgt. Ikke optimal el-bedøvelse medfører øget forekomst af blødninger samt hurtigere pH-fald med deraf følgende dårligere kødkvalitet. Effekten på kødkvalitet kan vekselvirke med kyllingens energistatus og dermed behandling fra foderet tilbageholdes indtil bedøvelse. CO₂-bedøvelse medfører færre skader, hvis anlægget er indstillet korrekt, men hvis alle kyllinger skal være korrekt bedøvet, vil nogle være irreversibel bedøvet.

Udbenes kødet på slagtedagen, kan elektrisk stimulering være en måde at fremskynde rigor mortis og dermed reducere forekomsten af sejt kød pga. pre-rigor udbening. Der er forskellige procesparametre, der kan justeres både i styrke, tid og placering på slagtelinjen. I de publicerede undersøgelser er der ikke ekstra effekt af at stimulere to gange på slagtelinjen, men det er kun en enkelt undersøgelse, der dokumenterer dette. Effekten af elektrisk stimulering forventes at vekselvirke med kyllingernes energistatus og dermed behandling fra foderet tilbageholdes indtil slagtning.

Der er tre typer køling - luftkøling, spraykøling og vandkøling. De to første anvendes i Danmark. De undersøgelser, der er foretaget om køling, viser en lille effekt på såvel kødkvalitet (pH, dryptab og farve) som mørhed.

Pakning i modificeret atmosfære med høj ilt medfører reduceret mørhed. Dette er undersøgt i et andet projekt hos DMRI.

En stor del af kyllingekødet tilsættes i dag saltlage for at øge spisekvaliteten. Evnen til at optage og holde på saltlagen afhænger af råvarekvaliteten bl.a. om kødet er elektrisk stimuleret og udbeningstidspunkt. Tilsvarende har råvarekvaliteten betydning for evnen til at danne gel ved videre forarbejdning til pølser.

Amerikanske forbrugerundersøgelser viser, at ved 1 % saltindhold eller højere syntes forbrugerne, at marinerede fileter var for salte.

Indhold

Sammendrag	1
Baggrund	4
Råvarekvalitet	4
<i>PSE/DFD/Normal - farve</i>	4
<i>Blå misfarvning af skindet</i>	7
<i>Green muscle disease</i>	7
<i>Hvide striber i brystmuskulaturen</i>	8
<i>Træbryst</i>	8
<i>Blødninger og skader</i>	8
Primærproduktion	8
<i>Genetik</i>	8
<i>Fodring</i>	9
<i>Slagtevægt/alder/ væksthastighed</i>	9
<i>Varmestress under opvækst</i>	10
Indfangning, transport og opstaldning	10
<i>Faste</i>	10
<i>Indfangning</i>	10
<i>Transport</i>	11
<i>Opstaldning</i>	12
Opkædning og bedøvelse.....	13
<i>Opkædning</i>	13
<i>Bedøvelse</i>	13
Elektrisk stimulering.....	15
Køling.....	17
Udskæring og pakning.....	19
Forarbejdning.....	19
<i>Marinering</i>	19
<i>Geldannelse</i>	20
<i>Andre typer forarbejdning</i>	21
Diskussion	21
<i>Deltagere</i>	23
<i>Bilag 1</i>	24
Målemetoder	24

<i>Kødets evne til at holde på vand</i>	24
<i>Farve</i>	25
<i>pH</i>	25
<i>Shear force</i>	25
<i>Vision</i>	25
<i>Bilag 2</i>	26
Forskergrupper	26
<i>S. Dadgar</i>	26
<i>M. Patracci</i>	26
<i>S. Barbut</i>	26
<i>H. Zhuang</i>	26

Baggrund

En forudsætning for at kunne optimere kvalitet og udbytter ved slagtning og forarbejdning af fjerkræ er et indgående kendskab til sammenhængen mellem processerne før slagtning, selve slagteprocessen, køling og den endelige produktkvalitet. Der er derfor igangsat et projekt, der på baggrund af en vidensopsamling skal påpege, hvor i produktionen optimeringsarbejdet vil være mest effektivt.

Inden for svinekød er der en lang tradition for at udnytte forskning og udvikling til at optimere kødkvalitet både af de ferske udskæringer og af råvarer til videre forarbejdning. Dette er medvirkende til, at dansk svinekød i dag internationalt opfattes som værende af god og ensartet kvalitet, og en væsentlig del af produktionen kan derfor eksporteres. På fjerkrækød har der såvel nationalt som internationalt i højere grad været tradition for at prioritere forskning og udvikling i undersøgelser målrettet primærproduktionen eller fødevarer sikkerhed. Ved at prioritere midler til forskning og udvikling af kvaliteten, kan det sikres, at dansk fjerkræ fremover fastholder og øger det nuværende kvalitetsniveau herunder støtter muligheden for at udvikle nye produkter med øget afsætning til følge.

Målet med denne rapport er en vidensopsamling om råvarekvalitetssegenskaber i kyllingekød og betydning af pre og post mortem behandling på kvalitet samt at diskutere muligheder for fremtidige udviklingsprojekter.

Råvarekvalitet

PSE/DFD/Normal - farve

I svinekød er det almindeligt at inddele kød i tre råvarekvalitetsgrupper:

- PSE, der er lyst og har et højt dryptab
- DFD, der er mørkt og har et lavt dryptab kombineret med høj pH
- normalt kød, der ligger mellem de to andre grupper

Hvorvidt kødet bliver PSE, DFD eller normalt hænger sammen med energiomsætningen i musklen på slagtedagen både pre og post mortem.

Kyllingekød bliver på samme måde inddelt i de tre kødkvalitetsklasser i litteraturen, men der er uenighed om, hvor udbredt problemet med PSE og DFD er. I et litteraturreview beskrives det blot, at problemet eksisterer (Webb and Casey, 2010), mens nogle mener, PSE er et stort overset problem (Barbut, 2009). En screening af 3.554 brystfileter på amerikanske slagterier viste, at 47 % af fileterne potentielt kunne være PSE-bedømt ud fra farven (Woelfel et al., 2002). Ifølge Henckel (Aarhus Universitet, Pers. Medd., 2012) er PSE ikke udbredt i dansk kyllingeproduktion.

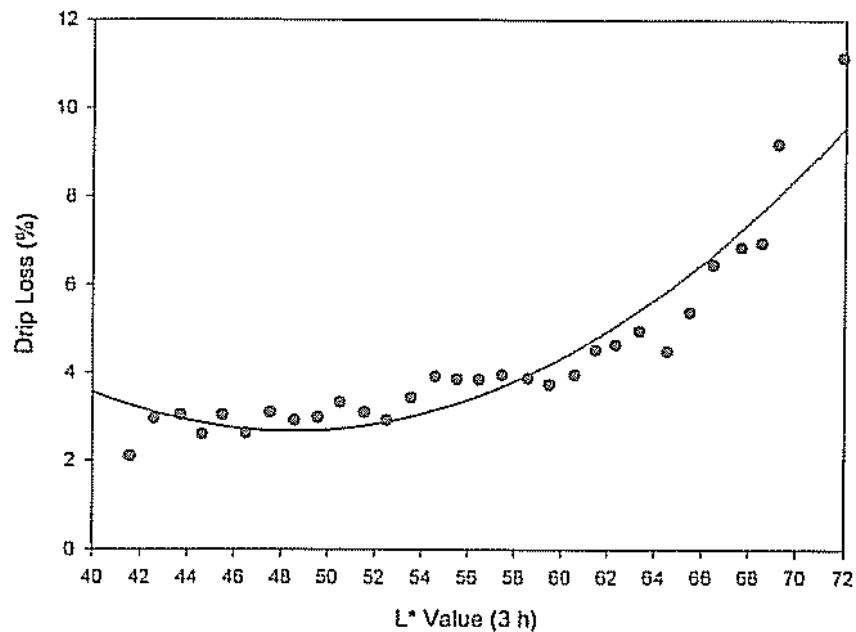
Kyllingekød, der er PSE, har et højt dryptab og er lyst. PSE-kød har dårligere evne til at optage vand under forarbejdning, ligesom proteinerne har en dårligere funktionalitet ved videre forarbejdning til f.eks. pølser. Yderligere er kødet mere sejt (Barbut et al., 2005). Der er dog varierende resultater for, hvor meget PSE påvirker vandoptag under marinerings (Barbut et al., 2005).

Der er forskellige definitioner af PSE og DFD i kyllingekød (se tabel 1). Disse tager udgangspunkt i instrumentel måling af farve, hvor L^* angiver, hvor lyst kødet er (jo højere værdi desto lysere kød). Slut-pH (pH_u) er målt, når pH-faldet er færdigt, dvs. der ikke foregår yderligere dannelse af mælkesyre.

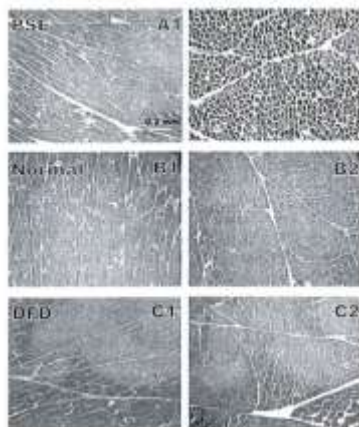
Tabel 1. Definitioner af kødkvalitetsklasser i kyllingekød

Reference	PSE	Normalt	DFD
Barbut et al 2005	$L^* > 53$ $pH_u < 5,7$	$46 \leq L^* \leq 53$ $5,7 \leq pH_u \leq 6,1$	$L^* < 46$ $pH_u > 6,1$
Woelfel et al 2002	$L^* > 54$		
Van Laack et al, 2000	L^* gennemsnitlig 60 pH_u gennemsnitlig 5,70	L^* gennemsnitlig 55 pH_u gennemsnitlig 5,96	

Woelfel et al. (2002) viser på et stort materiale af kyllingefileter ($n=3554$), at der er en sammenhæng mellem kødets lyshed (L^*) og dryptab (se figur 1). På denne baggrund definerer de PSE som kød med en L^* -værdi på mere end 54. Det kan dog diskuteres, om man ikke på baggrund af denne figur lige så godt kunne have valgt f.eks. 60 eller 62 som "cut off" værdi for, hvornår dryptabet var så højt, at kødet kunne beskrives som PSE. Dette ville også svare til de værdier Van Laack rapporterer (Laack et al., 2000)



Figur 1. Sammenhæng mellem L^* og dryptab i kyllingekød (Woelfel et al., 2002). Baggrunden for udvikling af PSE er ikke klarlagt hos kyllinger og kan skyldes andre faktorer hos kyllinger end hos svin (Henckel, pers medd 2012, Laack et al., 2000). Ved at sammenligne 20 normale brystfilet med 20 fileter, der blev klassificeret som PSE ud fra farven ($L^* = 60$ hos PSE i forhold til $L^* = 55$ hos normale), var dryptabet som forventet højest og pH lavest i PSE-fileterne (Laack et al., 2000). Der var dog ingen forskel i glycolytisk potentiale (udtrykker, hvor meget glycogen der har været i kødet på slagtetidspunktet) eller saltopløseligt protein (udtrykker graden af denaturering), og de konkluderer derfor, at det lyse kød ikke skyldes en proteindenaturering som i svinekød - og dermed afhænger af pH-faldets hastighed - men nærmere en effekt af lavt pH i sig selv. I modsætning hertil finder Barbut et al (2005), at mængden af saltopløseligt protein er højere i PSE-kød, og samtidig viser lysmikroskopibilleder, at der er større intracellulære åbninger i kødet (se figur 2).



Figur 2. Lysmikroskopibilleder af kyllingekød med PSE (øverst), normalt (midten) og DFD (nederst) (Barbut et al., 2005).

DFD svinekød er kendetegnet ved at være meget mørt, men pga. det høje pH er holdbarheden dårligere. DFD forekommer, hvis dyrene har været udmattede og derfor har brugt deres glycogenreserver før slagtning. Efter slagtning kan der derfor ikke indtræffe et typisk pH-fald, da det forekommer ved nedbrydning af glycogen til mælkesyre.

Ifølge Henckel (Aarhus Universitet, Pers. Medd, 2012) mangler kyllinger et glukose-transportprotein (gluc-4) i cellemembranerne, hvilket medfører, at kyllinger ikke kan optage glukose på samme måde som andre dyr. I praksis vil det sige, at de er funktionelle type II diabetikere. Det betyder, at de ikke som f.eks. svin kan restituere ved at hvile i stalden og øge deres glukoseindhold i muskelcellerne efter transport. Dette ville teoretisk give øget forekomst af DFD-kød og højt pH i kyllinger.

Webb and Casey (2012) beskriver i et review, at øget brystvægt har medført øget fiberstørrelse, men samtidig lavere glycolytisk potentiale, dvs. lavere indhold af glycogen og nedbrydningsprodukter heraf f.eks. laktat i brystmuskulaturen og dermed et højere pH efter slagtning.

På denne baggrund kan DFD forventes at være mere udbredt i kyllingekød end PSE, men der er alligevel kun få artikler, der beskriver det. Det kan skyldes, at DFD ikke på samme måde som PSE giver et lavere udbytte ved forarbejdning og dermed ikke har så stor økonomisk betydning.

DMRI har udviklet og dokumenteret en metode til at måle pH i kyllingekød. I den forbindelse blev der målt pH i 40 kyllinger fra to leverandører. Den lavest målte pH-værdi 6 timer post mortem var 5,7, mens det højeste var 6,4, og gennemsnittet var 5,9. Der var således ingen af disse kyllinger, der kunne klassificeres som PSE ud fra Barbut et al (2005)'s definition, mens 6 af dem svarende til 15 % havde pH 6,1 eller højere og således kunne klassificeres som DFD ifølge samme definition (se tabel 1).

Blå misfarvning af skindet

Ifølge et review (Webb and Casey, 2010) kan der hos fjerkræ forekomme en misfarvning af kyllingernes skind kaldet cyanose, hvilket skyldes, at kødet under skindet har lav ilt-koncentration (<http://en.wikipedia.org/wiki/Cyanosis>). Kulde og stress kan virke pre-disponerende for denne defekt, ligesom den oftere forekommer hos dyr med hurtig vækst. Det er dog ikke i artiklen beskrevet, hvilken frekvens defekten forekommer i.

Green muscle disease

Barbut et al (2009) beskriver forekomst af nekrose dvs. muskeldød i den store brystmuskel som følge af dårlig eller afbrudt blodgennemstrømning i musklen. Udbredelsen er ikke beskrevet. Defekten skyldes ikke infektioner (<http://www.zootecnicainternational.com/article-archive/veterinary/63-green->

[muscle-disease.html](#)).

<i>Hvide striber i brystmuskulaturen</i>	Kuttappan et al (2012) beskriver hvide striber i brystfileten som et udbredt problem, der blev fundet i mere end 50 % af de undersøgte fileter. Forekomsten menes at være associeret med slagtevægt, så fænomenet er mere udbredt i tunge dyr end i lettere, ligesom det også er mere udbredt i hanekyllinger end i hønekyllinger (63 % mod 47 %). Forbrugerundersøgelser viste, at jo flere og tydeligere striberne var, desto mindre kunne forbrugerne lide fileterne, og samtidig faldt sandsynligheden for, at forbrugerne ville købe kødet. Typisk associerede forbrugerne striberne med fedtmarmorering, og da de ønskede fedtfattigt kyllingekød, var det en negativ egenskab (Kuttappan et al., 2012).
<i>Træbryst</i>	En kvalitetsfejl, som både Danpo og Rose beskriver, er træbryst ("wooden breast"). Kødet er degenereret, hårdt og nærmest flaget. Forekomsten er ikke beskrevet i litteraturen, men efter sigende skulle der være forskere i Finland, der har arbejdet med de bagvedliggende årsager.
<i>Blødninger og skader</i>	Blødninger i muskulaturen kan forekomme i både vinger, lår og den store brystmuskel. En tysk undersøgelse af 200 kyllinger viste, at mere end 90 % af kyllingerne havde blødninger i varierende mængde (Werner et al., 2005). Der var ingen effekt af genetik på forekomsten (Cobb 500 sammenlignet med Ross 308), men der var en højere frekvens af blødninger i lår på hønekyllinger end på hanekyllinger. Også ventetiden på slagteriet havde en betydning, idet øget ventetid fra under ½ time op til over 2 timer reducerede forekomsten af blødninger uden at årsagen er beskrevet. Metoder til måling af pH, dryptab, farve, shear force og skader er beskrevet i bilag 1.
	Primærproduktion Flere forhold i primærproduktionen er undersøgt, primært hvor produktivitet har været i fokus, men hvor kødkvalitet er målt samtidig. Nedenstående skal ses som nogle hovedpunkter.
<i>Genetik</i>	Sammenligning af en langsomt (Ross 1972) og en hurtigt voksende (Ross 308) linje viste, at dryptabet er højest og kødet lysest i den langsomt voksende linje (Nissen and Young, 2006). Sammenligning af tre linjer - Ross 308, Ross 708 og Cobb 700 - viste kun få forskelle, idet kødet fra Cobb 700 dog var lidt lysere end de andre linjer, og kødet fra Ross 308 havde lidt lavere svind ved tilberedning (Janisch et al., 2011a). Tilsvarende viste en sammenligning af to ikke nærmere definerede racer, at der kun var få forskelle i farve, pH, kogesvind, tekstur og spisekvalitet (Lopez et al., 2011). Der er således kun få forskelle i de målte kødkvalitetsegenskaber mellem de

undersøgte genetiske linjer. Det skal dog bemærkes, at der var forskelle i udbytter (% lår og % bryst) mellem linjerne (Janisch et al., 2011a; Lopez et al., 2011). Spisekvaliteten er ikke undersøgt grundigt, og det kan derfor ikke afvises, at der er en linjeforskel i smag eller tekstur.

Fodring

Der er lavet flere undersøgelser af forskellige tilsætninger til foderet med henblik på at øge kyllingernes robusthed over for f.eks. varmemstress eller øge deres væksthastighed.

Zink (Zn) tilsættes foderet for at øge daglig tilvækst. Kyllinger, der har fået zink, har efterfølgende mere rødt kød (højere a^*) og tendens til lavere dryptab i bryst ($P=0,07$) og lår ($P=0,08$) og højere pH i lårene ($P=0,05$) (Liu et al., 2011). Samtidig er det også beskrevet, at zink og selen (Se) øger acceptabiliteten af kødet hos forbrugerne (Kandeepan et al., 2009).

Fodring med glukose og kreatin-monohydrat (Nissen and Young, 2006) eller pyruvat (Young et al., 2004) op til 48 timer før slagtning skulle kunne øge kyllingernes energistatus i musklerne på slagtetidspunktet og dermed forbedre kødkvaliteten. Forsøgene viste, at glukose kombineret med kreatin reducerede dryptab med ca. 2 %-enheder og øgede pH med ca. 0,3 pH-enheder, men kun i en hurtigt voksende race (Ross 308). I den langsomt voksende race (Ross 1972) var der ingen effekt. Tilsvarende reducerede pyruvat dryptab med ca. 1,2 %-enhed, mens kreatin alene øgede dryptab med ca. 1 %-enhed i et andet forsøg. Forsøgene har været gennemført på et forsøgsslagteri med kort transport og opstaldningstid mellem 1 og 2 timer. Det vides ikke, om resultaterne kan genfindes under kommercielle forhold med længere transport.

Det er svært at påvirke smagen af kødet positivt gennem fodring, mens det er muligt at påvirke den negativt f.eks. ved fodring med fiskemel (Kandeepan et al., 2009).

Slagtevægt/alder/ væksthastighed

Øges slagtealderen, øges slagtevægten selvfølgelig tilsvarende ved samme tilvæksthastighed. Hvor 28 dage gamle kyllinger af tre forskellige linjer vejede godt 1 kg, vejede de samme linjer omkring 2 kg ved 48 dage. Udbyttet af brystkød (% bryst af slagtevægt) er tilsvarende relativt større, mens udbytte af lårene (% lår af slagtevægt) er relativt lavere (Janisch et al., 2011a).

Med stigende alder/slagtevægt bliver kødet lysere og mindre rødt og har lavere dryptab. Mørhed kan måles instrumentelt ved at måle den modstand en kniv møder, når den skærer gennem kødet (shear force). Jo højere shear force desto mindre mørt har kødet været. Shear force stiger, dvs. mørheden falder med øget slagtealder op til 41 - 42 dage, hvorefter shear force falder igen (Janisch et al., 2011b; Schneider et al., 2012). Det er ikke undersøgt, om smagen er afhængig af slagtevægt.

Et review refererer, at effekten af alder og slagtevægt på spisekvaliteten afhænger af den genetiske linje. Kød fra langsomt voksende linjer bliver ikke lige så sejt ved en øget slagtevægt som kød fra hurtigt voksende linjer, der er mere negativt påvirkelig af øget slagtevægt. Dette kan skyldes, at de hurtigt voksende linjer har en ældre fysiologisk alder end de langsomt voksende ved samme alder i dage og derfor måske er begyndt at få stærkere eller mere bindevæv på slagtetidspunktet. Dette er dog ikke undersøgt.

Samme review refererer undersøgelser, der viser, at smagen og lugten af kyllingekød intensiveres ved stigende slagtevægt, især i mørke muskler (Castellini et al., 2008). Derimod er der ikke forskel på smagen mellem hane- og hønekyllinger (Berri, 2000).

Varmestress under opvækst

I tropiske og subtropiske lande kan kyllingerne være udsat for varmemstress under opvæksten, og noget tyder på, at dette også har en betydning for kødkvaliteten. Resultaterne er dog modstridende, da der både er rapporteret om lavere og højere pH som følge af varmemstress (Dai et al., 2009; Gregory, 2010). De temperaturer, der rapporteres som varmemstress, varierer mellem 28 og 33 °C i varmemstressgruppen sammenlignet med 23 °C i normalgruppen. Der er derfor tale om temperaturer, der ligger over, hvad der kan forventes i en dansk kyllingeproduktion.

Indfangning, transport og opstaldning

Faste

Inden indfangning holdes foderet tilbage i et fastsat tidsrum for at gøre det lettere at fjerne indvolde og samtidig reducere risikoen for gødningsforurening. En undersøgelse har vist, at faste i 10 timer medførte mørkere kød i lårene (lavere L*-værdi), mens der ikke var effekt på kvaliteten af brystkødet. I denne undersøgelse var der ikke signifikant effekt på slagtevægten, men kyllinger, der havde fastet, havde mindre bugfedt og et højere slagteudbytte.

Fasten regnes normalt fra fodertildelingen stoppes, til kyllingerne er på slagteriet.

Indfangning

Effekt af indfangning på efterfølgende kødkvalitet beskrives ikke, men upublicerede data refereres for, at brækkede vinger og lignende ofte forekommer som resultat af indfangning (Weeks, 2007). Derudover kan det forventes, at en hård indfangning vil medføre en øget energiomsætning og dermed få betydning for pH og dryptab. Hvorvidt pH øges eller reduceres kan evt. afhænge af transporttiden, da der er tale om en samlet belastning.

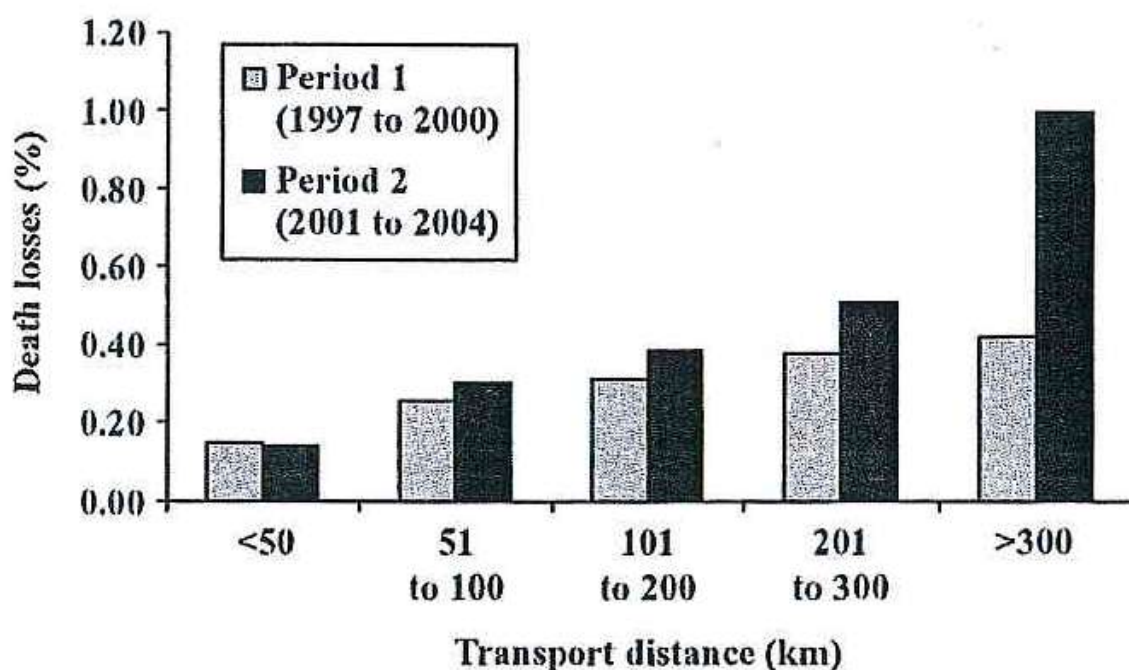
Der er varierende resultater for sammenligning af manuel og maskinel indfangning (Weeks, 2007). Generelt må det konkluderes, at indfangning er en stressende og potentiel smertefuld håndtering, der kræver optimering af management uanset fremgangsmåde.

Transport

Betydning af transport på kødkvalitet er mere veldokumenteret, og det vides, at der er en effekt af såvel transporttid/-længde og temperatur.

Dødelighed ved ankomst (death on arrival, DOA) er den mest undersøgte variabel. Der er ingen samlet statistik på, hvor høj DOA er, men i et review beskrives den til at variere mellem 0,13 % og 0,57 % (Weeks, 2007). Ved øget transportlængde stiger DOA, især hvis transporten kommer over 300 km (Vecerek et al., 2006) (se figur 2). Det er ikke beskrevet, hvor lang transporttiden har været, men det må forventes, at den har været mindst 4 - 5 timer for 300 km. I et modelforsøg blev det fundet, at transport i 2 timer medførte højere pH i lår, men ikke i bryst (Debut et al., 2003). Udbyttet ved efterfølgende marinerings var tilsvarende højere i lårene pga. det højere pH. Transport må således forventes også at have en effekt på kødkvaliteten og ikke kun på DOA.

Analysen af elektrolytkoncentration i blodprøver og prøver af brystkødet fra kyllingerne viser, at kyllingerne kan være dehydrerede ved transport over 100 km (Wojcik et al., 2009), og det kan være en af årsagerne til effekten af transport, hvilket også beskrives af Weeks (2007).



Figur 2. Effekt af transportlængde på dødelighed ved ankomst (Vecerek, 2006).

De danske virksomheder registrerer DOA og har således datagrundlaget for at lave en tilsvarende sammenligning for egne producenter.

Temperaturen har også en betydning for DOA, der er højere om vinteren og sommeren end om efteråret og foråret (Vecerek et al., 2006; Weeks, 2007). Koldt vejr under transport, hvilket vil sige under 0 °C, medfører øget forekomst af DFD-kød, mens varmt vejr (> 20 °C) medfører øget forekomst af PSE-kød i et modelforsøg (Dadgar et al., 2010). Warriss (2005) konkluderer i et survey, at ved temperaturer over 17 °C bør man tage forholdsregler for at reducere DOA.

Øvrige forsøg er ofte enten relateret til subtropiske forhold (Vieira et al., 2011) eller meget kolde canadiske forhold (Dadgar et al., 2012; Dadgar et al., 2011). Fælles for dem er, at de ser en sammenhæng mellem temperatur og DOA henholdsvis kødkvalitet, og at de anbefaler temperaturstyring under opstaldning evt. reduktion af opstaldningstiden, hvis det er koldt.

Kyllinger kommer primært af med varme gennem luftcirkulation omkring hovedet, og ventilation i vogne, under aflæsning og opstaldning er derfor væsentligt (Kettlewell, 1989). I dag transporteres kyllinger på åbne lastbiler med naturlig ventilation, selv om det fra engelsk side anbefales at benytte mekanisk ventilation (Mitchell and Kettlewell, 2009). Det er i en canadisk undersøgelse vist, at selv om udendørstemperaturen var ned til -28,2 °C, kunne der på samme vogn opstå både varmestress og kuldestress pga. ikke-optimal ventilation, når vognen var overdækket (Knezacek et al., 2010). Den canadiske undersøgelse henviser til engelske undersøgelser, hvor temperaturen er målt i centrum af traileren, men ikke forskellige steder på traileren. Der efterlyses derfor grundigere undersøgelser af temperaturen under transport.

Ikke kun transportlængde og temperatur har betydning for kyllingerne under transporten. Det er vist, at især vertikale vibrationer virker aversivt for kyllingerne. Aversion synes at stige ved øget acceleration (0 - 5 m/s²), men falde med stigende frekvens (0 - 10 Hz), hvor især 0 - 5 Hz syntes ubehageligt for kyllingerne (Weeks, 2007). Betydningen af varierende vibration og acceleration på kødkvaliteten er ikke beskrevet.

Opstaldning

Kyllingerne opstaldes på slagteriet dels for at sikre et flow af kyllinger til slagtning, og dels fordi det tager et vist tidsrum at slagte alle kyllinger på en vogn. Under opstaldning stiger kyllingernes kropstemperatur (Warriss et al., 1999). Selv om kyllingerne har været nedkølede under transporten, kan de ved opstaldning ved 22 °C nå deres normale kropstemperatur i løbet af 2 timers opstaldning (Dadgar et al., 2012). Varmeproduktionen sker ved energiomsætning, og glycogenindholdet i leveren er da også set reduceret efter opstaldning i ét forsøg (Warriss et al., 1999), svarende til at kyllingerne havde mobiliseret glycogen fra leveren til energiomsætning,

men ikke i et andet forsøg (Dadgar et al., 2012). I dette andet forsøg var det glycolytiske potentiale til gengæld reduceret især i lår, men også i bryst, svarende til at glycogen i musklerne var opbrugt før slagtning, uden at der var mobiliseret glycogen fra leveren (Dadgar et al., 2012).

Hvis kyllingerne er transporteret ved temperaturer under 0 °C, er effekten af opstaldning på kødkvalitet mere negativ (øget forekomst af DFD) end ved højere transporttemperaturer, givetvis fordi kyllingerne dermed skal øge kropstemperaturen mere (Dadgar et al., 2012).

Opkædning og bedøvelse

Opkædning

Kyllingerne opkædes i blå lys, hvilket er med til at berolige dem, men der er alligevel en vis uro - basken og vokalisering - inden bedøvelse. Dette medfører et hurtigere pH-fald efter stikning, lavere pH_u (slut-pH) og dermed lavere udbytter (Debut et al., 2003). Hård opkædning er også refereret at medføre rødere kød (Schneider et al., 2012), men der er ingen systematiske undersøgelser af sammenhængen mellem uro ved opkædning og blødninger og skader.

Bedøvelse

Der er to anerkendte og tilladte bedøvelsesmetoder: el-bedøvelse og gas-bedøvelse. Ved el-bedøvelse sker der en elektrisk stimulering af hjernen, så kyllingen kommer i en form for epileptisk tilstand, hvor den ikke længere kan føle smerte. Ved gas-bedøvelse med CO₂ bedøves hjernen, mens gasbedøvelse med Argon medfører, at ilt-koncentrationen i hjernen sænkes, og kyllingen dermed bedøves (Daugaard, 2011, Pers. Medd.). De skader, man typisk ser i forbindelse med bedøvelse, er brækkede vinger, ønskeben og andre knogler, slagteblødninger i muskulaturen, især brystmusklen, samt rødligt misfarvede vingspidser. Endvidere kan aktivitet før slagtning medføre et accelereret pH-fald, hvilket påvirker kødkvaliteten negativt.

Ved el-bedøvelse hænges kyllingen op med hovedet nedad, mens den stadig er ved bevidsthed. Herefter føres hovedet gennem et strømførende vandbad, og kyllingen bedøves. Hvis kyllingen har brækket en vinge eller lignende, og denne rammer vandet før hovedet, kan kyllingen få smertefulde elektriske stød uden tab af bevidsthed. Reaktionen på dette vil være basken (Daugaard, 2011, Pers. Medd.). Det er et velfærdsproblem, at kyllingen mærker smerte, før den taber bevidstheden, men samtidig forventes det at medføre øget frekvens af blødninger og andre slagteskader.

Ved el-bedøvelse er det muligt at variere på frekvens og strømstyrke. Lav frekvens medfører den mest effektive bedøvelse, men også flere slagteskader. Forhøjelse af frekvensen, uden ændring i strømstyrken, medfører en mindre effektiv bedøvelse, men til gengæld færre

slagteskader (Hindle et al., 2010; Hindle et al., 2009; Pinillos, 2010). Som eksempel fandt Hindle et al.(2010), at hvis frekvensen blev øget fra 50 Hz til 1000 Hz, blev antallet af kyllinger, der havde slagteskader, reduceret til under 1/3, men samtidig var der langt flere kyllinger, der ikke var bedøvet tilfredsstillende (Tabel 2).

Tabel 2. Undersøgelse af strømstyrke, frekvens af døde og slagteskader ved el-bedøvelse i vandbad ved vekselstrøm ved 50 Hz, 400 Hz og 1000 Hz (Hindle et al. 2010)

Frekvens (Hz)	Strømstyrke (mA)	Døde	Slagteskader	Underbedøvede/< mA end krævet	Bevidsthed
50	114 (45 - 229)	>90 %	67 %	2 % / 33 %	0
400	174 (54 - 274)	48 %	35 %	17 % / 30 %	9 %
1000	245 (65 - 444)	16 %*	18 %	50 % / 46 %*	6 %

*): minimumsværdi, tilsyneladende kun opgjort på dele af materialet.

I dette forsøg er effekten af bedøvelse på energiomsætning ikke undersøgt, men en anden undersøgelse har vist, at øges frekvensen fra 160 Hz (50 V, 67 mA, 160 Hz) til 1000 Hz (65 V, 86 mA, 1000 Hz) reduceres indholdet af laktat i bryst- og lårmuskler (Xu et al., 2011), svarende til at kyllingerne har været mere urolige og basket med vingerne (Prinz, 2010).

Simonovic og Grashorn (2010) sammenlignede el-bedøvelse ved vekselstrøm og pulserende jævnstrøm ved frekvenserne 70, 400 og 600 Hz og fandt, at el-bedøvelse med pulserende jævnstrøm gav en mere effektiv afblødning, færre "røde vingspidser" og færre brækkede ønskeben end el-bedøvelse med vekselstrøm. Forskelle i kødkvalitetsparametre, f.eks. pH, var minimale og uden betydning 24 timer efter slagtning.

Andre forhold i forbindelse med bedøvelse har også en betydning for bedøvelseskvaliteten og må dermed også forventes at have en indflydelse på den efterfølgende kødkvalitet. Som eksempel vil en meget våd fjerdragt, graden af neddypning af hals, hoved og eventuelle nedhængende vinger medføre, at en større eller mindre del af strømmen bliver ledt uden om hovedet (Gregory and Wotton, 1992). Endvidere er det også vist, at der er en dårligere bedøvelse af haner end af høner ved de samme indstillinger af bedøvelsesanlægget (Prinz, 2010).

Ved gasbedøvelse er der en mindre forekomst af muskelblødninger, fordi kyllingerne har været roligere ved bedøvelse (Gigaud et al., 2010). Der kan dog stadig forekomme ukontrolleret vingebasken under bedøvelse, og denne muskelpåvirkning er den vigtigste årsag til de skader, der opstår. Samtidig er udbeningsprocessen blev lettere, og udbytte større ved gas-bedøvelse som følge af færre skader. Det har betydning, hvorvidt man anvender Argon eller anvender CO₂ iblandet O₂. Hvis kyllingerne

bedøves med en gradient af CO₂ og O₂, forekommer der signifikant færre bedøvelsesskader end ved el-bedøvelse (Barton Gade et al., 2000), hvilket stemmer overens med, at der er observeret mindre basken med vingerne, hvis man anvender CO₂ og O₂ ved bedøvelse i modsætning til bedøvelse med anoxiske gasser (Lambooij et al., 1999).

De fleste artikler om bedøvelse fokuserer på bedøvelseskvalitet med henblik på dyrevelfærd. På baggrund af denne litteratur kan det konkluderes, at der også må forventes en klar effekt af bedøvelse på efterfølgende skader og blødninger samt på kødkvalitet målt som pH og farve. Endvidere kan der være en effekt på udbyttet. Litteraturen på dette område er dog sparsom.

Elektrisk stimulering

Når kyllingen er slagtet, stopper ilttilførslen til musklerne. For at opretholde energistatus i musklerne vil der derfor ske en anaerob energiomsætning, der vil dannes laktat, og pH vil falde. Da den anaerobe energiomsætning er meget ineffektiv, vil energiniveauet i musklerne på et tidspunkt falde så meget, at bindingen mellem de to muskelproteiner actin og myosin ikke længere kan brydes, og musklen går i rigor mortis. Er musklerne fjernet fra skellet før rigor mortis, kan de stadig trække sig sammen, og herved bliver sarcomerlængden kortere og mørheden lavere.

For at kunne udbene kyllingerne så hurtigt som muligt kan man give slagtekroppen elektrisk stimulering (ES) med henblik på at accelerere energiomsætningen og dermed fremskynde pH-faldet og indtrædelse af rigor mortis. Mange undersøgelser har da også vist, at elektrisk stimulering er en effektiv metode, og at mørhed målt ved shear force efterfølgende bliver bedre (f.eks. Devine et al., 2001; Dunn et al., 2000; Young et al., 2005; Zhuang et al., 2010).

Metoden har været anvendt siden 1990'erne. Mange af de artikler, der blev publiceret på dette tidspunkt, har kombineret ES med andre metoder, f.eks. at slagtekroppen blev holdt i 39 °C varme 1 time efter slagting, eller at vingerne blev bundet sammen for at strække musklerne (Sams and Mills, 1993; Walker et al., 1996; Walker et al., 1995). Efter 1999 er effekten af elektrisk stimulering i højere grad undersøgt uden at være kombineret med andre mørhedsfremmende tiltag.

Strømmen ved elektrisk stimulering bliver typisk givet pulserende med 2 sek. stimulering, 1 sek. pause imellem 15 sekunder og 14 minutter afhængig af undersøgelsen (Birkhold et al., 1992; Sams and Mills, 1993). (Birkhold et al., 1992) sammenlignede 0, 15, 45, 75 sekunders ES (200 V) og fandt, at ES signifikant øgede sarcomerlængden og dermed mørheden, men der var ikke forskel på de forskellige tidsrum. Femten

sekunder havde således i denne undersøgelse været nok til at inducere den maksimale effekt.

Sammenligning af forskellige strømstyrker viste, at 50 V ikke var nok til at øge mørheden, mens 200 V øgede mørheden signifikant (Lyon et al., 1989). Efterfølgende artikler har anvendt mellem 200 og 500 V, som det fremgår af tabel 3.

Tabel 3. Oversigt over anvendte parametre ved elektrisk stimulering.

Volt	Amp	Hz	Tid	Reference
450	0,5		7 puls (3 sek/puls)	(Skarovsky and Sams, 1999)
80			60 sek	(Devine et al., 2001)
400 - 450	0,4 - 0,45		7 puls (3 sek/puls)	(Cavitt and Sams, 2003)
450	0,45		7 puls (3 sek/puls)	(Castaneda et al., 2005)
220			90 sek	(Young et al., 2005)
20 - 200		10	30 - 120 sek	(Dunn et al., 2000)
200		60	90 sek	(Zhuang et al., 2010)
500		100	60 sek	(Kahraman et al., 2011)

De fleste undersøgelser har benyttet elektrisk stimulering lige efter afblødning, men en enkelt har sammenlignet det med stimulering efter fjernelse af fjer og kombinationen af stimulering begge steder. Undersøgelsen konkluderer, at det er mest effektivt at stimulere lige efter afblødning, og at der ikke opnås additiv effekt af at stimulere to steder på slagtelinjen (Zhuang et al., 2010). Det påpeges dog, at ES lige efter afblødning kan være mindre effektivt, hvis fjerdragten er våd, da strømmen så løber via fjerdragten i stedet for gennem kroppen (Zhuang et al., 2010).

ES kan forventes at vekselvirke med, hvor længe foderet har været tilbageholdt (Sams and Mills, 1993), da dette påvirker musklernes glycogenindhold og dermed laktatdannelsen. Der kan også forventes en vekselvirkning med køling (Dickens and Lyon, 1995), da det har betydning for energiomsætningen og dermed for effektens størrelse. F.eks. har Dickens & Lyon (1995) vist, at der kun er effekt af ES ved køling i mindst 2 timer. Kortere køling giver ingen forskel i forhold til kontrolbehandlingen uden ES. I modsætning hertil viste Young et al (2005) ingen forskel på effekten af elektrisk stimulering afhængig af køling ved sammenligning af 3 henholdsvis 2 timer i isbad.

Køling

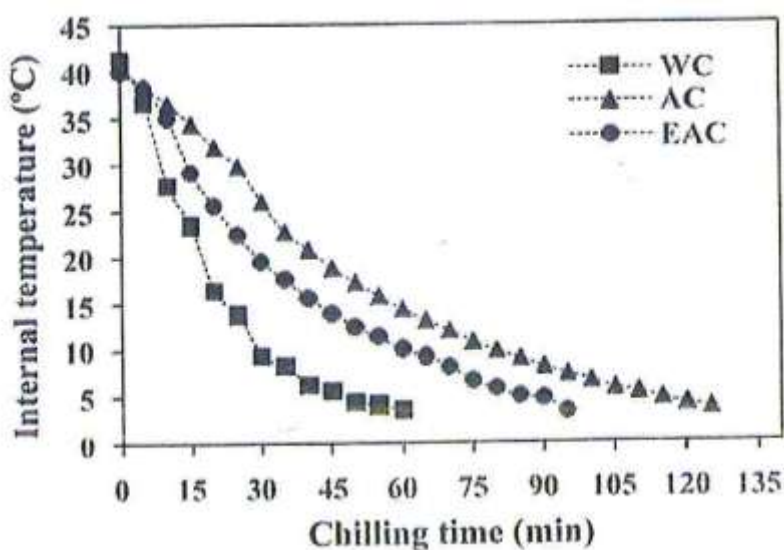
Der er tre generelt anerkendte kølemetoder: luftkøling, spraykøling og vandkøling. Kølemetoderne og skoldningen interagerer, idet man ved luft- og spraykøling ofte benytter en mild skoldning (50 °C, 220 sek.), mens man ved vandkøling ofte anvender en hård skoldning (56,7 °C, 120 sek.) (Jeong et al., 2011a). Dette skyldes, at skindet ved luftkøling vil blive misfarvet, hvis det får en hård skoldning.

Ved vandkøling kommer slagtekroppen i sjapis (ice slurry) (Jeong et al., 2011a; Jeong et al., 2011b; Zhuang et al., 2008). Ved denne metode vil der ske en vægtstigning i størrelsesordenen 5 %, men det tilførte vand vil primært befinde sig mellem skindet og kødet og i skindet (Jeong et al., 2011b). Dette bekræftes af danske undersøgelser.

Ved spraykøling sprinkles vand på slagtekroppen før og under køling, der i øvrigt foregår med luft (Carroll and Alvarado, 2008; Jeong et al., 2011a). Ved denne kølemetode sker der også et mindre vandoptag i størrelsesordenen 1 %, hvilket er væsentligt mindre end ved vandkøling (Jeong et al., 2011b)

Ved luftkøling køles slagtekroppen med cirkulerende luft. Der sker ingen vægtstigning, men derimod et fald på omkring 1½ % pga. udtørring (Jeong et al., 2011b).

Som det fremgår af nedenstående figur, er der forskel i temperaturfaldets hastighed i kyllingebryst, hvor vandkøling er mest effektiv, mens ren luftkøling er mindst effektiv.



Figur 3. Temperaturfald i kyllingebryst ved forskellige kølingstyper (Jeong et al., 2011b).

Jævnfør erfaringer fra svinekød skulle vandkøling med det hurtigste temperaturfald medføre den bedste vandbindeevne, mens kød, der er luftkølet og har haft et langsommere temperaturfald, potentielt skulle have en bedre mørhed (større tidsrum for de proteolytiske enzymer at være aktive i).

Der er varierende resultater af betydning af køling på pH_u . Jeong et al (2011a) fandt, at pH_u var signifikant højere ved vandkøling (5,6) end ved luftkøling (5,5), men forskellen er forholdsvis lille. Zhuang et al (2008) fandt ingen forskel i dryptab mellem luft- og vandkøling, men måler ikke pH, mens Carroll & Alvarado (2008) fandt lidt højere pH_u i luftkølede (5,64) end i spraykølede (5,56), men også her er forskellene små. Der må således konkluderes at være forholdsvis små ændringer i pH_u afhængig af køling, hvilket kan skyldes, at der er andre ting som f.eks. behandling før slagting, der er vigtigere for pH.

Farven reflekterer resultaterne fra pH_u og varierede mellem undersøgelser. Jeong et al (2011a) fandt, at kød, der var luftkølet, havde lavere L^* og højere a^* og b^* værdier, dvs. kødet var mindre lyst og mere rødt og gult end kød, der var kølet med vand. Carroll & Alvarado (2008) fandt, at kød, der var vandkølet, havde højere L^* -værdi (mere lyst) end kød, der var spraykølet. Jeong et al (2011b) fandt ingen forskel på farve mellem kød, der var vand-, spray- eller luftkølet, men fandt derimod at der sensorisk bedømt var flere mørke pletter på kødet ved luftkøling end ved de to andre kølemetoder. Det kan således ikke afvises, at der er en forskel i udseende afhængig af køling, men denne er ikke entydig og kan som for pH afhænge af andre faktorer.

Shear force er undersøgt i flere forsøg som et udtryk for mørhed. Carroll & Alvarado (2008) fandt, at spraykølede fileter er mere møre end vandkølede fileter efter marinering (15 % optag af marinade), og at forskellen var stor nok til, at forbrugere kunne registrere den. Denne undersøgelse sammenlignede ikke fileter før marinering, så det vides ikke, om forskellen også var til stede i det ferske kød eller først opstod i det marinerede kød som effekt af ændret vandbindeevne. Til sammenligning var der ikke forskel på mørhed af ikke-marinerede fileter afhængig af køling hos hverken Jeong et al. (2011a) eller Zhuang et al. (2008).

En del af forskellen i vægt som følge af køling udlignes dels af den tid, fileten lagres (Jeong et al., 2011b; Young and Smith, 2004) og dels ved marinering (Carroll and Alvarado, 2008).

Udskæring og pakning

Det vides fra svine- og oksekød, at pakning i modificeret atmosfære med høj ilt medfører reduceret mørhed, saftighed og kødsmag og samtidig intensiveret hengemt/gammel smag. Alligevel pakkes der i høj ilt, da det bevarer den røde farve i kødet, kombineret med at det giver øget holdbarhed sammenlignet med pakning i atmosfærisk luft (wrap-pakning).

Der er kun få publicerede undersøgelser af betydning af pakning på spisekvalitet af kyllingekød, og ingen af disse omfatter pakning i høj ilt (f.eks. Andreassen et al., 2006; Rotabakk et al., 2006).

DMRI har gennemført en undersøgelse, der viser, at pakning i høj ilt medfører reduceret mørhed i kyllingefilet og lår sammenlignet med pakning i iltfri atmosfære eller skinpakning. Dette må forventes at skyldes proteinoxidation, som det er vist i svinekød. Andre undersøgelser viser tilsvarende, at vakuumpakning, der kan sammenlignes med skinpakning, reducerer protein- og lipidoxidation i brystfileter sammenlignet med pakning i iltgennemtrængelige poser dvs. i atmosfærisk luft (Xiao et al., 2011).

Fodres kyllingerne med antioxidanter (vitamin E og butylated hydroxyanisol), reduceres især lipidoxidation, men også proteinoxidation, selv om effekten ikke var lige så stor som ved vakuumpakning (Xiao et al., 2011).

Forarbejdning

En væsentlig del af kyllingekødet anvendes til videre forarbejdning, dels ved at det marineres i en saltlage, hvilket i dag skal deklareres som "tilsat x % lage", og dels til andre produkter som pølser, helmuskelprodukter og leverpostej. Der er kun meget få publicerede artikler, der beskriver sammenhængen mellem råvarekvalitet og udbytter ved videre forarbejdning, selv om der er flere artikler, der sammenligner udbytter ved forskellige procesparametre.

Marinering

Der er bred enighed om, at marinering med saltlage - enten som stiksprøjtamarinering eller ved tumbling - øger mørhed og saftighed af kylling (Broadway et al., 2011; Lopez et al., 2012; Saha et al., 2009; Young and Buhr, 2000; Zhuang and Savage, 2012). Der er ingen effekt på de sensoriske egenskaber af kødet af, hvilken type salt der anvendes, (Broadway et al., 2011).

Sammenlignes saltkoncentrationer i kødet mellem 0 og 1,5 % ved samme tilvækst (12 %), er der en kvadratisk sammenhæng mellem mørhed og stigende saltkoncentrationer op til 0,75 %, hvorefter mørheden ikke øges

yderligere (Lopez et al., 2012). I denne undersøgelse er mørhed bestemt ved shear force, og betydning af salt på smag og saftighed kendes således ikke. Amerikanske forbrugere har vurderet, at saltkoncentrationer på 1 % og 1,25 % var for salte, mens der dog ikke var forskel i deres overordnede respons på, hvor godt de kunne lide produkterne (Saha et al., 2009). Hvor godt, man kan lide salt smag, kan afhænge af, hvad man er vant til, og niveauerne kan derfor ikke direkte overføres til danske forhold, men forsøget viser, at der ikke kan forventes en lineær sammenhæng mellem saltindhold - og dermed mørhed, saftighed og salt smag - og hvor godt forbrugerne kan lide produktet.

To undersøgelser har sammenlignet betydningen af råvarekvalitet på kødets evne til at optage og holde på marinade. Brystfileter marineret med NaCl havde lavere dryptab, hvis de var elektrisk stimuleret på slagtelinjen, men forskellen blev udlignet, hvis der yderligere blev anvendt Na-triphosphat i marinaden (Young and Buhr, 2000). Sammenligning af forskellige tidspunkter for udbening viser, at brystfileter udbenet 2 timer efter afblødning havde en dårligere evne til at binde saltlag end fileter, hvor kødet var modnet 24 timer (Zhuang and Savage, 2012). Det beskrives ikke, hvorvidt der havde været anvendt elektrisk stimulering på slagtelinjen i denne undersøgelse.

De to undersøgelser understreger, at der er en sammenhæng mellem råvarekvalitet og evne til at holde på tilsat vand, men faktorer som betydning af pH eller lignende er ikke yderligere undersøgt. Danske undersøgelser viser en betydelig variation i optag af marinade i samme batch af marineret, hvilket måske kan skyldes råvarevariation.

Geldannelse

Der er flere kyllingepølser på markedet, og kyllingeproteinernes evne til geldannelse er derfor vigtig. Det er vist, at hvis hakket kyllingekød tilsættes okseburgere, øges pH, stegesvindet reduceres og lipidoxidationen ved frostlagring reduceres (Kurt and Kilincceker, 2011). Dette kan dels være en effekt af det øgede pH og dels være en effekt af bedre funktionalitet og geldannelse af kyllingeproteiner.

Geldannelse er sammenlignet i kyllingekød, der efter elektrisk stimulering lige efter afblødning enten er kølet normalt eller er kølet langsomt. Ved langsom køling reduceres evnen til geldannelse, og kogesvindet stiger sammenlignet med normal køling. Ved normal køling uden elektrisk stimulering er der en tendens til, at kogesvindet er højest ved udbening efter 8 timer i forhold til udbening efter 2 timer. Der er ikke forskel i gelens styrke, hverken som effekt af udbeningstidspunkt eller som effekt af elektrisk stimulering (Castaneda et al., 2005). Forsøget viser således, at råvarekvaliteten har en betydning for kogetab ved geldannelse.

Andre typer forarbejdning Surimi er en teknik, hvor fedt, kulhydrat og pigment vaskes ud af kødet og efterlader en protein-masse. Metoden er især kendt fra fisk, hvor surimikød sælges som crab fish. Der er publiceret et review, der sammenholder forskellige anvendelser af surimi-teknikken på kød fra produktionsdyr (Ismail et al., 2011). Den konkluderer, at fjerkrækød er meget anvendeligt til at fremstille surimi-protein, især pga. lavt pigment og fedtindhold. Forfatterne mener især, at der er en fremtid i surimiteknikken til anvendelse på maskinudbenet kød. De fleste undersøgelser har dog fokuseret på brug af æglæggende høner eller hele stykker kylling (bryst eller lår), med kun enkelte der har anvendt maskinudbenet kød.

Koges hele kyllingen, hvorefter brystet skæres op i tern og pakkes som konserver, er kød fra kyllinger, der er kølet 0 eller 2 timer før kogning mere hårdt end kød, der er kølet i 8 eller 24 timer (Lyon et al., 1994). Ved videre forarbejdning til konserver er der således stadig en betydning af råvarekvaliteten på teksturen af produktet.

Diskussion

Produktion af kyllingekød i Danmark er en effektiv produktion, hvor der slagtes mange individer i minuttet, og hvor der ikke i væsentligt omfang styres efter kvalitet af kødet på den enkelte kylling som f.eks. i svineproduktionen.

Denne vidensopsamling påpeger, at der kan være en væsentlig variation i råvarekvaliteten, og at denne kan have en betydning for såvel udbytter, mørhed og egnethed til videre forarbejdning. Råvarekvaliteten er afhængig af faktorer såvel før som efter slagtning, og der er derfor basis for at optimere og sortere på kvalitet.

På nær områder som transport, elektrisk stimulering og køling er der relativt få videnskabeligt publicerede artikler om sammenhængen mellem behandling og kvalitet. De artikler, der findes, viser dog, at sammenhængen kan være anderledes end i svinekød, og erfaringer herfra kan derfor ikke ukritisk overføres til fjerkræbranchen. Yderligere er mange af de artikler, der foreligger, relativt gamle. Undersøgelserne viser en vekselvirkning mellem f.eks. væksthastighed og betydning af slagtevægt på mørhed. Da der er en hurtig genetisk selektion, kan der derfor også være sket en væsentlig ændring i de dengang viste sammenhænge. Det vil derfor være relevant at undersøge, hvorvidt disse resultater stadig er relevante under danske forhold med de nuværende genetiske linjer.

Faktorer på slagtekæden interagerer med hinanden. F.eks. kan faste og transportlængde have en betydning for effekten af elektrisk stimulering, der igen kan vekselvirke med effektiviteten af køling. Der er kun få undersøgelser, der medtager mere end et enkelt eller to led af kæden. Der mangler således undersøgelser, der samler betydningen af hele kæden fra jord til bord på kvaliteten.

I de undersøgelser, der foreligger om kødkvalitet, er spisekvaliteten typisk bedømt som mørhed målt ved instrumentelle metoder. Kyllingekød er - sammenlignet med svinekød og oksekød - meget mørt kød, og der er derfor andre egenskaber f.eks. saftighed og smag, der kan være mere relevante for spisekvaliteten.

Udbuddet af kyllingeprodukter i dag er meget ensartet. I de danske supermarkeder er der typisk hele kyllinger, der enten er frosne eller er pakket i modificeret atmosfære. Derudover er der detailudskæringer, især af brystfilet og overlår, og disse kan evt. være marinerede. Endelig er der frosne produkter, både lår og forarbejdede produkter.

Et besøg i supermarkeder i Roskildes omegn (Netto, Aldi, Superbest, Føtex og SuperBrugsen) viste, at det ferske kød primært var dansk, mens det frosne var både dansk og fra andre lande, f.eks. Kina, Litauen eller Tyskland. Kyllingeprodukterne var generelt meget traditionelle - pølser som pålæg eller til at varme samt kyllingebryst. Blandt kødprodukter var der flere produkter fra Tyskland og Sverige.

De eneste variationer, der var i de ferske kyllinger, var majskylling og økologisk kylling. Der er derfor et potentiale for at undersøge, hvorvidt man gennem valg af genetisk linje, fodring og behandling på slagteriet f.eks. modning har mulighed for at skabe nye spisekvalitetsvariationer.

Ønsker man at satse på forædling, er der et potentiale for at kvalitetsoptimere råvaren med henblik på øgede udbytter og kvalitet af det forarbejdede produkt. Vidensopsamlingen viser f.eks., at der er en sammenhæng mellem kødets pH og evnen til at holde på tilsat vand ved marinering samt på dets evne til geldannelse ved forarbejdning til pølser. Der er derfor potentiale i at optimere forhold på slagtelinjen med henblik på at anvende kødet til videre forarbejdning.

Der er i dag flere undersøgelser af betydning af transport på dyrevelfærd og på efterfølgende kødkvalitet. De fleste er udført under klimaforhold, der ikke er relevante for Danmark. Disse har vist, at selv under ekstreme

kuldegrader kan der være dyr, der har det for varmt på vognen, når der benyttes naturlig ventilation. Der er derfor potentiale i dels at nedbringe DOA og dels at optimere kødkvaliteten, hvis der er mere viden om transport og opstaldning under danske forhold.

Deltagere

Margit D. Aaslyng, Mianne T. Darre, Lena Sloth

Bilag 1

Kødets evne til at holde på vand

Målemetoder

Kødets evne til at binde vand er meget væsentlig for at beskrive dets kvalitet. Dels har det betydning i forhold til den oplevelse forbrugerne har, når de køber kødet, og dels kan det have betydning for kødets evne til at optage vand ved marinering eller anden type videre forarbejdning.

Inden for fjerkrækød deles kødets vandbindeevne op i forskellige egenskaber:

- Vandbindeevne (fersk kød)
- Vandholdeevne (fersk kød)
- Svind ved tøning (fersk frossent kød)
- Kogesvind (ofte samtidig med måling af shear force)

Vandbindeevne defineres som kødets evne til at optage vand. Den måles ved at blande en 10 g blendet kødprøve med 16 mL 0,6 M NaCl og inkubere i 30 min ved 4 °C. Herefter centrifugeres kødet, og den overskydende mængde væske dekanteres. Vandbindeevnen (WBC), bliver herefter defineret som den mængde væske, kødet har optaget (Samuel et al., 2011).

Kødets vandholdeevne (WHC) bliver bestemt ved at veje et stykke kød før og efter et givent tidsrum. Der er forskellige metoder til at bestemme denne. Dette gøres på forskellige måder:

Højre brystfilet vejes 11 henholdsvis 72 timer efter slagtning. Dryptabet beregnes som vægtdifferencen uden yderligere korrektion. Kødet opbevares i individuelle plastikcontainere ved 4 °C mellem de to vejninger. Dryptabet lå i denne undersøgelse mellem 0,67 og 1,27 %, dvs. det angives med 2 decimaler (Janisch et al., 2011c). Liu et al. (2011) bruger en tilsvarende fremgangsmåde, men måler dryptabet efter 24 timer ved 4 °C. De opnår dryptab i størrelsesordenen 1,9 % og angiver det tilsvarende med to decimaler.

En cylinder på 4 cm i diameter blev udskåret af brystfileten og vejjet. Genvejes efter 48 timer, opbevares ved 2 °C mellem vejningerne. Dryptabet lå i denne undersøgelse mellem 0,87 og 1,34, dvs. det angives med 2 decimaler (Laack et al., 2000).

En cylinder på 2½ cm udbores som ved måling af dryptab i svinekød og vejes efter 48 timer ved 4 - 6 °C. Dryptab med denne metode var i størrelsesordenen 0,90 - 4,44 og blev opgivet med 2 decimaler (Nissen and Young, 2006; Young et al., 2004).

Enkelte måler kødets evne til at holde på vandet ved en filterpressemetode.

Endvidere måles ofte svind i kyllingekød ved optønings- eller kogeprocesser.

Farve

Farven er en meget vigtig kødkvalitetsegenskab, som medtages i mange forsøg. Den måles typisk med Minolta. Liu et al. (2011) måler farve på brystmuskulaturen med Minolta 15 min post mortem. Målestederne er ikke nærmere defineret, kun at der er målt tre steder.

pH

pH måles efter 24 timer (Laack et al., 2000), og der er beskrevet, at det er i centrum af musklen, ½ - 1 cm under overfladen. At det sker efter 24 timer synes primært at være af praktiske årsager.

Undersøgelser fra DMRI har vist, at slut-pH er nået efter 6 timer, hvorfor det ikke er nødvendigt at vente til dagen efter slagtning. Efter DMRI standard måles pH og temperatur i venstre brystfilet ca. 3 cm i en vandret linje fra ønskebenets midte mod vingen (brystfiletens højeste punkt) evt. kombineret med et mål foretaget ca. 1 cm i en vandret linje mod vingen fra mål 1. Der bør måles i to eller flere kyllinger fremfor at måle to gange i samme kylling.

pH måles også ved at blende kød i vand og derefter måle pH i opslemningen. Ifølge Laack et al. (2000) var der ingen forskel i resultatet mellem denne målemetode og måling direkte i kødet.

Shear force

Som udtryk for mørhed måles shear force. Tilberedningen varierer og er f.eks. 80 °C vandbad til en centrumstemperatur på 74 °C (Barbut et al., 2005).

Der laves sjældent en sensorisk profilanalyse på kødet i de artikler, der er publiceret.

Vision

Vision bruges på slagtelinjen til at registrere skader og blødninger på slagtekroppene. Der afregnes i dag ikke efter skader og blødninger, ligesom det så vidt vides ikke bruges aktivt til at optimere behandling før slagtning.

Bilag 2

Forskergrupper

I meget af den publicerede forskning om kyllingeproduktion er fokus enten på faktorer i primærproduktion af betydning for tilvækst og foderforbrug eller på hygiejne og mikrobiologisk sikkerhed. Meget af den forskning, der er inden for faktorer af betydning for kvalitet, er fra starten eller midten af 1990'erne. Enkelte forskningsgrupper publicerer dog også nyere arbejde med relation til kvalitet og dyrevelfærd.

S. Dadgar

Samira Dadgar, Satskatchewan: Har publiceret omkring betydning af temperatur under transport på dødelighed og kødkvalitet. Tager udgangspunkt i canadiske forhold, især betydning af koldt vejr (-21 °C). Har publikationer helt frem til nu (2012). Arbejder nu på University of British Columbia som reasearch coordinator:

<http://www.linkedin.com/pub/samira-dadgar/3a/225/690>

M. Petracci

Massimiliano Petracci, University of Bologna. Har publiceret om mange forskellige aspekter af råvarekvalitet af kyllinger og har bl.a. publiceret et review i 2010.

http://www.researchgate.net/researcher/47665347_M_Petracci

S. Barbut

Shai Barbut, University of Guelph, Canada. Har publiceret om PSE-forekomst og pH i kyllingekød og lavet et review i 2010 om faktorer af betydning for kvalitet af kyllingekød. Derudover arbejder han ifølge universitetets hjemmeside med videre forarbejdning bl.a. gelatineringsegenskaber af bl.a. fjerkrækød.

<http://www.uoguelph.ca/foodscience/users/sbarbut>

H. Zhuang

USDA, Quality and safety research unit, Athen, Georgia.

Har arbejdet med elektrisk stimulering til at øge mørhed og har bl.a. publiceret i 2010. Ifølge deres hjemmeside har de et projekt, der har til formål at udvikle metoder til at måle og forbedre kvalitet af fjerkrækød og æg, der fortsætter til 2015.

http://www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm?accn_no=420383

Referenceliste

Andreassen, A., Vikse, R., Mikalsen, A., Adamovic, T., Steffensen, I.L., Hjertholm, H., Levan, G., Alexander, J., 2006. 2-Amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine (PhIP) a mutagenic heterocyclic amine from cooked meat induces genetic changes in murine intestinal tumours and cells with ApcMin mutation. Mutation Research 604, 60-70.

Barbut, S., 2009. Pale, soft, and exudative poultry meat - reviewing ways to manage at the processing plant. Poult Sci 88, 1506-1512.

- Barbut, S., Zhang, L., Marcone, M., 2005. Effects of pale, normal, and dark chicken breast meat on microstructure, extractable proteins, and cooking of marinated fillets. *Poult Sci* 84, 797-802.
- Barton Gade, P., Von Holleben, K., Von Wenzlawowicz, M., 2000. Animal welfare and controlled atmosphere stunning (CAS) of poultry using mixtures of carbon dioxide and oxygen. *Worlds poultry science journal* 57, 189-200.
- Berri, C., 2000. Variability of sensory and processing qualities of poultry meat. *World's Poultry Science Journal* 56, 209-224.
- Birkhold, S., Janky, D., Sams, A., 1992. Tenderization of early-harvested broiler breast fillets by high-voltage post-mortem electrical stimulation and muscle tensioning. *Poult Sci* 71, 2106-2112.
- Broadway, P., Behrends, J., Schilling, M., 2011. Effect of alternative salt use on broiler breast meat yields, tenderness, flavor, and sodium concentration. *Poult Sci* 90, 2869-2873.
- Carroll, C., Alvarado, C., 2008. Comparison of air and immersion chilling on meat quality and shelf life of marinated broiler breast fillets. *Poult Sci* 87, 368-372.
- Castaneda, M., Hirschler, E., Sams, A., 2005. Functionality of electrically stimulated broiler breast meat. *Poult Sci* 84, 479-481.
- Castellini, C., Berri, C., Bihan-Duval, E.I., Martino, G., 2008. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry meat. *World's Poultry Science Journal* 64, 500-512.
- Cavitt, L.C., Sams, A.R., 2003. Evaluation of physical dimension changes as nondestructive measurements for monitoring rigor mortis development in broiler muscles. *Poult Sci* 82, 1198-1204.
- Dadgar, S., Crowe, T., Classen, H., et al., 2012. Broiler chicken thigh and breast muscles responses to cold stress during stimulated transport before slaughter. *Poult Sci* 91, 1454-1464.
- Dadgar, S., Lee, E., Leer, T., Burlingquette, N., Classen, H., Crowe, T., Shand, P., 2010. Effect of microclimate temperature during transportation of broiler chickens on quality of the pectoralis major muscle. *Poult Sci* 89, 1033-1041.
- Dadgar, S., Lee, E., Leer, T., Crowe, T., Classen, H., Shand, P., 2011. Effect of acute cold exposure, age, sex, and lairage on broiler breast meat quality. *Poult Sci* 90, 444-457.
- Dai, S., Wang, L., Wen, A., Wang, L., X, Jin, G., 2009. Dietary glutamine supplementation improves growth performance, meat quality and colour stability of broilers under heat stress. *British Poultry Science* 50, 333-340.
- Debut, M., Berri, C., Baeza, E., Sellier, N., Arnould, C., Guemene, D., Jehl, N., Boutten, B., Jegou, Y., Beaumont, C., Bihan-Duval, E.I., 2003. Variation of chicken technological meat quality in relation to genotype and preslaughter stress conditions. *Poult Sci* 82, 1829-1838.
- Devine, C.E., Wild, D.J.C., Cummings, T.L., Reed, H., 2001. Factors affecting tenderness of electrically stimulated poultry. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 44, 171-175.
- Dickens, J., Lyon, C., 1995. The effects of electrical stimulation and extended chilling times on the biochemical reactions and texture of cooked broiler breast meat. *Poult Sci* 74, 2035-2040.
- Dunn, A.A., Tolland, E.L.C., Kilpatrick, D.J., Gault, N.E.S., 2000. Relationship between early post-mortem muscle pH and shortening-induced toughness in the Pectoralis major muscle of processed broilers air-chilled at 0 degrees C and 12 degrees C. *British Poultry Science* 41, 53-60.

- Gigaud, V., Sante-Lhoutellier, V., Parafita, E., et al., 2010. Electrical or gas stunning: Which consequences for the meat quality in three chicken genotypes? In: XIIIth European Poultry Conference.
- Gregory, N., 2010. How climatic changes could affect meat quality. *Food Research International* 43, 1866-1873.
- Gregory, N., Wotton, S., 1992. Effect of wetting a chicken's feathers on the effectiveness of electrical stunning. *Research in veterinary science* 53, 250-251.
- Hindle, V., Lambooij, E., Reimert, H., Workel, L., Gerritzen, M., 2010. Animal welfare concerns during the use of the water bath for stunning broilers, hens, and ducks. *Poult Sci* 89, 401-412.
- Hindle, V., Lambooij, E., Reimert, H.G.M., Workel, L., Gerritzen, M., 2009. Electrical water bath stunning of poultry. In: *Animal Science Group Wageningen*.
- Ismail, I., Huda, N., Fazilah, A., 2011. Surimi-like material from poultry meat and its potential as a surimi replacer. *Asian Journal of Poultry Science* 5, 1-12.
- Janisch, S., Krischek, C., Wicke, M., 2011a. Color values and other meat quality characteristics of breast muscles collected from 3 broiler genetic lines slaughtered at 2 ages. *Poult Sci* 90, 1774-1781.
- Janisch, S., Krischek, C., Wicke, M., 2011b. Color values and other meat quality characteristics of breast muscles collected from 3 broiler genetic lines slaughtered at 2 ages. *Poult Sci* 90, 1774-1781.
- Janisch, S., Krischek, C., Wicke, M., 2011c. Color values and other meat quality characteristics of breast muscles collected from 3 broiler genetic lines slaughtered at 2 ages. *Poult Sci* 90, 1774-1781.
- Jeong, J., Janardhanan, K., Booren, A., Harte, J., Kang, I., 2011a. Breast meat quality and consumer sensory properties of broiler carcasses chilled by water, air, or evaporative air. *Poult Sci* 90, 694-700.
- Jeong, J., Janardhanan, K., Booren, A., Karcher, D., Kang, I., 2011b. Moisture content, processing yield, and surface color of broiler carcasses chilled by water, air, or evaporative air. *Poult Sci* 90, 687-693.
- Kahraman, T., Bayraktaroglu, A.G., Vural, A., Issa, G., Ergun, E., 2011. Electron microscopy of contractile bands and quality characteristics in high-voltage electrical stimulation broiler breast meat. *Poult Sci* 90, 486-490.
- Kandeepan, G., Anjaneyulu, A., Rao, V., Pal, U., Mondal, P., Das, C., 2009. Feeding regimens affecting meat quality characteristics. *Meso* 11, 240-249.
- Kettlewell, P.J., 1989. Physiological-Aspects of Broiler Transportation. *Worlds Poultry Science Journal* 45, 219-227.
- Knezacek, T.D., Olkowski, A.A., Kettlewell, P.J., Mitchell, M.A., Classen, H.L., 2010. Temperature gradients in trailers and changes in broiler rectal and core body temperature during winter transportation in Saskatchewan. *Canadian Journal of Animal Science* 90, 321-330.
- Kurt, S., Kilincceker, O., 2011. Mixture optimization of beef, turkey, and chicken meat for some of the physical, chemical, and sensory properties of meat patties. *Poult Sci* 90, 1809-1816.
- Kuttappan, V., Lee, Y., Erf, G., Meullenet, J., Mckee, S., Owens, C., 2012. Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. *Poult Sci* 91, 1240-1247.

- Laack, R., Liu, C., Smith, M., Loveday, H., 2000. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poult Sci* 79, 1057-1061.
- Lambooj, E., Gerritzen, M., Engel, B., et al., 1999. Behavioural responses during exposure of broiler chickens to different gas mixtures. *Applied animal behaviour sciences* 62, 255-265.
- Liu, Z., Lu, L., Li, S., Zhang, L., Xi, L., Zhang, K., Luo, X., 2011. Effects of supplemental zinc source and level on growth performance, carcass traits, and meat quality of broilers. *Poult Sci* 90, 1782-1790.
- Lopez, K., Schilling, M., Corzo, A., 2011. Broiler genetic strain and sex effects on meat characteristics. *Poult Sci* 90, 1105-1111.
- Lopez, K., Schilling, M.W., Armstrong, T.W., Smith, B.S., Corzo, A., 2012. Sodium chloride concentration affects yield, quality, and sensory acceptability of vacuum-tumbled marinated broiler breast fillets. *Poult Sci* 91, 1186-1194.
- Lyon, B.G., Lyon, C.E., Hudspeth, J.P., 1994. Texture Profiles of Canned Boned Chicken As Affected by Chilling-Aging Times. *Poult Sci* 73, 1475-1478.
- Lyon, C., Davis, C., Dickens, J., Papa, C., 1989. Effects of electrical stimulation on the post-mortem biochemical changes and texture of broiler pectoralis muscle. *Poult Sci* 68, 249-257.
- Mitchell, M., Kettlewell, P., 2009. Welfare of poultry during transport - a review. In: *Poultry Welfare Symposium*.
- Nissen, P.M., Young, J.F., 2006. Creatine monohydrate and glucose supplementation to slow- and fast-growing chickens changes the postmortem pH in *pectoralis major*. *Poult Sci* 85, 1038-1044.
- Pinillos, R., 2010. Analysis of results from a questionnaire sent to the poultry industry to estimate the most common stunning and slaughter practices and summary of literature in electrical water bath parameters. In: *Animal Welfare Team DEFRA*.
- Prinz, S., 2010. Electrical stunning of broiler chickens. In: *XIIIth European Poultry conference*.
- Rotabakk, B.T., Birkeland, S., Jeksrud, W.K., Sivertsvik, M., 2006. Effect of modified atmosphere packaging and soluble gas stabilization on the shelf life of skinless chicken breast fillets. *Journal of Food Science*. 2006 71(2): S124-S131.
- Saha, A., Lee, Y., Meullenet, J.F., Owens, C.M., 2009. Consumer acceptance of broiler breast fillets marinated with varying levels of salt. *Poult Sci* 88, 415-423.
- Sams, A., Mills, K., 1993. The effect of feed withdrawal duration on the responsiveness of broiler pectoralis to rigor mortis acceleration. *Poult Sci* 72, 1789-1796.
- Samuel, D., Park, B., Sohn, M., Wicker, L., 2011. Visible-near-infrared spectroscopy to predict water-holding capacity in normal and pale broiler breast meat. *Poult Sci* 90, 914-921.
- Schneider, B., Renema, R., Betti, M., Carney, V., Zuidhof, M., 2012. Effect of holding temperature, shackling, sex, and age on broiler breast meat quality. *Poult Sci* 91, 468-477.
- Simonovic, S., Grashorn, M., 2010. Effect of different electrical stunning conditions on meat quality in broilers. In: *XIIIth European Poultry Conference*.

- Skarovsky, C.J., Sams, A.R., 1999. Tenderness, moisture loss and post-mortem metabolism of broiler Pectoralis muscle from electrically stimulated and air chilled carcasses. *British Poultry Science* 40, 622-625.
- Vecerek, V., Grbalova, S., Volslarova, E., Janackova, B., Malena, M., 2006. Effects of travel distance and the season of the year on death rates of broilers transported to poultry processing plants. *Poult Sci* 85, 1881-1884.
- Vieira, F., Silva, I., Barbosa Filho, J., Vieira, A., Broom, D., 2011. Preslaughter mortality of broilers in relation to lairage and season in a subtropical climate. *Poult Sci* 90, 2127-2133.
- Walker, L., Birkhold, S., Kang, I., Hirschler, E., Sams, A., 1996. The effects of post-mortem electrical stimulation and muscle tensioning in two broiler muscles. *Poult Sci* 75, 1118-1120.
- Walker, L., Shackelford, S., Birkhold, S., Sams, A., 1995. Biochemical and structural effects of rigor mortis-accelerating treatments in broiler pectoralis. *Poult Sci* 74, 176-186.
- Warriss, A., Pagazartundua, A., Brown, S.N., 2005. Relationship between maximum daily temperature and mortality of broiler chickens during transport and lairage. *British Poultry Science* 46, 647-651.
- Warriss, P.D., Knowles, T.G., Brown, S.N., Edwards, J.E., Kettlewell, P.J., Mitchell, M.A., Baxter, C.A., 1999. Effects of lairage time on body temperature and glycogen reserves of broiler chickens held in transport modules. *Veterinary Record* 145, 218-222.
- Webb, E., Casey, N., 2010. Physiological limits to growth and the related effects on meat quality. *Livestock Science* 130, 33-40.
- Weeks, C., 2007. Poultry handling and transport. In: *Livestock handling and transport*, pp. 295-310.
- Werner, C., Reiners, K., Wicke, m., 2005. Mortalitätsraten beim Transport von Schlachtschweinen. Ausgewählte Einflussfaktoren. *Fleischwirtschaft* 85, 133-136.
- Woelfel, R., Owens, C., Hirschler, E., Martinez-Dawson, R., Sams, A., 2002. The characterization and incidence of pale, soft, and exudative broiler meat in a commercial processing plant. *Poult Sci* 81, 579-584.
- Wojcik, A., Mituniewicz, T., Iwanczuk-Czernik, K., Sowinska, J., Witkowska, D., Chorazy, L., 2009. Contents of macro- and microelements in blood serum and breast muscle of broiler chickens subjected to different variants of pre-slaughter handling. *Czech Journal of Animal Science* 54, 175-181.
- Xiao, S., Zhang, W., Lee, E., Ma, C., Ahn, D., 2011. Effects of diet, packaging, and irradiation on protein oxidation, lipid oxidation, and color of raw broiler thigh meat during refrigerated storage. *Poult Sci* 90, 1348-1357.
- Xu, L., Yue, H., Wu, S., Zhang, H., Ji, F., Zhang, L., Qi, G., 2011. Comparison of blood variables, fiber intensity, and muscle metabolites in hot-boned muscles from electrical- and gas-stunned broilers. *Poult Sci* 90, 1837-1843.
- Young, J.F., Karlsson, A.H., Henckel, P., 2004. Water-holding capacity in chicken breast muscle is enhanced by pyruvate and reduced by creatine supplements. *Poult Sci* 83, 400-405.
- Young, L., Cason, J., Smith, D., Lyon, C., Dickens, J., Walker, J., 2005. Effects of electrical stimulation and simulated conventional- and extended chilling method on cooked chicken breast meat texture and yield. *International Journal of Poultry Science* 4, 60-63.

- Young, L., Smith, D., 2004. Moisture retention by water- and air-chilled chicken broilers during processing and cutup operations. *Poult Sci* 83, 119-122.
- Young, L.L., Buhr, R.J., 2000. Effect of electrical stimulation and polyphosphate marination on drip from early-harvested, individually quick-frozen chicken breast fillets. *Poult Sci* 79, 925-927.
- Zhuang, H., Savage, E., Smith, D., Berrang, M., 2008. Effect of dry-air chilling on Warner-Bratzler shear force and water-holding capacity of broiler breast meat deboned four hours postmortem. *International Journal of Poultry Science* 7, 743-748.
- Zhuang, H., Savage, E.M., 2012. Postmortem aging and freezing and thawing storage enhance ability of early deboned chicken pectoralis major muscle to hold added salt water. *Poult Sci* 91, 1203-1209.
- Zhuang, H., Savage, E.M., Lawrence, K., 2010. Effect of 3 postmortem electrical stimulation treatments on the quality of early deboned broiler breast meat. *Poult Sci* 89, 1737-1743.