



## **Husdyrenes udnyttelse og omsætning af organiske og uorganiske selenkilder er forskellig, og hvilke muligheder er der for at øge udnyttelsen af selen fra foderet og dermed reducere udskillelsen?**

Dorthe Carlson og Hanne Damgaard Poulsen  
Aarhus Universitet, Institut for Husdyrvidenskab, Foulum

### **Indledning**

I en tidligere rapport omkring selenanvendelse i dansk landbrug (Christensen et al., 2006) var konklusionen bl.a., at der på ejendomme med intensivt dyrehold sker en betydelig selen-tilførsel til marken ved udbringning af husdyrgødning. Desuden konkluderedes, at omfanget af selentilskud til foder, den samlede foderrations selenindhold og husdyrenes udnyttelse af foderrationens selenindhold var utilstrækkeligt belyst. Baggrunden for udredningen var, at Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri i 2006 ønskede en udredning omkring konsekvenserne ved at tilføre selenberiget handelsgødning til det danske jordbrug. Status er, at der endnu ikke er ændret praksis angående anvendelse af selenberiget handelsgødning i Danmark. Til husdyrfoder er to uorganiske selenforbindelser: Na-selenit og Na-selenat samt tre forskellige organiske selenkilder (selenberiget gær) godkendte som fodertilsætningsstoffer indenfor EU (<http://ec.europa.eu/food/food/animalnutrition/feedadditives>). De organiske selenkilder er alle først blevet godkendt siden slutningen af 2006. Det maksimalt tilladte seleniveau i alt dyrefoder er 0,5 mg pr. kg foder (vare ikke tørstof).

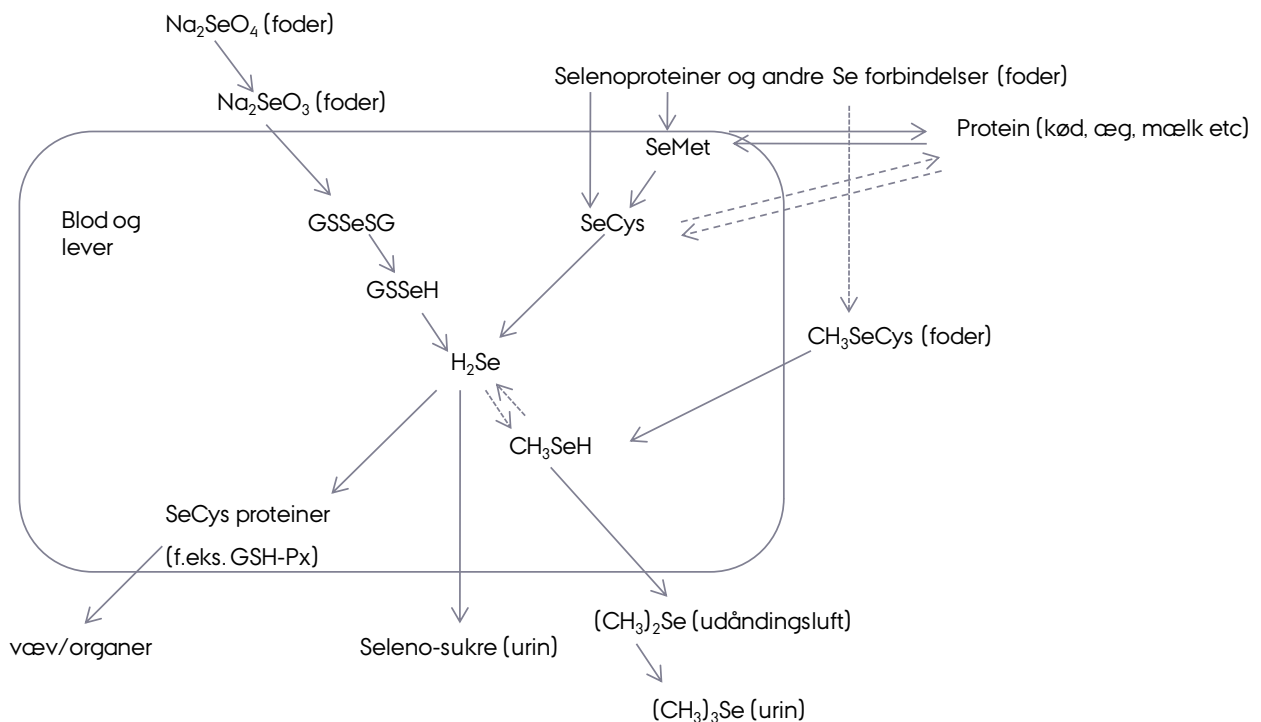
Formålet med nærværende redegørelse er at opsummere den aktuelle viden omkring selens anvendelse i husdyrproduktionen her fire år senere. I rapporten gøres rede for, hvordan organisk og uorganisk selen udnyttes og omsættes i kroppen, og hvordan et overskud udskilles igen. Der gøres ligeledes rede for, hvilke udfordringer der fortsat er mht. til menneskers og husdyrs selenforsyning samt udledningen af selen fra husdyrproduktionen.

### **Selens fysiologiske funktion**

Selen er et livsnødvendigt sporelement for alle pattedyr og fugle. Selens hovedfunktion er at danne det aktive center i såkaldte seleno-proteiner, hvoraf der p.t. er fundet mere end 30 forskellige (Hefnawy and Tortora-Perez, 2010). Langt de fleste af disse proteiner er enzymer, der aktiverer redox reaktioner i bl.a. blod, nyrer, lunger og muskler. Selens overordnede funktion er således at udøve anti-oxidative funktioner i kroppen. Disse anti-oxidative processer er nødvendige for bl.a. vækst, reproduktion og forebyggelse af sygdomme. De mest centrale og veldefinerede selenafhængige enzymer er gruppen af glutathion peroxidaser (GSH-Px), der beskytter mod peroxidative skader i alle kroppens organer og væv.

## Selens metabolisme

Der er stor forskel på, hvordan selen optages og omsættes i kroppen afhængig af, om selen sidder i uorganiske eller organiske forbindelser i foderet. Desuden er der forskel på, hvilke organiske forbindelser der findes i forskellige foderafgrøder (Rayman et al., 2008), og omsætningen af disse forskellige organiske forbindelser vil variere. De organiske selenforbindelser i foderet kan stamme fra de foderstoffer (hovedsageligt plantedele), der indgår i foderblandingen eller fra de organiske selenberigede gærprodukter, der må anvendes som tilsætningsstof i foderet.



**Fig. 1.** Simplificeret skitse af selenomsætning i kroppen som afhænger af, om selen indtages som Na-selenat ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ), Na-selenit ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) eller som organiske forbindelser ( $\text{SeMet}$ ,  $\text{SeCys}$  eller  $\text{CH}_3\text{SeCys}$ ). Selenat og selenit reduceres (via glutathion,  $\text{GSSeSG}$  og  $\text{GSSeH}$ ) til selenid ( $\text{H}_2\text{Se}$ ) i hhv. leveren og de røde blodlegemer, og  $\text{SeCys}$  omdannes i leveren til selenid vha. enzymer kaldet lyaser. Selenid omdannes i leveren til selenoproteiner (modificeret efter Finley, 2006 og Rayman et al., 2008).

Biotilgængeligheden af selen fra foderet kan variere imellem dyrearter pga. forskelligt miljø i mavetarmkanalen, men når selen er absorberet, vil omsætningen af de forskellige forbindelser følge de samme omsætningsveje (Fig. 1). Når uorganisk eller organisk selen omsættes i kroppen, omdannes det først til hydrogen selenid ( $\text{H}_2\text{Se}$ ), som er et centralt led i selens omsætning, udnyttelse og udskillelse. I leveren bruges selenid til indlejring i selenoproteinerne, der udskilles til blodet og transporteres til forskellige væv i kroppen (Taylor et al., 2009). I modsætning til de forholdsvis simple reduktionsprocesser for de uorganiske forbindelsers omdannelse til selenid er omdannelsen af seleno-methionin ( $\text{SeMet}$ ) til selenid mere kompliceret.  $\text{SeMet}$ , der kommer fra foderet, indlejres i kroppens protein på lige fod med svovlholdig methionin. Her vil selen sidde som et stabilt og sikkert selenlager (Suzuki, 2005). Når kroppens proteiner omsættes (nedbrydes), omdannes  $\text{SeMet}$  til Seleno-cystein ( $\text{SeCys}$ ).

spaltes som nævnt herefter af særlige enzymer (lyaser), og selenid dannes, som herefter kan indgå i selenoproteiner som beskrevet for uorganiske selenforbindelser.

Overskydende selen udskilles med urinen og ved meget høje doseringer også med udåndingsluften. I begge tilfælde udskilles selen efter en trinvis metyleringsproces. I urinen udskilles selen i form af monomethylerede sukkerforbindelser og som trimetylselen  $((\text{CH}_3)_3\text{Se})$ , hvor den i udåndingsluften findes som dimetylselen  $((\text{CH}_3)_2\text{Se})$  (Suzuki, 2005). Dimetylselen kan genkendes som "hvidløgs-ånde" hos husdyr, der har indtaget toksiske niveauer af selen. I gødning findes der flere typer selenforbindelser. Blandt andet findes der ikke-absorberet selen, som findes på den form, som den blev tildelt med foderet (ikke omsat). Dertil kommer, at der også findes andre selenforbindelser (f.eks. selenid), der er omsat af mavetarmkanalens mikroorganismer.

Hvis selen er i begyndende underskud, vil kroppen prioritere de centrale organer såsom hjernen, hypofysen, skjoldbruskkirtlen og binyrerne til syntese af seleno-enzymmer (Hefnawy and Tortora-Perez, 2010). I dette tilfælde har blodet således lavest prioritet, og blodets indhold af GSH-PX vil være lavt. Der er desuden en høj korrelation imellem blodets seleniveau og GSH-PX-aktivitet. Måling af GSH-PX-aktivitet i blodprøver er således en god indikator for dyrets "langtids"-selenstatus. Ved akut selenmangel vil der ikke umiddelbart observeres ændringer i GSH-PX-aktivitet i fuldblod, da de røde blodlegemer har en forholdsvis langsom omsætning. Der vil således gå flere dage (uger), før en akut reduktion i selenindtag vil vise sig som en målbar reduktion i GSH-PX-aktivitet i fuldblod.

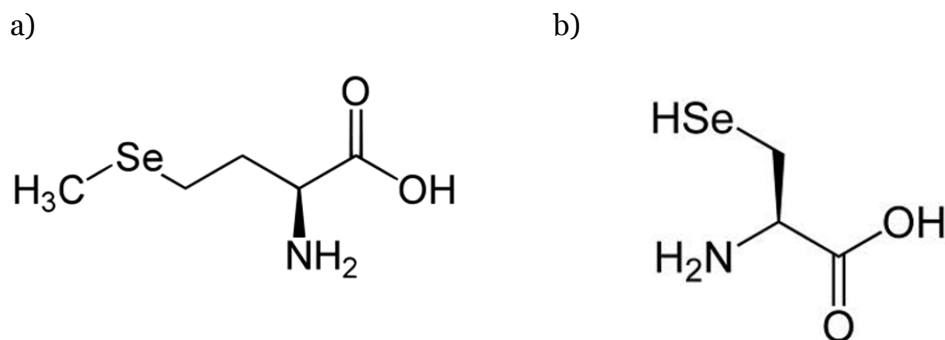
Det har hidtil været opfattelsen, at der var større risiko for selenforgiftning ved indtag af organiske selenkilder over længere tid i forhold til uorganiske kilder, da de let kan optages og aflejres i dyrets protein i stedet for at blive udskilt hurtigt. Det er dog ikke bevist, at et relativt højt indtag af organiske selenkilder over en længere periode skulle forårsage toksiske symptomer (Rayman et al., 2008). Til gengæld er der større risiko for akut forgiftning, hvis dyret pludselig får en meget høj koncentration af selen fra uorganiske forbindelser i forhold til fra SeMet (Rayman, 2004). Selenforgiftning kan resultere i nedsat produktivitet og lammelse mv., og et ældre dansk forsøg har vist, at førstelægssøer og deres pattegrise (indtil 9 uger efter fødslen) ikke døde af at få op til 16 ppm selen (som selenit). Der blev ikke fundet effekt af den høje selendosering på søernes reproduktion, men pattegrisenes tilvækst blev nedsat ved tildeling af foder med det høje selenindhold (Poulsen et al., 1989).

Hvis dyret er i methionin-underskud, vil SeMet give mindre selen til selenafhængige enzymer, end hvis dyret er i balance mht. methionin (Behne et al., 2009; Butler et al., 1989; Schrauzer, 2000). Dvs. ved anvendelse af organisk selen (SeMet) i dyrefoder skal man være opmærksom på mulige interaktioner med proteinomsætningen. Da alt svinefoder i dag er optimeret mht. methionin, må det dog formodes, at en forholdsvis høj andel af selen fra SeMet er tilgængelig for de selenafhængige enzymer. Det samme antages for fjerkræfoder.

### **Selenspeciering i husdyrfoder**

Na-selenit og Na-selenat er stadigvæk de mest almindelige selenforbindelser, der anvendes som selentilskud til de danske husdyr. Men som nævnt er flere selenberigede gærprodukter

blevet godkendt som fodertilsætningsstof siden 2006. Selenberiget gær produceres ved at fodre en gærlinje, som har et højt svovlbehov, med selen af uorganisk og organisk oprindelse. Gærcellerne vil indbygge selen på svovls plads, og slutproduktet består af ca. 60-80 % SeMet, 3-5 % SeCys, <1 % selenit, og resten udgør spormængder af forskellige selenforbindelser såsom Se-methyl-selenocystein,  $\gamma$ -glutamyl-Se-methyl-selenocystein, Se-lanthionin osv. (Rayman et al., 2008). Der findes også andre potentielle organiske selenkilder såsom selenberigede mælkesyrebakterier, selenberigede alger og selenproteinat udvundet fra f.eks. soja-protein (Jang et al., 2010; Svoboda et al., 2009a; Svoboda et al., 2009b). Over tid vil udbudet af organiske selenforbindelser formentlig stige yderligere.



**Fig. 2.** De kemiske forbindelser a) selen methionin(SeMet) og b) selen cystein (SeCys), hvor selen sidder på svovls plads i hhv. methionin og cystein.

I planter er der forskel på, hvordan selen aflejres afhængig af art og afhængig af, om planten er selenakkumulerende eller ej. Desuden er der stor forskel på, hvilke forbindelser selen sidder i afhængig af plantetype. De selenakkumulerende planter, der kan indeholde op til flere tusinde  $\mu\text{g}$  selen pr. g, adskiller sig fra de ikke-akkumulerende planter (normalt under 0,05  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) ved, at de i højere grad danner ikke-protein bundne seleno-aminosyrer, som Seleno-metyl-selenocystein ( $\text{CH}_3\text{SeCys}$ ) og  $\gamma$ -glutamyl-seleno-methyl-selenocystein ( $\gamma\text{-Glu-CH}_3\text{SeCys}$ ) (Cubadda et al., 2010). Selenakkumulerende planter kan inddeles i tre grupper: Selenatakkumulerende (f.eks. broccolispirer og agurker), SeMet-akkumulerende (f.eks. hvede og svampe) og seleno-methionin-seleno-cystein (Met-Se-Cys)-akkumulerende (f.eks. hvidløg og løg) (Suzuki, 2005). Men også forskellige græsmarksafgrøder som f.eks. vejbred og cikorie kan akkumulere betydelige mængder selen (Kristensen, 2010). Selen i kornprodukter findes hovedsageligt proteinbundet i form af SeMet, men kan også forekomme i uorganisk form og i de ikke-proteinbundne seleno-aminosyrer (Bugel et al., 2004; Cubadda et al., 2010; Hart et al., 2011). I Tabel 1 vises det procentvise indhold af de selenforbindelser, der forekommer i forskellige afgrøder dyrket på selengødsket jord. Af disse afgrøder er hvede (halm og kerner), majs og sojabønner almindelige foderstoffer i den danske husdyrproduktion.

**Tabel 1. Procentvis fordeling af forskellige selenforbindelser i forskellige selenberigede afgrøder (samt fisk) (modificeret efter Whanger (2002))**

Materiale	Indhold (% af total selen)					
	Selenat	Selenit	Se-Met	Se-Cys	Met-Se-Cys <sup>1</sup>	Andre forbindelser
Hvedekerner	12-19		56-83	4-12	1-4	4-26
Hvedehalm	97					3
Majskerner			61-64	15-16		20-24
Sojabønner			>80			
Fisk	15-36					
Hvidløg	2-5	8	1-6	1-13	47-87	4-36
Løg			1-4	7-38	42-55	21-35
Broccoli			5	11	63	21
Broccoli-spirer	20		12		45	3

<sup>1</sup>inkludativ  $\gamma$ -glutamyl-Se-methyl-selenocystein ( $\gamma$ -Glu-CH<sub>3</sub>SeCys)

En nylig dansk undersøgelse af mineralindholdet i græsmarksafgrøder viser, at selenindholdet varierer betydeligt imellem forskellige afgrøder. Således var indholdet i vejbred og cikorie betydeligt højere end i f.eks. græs og hvidkløver (Kristensen, 2010). Desuden viste undersøgelsen, at cikorie fra én gård havde et selenindhold på over 0,4 mg pr. kg tørstof (TS) – altså tæt på grænseværdien på 0,5 mg/kg foder (våd vægt) - hvorimod alle afgrøder fra de andre gårde havde et indhold på langt under 0,1 mg/kg TS. Disse resultater tyder på, at der er meget store forskelle i jordens selenindhold, og det kan være nødvendigt at undersøge regionale forskelle nærmere og finde forklaringer på disse forskelle.

Da selen er et flygtigt grundstof, kan det tabes under forarbejdning og raffinering af foderet (Hefnawy and Tortora-Perez, 2010). Det bør derfor undersøges nærmere, i hvor høj grad selenindholdet og den kemiske form, det sidder på i foderet, varierer i forhold til de gængse behandlinger af foder såsom formaling, varmebehandling, pelletering, lagring, udfodring (tør vs. våd fodring) osv.

Der er p.t. ingen laboratoriemetoder tilgængelige, som gør det muligt at frigøre alt selen fra et fodermiddel, uden at der samtidig er risiko for at påvirke den form, hvorpå selen sidder i fodermidlet (Fairweather-Tait et al., 2010). Det vil derfor kræve yderligere udvikling af laboratoriemetoder for at måle de forskellige organiske forbindelser, der findes i forskellige fodermidler kvantitativt og bestemme, hvilken betydning de forskellige organiske former evt. kan have for biotilgængeligheden, omsætningen og dermed også for selenudskillelsen fra husdyrproduktionen.

### **Biotilgængelighed af selen fra foder og forskellige tilskudskilder**

Aminosyrebundet selen absorberes i tyndtarmen via aminosyre-transportproteiner i tarmen, mens selenat absorberes via aktiv transport, og selenit absorberes via passiv diffusion over

tyndtarmen. Absorptionen af uorganisk selen afhænger i høj grad af interaktioner med andre næringsstoffer i tarmen. Generelt er absorptionen af selen højere hos enmavede (f.eks. svin og fjerkræ) i forhold til drøvtyggere (f.eks. får og kvæg). Den lavere absorption hos drøvtyggere skyldes sandsynligvis, at vommens mikrober reducerer selen til uopløselige forbindelser som f.eks. selenid (Spears, 2003). Et humant forsøg viste, at biotilgængeligheden af selen fra hvedekiks i høj grad afhang af, hvilken form Se var på i kiksene. Således fandt de, at biotilgængeligheden (målt som selen i plasma) fra SeOMet var betydeligt lavere end fra SeMet (Kirby et al., 2008). Der findes ingen data på biotilgængeligheden af selen fra Met-Se-Cys eller  $\gamma$ -Glu-CH<sub>3</sub>SeCys, som findes i forskellig mængde i diverse afgrøder (Rayman et al., 2008).

Et balanceforsøg på slagtesvin viste, at den tilsyneladende absorption af selen fra hhv. selenit og SeMet var ca. 75 % af indtaget (0,3 mg/kg foder) uafhængig af selenkilde (Mahan and Parrett, 1996). Det samme forsøg viste, at selenindholdet i urinen blev halveret hos de dyr, der fik SeMet i en syvdages balanceperiode i forhold til dem, der fik selenit, hvilket viser, at SeMet aflejres i dyrenes proteinpuljer. I slagtesvineforsøg (30-100 kg) har man fundet, at Na-selenit, selenberigede mælkesyrebakterier og selenberiget gær resulterede i de samme koncentrationer af selen og GSH-Px-aktivitet i serum, når de bliver tildelt i samme mængde (0,3 mg/kg foder) (Svoboda et al., 2009a). Tilsvarende resultater er fundet ved sammenligning mellem selenberigede alger og Na-selenit og selenberiget gær (Svoboda et al., 2009b). I de samme to forsøg fandt man til gengæld, at selenindholdet i muskler var højest i gruppen, der fik SeMet i forhold til uorganisk selen eller produkter, hvor selen hovedsageligt er bundet til cystein. Disse forsøg viser, at omsætning af SeCys (fra selenberigede mælkesyrebakterier eller alger) ikke i samme grad følger proteinomsætningen som SeMet. Dette skyldes som nævnt, at SeCys nedbrydes af lyaser, der gør selen tilgængelig for de selenafhængige selenproteiner (se fig. 1), og SeCys indgår derfor kun delvist i kroppens generelle proteinomsætning (Whanger, 2004). Man bør således være opmærksom på, at de organiske selenprodukters effekt kan variere, og at produkternes SeMet og SeCys indhold bør fremgå af varedeklARATIONEN.

Sammenligning af tre forskellige organiske kilder (to selenberigede gærtyper og et selenproteinat) i et slagtesvineforsøg viste, at biotilgængeligheden varierede imellem de tre typer afhængig af, hvilken responsparameter der blev målt på. Således viste forsøget, at selenproteinat øgede selenindholdet i serum og lever, den ene af de to selenberigede gærtyper øgede serum- og muskelindholdet, og den anden af de selenberigede gærtyper havde tilsyneladende ingen effekt på selenstatus i forhold til kontrollen, hvor der ikke var tilsat ekstra selen til foderet (Jang et al., 2010). Dette viser, at alle nye typer af organisk selen bør undersøges i forsøg, inden de tages i brug. Desuden tyder resultatet på, at selenproteinatet ikke indeholdt betydelige mængder af SeMet, da selen ikke blev aflejret i kødet som SeMet fra den ene af de selenberigede gærtyper. I det nævnte forsøg blev der ikke analyseret for de biologiske parametre (f.eks. GSH-Px), som er relevante indikatorer for dyrenes fysiologiske selenstatus.

De organiske selenkilder bliver i høj grad markedsført til søer. Dette kan skyldes, at søerne og smågrisenes selenstatus reduceres med søernes lægnummer (Poulsen, 1993). Når der anvendes Se-methionin som tilskud, opbygger søerne en selenpulje i kroppens protein, og mælkenes selenindhold forøges ligeledes. Men til trods for det forøgede selenindhold i serum og mælk

fra søerne blev smågrisenes GSH-Px-aktivitet i serum ikke påvirket af anvendelse af SeMet i forhold til uorganisk selen (Mahan, 2000; Svoboda et al., 2008). Dette viser, at SeMet ikke er så let (hurtig) tilgængelig for biologisk aktivitet som de uorganiske kilder.

## **Selen i husdyrfoder og gylle**

Selenindholdet i langt de fleste råvarer i Danmark er lavt (under 0,1 mg/kg tørstof), dog har fiskemel, der anvendes i smågrise-foder, et forholdsvis højt indhold (> 2 mg/kg tørstof). Da selenbehovet til de danske husdyr forventes at være 0,1-0,35 mg/kg tørstof, afhængig af dyreart og alder, er det almindelig praksis at tilsætte ekstra selen til de fleste fodertyper. Der tilsættes typisk Na-selenit eller Na-selenat i koncentrationer, der svarer til normerne, idet der i de fleste tilfælde tages hensyn til tabelværdier for råvarernes selenindhold, når der tilsættes ekstra selen til foderet. I en almindelig dansk svinefoderblanding bestående af byg, hvede og sojaskrå vil selenindholdet være ca. 0,06 mg/kg tørstof, og hvis der er tale om en slagtesvineblanding, vil der typisk blive tilsat 0,2 mg selen pr. kg tørstof fra Na-selenit. Det totale selenindhold vil således være 0,26 mg/kg tørstof. Hvis en tilsvarende blanding indeholder 6 % fiskemel, vil råvarernes selenindhold være betydeligt højere (ca. 0,2 mg/kg tørstof), og hvis der tilsættes Na-selenit svarende til smågrisens behov (0,35 mg/kg tørstof), vil det samlede selenindhold i sådan en blanding være 0,55 mg/kg tørstof - altså over den maksimale tilladte grænse. Disse beregninger tyder på, at det er væsentligt at inddrage råvarernes selenindhold, når en foderblanding optimeres, og især når der er tale om smågrise-foder, der kan indeholde fiskemel.

I en dansk undersøgelse blev selen fundet i 14 af 29 gylleprøver (svin og kvæg) ved en detektionsgrænse på 0,1 mg/kg tørstof. Af de to gylletyper var indholdet højest i svinegylle, og den maksimale koncentration, der blev målt, var 2 mg/kg tørstof (Paulsen et al., 2002). At koncentrationen af selen fra svinegylle er højest skyldes formentlig, at selenindholdet i smågrise-foder er højere end i kvægfoder. Det fremgår ikke af rapporten (Paulsen et al., 2002), hvordan svinebesætningerne var sammensat i forhold til smågrise, slagtesvin osv., men det er sandsynligt, at de høje koncentrationer i svinegylle fra nogle besætninger skyldes, at smågrise (< 20 kg) udgjorde en betydelig andel af disse besætninger. Ovennævnte målinger er udført inden indførelsen af organiske selenkilder i Danmark. Forsøg har vist, at selenindholdet i urin fra voksende grise, der har fået SeMet i forhold til uorganisk selen, reduceres betydeligt pga. SeMet's indlejring i kroppens proteinpuljer (Mahan and Parrett, 1996). Det ville være af stor interesse at undersøge, hvilken betydning anvendelsen af organiske selenkilder har på selenindholdet i hhv. gødning og urin fra forskellige kategorier af dyr. Som nævnt tidligere er der forskel på, hvilke forbindelser selen sidder i afhængig af, om det befinder sig i urin eller gødning. Det er også højest tænkeligt, at der er forskel på, om selen er bundet i ko-, fjerkræ- eller grise-gødning pga. forskellig mikrobiel aktivitet i mavetarmkanalen. Hvad sådanne forskelle betyder for selens akkumulering i og udvaskningen fra de danske marker er ikke kendt.

## Husdyrenes betydning for human selenforsyning og sundhed

Selen er også et vigtigt mikronæringsstof med betydning for anti-oxidative processer hos mennesker. Et højt selenindtag kan muligvis nedsætte risikoen for kræft. De mest betydende fødevarer til human selenforsyning i Danmark er kød, mejeriprodukter, æg og fisk. På grund af en mulig effekt

*Undersøgelser af, hvilket oxidationsstrin selen befinder sig på, og i hvilke kemiske forbindelser selen er placeret i organisk materiale, kaldes for selenspeciering*

af selen på kræft kan der være ønske om at øge selenindtaget hos mennesker. Dette kan bl.a. gøres ved at producere selenberigede fødevarer. Flere forsøg har vist, at selenindholdet i mælk og æg kan forøges betydeligt ved at give hhv. kørerne og de æglæggende høner organisk selen (SeMet) i foderet (Fisinin et al., 2009; Ravn-Haren et al., 2008). Den vigtigste selenkilde for mennesker er kød. Især svinekød (49,9 µg/100g), som indeholder næsten dobbelt så meget selen i forhold til oksekød (28,1 µg/100g) og kylling (23,9 µg/100g). I et studie, hvor mænd i alderen 21-30 år fik en diæt baseret på svinekød, fandt man, at omkring 57 % af diæts selen blev aflejret (Bugel et al., 2004). Dette indikerer, at selen fra kød bliver aflejret i kroppens muskler og derfor ligger som en pulje, der langsomt frigives efterhånden som proteinet i musklerne omsættes. Hvis et menneske har akut selenmangel, vil indtag af selen fra kød derfor ikke umiddelbart have stor effekt på selenstatus. Der er kun meget lidt viden om selenspeciering i kød og andre animalske produkter (Rayman et al., 2008). I hvilke forbindelser, selen sidder i kødet, vil afhænge af, hvilke selenkilder dyrene har fået i foderet. Kødet selenforbindelser vil overvejende bestå af SeCys, hvis dyret har fået uorganisk selen i foderet, hvorimod kødet overvejende vil indeholde SeMet, hvis det har fået et højt indhold af et SeMet-produkt. Herudover vil kødet indeholde selen i form af selentrisulfid, glutathion-selenopersulfide og metalliske selenider (Rayman et al., 2008). Flere studier har vist, at selen fra fisk og andre havprodukter har en lavere tilgængelighed end fra andre fødevarer. Det skyldes sandsynligvis, at selen sidder på en form, som er utilgængelig for selenproteinsyntese (selenat, Se(-II) og Se (IV) (Rayman et al., 2008). Der mangler som sagt mere viden om, hvilke selenforbindelser der er i fødevarer af forskellig art og herkomst, og hvilken betydning det kan have for den humane selenforsyning.

Udover at øge den humane selenforsyning er det muligt, at kødkvaliteten forbedres, hvis husdyrene fodres med organisk selen, idet forsøg har vist et reduceret dryptab fra svinekød fra slagtesvin, der blev fodret med selenberiget gær inden slagtning (Mateo et al., 2007).

Det kan ikke udelukkes at Se-methionin har andre fysiologiske effekter end de uorganiske kilder. F.eks. har forsøg vist, at Se-methionin har særlig effekt på lymfocytters vækst og andre immunologiske parametre sammenlignet med selenit og selenat (Schrauzer, 2000). Desuden har man fundet, at indlejring af SeMet i kroppens proteiner kan indebære visse negative risici hos børn (Svoboda et al., 2009a). Det bør derfor undersøges nærmere, om organiske selenforbindelser (SeMet) kan have positive eller evt. negative effekter på menneskers såvel som husdyrs immunforsvar, som afviger fra effekten af uorganisk selen. Der er desuden flere studier, der viser, at forskellige organiske selenforbindelser kan have positive effekter på forskellige kræftformer (Ponnampalam et al., 2009; Rayman et al., 2008). Der er således et behov for yderligere viden om, hvilke selenforbindelser der har positive effekter, og hvilke der har negative effekter på mennesker såvel som dyrs sundhed.



## Konklusion og nye forskningsbehov

Ud fra nærværende rapport kan det konkluderes, at omsætningen af organisk selen afhænger af, om selen sidder i methionin eller cystein. SeMet vil indgå i proteinomsætningen på lige fod med svovlholdig methionin. Selen frigives derfor langsomt, når proteinerne nedbrydes, og selen bliver til rådighed for de selenafhængige enzymer. Hvis selen derimod er bundet til cystein, vil en langt større andel indgå direkte i selenstofskiftet, hvor SeCys er en byggesten i de selenafhængige proteiner (enzymer). Der bør derfor anvendes organiske selenkilder indeholdende hovedsageligt SeCys, hvis der ønskes en effektiv optagelse/absorption og hurtig udnyttelse af selen til de selenafhængige enzymer. Hvis der i stedet ønskes, at husdyrene skal have en pulje af selen i kroppen, som langsomt frigives til de selenafhængige enzymer, bør der anvendes SeMet-rige selenkilder. Dette kan være aktuelt forud for en periode, hvor foderoptagelsen er forventelig lav (f.eks. før fravæning af smågrise og hos søer forud for en diegivningsperiode). Desuden kan det være aktuelt at tilsætte ekstra SeMet til foderet, hvis der er et ønske om selenberigede fødevarer som kød, æg og mælk. Selenindholdet i langt de fleste foderstoffer af vegetabilsk oprindelse er meget lav, men der kan forekomme afgrøder med højt indhold. Der er kun begrænset viden om, hvilke selenforbindelser der findes i de forskellige afgrøder og udnyttelsen samt de fysiologiske effekter af de forskellige forbindelser.

En gennemgang af litteraturen viser, at der er flere områder indenfor selenforsyning og -udnyttelse, hvor der er et behov for yderligere viden, inden man har det nødvendige faglige grundlag at træffe forskellige selenrelaterede beslutninger ud fra. Hvis det f.eks. ønskes, at der sker en reduceret udskillelse af selen fra husdyr ud fra et ønske om at begrænse selenindholdet i husdyrgødningen, skal der fokuseres på at skabe en forbedret dokumentation for husdyrs aktuelle fysiologiske selenbehov. Endvidere er det nødvendigt med kendskab til de forskellige selenkilders kvalitative og kvantitative omsætning og udnyttelse, herunder biotilgængelighed belyst for alle relevante arter. Viden om disse forhold vil gøre det muligt at tilpasse foderets selenindhold (kilde og mængde) til dyrenes aktuelle behov, således at under- såvel som overforsyning undgås.

Herunder er listet nogle af de områder, hvor der er behov for yderligere viden:

- Husdyrenes fysiologiske behov optimeret ift. produktion, sundhed, produktkvalitet mv.
- De forskellige selenkilders omsætning, absorption, udnyttelse samt udskillelse.
- Den kvantitative betydning af forskellige organiske former (selenspeciering) i foder og foderadditiver på biotilgængelighed, omsætning og dermed også for selenudskillelse fra husdyrproduktionen over en længere produktionsperiode.
- Betydningen af, hvilke selenformer der findes i fæces og urin på hhv. selenophobning i jorden og udvaskning af selen til vandmiljøet.

- Da selen er et flygtigt grundstof, er der behov for at undersøge, i hvor høj grad selenindholdet og dets kemiske form i foderet varierer i forhold til de gængse behandlinger af foder såsom formaling, varmebehandling, pelletering, lagring, udfodring (tør vs. våd) osv.
- Den kvantitative effekt af forskellige selenforbindelser på menneskers såvel som dyrs sundhed.
- Potentialet i at producere selenberiget mælk, æg og/eller kød (tilsætte ekstra organisk selen til foderet) til fordel for den humane sundhed.
- Hvis der er et potentiale i at producere disse selenberigede fødevarer, er der behov for at undersøge, hvordan det gøres i praksis under danske forhold (hvilke fødevarer, hvilke selenkilder, hvilke koncentrationer, hvor længe skal dyrene have disse koncentrationer, hvilken betydning vil det have for miljøet osv.).
- I arbejdet med at undersøge alle ovenfor nævnt områder er det nødvendigt at udvikle de eksisterende laboratoriemetoder, så man bliver i stand til kvantitativt at måle de forskellige organiske forbindelser (selenspeciering), der findes i forskellige fodermidler, gødning, urin, kød, æg og mælk.

Listen er ikke prioriteret.

### Liste over diverse forkortelser (kemiske formler) anvendt i denne rapport

$(\text{CH}_3)_2\text{Se}$	dimethyl-selen
$(\text{CH}_3)_3\text{Se}$	trimethyl-selen
$\text{CH}_3\text{SeCys}$	seleno-methyl-seleno-cystein
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_4\text{Se}$	selen-lanthionin
GSH-PX	glutathion peroxidaser
GSSeH	glutathion-selenopersulfid
GSSeSG	seleno-diglutathion
$\text{H}_2\text{Se}$	hydrogenselenid
Met-Se-Cys	seleno-methionin-seleno-cystein
$\text{Na}_2\text{SeO}_3$	Na-selenit
$\text{Na}_2\text{SeO}_4$	Na-selenat
SeMet	Seleno-methionin
SeCys	Seleno-cystein
SeOMet	seleno-oxid-methionin
$\text{SeS}_3$	selentrisulfid
$\gamma\text{-Glu-CH}_3\text{SeCys}$	$\gamma$ -glutamyl-seleno-methyl-seleno-cystein

## Referencer

- Behne, D., Alber, D., Kyriakopoulos, A., 2009. Effects of long-term selenium yeast supplementation on selenium status studied in the rat. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 23, 258-264.
- Bugel, S., Sandstrom, B., Skibsted, L.H., 2004. Pork meat: A good source of selenium? *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 17, 307-311.
- Butler, J.A., Beilstein, M.A., Whanger, P.D., 1989. Influence of Dietary Methionine on the Metabolism of Selenomethionine in Rats. *J. Nutr.* 119, 1001-1009.
- Christensen, B. T., Jørgensen, V., Larsen, T., and Poulsen, H. D., 2006. Selenanvendelse i dansk landbrug (Selenium use in Danish Agriculture). In: DJF rapport, markbrug, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 1-62.
- Cubadda, F., Aureli, F., Ciardullo, S., D'Amato, M., Raggi, A., Acharya, R., Reddy, R.A.V., Prakash, N.T., 2010. Changes in Selenium Speciation Associated with Increasing Tissue Concentrations of Selenium in Wheat Grain. *J. Agric. Food Chem.* 58, 2295-2301.
- Fairweather-Tait, S.J., Collings, R., Hurst, R., 2010. Selenium bioavailability: current knowledge and future research requirements. *Am. J. Clin. Nutr.* 91, 1484S-1491S.
- Finley, J.W., 2006. Bioavailability of selenium from foods. *Nutr. Rev.* 64, 146-151.
- Fisinin, V.I., Papazyan, T.T., Surai, P.E., 2009. Producing selenium-enriched eggs and meat to improve the selenium status of the general population. *Critical Reviews in Biotechnology* 29, 18-28.
- Hart, D.J., Fairweather-Tait, S.J., Broadley, M.R., Dickinson, S.J., Foot, I., Knott, P., McGrath, S.P., Mowat, H., Norman, K., Scott, P.R., Stroud, J.L., Tucker, M., White, P.J., Zhao, F.J., Hurst, R., 2011. Selenium concentration and speciation in biofortified flour and bread: Retention of selenium during grain biofortification, processing and production of Se-enriched food. *Food Chemistry* 126, 1771-1778.
- Hefnawy, A.E., Tortora-Perez, J.L., 2010. The importance of selenium and the effects of its deficiency in animal health. *Small Ruminant Research* 89, 185-192.
- Jang, Y.D., Choi, H.B., Durosoy, S., Schlegel, P., Choi, B.R., Kim, Y.Y., 2010. Comparison of Bioavailability of Organic Selenium Sources in Finishing Pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 23, 931-936.
- Kirby, J.K., Lyons, G.H., Karkkainen, M.P., 2008. Selenium speciation and bioavailability in biofortified products using species-unspecific isotope dilution and reverse phase ion pairng-inductively coupled plasma-mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 56, 1772-1779.
- Kristensen, T., 2010. Økologisk græsmarksproduktion og udnyttelse til mælkeproduktion. In: Kristensen, T, Husdyrbrug, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, 1-64.

- Mahan, D.C., 2000. Effect of organic and inorganic selenium sources and levels on sow colostrum and milk selenium content. *J. Anim. Sci.* 78, 100-105.
- Mahan, D.C., Parrett, N.A., 1996. Evaluating the efficacy of selenium-enriched yeast and sodium selenite on tissue selenium retention and serum glutathione peroxidase activity in grower and finisher swine. *J. Anim. Sci.* 74, 2967-2974.
- Mateo, R.D., Spallholz, J.E., Elder, R., Yoon, I., Kim, S.W., 2007. Efficacy of dietary selenium sources on growth and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed diets containing high endogenous selenium. *J. Anim. Sci.* 85, 1177-1183.
- Paulsen, I., Hansen, A. M., Hansen, P., and Nykrog, J., 2002. Miljøfremmede stoffer i flydende husdyrgødning. In: Hansen, A. M., Fyns Amt, 1-30.
- Ponnampalam, E., Jayasooriya, D., Dunshea, F. R., and Gill, H., 2009. Nutritional strategies to increase the selenium and iron content in pork and promote health. In: Report prepared for the Co-operative Research Centre for an Internationally Competitive Pork Industry , Pork CRC, 1-16.
- Poulsen, H.D., 1993. Minerals for sows. Significance of main effects and interactions on performance and biochemical traits. In: The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark, pp. 1-149.
- Poulsen, H.D., Danielsen, V., Nielsen, T.K., and Wolstrup, C. 1989. Excessive dietary selenium to primiparous sows and their offspring. *Acta. vet. scand.* 30, 371-378.
- Ravn-Haren, G., Bugel, S., Krath, B.N., Hoac, T., Stagsted, J., Jorgensen, K., Bresson, J.R., Larsen, E.H., Dragsted, L.O., 2008. A short-term intervention trial with selenate, selenium-enriched yeast and selenium-enriched milk: effects on oxidative defence regulation. *Br. J. Nutr.* 99, 883-892.
- Rayman, M.P., 2004. The use of high-selenium yeast to raise selenium status: how does it measure up? *Br. J. Nutr.* 92, 557-573.
- Rayman, M.P., Infante, H.G., Sargent, M., 2008. Food-chain selenium and human health: spotlight on speciation. *Br. J. Nutr.* 100, 238-253.
- Schrauzer, G.N., 2000. Selenomethionine: a review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. *J. Nutr.* 130, 1653-1656.
- Spears, J.W., 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. *J. Nutr.* 133, 1506S-1509S.
- Suzuki, K.T., 2005. Metabolomics of selenium : Se metabolites based on speciation studies. *Journal of Health Science* 51, 107-114.
- Svoboda, M., Ficek, R., Drabek, J., 2008. Efficacy of organic selenium from se-enriched yeast on selenium transfer from sows to piglets. *Acta Veterinaria Brno* 77, 515-521.

Svoboda, M., Salakova, A., Fajt, Z., Ficek, R., Buchtova, H., Drabek, J., 2009a. Selenium from Se-enriched lactic acid bacteria as a new Se source for growing-finishing pigs. *Polish Journal of Veterinary Sciences* 12, 355-361.

Svoboda, M., Salakova, A., Fajt, Z., Kotrbacek, V., Ficek, R., Drabek, J., 2009b. Efficacy of Se-enriched alga *Chlorella* spp. and Se-enriched yeast on tissue selenium retention and carcass characteristics in finisher pigs. *Acta Veterinaria Brno* 78, 579-587.

Taylor, D., Dalton, C., Hall, A., Woodroffe, M.N., Gardiner, P.H.E., 2009. Recent developments in selenium research. *British Journal of Biomedical Science* 66, 107-116.

Whanger, P.D., 2002. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. *J. Am. Coll. Nutr.* 21, 223-232.

Whanger, P.D., 2004. Selenium and its relationship to cancer: an update. *Br. J. Nutr.* 91, 11-28.