

Mangan til grise i vækst og søer

Sabine Stoltenberg Grove og Thomas Sønderby Bruun

SEGES Innovation P/S

STØTTET AF

Svineafgiftsfonden

Hovedkonklusion

På baggrund af et litteraturstudie samt gennemgang af normsæt fra andre lande, er den danske norm på 40 mg mangan pr. foderenhed inklusiv det naturlige niveau på et passende niveau. Det er normal praksis at tilsætte 40 mg uden hensyn til det naturlige indhold, og dette giver en god sikkerhedsmargin.

Sammendrag

Mangan er et mikromineral, som indgår i flere af grisens essentielle metabolismeprocesser. Mangel på mangan påvirker reproduktionen negativt og kan give fortykkede led og dårlig knoglefunktion. Ved høj produktivitet og hos drægtige søer i specielt sen drægtighed samt under diegivning, er cellernes mitokondrier under stort pres for at generere energi, og det kan øge graden af oxidativt stress. Grisenes evne til at håndtere oxidativt stress påvirkes negativt ved manganmangel, da enzymet superoxid dismutase kræver mangan for at kunne aktiveres.

De nuværende danske normer for mangan til grise i vækst og søer er 40 mg pr. foderenhed uanset dyregruppe. De danske normer er markant højere end normer i Tyskland, Holland, England og USA. Med baggrund i disse forskelle blev et litteraturstudie gennemført for, om nødvendigt at foretage en tilpasning af de danske normer for mangan. De fleste større forsøg med mangan er mere end 25 år gamle og er dermed udført på en genetik, der er fuldstændig anderledes end i dag, men der er ud fra vurderingen af disse ikke fagligt belæg for at ændre på de danske normer for mangan til grise i vækst og søer. Der skal ved valget af kilde til mangan tages højde for, at biotilgængeligheden varierer. Råvarenes bidrag med mangan udgør ca. 10-20 mg pr. foderenhed i danske foderblandinger og fordøjeligheden af det naturlige mangan er ca. 25 % og lavere end for tilsat mangan fra mangansulfat. I praksis bruges også ofte manganoxid, som er knap så tilgængeligt som mangansulfat. Tilsætning af fytase vil bidrage til, at mindre mangan er bundet til fytat efter fordøjelse i maven, og kan dermed sandsynligvis bidrage til en marginal forøgelse af foderets naturlige indhold af mangan.

Om der skal anvendes uorganiske eller organiske kilder til mangan skal være op til den enkelte at afgøre. Der kan forventes en svagt øget biotilgængelighed af organiske mangankilder, men de har ikke resulteret i f.eks. en bedre overførsel af mangan til mælk, så det skal være f.eks. betragtninger omkring knogler, led og klove, der skal være argumentet. Det skal dog tilføjes, at blot at øge mængden af tilsat

mangan heller ikke vil være vejen til overførsel af mere mangan i soens mælk, så generelt giver manganindholdet i soens mælk ikke et retvisende billede af, om manganforsyningen til soen er optimal.

Hvis der endelig skulle ske ændringer, kunne det være en nedjustering af normen for slagtegrise og/eller en ændring af mangannormer fra total til tilsat mangan. Det forventes, at normer for mikromineraler indgår i en samlet vurdering ved opdatering af Normer for Næringsstoffer i 2025.

Baggrund

Mangans funktioner i kroppen

Mangan er en vigtig bestanddel af kroppens mitokondrier, hvor mikromineralet primært fungerer som aktivator for et stort antal metallozymer. Den mest essentielle er pyruvat carboxylase, som katalyserer omdannelsen af pyruvat til oxaloacetat i citronsyrecyklus og sikrer kroppen frigivelse af energi som adenosintriphosphat (ATP) [1,2]. Mangan er også en komponent i mitokondrial superoxid dismutase (SOD) [3], som har betydning for nedbrydningen af superoxid. I kroppen indgår det frie radikal superoxid i cellen. Superoxid er en reaktiv oxygenform, som via oxidativt stress skader kroppen, hvis den ikke fjernes [4]. Desuden indgår mangan i eller aktiverer flere enzymer, der er involveret i festsyreomsætning og proteinsyntese [1,5]. Mangan er også essentiel for syntese af bindevæv [6], og bindevæv i form af kollagen indgår i den organiske matrix, der bidrager til elasticitet og fleksibilitet [7]. Desuden indgår mangan indirekte ved knogledannelse, idet mangan er essentielt for syntesen af mucopolysakkarider og proteoglykaner, som indgår i den organiske matrix i knoglen [3,6-10]. I ledbrusken, som er vigtig for at sikre friktionsfrie overgange mellem knogler i leddets flader [11], indgår mangan også i en betydende proces, idet det aktiverer enzymerne galactotransferase og glycosyltransferase, som begge er essentielle for dannelsen af ledbrusk. I klovene er dannelsen af klovhorn afhængig af enzymet pyruvat carboxylase, og dette enzym aktiveres af mangan [7]. Keratiniseringen, som er den indledende fase i etablering af klovhornet, er essentiel for kvaliteten af kloven, og i forbindelse med produktionen af keratin er mangan essentiel, fordi det aktiverer superoxid dismutase, som skal beskytte lokalt mod oxidativt stress som følge af fedtoxidation under produktionen af klovvævet [7].

Dyrets manganstatus afgøres bedst ved at vurdere indholdet af mangan i knoglevæv [3,12], og når der ses på organer, så er leveren karakteriseret ved at have den højeste koncentration af mangan [13,14], efterfulgt af nyrerne [3,14]. Nyere forskning indenfor fjerkræ indikerer, at markører muligvis kan bruges for at fastlægge manganbehovet, og her foreslås at anvende mangan superoxid dismutase mRNA ekspression i hjertet [15]. Der findes ikke viden om, hvorvidt dette også vil gælde for grise, men hvis markører kunne anvendes, ville dette medføre, at behovet sandsynligvis kunne bestemmes med bedre præcision for de forskellige dyregrupper.

Optagelse og udskillelse af mangan

Mangan optages i kroppen på samme måde som andre divalente ioner - eksempelvis jern, hvilket vil sige, at mangan absorberes fra tyndtarmen via divalent metal transporter 1 (DMT1) og transporteres med ferritin gennem blodet [8]. Mangan lagres primært i knogler, nyrer og lever [16,17]. Mangan har også den egenskab, at det kan transporteres over placenta, hvilket betyder, at manganmangel under drægtigheden kan have effekt på afkommets manganstatus ved fødsel [18], således at manganbehovet efter fødsel øges hos pattegrisene [19].

Ved måling af absorptionen af mangan bør der tages højde for endogent tab, idet en del af det absorbere mangan udskilles og recirkuleres via galde, og dermed bidrager med et øget endogent tab. Det betyder, at der reelt har været absorberet mere end den målte tilsyneladende fordøjelighed og at det samme manganmolekyle kan være absorberet mere end én gang. Der er bl.a. målt betydelig udskillelse med galden i et forsøg med radioaktivt mærket mangan [13]. Den tilsyneladende fordøjelighed af mangan blev af Liu et al. (2014) undersøgt ved at sammenligne to kilder til mangan,

MnSO₄ · H₂O og et manganchelat i form af en methioninhydroxyanalog i en majsbaseret blanding med lavt indhold af fytat og i en mere normal blanding baseret på majs og sojaskrå [20], se Tabel 1.

Tabel 1. Tilsyneladende fordøjelighed af mangan hos grise med en vægt på ca. 40 kg fodret med enten en foderblanding med lavt eller normalt niveau af fytat [20].

Fytatindhold	Lavt ¹			Højt ²		
	Ingen	Uorganisk	Organisk	Ingen	Uorganisk	Organisk
Mangan, mg pr. kg	10,6	27,8	28,5	12,7	32,2	32,8
Phytinsyre, %	0,48	0,41	0,43	0,87	0,81	0,79
Mangan, fordøjelighed, %	27,3 ^b	37,8 ^a	40,8 ^a	25,3 ^b	29,5 ^b	44,3 ^a

¹ Blandingen med lavt fytatindhold var baseret på majsstivelse og sojaproteinkoncentrat. Proteinindholdet var ca. 13 %.

² Blandingen med et højt fytatindhold var baseret på majs og, sojaskrå. Proteinindholdet var ca. 16 %.

^{a,b} Værdier med forskellige bogstaver er statistisk sikkert forskellige (P < 0,05).

Forsøget viste, at foderets naturlige manganindhold havde en fordøjelighed på 25-27 %, mens fordøjeligheden af naturligt og tilsat mangan var 30-44 %, når der var tilsat ca. 20 mg pr. kg og hvor fordøjeligheden var lidt højere ved brug af manganchelat, især i majs-sojaskråblandingen med det højere indhold af fytinsyre [20]. Den højere tilsyneladende fordøjelighed er i sagens natur ikke korrigeret for det endogene tab, da den simpelt beregnes som indtag minus udskillelse divideret med indtag og her påvirker det endogene tab udskillelsen. Da det endogene tab formodentlig er på samme niveau uafhængigt af kilde til mangan, viste studiet dermed, at absorptionen af mangan var lidt lavere ved brug af uorganiske kilder sammenlignet med organisk mangan i form af mangan methioninhydroxyanalog. En mulig forklaring er, at den lave pH i maven kan føre til, at saltene indeholdende de divalente metalioner dissocierer i maven og bindes i fytat, når det kommer ned i tarmen og dette medfører en lavere optagelse [20,21]. Det er dog ikke nødvendigvis forklaringen, da der i studiet ikke var indikationer af, hvorvidt mangan methioninhydroxyanalogen dissocierede ved den lave pH i maven eller ej. Tilsvarende effekt på absorptionen forventes ved andre typer af organiske mikromineraler, som ikke dissocierer ved den lave pH i maven. Der er stor forskel på stabiliteten af chelater ved faldende pH-værdi og laboratorieforsøg har for kobber vist, at dette hænger sammen med selve produktionsprocessen af organiske mikromineraler [22].

Et forsøg med fravænnede grise med en stort set fytatfri foderblanding baseret på skummetmælkspulver, majsstivelse, sukker, sojaolie og vitaminer og mineraler viste, at nettoabsorptionen af mangan fra mangansulfat, det vil sige den tilsyneladende fordøjelighed, var 28-43 % for foderblandinger med tilskud af 2-32 mg mangan pr. kg foder til foder, som var næsten uden mangan (0,24 mg naturligt mangan pr. kg foder) [14]. I balanceforsøg med gylte blev der tilsvarende fundet en tilsyneladende fordøjelighed på 28 % [18]. Finley et al. (1997) pegede på, at der var artsforskelle i udskillelsen af mangan. I mange dyrearter udskilles mangan via urinen og hos nogle primært som mangan i recirkulerende galde [23]. Et forsøg med forskellige doser af labelled mangan (⁵⁴Mn), som enten blev injiceret eller givet i foderet (87 mg pr. dag) til rotter indikerede, at regulering af manganabsorptionen og dermed omsætningen blev opnået ved regulering af selve absorptionen i tyndtarmen og at den ikke blev påvirket af det endogene tab, som blev fundet til at være 8 % uanset mangandosis [24].

Overordnet set tyder det på, at det basale manganindhold fra planter fordøjes ca. 25 %. Ved tilsætning af mangansulfat stiger den gennemsnitlige fordøjelighed, som både kan skyldes en højere fordøjelighed af tilsat mangan og at det endogene tab belaster basalfoderets tilsyneladende fordøjelighed mindre ved højere manganindhold. I foder med et indhold på 40 mg mangan pr. kg foder er fordøjeligheden ud fra disse forsøg sandsynligvis 30-40 % ved brug af mangansulfat, men måske kun 20-30 % ved brug af manganoxid [12,25-27]. Det er overvejende sandsynligt, at fytase øger fordøjeligheden, men der er ikke fundet gode forsøg til at belyse fytases effekt og der er en risiko for, at mangan bindes til fytat i tyndtarmen, når pH stiger i forhold til den lave pH i maven [21]. Evnen for de forskellige divalente ioner

til at danne komplekser med fytat er af Boerboom (2021) angivet til at være stærkest hos kobber efterfulgt af zink, kobalt, mangan, jern og calcium (faldende rækkefølge). Stabiliteten af de dannede komplekser er stærkest for zink, efterfulgt af kobber, nikkel, kobalt, mangan og calcium (faldende rækkefølge) [21].

Nedre og øvre grænser for indtag af mangan

Flere studier har vist, at underforsyning i forhold til det amerikanske National Research Councils normer for vækstgrise på 2-4 mg mangan pr. dag [27] ikke påvirkede daglig tilvækst og fodereffektivitet [2,19]. Ved fodring med foder indeholdende 0,5 mg mangan pr. kg foder blev der fundet flere grise med knogledefekter og atypisk knoglevækst. Når foderet til sogrise og polte indeholdt 0,5 mg mangan pr. kg foder resulterede det i uregelmæssig eller udeblivende brunst [2]. Den anbefalede koncentration af mangan til drægtige og diegivende søer er angivet til 25 mg pr. kg foder [27], og for drægtige søer har konsekvenserne af underforsyning med mangan været nedsat fødselsvægt og svagfødte grise [2,9,28]. Ifølge Fødevareministeriets lovbekendtgørelse nr. 192 er det maksimalt tilladte indhold af mangan i fuldfoder til grise 150 mg pr. kg foder [29]. Det blev i 1950 påstået, at fodring med >50 mg mangan pr. kg foder kan udløse oxidativt stress [30], men det blev ikke understøttet af efterfølgende forsøg. I USA viste et studie i 2016, at det gennemsnitlige niveau af mangan til foder til vækststyr fra f.eks. 11-23 kg lå på 28 mg pr. kg, eller omkring 10 gange højere end de amerikanske normer fra National Research Council. Tilsvarende var indholdet af mangan i foder til slagtegrise fra 55-100 kg (19,4 mg pr. kg) ca. 11 gange højere end normerne. Hos polte, drægtige og diegivende søer var det gennemsnitlige indhold af mangan henholdsvis 30,7 mg pr. kg, 32,5 mg pr. kg og 32,5 mg pr. kg [31]. Samlet vidner dette om, at den amerikanske foderstofindustri konsekvent vælger at tildele markant mere mangan end normerne fra National Research Council [27] angiver. De niveauer, der anvendes under praktiske forhold, udgør dermed omkring 50-80 % af gældende danske normer for mangan [32].

Mangelsymptomer

Alvorlig mangel på mangan resulterer hos grise i vækst i halthed og synlige knogledefekter, primært i form af fortykkede led og afkortede knogler [2,6,33,34]. Nedbrydning af knoglen i forbindelse med manganmangel skyldes lavere produktion af mucopolysakkarider og proteoglykaner [8,9].

Hos søer ses langvarige mangelsymptomer i form af samme symptomer som hos vækstgrise, mens mere akutte mangelsymptomer omfatter forringet reproduktion [9]. Den forringede reproduktion ses ved f.eks. forstyrret brunstcyklus [2], og helt overordnet rammes reproduktionen hos f.eks. køer med undertrykkelse af brunst, lavere kælvningsprocent, flere aborter og lav fødselsvægt [35]. Desuden er et mangelsymptom, at grise fødes svage og med lav fødselsvægt [2,36], og soens cyklus kan forstyrres eller forsinkes [3]. I et amerikansk forsøg gennemført af Christiansen et al. (1989) blev effekten af henholdsvis 5, 10 og 20 mg mangan pr. kg foder på søers reproduktion undersøgt, og pattegrisenes fødselsvægt steg med stigende manganindhold i foderet [37]. Resultaterne blev bekræftet i et opfølgende forsøg [38], men i ingen af forsøgene var der tilstrækkeligt mange søer til at afgøre, om der var forskel i kuldstrørelsen, der kunne relateres til foderets indhold af mangan. [37,38].

Tegn på forgiftning

Mangan er relativt non-toksisk [9]. Der blev ikke fundet skadelige effekter ved fodring af tidligt fravænnede grise (fravænned ved en alder på 12-14 dage) med 400 mg pr. kg foder og 400 mg mangan pr. kg foder [19], mens 4.000 mg mangan pr. kg foder gav forringet tilvækst sammenlignet med kontrolgruppen, som fik foder uden tilsat mangan [39]. Fodring med henholdsvis 500 og 4.000 mg mangan pr. kg foder til vækstgrise gav dårligere tilvækst og stivhed ved bevægelse sammenlignet med 12 og 400 mg mangan pr. kg foder [19,30]. McDonald et al. (1995) angav også, at slagtegrise reducerer foderoptagelsen, når foderet indeholdt 500 mg mangan pr. kg tørstof [3], hvilket kan forklare en lavere tilvækst.

Også for andre nyfødte dyr har mangan vist sig at være toksisk i høje mængder. Et studie med kalve fodret med modermælkserstatning med stigende koncentrationer af mangan viste, at 1.000 mg mangan/kg mælkeerstatning var nok til at hæmme vægtøgning og foderudnyttelse. Ved fodring med 5.000 mg mangan/kg mælkeerstatning døde forsøgsdyrene [40]. To rottestudier fandt motoriske udfordringer og neurale skader, når ungerne blev udsat for oral tildeling af 25-50 mg mangan/dag de første tre uger efter fødsel [41] eller inhalering af 1 gram mangan/m³ 18 dage efter fødsel [42].

Det toksiske niveau af mangan vil afhænge af, hvor meget jern, grisene bliver fodret med og formentlig også af mængden af fytat i fodermidlerne [43]. I 1981 meddelte ARC således, at 1.000 mg/kg foder burde være den maksimale grænse for at undgå toksicitet [16].

Manganindhold i danske råvarer

Manganindholdet i afgrøder afhænger af kornart og jordbundstype [44]. Hvis der er meget ilt til stede i jorden vil tilgængeligheden af mangan falde [45]. I jord findes mangan både som Mn²⁺, Mn³⁺ og Mn⁵⁺, men det er kun Mn²⁺, som er tilgængelig for planterne [46,47], idet Mn³⁺ er en ustabil ion, og Mn⁵⁺ indgår i oxider, som er uopløselige [47]. Generelt er indholdet af mangan i jorden højt, men det er ikke særlig tilgængeligt. Det mest optimale er, når planterne kan optage mangan gennem rødderne, idet det så kan transporteres rundt i hele planten, hvorimod bladgødskning kun vil virke på de sprøjtede blade og ikke på andre nye blade, der opstår under væksten [45]. I planterne indgår mangan i fotosyntesen, som er planters måde at generere energi til vækst på, og derfor vil manganmangel udløse et fald i udbyttet [45,47]. Desuden indgår mangan i flere hundrede metallozymer i planter og virker enten som aktivator eller co-faktor [47].

I den danske fodermiddeltabel [48] er mængden af mangan opgivet for nogle af de afgrøder, der indgår i foderet til grise, og til sammenligning er værdier fra afgrøder fra en fodermiddeldatabase fra University of Illinois [49] præsenteret (Tabel 2).

Tabel 2. Vejledende indhold af mangan i typiske råvarer til grisefoder, som indgår i den danske fodermiddeltabel [48] og til sammenligning værdier fra en international fodermiddeldatabase, hvor værdierne er baseret på analyser gennemført på University of Illinois [49].

Råvaregruppe	Råvare	Database	
		Klimafoderdatabasen	University of Illinois
		Gennemsnitligt indhold, mg pr. kg tørstof	
Kornråvarer	Byg	13	14
	Hvede	23	36
	Havre	41	-
	Rug	23	-
	Triticale	31	-
	Majs	6	-
Proteinråvarer	Afskallet sojaskrå	40	40
	Rapskage	65	59
	Rapskrå	68	67
	Hestebønner	24	-
	Solsikkeskrå	47	-
	Roepiller	71	-

Kornarterne samt hestebønner har et moderat indhold af mangan, dog har havre et højere indhold af mangan end de øvrige kornarter. Generelt er indholdet af mangan højere i proteinholdige fodermidler, og det højeste naturlige indhold af mangan findes i kokos- og palmekage, som under danske forhold ikke anvendes i foder til grise. I 2001 mente Baker (2001) på basis af egne tidligere studier, at manganindholdet i majs, sojaskrå, hvedekliid og fiskemel burde anses for værende utilgængeligt for

både fjerkræ og grise [12]. Som nævnt ovenfor var fordøjeligheden af det naturlige mangan i majs - og majs-sojaskråbaserede foderblandinger dog 25-27 % i et fordøjelighedsforsøg udført i 2014 på University of Illinois [20].

Et ældre studie har vist, at mangan kan bindes i fytat, hvilket medførte en lavere tilgængelighed af mangan og et lavere indhold af mangan i kroppen [30]. Dog er det senere blevet afdækket, at affiniteten for mangan i fytat ikke er høj, og derfor er det ifølge et andet studie af Lonnerdal (2002) begrænset, hvor meget det naturlige indhold af fytat i råvarerne påvirker optagelsen af mangan i kroppen [50]. Davidsson et al. (1991) fandt tilsvarende, at absorptionen af mangan slet ikke var påvirket ved tilsætning af fytase [51]. Der findes kun begrænset forskning med fokus på effekten af tilsætning af fytase for at øge tilgængeligheden af mangan [52], og der er brug for flere studier på området, før der kan laves sikre konklusioner.

På grund af ovennævnte årsager tilsættes mangan til alt grisefoder, og der kan anvendes forskellige kilder i form af enten uorganiske salte, typisk enten mangansulfat ($MnSO_4$) eller som manganoxid (MnO) eller organiske kilder til mangan, hvor mangan bindes til en aminosyre, et peptid, et polysakkarid eller en organisk syre [22]. Når der ses på biotilgængeligheden af mangan i de forskellige kilder til mangan, så varierer denne betragteligt (Tabel 3) [12,27].

Tabel 3. Biotilgængelighed vurderet ud fra forskellige referencer [12,27] og indhold af mangan i forskellige uorganiske kilder til mangan [27].

Mangankilde	Kemisk formel	Biotilgængelighed, %		Manganindhold, %
		[27]	[12]	
Mangansulfat monohydrat	$MnSO_4 \cdot H_2O$	100	100	29,5
Manganoxid	MnO	70	75	60
Mangancarbonat	$MnCO_3$	30-100	55	46,4
Mangandioxid	MnO_2	30-95	30	63,1

De angivne biotilgængeligheder i Tabel 3 understøttes af andre studier vedrørende MnO eller $MnSO_4$, hvor det er fundet, at $MnSO_4$ er mere tilgængeligt end MnO [25,26]. Ved foderoptimering tages sjældent højde for afgrødernes indhold af mangan, da disse typisk ikke analyseres for indhold af mikromineraler, og da tilsætning af 40 mg mangan (fra manganoxid) kun koster knap 5 øre pr. 100 foderenheder, er det normal praksis at tilsætte hele normen uden hensyn til det naturlige indhold.

Interaktion med andre mineraler

Der er flere mineraler, der bruger den samme transporter til optagelse i tyndtarmen, og især indtagelse af jern spiller en rolle for manganoptagelsen. Et tidligere studie har vist, at rotter uden DMT1 både bliver anæmiske og får manganmangel [53], og det er blevet undersøgt, hvordan forskellige mængder af jern i foderet til smågrise påvirker mangan i kroppen. Der blev fundet en lineær sammenhæng mellem øget jern i foderet og mindre mangan i væv og organer [34,54]. Tilsvarende er fundet ved rotter [24], hvor der ved højt jernindtag blev fundet en reduktion af indholdet af den manganafhængige superoxid dismutase i hjertemusklaturen, en indikation af, at hjertemusklaturens evne til at håndtere oxidativt stress forringes ved et overindhold af jern i foderet.

Det er også fundet, at højt indhold af calcium og fosfor i foderet hæmmer absorptionen af mangan [18], men da ældre studier typisk ikke har anvendt fytase eller i givet fald en lav fytasedosis, så vil de skadelige effekter af calcium og fosfor i dag være reduceret, da brugen af høj fytasedosering har reduceret koncentrationen af både calcium og fosfor i foderet. I fjerkræ er det påvist, at specielt ved meget høje niveauer af fosfor, reduceres biotilgængeligheden af mangan markant [12,55]. Dette kan dermed være en udfordring i foderblandinger, hvor det tilsættes calcium og fosfor, og altså specielt fosfor ud over gældende normer.

Behov for mangan til grise i vækst

Generelt er der ikke meget nyere litteratur, som har undersøgt det fysiologiske behov for mangan hos grise i vækst. Dette konkluderes også i et review fra 2022, der især peger på, at der ikke er lavet studier med nutidig genetik [35]. Et studie fra 1950 undersøgte tilsætning af mangan med 0, 40, 80 eller 160 mg pr. kg foder til et basalt foder med 12 mg mangan pr. kg foder og fandt, at den højeste daglige tilvækst fra 30 kg og 114 dage frem blev opnået ved tilsætning af 40 mg mangan pr. kg foder. Her var den daglige tilvækst 604 gram pr. dag sammenlignet med henholdsvis 540 gram pr. dag ved 0 mg mangan pr. kg, 563 gram pr. dag ved 80 mg mangan pr. kg og 545 gram pr. dag ved 160 mg mangan pr. kg [30]. Det er ikke klart, hvorfor en tilsætning af 40 mg mangan øgede produktiviteten, mens højere tilsætning ikke gav forskelle fra foderet indeholdende 12 mg mangan pr. kg. En mulig forklaring fra forfatterne var, at der opnås et toksisk niveau af mangan allerede ved ca. 50 mg pr. kg foder. Dette var ikke tilfældet i andre studier, idet Svajgr et al. (1969) fandt reduktion af produktiviteten hos grise i perioden 17-98 kg ved tilsætning af 50 mg pr. kg foder, mens 100 mg pr. kg foder ikke havde negative effekter [56], og Grummer et al. (1950) fandt i et andet studie ikke reduktion af produktiviteten ved 73 mg mangan pr. kg foder sammenlignet med 18 mg mangan pr. kg foder [30]. Heller ikke Apple et al. fandt ændringer i produktivitet ved fodring med henholdsvis 350 og 700 mg mangan pr. kg foder fra 26-91 kg [57], hvilket viser, at grise generelt har en høj tolerance i forhold til foderets indhold af mangan. Alle de nævnte forsøg var af ældre dato og med forholdsvis få grise, og det eneste nyere studie, der har undersøgt varierende manganindhold til slagtegrise, er et forsøg udført af Kerkaert et al. (2021). I forsøget blev varierende manganindhold fra to mangankilder i foderet undersøgt, henholdsvis mangansulfat og manganhydroxychlorid. Der blev tilsat 8, 16 eller 32 mg mangan pr. kg foder til et manganfrit foder. Der var hverken negative eller positive effekter af at tilsætte mere end 8 mg pr. kg foder [58].

Ovenstående studier peger på, at foderets koncentration af mangan ikke har afgørende betydning for slagtegrise, idet de kan tolerere høje mængder uden nedgang i produktivitet, men samtidig indikerer et af forsøgene, at slagtegrise reagerer positivt på tilsætning af mangan til foder, der kun indeholdt 12 mg mangan pr. kg fra foderets naturlige indhold [30]. Studier udført med smågrise gav samme billede, idet Liebholz et al. (1962) ikke fandt ændringer i produktivitet i et dosis-responsforsøg, hvor der blev tilsat fra 0 til 2.025 mg mangan pr. kg foder til grise ved en alder på 14 dage [19]. Samme forfatter undersøgte, hvor meget mangan, der blev aflejret i knoglerne og fandt ingen forskel ved fodring med henholdsvis 0 eller 40 mg tilsat mangan pr. kg foder [19]. I et studie af nyere dato undersøgte Pallauf et al. (2011) effekten af stigende koncentration af mangan (0,24, 2,0, 4,0, 8,0, 16,0 og 32,0 mg magnesium pr. kg foder) på produktiviteten hos grise fravænnet 27 dage gamle. Der indgik kun seks grise pr. gruppe, men forsøget viste, at aktiviteten af det manganafhængige enzym superoxid dismutase blev reduceret, når fravænningsfodret var tilsat mindre end 8 mg mangan pr. kg foder [14], og dette skal ses som et udtryk for, at pattegrisenes evne til at håndtere oxidativt stress forringes. Ved tilsætning af 16 mg mangan pr. kg foder ramte superoxid dismutase aktiviteten et plateau og blev ikke forøget ved tilsætning af 32 mg mangan pr. kg foder. I et studie med kun seks grise pr. gruppe giver det ikke meget mening at fokusere på foderoptagelse og tilvækst, og der blev heller ikke fundet relevante forskelle, som kunne relateres til foderets manganindhold [14]. At benytte enzymaktiviteten eller mRNA expressionen for superoxid dismutase, som vist ved fjerkræ [15], kunne være effektive måder at få undersøgt nuværende normer, idet det fysiologiske respons måske var lettere at tolke end f.eks. foderudnyttelse og daglig tilvækst, hvor udslagene sandsynligvis vil være meget små, da de indlejrede mængder af mangan i knogler og lever vil virke som en buffer i forhold til marginal underforsyning. Her vil dyrenes antioxidative kapacitet i form af bl.a. superoxid dismutase hurtigere afsløre, om tilførslen af mangan har nået et kritisk lavt niveau.

Mange af de refererede resultater omhandler forsøg gennemført for mere end 50 år siden, og med grise med meget ringere foderudnyttelse og også lavere kødprocent sammenlignet med i dag. Hvis der i dag

f.eks. observeres skæve forben hos smågrise, så kunne dette være et argument for, at optaget mangan pr. kg tilvækst måske er blevet mere begrænsende for optimal knogledannelse og at tilsætning af ekstra mangan i foderet kunne være en løsning. En lavere tilgængelighed af mangan kan som tidligere nævnt skyldes interaktioner med f.eks. jern omkring optagelse i tarmen, og inden der overvejes tilsætning af ekstra mangan, bør der selvfølgelig ses på foderets indhold af jern. Tilsætning af ekstra mangan er som nævnt en billig foranstaltning, da 40 mg pr. kg foder koster knap 5 øre pr. 100 foderenheder.

Mangan til søer

Reproduktion er mere følsom over for manganmangel end vækst [35]. De nuværende normer for mangan i foderet til søer er omkring 10 gange højere end for vækstgrise ifølge National Research Council (2012) [27]. I de danske normer for næringsstoffer er normen for mangan 40 mg pr. FESv/FEso for alle dyregrupper, og har ikke været revideret siden fastlæggelsen i 1991 [32,59].

Der er flere studier, der har undersøgt sammenhænge mellem tilsætning af mangan og søers reproduktion samt pattegrisenes vitalitet. I 1950 fandt Grummer et al., at søer fodret med et basalt foder uden tilsætning af mangan klarede sig lige så godt som andre søer (tilsætning 40, 80 eller 160 mg mangan pr. kg foder), men at en enkelt so i den ikke-supplementerede gruppe fødte grise med knogledeformiteter [30]. Der har været modsatrettede resultater i studier, som har undersøgt overførsel af mangan fra placenta til fostre, men et større studie viste tydeligt, at mangan-isotoper fodret til søerne kunne genfindes i fostrene [52]. I dag er det anerkendt, at mangan fra soens foder kan genfindes i fostrene [35], og koncentrationen af mangan er større i fostre end øvrigt reproduktivt væv som æggestokke og bør [60]. Konsekvensen af underforsyning af mangan hos polte under opvæksten blev undersøgt af Plumlee (1956), og når poltene fik 0,5 mg mangan pr. kg foder sammenlignet med 40 mg mangan pr. kg foder, så blev der fundet forringet vækst af knogler, forringet knoglestyrke og muskelsvaghed, og deres brunstcyklus blev forstyrret eller helt undertrykt. Når behandlingerne fortsatte hos søerne, fødte de efterfølgende som søer svagfødte grise, som ikke kunne bevæge sig optimalt, og som kun havde et indhold af mangan, der lå på ca. 33 % af det, der blev fundet i gruppen, hvor der var tilsat mangan til foderet. Tilsvarende betød mangel på mangan, at yverudvikling og mælkeproduktion var meget hæmmet [2]. Når der ses direkte på reproduktionen, så indgår mangan som precursor i syntesen af østradiol, hvilket udskilles af fosteranlæggene for, at soen kan erkende drægtighed og dermed ikke vender tilbage til at være cyklisk [60]. Desuden vurderer Hostetler et al. (2003) baseret på et review omfattende flere dyrearter, at mangan sandsynligvis spiller en rolle i forbindelse med udskillelsen af progesteron fra de gule legemer i den helt tidlige drægtighed, hvilket kan påvirke det tidlige tab i kuld størrelse [60].

Mangan findes ligesom andre mineraler i både kolostrum og mælk. Grundet mangans rolle i enzymer og metaboliske processer er det vigtigt, at pattegrisene også bliver forsynet med mangan. I flere studier var koncentrationen af mangan i mælken højest 1-2 dage efter faring [61-63]. Mælkens indhold af mangan gennem diegivningsperioden kan muligvis påvirkes af foderets indhold af mangan. Dette er imidlertid ikke entydigt bevist [19,21], men ved alvorlig underforsyning med mangan er der i et ældre studie fundet en kraftig reduktion af mælkens manganindhold [2]. Et nyere forsøg, hvor to niveauer af organisk mangan blev sammenlignet med en gruppe uden tilsætning af mangan til foderet, indikerede, at mælkens indhold af mangan sandsynligvis er meget svær at påvirke ud fra foderets indhold af mangan [36], når blot basisfoderet har et naturligt indhold af mangan. Tilsvarende fandt Sørensen (2011), at tilsætning af enten 40 mg uorganisk eller 40 mg organisk mangan (Bio-Plex®, Alltech) pr. kg foder ikke resulterede i forskelle i mælkens indhold af mangan [64]. Et andet forsøg udført af Edmunds et al. (2022) viste, at fordobling af mangan i form af organisk mangan (ProPath® Mn, Zinpro Corp) i diegivningsfoderet fra 10 til 20 mg pr. kg foder gav tungere pattegrise på dag 21 [65], men da forsøget samtidig viste, at mælkens indhold af fedt var lavere i grupperne, hvor der blev suppleret med mangan, kunne dette tyde på, at det var en højere mælkeproduktion, som ledte til den højere tilvækst, idet det er mængden af mælk, der har størst betydning for pattegrisenes tilvækst [66]. Generelt er der i litteraturen

meget stor variation i mælkenes indhold af mangan (Tabel 4), og analysemetoder kan have betydning for de niveauforskelle, der ses.

Tabel 4. Analyseret indhold af mangan i soen råmælk og mælk baseret på forskellige kilder i litteraturen.

Manganindhold i sofoder, mg pr. kg	Manganindhold, mg pr. liter		Reference
	Råmælk, 0-1 dage efter faring	Mælk, > 5 dage efter faring	
42 ¹	0,25	0,25	[65]
73 ²	0,25	0,26	
81 ³	0,26	0,30	
51	0,09	0,05	[63]
Ikke angivet	0,12-0,45	0,06-0,38	[6]
Ikke angivet	-	0,10	[67]
Ikke angivet	0,05-0,11	0,06-0,10	[62]
65-77 ⁴	-	0,02-0,04	[64]
68 ⁵	0,04	-	[68]
65 ⁶	0,05	-	
64	-	0,08	
64	-	0,08	

¹ Foderblanding uden tilsat mangan.

² Foderblanding tilsat 20 mg mangan i form af ProPath® Mn (Zinpro Corp, Eden Prairie, MN, USA).

³ Foderblanding tilsat 40 mg mangan i form af ProPath® Mn (Zinpro Corp, Eden Prairie, MN, USA).

⁴ I afprøvningen indgik to grupper med henholdsvis tilsætning af uorganisk mangan og organisk mangan (BIOPLEX®, Alltech, Nicholasville, Kentucky), og mælkenes indhold af mangan var ikke påvirket af kilde til mangan [64].

⁵ Foderet var optimeret til at indeholde 40 mg tilsat mangan pr. FEso, heraf 20 mg organisk mangan pr. kg (B-TRAXIM 2C, Pancosma, Rolle, Schweiz).

⁶ Foderet var optimeret til at indeholde 40 mg tilsat mangan pr. FEso, heraf 20 mg organisk mangan pr. kg (Avalia®Mn, Zinpro, Eden Prairie, Minnesota, USA)

Selv ved en mælkeproduktion omkring 16-18 kg pr. dag i toplaktation vil udskillelsen af mangan i mælken jævnfør Tabel 4 kun udgøre omkring 1-7 mg pr. dag, og hvis soen æder >8 FEso pr. dag vil det daglige indtag af tilsat mangan udgøre 320 mg, eller 46-320 gange mere, end der udskilles i mælken.

Som ved vækstgrise kan der argumenteres for, at produktiviteten pr. kg indtaget foder har ændret sig markant de sidste 20-25 år, og da mangan har betydning for søernes evne til at kontrollere oxidativt stress, er det nærliggende at overveje, om tilsætning af ekstra mangan kunne være relevant. I samme ombæring bør der ses på foderets indhold af jern, og erfaringsmæssigt indeholder foderet til søer ofte meget mere jern end planlagt, hvilket kan kompromittere absorptionen af mangan. Der findes ingen klare beviser for, hvordan det vil påvirke søernes produktivitet, men af hensyn til problemer med knogler og led, som er årsag til mange aflivninger, så kunne der argumenteres for, at mangan kunne øges ud over gældende norm, da det også er billigt at tilsætte til foderet.

Normer for mangan

Normer for mangan sammenlignet på tværs af normsæt fra forskellige organisationer i flere lande inklusiv gældende danske normer er angivet i Tabel 5. Det ses, at Danmark adskiller sig fra USA og Holland ved at have en væsentlig højere norm for mangan til alle dyregrupper. Når normerne i Tabel 5 ses i forhold til de ovenfor beskrevne resultater, så kan det undre, at National Research Council fastholder de meget lave normer, idet forsøgsresultater jo indikerede, at enzymaktivitet af superoxid dismutase samt lagring i kroppen kan øges ved tilsætning med f.eks. 16 eller 32 mg mangan pr. kg foder [14]. Da biotilgængeligheden af mangan varierer, og da vekselvirkninger mellem mangan og f.eks. jern, eller et højt niveau af f.eks. fosfor, kan bidrage til lavere biotilgængelighed, og da tilskud af mangan er billigt, bør normer for mangan udgøres af behov + væsentlig sikkerhedsmargin.

Table 5. Normer for foderets indhold af mangan (mg pr. kg eller mg pr. FEsv/FEso) til forskellige dyregrupper baseret på normsæt fra forskellige organisationer i forskellige lande.

Dyregruppe ^{1,2}	Normsæt		
	Danmark [32]	USA (NRC) [27]	Holland (CVB) [69]
5-9 kg	40	4	22
9-15 kg ³	40	4	22
15-30 kg ³	40	3	22
30-50 kg ³	40	2	22
50-75 kg	40	2	22
75-135 kg	40	2	22
Polte 30-165 kg	40	-	-
Drægtige søer	40	25	26
Diegivende søer	40	25	26

¹ For vækstdyr er angivet vægtintervaller.

² For polte og søer er angivet eventuelle normer ved fodring med enhedsblanding og ved fasefodring.

³ I USA sker differentieringen af normerne ved henholdsvis 11 kg og 25 kg og ikke 15 kg og 30 kg.

Når der ses på søer med væsentlig højere produktivitet og øget niveau af oxidativt stress i f.eks. sen drægtighed, så er der behov for effektivt at kunne håndtere dette, og her spiller superoxid dismutase en væsentlig rolle.

For vækstgrise er der siden de gennemførte forsøg sket markante genetiske ændringer, og foderudnyttelsen er markant bedre, hvilket betyder, at danske dyr i dag får væsentligt mindre mangan pr. kg tilvækst end for blot 10 år siden. Da der er stor forskel på foderforbruget pr. kg tilvækst for smågrise og slagtegrise, kunne det også overvejes at graduere normen for mangan efter vægtgruppe, så normerne sikrede nogenlunde samme forsyning pr. kg tilvækst, det vil sige højere normer til smågrise end til slagtegrise. Sidstnævnte er dog en problemstilling, som gælder også for andre mikromineraler og som tages op i Normudvalget, så der er fælles principper på tværs af mikromineraler – herunder om normerne for mikromineraler fortsat skal være totale mængder pr. FEsv/so eller anbefalet tilsætning.

Ved tilsætning af 40 mg mangan sammen med et naturligt indhold på typisk 10-20 mg pr. foderenhed i dansk foder vil dette, vurderet ud fra denne litteraturgennemgang, dække behovet og give en sikkerhedsmargin for alle dyregrupper. Det vil endda være muligt at tilsætte lidt mindre, f.eks. 30 mg pr. FEsv, til slagtegrise og stadigvæk have en sikkerhedsmargin.

Dette notat vil indgå i vurdering af, om normerne for mangan skal justeres ved næste revision af normerne som sker i foråret 2025. Ud fra litteraturen er der næppe problemer ved at fortsætte med den typiske praksis med at tilsætte 40 mg pr. foderenhed til alle dyregrupper uden hensyn til det naturlige indhold på 10-20 mg pr. foderenhed, selv om normerne faktisk er 40 mg total inklusive foderets naturlige indhold.

Konklusion

Den samlede vurdering af litteratur om mangans fysiologiske betydning samt betydning for grise i vækst og søer er belyst i dette notat. Mangan er essentielt for mange fysiologiske processer og spiller blandt andet en væsentlig rolle i forbindelse med grises håndtering af oxidativt stress. De fleste større forsøg med manganbehov er mere end 25 år gamle, og der er ud fra vurderingen af disse ikke fagligt belæg for at ændre på de danske normer for mangan til grise i vækst samt søer, men ses problemer med f.eks. skæve forben hos smågrise kunne dette være et tegn på at foderets indhold af mangan enten ikke er tilstrækkeligt, eller at vekselvirkning mellem mangan og f.eks. jern medfører, at der ikke absorberes tilstrækkeligt mangan. Ved valg af kilde til mangan skal der tages højde for, at biotilgængeligheden

varierer og er højere for mangansulfat end for manganoxid. Råvarernes bidrag med mangan er variabelt og opdateres ikke løbende, ligesom fordøjeligheden i fodermidlerne kun er ca. 25 %, hvorfor det vil være mest sikkert at tilsætte 40 mg mangan pr. foderenhed, svarende til normen.

Om der skal anvendes uorganiske eller organiske kilder til mangan skal være op til enkelte at afgøre. Der kan forventes en svagt øget biotilgængelighed af organiske mangankilder, men de har ikke resulteret i f.eks. en bedre overførsel af mangan til mælk, så det skal være f.eks. betragtninger omkring knogler, led og klove, der skal være argumentet for anvendelse af disse. Det skal dog tilføjes, at blot at øge mængden af tilsat mangan heller ikke vil være vejen til overførsel af mere mangan i soens mælk, så generelt giver manganindholdet i soens mælk ikke et retvisende billede af, om manganforsyningen til soen er optimal.

Hvis der endelig skulle ske ændringer, kunne det være en nedjustering af normen for slagtegrise og/eller en ændring af mangannormer fra total til tilsat mangan. Det forventes, at normer for mikromineraler behandles af Normudvalget ved opdatering af Normer for Næringsstoffer i foråret 2025.

Referencer

- [1] Scrutton, M.C., Utter, M.F., Mildran, A.S. (1966): Pyruvate carboxylase VI. The presence of tightly bound manganese. *The Journal of Biological Chemistry*. 10:2480-2487.
- [2] Plumlee, M.P., Thrasher, D.M., Beeson, W.M., Andrews, F.N., Parker, H.E. (1956): The Effects of a Manganese Deficiency upon the Growth, Development, and Reproduction of Swine. *Journal of Animal Science*. 15:352-367.
- [3] McDonald, P.; Edwards, R.A.; Greenhalgh, J.F.D.; Morgan, C.A. (1995): *Animal Nutrition*. 5. udgave, 607 pp. Pearson Education Limited, Harlow, England.
- [4] Fridovich, I. (1986): Biological effects of the superoxide radical. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 247:1-11.
- [5] Wilson, E.D., Fisher, K.H., Garcia, P.A. (1979): *Principles of Nutrition*. 622 pp. John Wiley, New York.
- [6] Burrin, D.G. (2001): Nutrient requirements and metabolism. Kapitel 7 I: *Biology of the Domestic Pig* (Pond, W.G. & Mersmann, H.J.), pp. 309-389. Cornell University Press.
- [7] van Riet, M.M.J.; Millet, S.; Aluwé, M.; Janssens, G.P.J. (2013): Impact of nutrition on lameness and claw health in sows. *Livestock Science*. 156:24-35.
- [8] Suttle, N. F. (2010): *Mineral nutrition of livestock*. 4. Udgave, 587 pp. CABI.
- [9] Hill, G.M.; Spears, J.W. (2001): Trace and ultratrace elements in swine nutrition. Kapitel 12. I: *Swine Nutrition* (Lewis A.J. & Southern, L.L. eds.), pp. 229-262. CRC Press LLC, Boca Raton.
- [10] Wedekind, K. (2019): Objective measures of lameness and the role of trace minerals and nutrition in skeletal development of gilts and sows. Kapitel 3 I: *Nutrition of hyper prolific sows* (Yagüe, A. P. ed.), pp. 55-80. NOVUS International Inc.
- [11] Andrieu, S. (2008): Is there a role for organic trace element supplements in transition cow health? *The Veterinary Journal*. 176:77-83.
- [12] Baker, D.H. (2001): Bioavailability of minerals and vitamins. Kapitel 16 I: *Swine Nutrition* (Lewis A.J. & Southern, L.L. eds.), pp. 357-380. CRC Press LLC, Boca Raton, USA.
- [13] Finley, J.W.; Caton, J.S.; Zhou, Z.; Davison, K.L. (1997): A surgical model for determination of true absorption and biliary excretion of manganese in conscious swine fed commercial diets. *Journal of Nutrition*. 127:2334-2341.
- [14] Pallauf, J.; Kauer, C.; Most, E.; Habicht, S.D.; Moch, J. (2012): Impact of dietary manganese concentration on status criteria to determine manganese requirement in piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 96:993-1002.

- [15] Lu, L.; Chang, B.; Liao, X.; Wang, R.; Zhang, L.; Luo, X. (2016): Use of molecular biomarkers to estimate manganese requirements for broiler chickens from 22 to 42 d of age. *British Journal of Nutrition*. 116:1512-1518.
- [16] Close, W.H.; Cole, D.J.A.: Minerals. Kapitel 5. I: *Nutrition of sows and boars* (Close, W.H. & Cole, D.J.A. eds.), pp. 97-124. Nottingham University Press.
- [17] Masters, D.; Paynter, D.; Briegel, J.; Baker, S.; Purser, D. (1988): Influence of manganese intake on body, wool and testicular growth of young rams and on the concentration of manganese and the activity of manganese enzymes in tissues. *Australian Journal of Agricultural Research*. 39:517-524.
- [18] Gamble, C.T.; Hansard, S.L.; Moss, B.R.; Davis, D.J.; Lidvall, E.R. (1971): Manganese utilization and placental transfer in the gravid gilt. *Journal of Animal Science*. 32:84-87.
- [19] Leibholz, J.M.; Speer, V.C.; Hays, V.W. (1962): Effect of Dietary Manganese on Baby Pig Performance and Tissue Manganese Levels. *Journal of Animal Science*. 21:772-776.
- [20] Liu, Y.; Ma, Y.L.; Zhao, J.M.; Vazquez-Añón, M.; Stein, H.H. (2014): Digestibility and retention of zinc, copper, manganese, iron, calcium, and phosphorus in pigs fed diets containing inorganic or organic minerals. *Journal of Animal Science*. 92:3407-3415.
- [21] Boerboom, G. (2021): Trace mineral chelation for sustainable animal nutrition. Phd Thesis, pp. 155. Wageningen University & Research, Wageningen, Holland.
- [22] Byrne, L.; Hynes, M.J.; Connolly, C.D.; Murphy, R.A. (2021): Influence of the Chelation Process on the Stability of Organic Trace Mineral Supplements Used in Animal Nutrition. *Animals*. 11:1730.
- [23] Leach, R.M.J.; Harris, E.D. (1997): Manganese. Kapitel 10. I: *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements* (O'Dell, B. L. & Sunde, R. A. eds.), 1. udgave. CRC Press, Boca Raton.
- [24] Davis, C.D.; Wolf, T.L.; Greger, J.L. (1992): Varying Levels of Manganese and Iron Affect Absorption and Gut Endogenous Losses of Manganese by Rats. *The Journal of Nutrition*. 122:1300-1308.
- [25] Wong-Valle, J.; Ammerman, C.B.; Henry, P.R.; Rao, P.V.; Miles, R.D. (1989): Bioavailability of Manganese from Feed Grade Manganese Oxides for Broiler Chicks. *Poultry Science*. 68:1368-1373.
- [26] Henry, P.R. (1995): Manganese bioavailability. Kapitel 11. I: *Bioavailability of Nutrients for Animals* (Ammerman, C. B.; Baker, D. H. & Lewis, A. J.), pp. 239-256. Academic Press, San Diego.
- [27] National Research Council (2012): Nutrient Requirements of Swine. 11. Udgave. Subcommittee on Swine Nutrition, Committee on Animal Nutrition, and National Research Council. National Research Council.
- [28] Rhéaume, J.A.; Chavez, E.R. (1989): Trace mineral metabolism in non-gravid, gestating and lactating gilts fed two dietary levels of manganese. *Journal of Trace Elements and Electrolytes in Health and Disease*. 3:231-242.
- [29] Retsinformation (2009): Bekendtgørelse af lov om foderstoffer. LBK nr. 192 af 12/03/2009. Vol. 192. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Tilgængelighed: <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2009/192> [tilgået 08.08.24].
- [30] Grummer, R.H.; Bentley, O.G.; Phillips, P.H.; Bohstedt, G. (1950): The Role of Manganese in Growth, Reproduction, and Lactation of Swine. *Journal of Animal Science*. 9:170-175.
- [31] Flohr, J.R.; DeRouchey, J.M.; Woodworth, J.C. (2016): A survey of current feeding regimens for vitamins and trace minerals in the US swine industry. *Journal of Swine Health and Production*. 24:290-303.
- [32] Tybirk, P.; Sloth, N.M.; Bruun, T.S.; Pedersen, J.H. (2024): Normer for næringsstoffer. 35. udgave. SEGES Innovation.
- [33] McDowell, L.R. (1992): Manganese. Kapitel 11. I: *Minerals in animal and human nutrition* (McDowell, L.R. ed.). Academic Press, San Diego, USA.

- [34] Johnson, S.R. (1943): Studies with Swine on Rations Extremely Low in Manganese. *Journal of Animal Science*. 2:14-22.
- [35] Studer, J.M.; Schweer, W.P.; Gabler, N.K.; Ross, J.W. (2022): Functions of manganese in reproduction. *Animal Reproduction Science*. 238:106924.
- [36] Edmunds, C.E.; Cornelison, A.S.; Farmer, C.; Rapp, C.; Ryman, V.E.; Schweer, W.P.; Wilson, M.E.; Dove, C.R. (2022): PSVII-9 The Impact of Increasing Dietary Manganese on the Reproductive Performance of Sows. *Journal of Animal Science*. 100:172-173.
- [37] Christianson, S.; Peo Jr, E.; Lewis, A. (1989): Effects of dietary manganese levels on reproductive performance of sows. *Journal of Animal Science*. 67:251-252.
- [38] Christianson, S.; Peo, E.; Lewis, A.; Giesemann, M. (1990): Influence of dietary manganese levels on reproduction, serum cholesterol and milk manganese concentration of sows. *Journal of Animal Science*. 68:368.
- [39] Matrone, G.; Hartman, R.H.; Clawson, A.J. (1959): Studies of a manganese-iron antagonism in the nutrition of rabbits and baby pigs. *Journal of Nutrition*. 67:309-317.
- [40] Jenkins, K.J.; Hidirolou, M. (1991): Tolerance of the preruminant calf for excess manganese or zinc in milk replacer. *Journal of dairy Science*. 74:1047-1053.
- [41] Lasley, S.M.; Fornal, C.A.; Mandal, S.; Strupp, B.J.; Beaudin, S.A.; Smith, D.R. (2020): Early Postnatal Manganese Exposure Reduces Rat Cortical and Striatal Biogenic Amine Activity in Adulthood. *Toxicological Sciences*. 173:144-155.
- [42] Dorman, D.C.; McElveen, A.M.; Marshall, M.W.; Parkinson, C.U.; James, R.A.; Struve, M.F.; Wong, B.A. (2005): Tissue manganese concentrations in lactating rats and their offspring following combined in utero and lactation exposure to inhaled manganese sulfate. *Toxicological Sciences*. 84:12-21.
- [43] Boyer, P.D.; Shaw, J.H.; Phillips, P.H. (1984): Studies on Manganese Deficiency in the Rat. *Current Topics in Cellular Regulation*. 24:155-169.
- [44] Hurley, L.S.; Keen, C.L. (1987): Manganese. I: *Trace Elements in Human and Animal Nutrition* (Mertz, W. ed.). 5. udgave, pp. 185-223. Academic Press, San Diego.
- [45] Andersen, M.N. (2021): Hold manganmangel fra døren – både på kort og langt sigt. LandbrugsAvisen. Tilgængelig: <https://landbrugsavisen.dk/mark/hold-manganmangel-fra-d%C3%B8ren-b%C3%A5de-p%C3%A5-kort-og-langt-sigt> [tilgået 08.08.24].
- [46] Alejandro, S.; Höller, S.; Meier, B.; Peiter, E. (2020): Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation. *Frontiers in Plant Science*. 11:300.
- [47] Schmidt, S.B.; Husted, S. (2019): The Biochemical Properties of Manganese in Plants. *Plants*. 8:381.
- [48] SEGES Innovation (2024): Fodermiddeldatabase. Version 6.12.2023b. Tilgængelig: https://svineproduktion.dk/Viden/Paa-kontoret/Oekonomi_ledelse/Beregningsvaerktoejer/-/media/49281A2AB47A4CA784FDA220857C9D00.ashx [tilgået 08.08.24].
- [49] Stein, H.H. (2024): Feed ingredient database. University of Illinois. Tilgængelig: https://nutrition.ansci.illinois.edu/feed_database.html [tilgået 08.08.24].
- [50] Lonnerdal, B. (2002): Phytic acid-trace element (Zn, Cu, Mn) interactions. *International Journal of Food Science & Technology*. 37:749-758.
- [51] Davidsson, L.; Cederblad, A.; Lönnerdal, B.; Sandström, B. (1991): The effect of individual dietary components on manganese absorption in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*. 54:1065-1070.
- [52] Rimbach, G.; Pallauf, J.; Moehring, J.; Kraemer, K.; Minihane, A. (2008): Effect of dietary phytate and microbial phytase on mineral and trace element bioavailability - A literature review. *Current Topics in Nutraceutical Research*. 6:131-144.
- [53] Chua, A.C.; Morgan, E.H. (1997): Manganese metabolism is impaired in the Belgrade laboratory rat. *Journal of Comparative Physiology B*. 167:361-369.
- [54] Hansen, S.L.; Trakooljul, N.; Liu, H.-C.; Moeser, A.J.; Spears, J.W. (2009): Iron Transporters Are Differentially Regulated by Dietary Iron, and Modifications Are Associated

- with Changes in Manganese Metabolism in Young Pigs. *The Journal of Nutrition*. 139:1474-1479.
- [55] Wedekind, K.J.; Baker, D.H. (1990): Manganese Utilization in Chicks as Affected by Excess Calcium and Phosphorus Ingestion. *Poultry Science*. 69:977-984.
- [56] Svajgr, A.J.; Peo, E.R., Jr.; Vipperman, P.E., Jr. (1969): Effects of dietary levels of manganese and magnesium on performance of growing-finishing swine raised in confinement and on pasture. *Journal of Animal Science*. 29:439-443.
- [57] Apple, J.K.; Roberts, W.J.; Maxwell, C.V., Jr.; Rakes, L.K.; Friesen, K.G.; Fakler, T.M. (2007): Influence of dietary inclusion level of manganese on pork quality during retail display. *Meat Science*. 75:640-647.
- [58] Kerkaert, H.R.; Woodworth, J.C.; DeRouchey, J.M.; Dritz, S.S.; Tokach, M.D.; Goodband, R.D.; Manzke, N.E. (2021): Determining the effects of manganese source and level on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Translational Animal Science*. 5:txab067.
- [59] Hansen, B.I. (1991): Normer for næringsstoffer. 1. udgave. Landsudvalget for Svin, Danske Slagterier.
- [60] Hostetler, C.E.; Kincaid, R.L.; Mirando, M.A. (2003): The role of essential trace elements in embryonic and fetal development in livestock. *The Veterinary Journal*. 166:125-139.
- [61] Arnaud, J.; Favier, A. (1995): Copper, iron, manganese and zinc contents in human colostrum and transitory milk of French women. *Science of The Total Environment*. 159:9-15.
- [62] Csapó, J.; Martin, T.G.; Csapó-Kiss, Z.S.; Házas, Z. (1996): Protein, fats, vitamin and mineral concentrations in porcine colostrum and milk from parturition to 60 days. *International Dairy Journal*. 6:881-902.
- [63] Hu, P.; Yang, H.; Lv, B.; Zhao, D.; Wang, J.; Zhu, W. (2019): Dynamic changes of fatty acids and minerals in sow milk during lactation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 103:603-611.
- [64] Sørensen, G. (2011): Tilsætning af organiske mikromineraler til sofoder. Meddelelse nr. 900. Videncenter for Svineproduktion.
- [65] Edmunds, C.E.; Cornelison, A.S.; Farmer, C.; Rapp, C.; Ryman, V.E.; Schweer, W.P.; Wilson, M.E.; Dove, C.R. (2022): The Effect of Increasing Dietary Manganese from an Organic Source on the Reproductive Performance of Sows. *Agriculture*. 12:2168.
- [66] Hojgaard, C.K.; Bruun, T.S.; Theil, P.K. (2020): Impact of milk and nutrient intake of piglets and sow milk composition on piglet growth and body composition at weaning. *Journal of Animal Science*. 98:skaa060.
- [67] Trottier, N.L.; Johnston, L.J. (2001): Feeding gilts during development and sows during gestation and lactation. Kapitel 33. I: *Swine Nutrition* (Lewis A.J. & Southern, L.L. eds.), pp. 725-770. CRC Press LLC, Boca Raton, USA.
- [68] Strathe, A.V. (2024): Personlig meddelelse omkring analyseret manganindhold i råmælk og mælk hos søer fodret med forskellige kilder til mangan.
- [69] CVB (2023): Nutrient requirements and feed ingredient composition for pigs. Holland. Tilgængelig: <https://www.cvbdiervoeding.nl/bestand/10882/cvb-booklet-of-feeding-tables-for-pigs-2023def.pdf.ashx> [tilgået 08.08.24].

Øvrig information

Sagsnummer: 101134

//JAHP//