

Aðskotaefnin kadmín, kvikasilfur og blý og næringarefnin járn, kopar, sink og mangan í lifur og nýrum íslenskra lamba

Ólafur Reykdal og Arngrímur Thorlacius

Gerðar voru mælingar á þremur aðskotaefnum (kadmíni, kvikasilfri og blýi) og fjórum næringarefnum (járn, kopar, sink og mangan) í lifur og nýrum íslenskra lamba. Sýni voru tekin í sláturhúsunum á Selfossi, Höfn í Hornafirði, Húsavík, Blönduósi, Hólmavík og í Borgarnesi árin 1991 og 1992. Sýnafjöldi var 96 fyrir hvort líffæri. Að auki voru tekin sex sýni úr lömbum sem gengu nálægt Heklu nokkrum mánuðum eftir gosið 1991.

Styrkur kadmíns og kvikasilfurs reyndist vera með því lágsta sem birt hefur verið erlendis. Hæsta gildið fyrir kadmín var 51% af hámarksgildi í reglugerð. Styrkur þessara efna var breytilegur eftir svæðum. Styrkur kadmíns var hæstur í líffærum frá Vestfjörðum og Vesturlandi og styrkur kvikasilfurs var hæstur í líffærum frá Þingeyjarsýslum. Yfirleitt var styrkur efnanna lægstur í sýnum frá Suðurlandi. Kadmíninnihald mosa, sem mælt var í norrænu verkefni á sviði umhverfisvöktunar, var ekki nothæft til að spá fyrir um kadmín í lifur og nýrum lamba. Styrkir kadmíns og kvikasilfurs í líffærum lamba, sem voru á beit í nágrenni Heklu eftir eldgosið 1991, voru ekki verulega frábrugðnir gildum fyrir önnur sýni af Suðurlandi.

Styrkur járn og kopars í lifur og nýrum var breytilegur eftir landsvæðum. Gildi fyrir bæði þessi efni voru mjög breytileg og var útfaldur munur á hæstu og lægstu kopargildum fyrir lifur. Í um þriðjungu sýna af lambalifur var svo lítil kopar að um dulinn koparskort gæti verið að ræða. Aftur á móti var mikið járn í öllum sýnum af lambalifur. Styrkur járn í lambalifur fylgdi svipuðu mynstri og kom fram fyrir mosa.

Járn, kopar, sink og mangan í lifur og nýrum lambanna auka á næringargildi þessara afurða. Auk þess er styrkur kadmíns, kvikasilfurs og blýs það lítil að hægt er að mæla með neyslu á þessum afurðum. Það sama verður ekki sagt um hliðstæðar afurðir í sumum iðnaðarlöndum þar sem þær eru óhæfar til neyslu. Þessi atriði kunna að skipta auknu máli í framtíðinni. Niðurstöðurnar styðja hreinleikaímynd íslenskra lambaafurða.

Inngangur

Efnin

Kadmín, kvikasilfur og blý hafa alltaf verið til staðar í náttúrunni og eðlilegt er að lífverur innihaldi þessi efni í lágum styrk. Efnin hafa sloppið út í umhverfið við margs konar iðnaðarstarfsemi og því hefur víða komið fram aukning á styrk þeirra í matvælum. Kadmín, kvikasilfur og blý gegna engu þekktu hlutverki í líkögum manna og dýra. Hins vegar geta þessi efni haft eitruverkanir fari styrkur þeirra yfir ákveðin mörk. Í flestum löndum eru í gildi reglugerðir um aðskotaefni í matvælum og eru þar m.a. tilgreind hámarksgildi fyrir kadmín, kvikasilfur og blý. Óheimilt er að dreifa matvælum sem innihalda aðskotaefni umfram hámarksgildi.

Öðru máli gegnir um næringarefnin járn, kopar, sink og mangan. Öll eru þau nauðsynleg fyrir líkamsstarfsemina þótt þau geti verið óæskileg í miklu magni og jafnvel valdið eitrunum. Einnig þessi efni geta borist út í umhverfið vegna mengunar frá iðnaði.

Umhverfi og hreinleiki afurða

Mjög mikilvægt er fyrir landbúnaðinn að fylgjast vel með aðskotaefnum í matvælum og umhverfi. Mikilvægar upplýsingar fást um hreinleika matvæla, ástand jarðvegs, fóðurs og sláturdýra. Þar sem kadmín, kvikasilfur og blý safnast fyrir í lifur og nýru skepna gefur styrkur efnanna í þessum líffærum vísbendingu um mengun eða hreinleika beitilandanna.

Vitað er að kvikasilfur og fleiri efni geta borist út í vistkerfið í miklum mæli við eldgos. Norrænt verkefni á sviði umhverfisvöktunar leiddi í ljós háan styrk nokkurra efna (einkum kadmíns, járn og kopars) í íslenskum mosum og var styrkurinn í vissum tilfellum talsvert hærrí en á hinum Norðurlöndunum, en álitíð er að áfok jarðvegs skýri þennan mun að miklu leyti. Þessi atriði hafa leitt til þess að menn hafa dregið í efa að Ísland væri eins ómengað og af er látið þegar litið er til málma. Niðurstöður úr því verkefni sem hér er kynnt sýna hins vegar að málmar í mosum eru ekki nothæfur mælikvarði á málma í lambaafurðum.

Mögulegt er að kadmín berist úr fosfatáburði í búfé. Til að halda kadmínmengun matvæla og umhverfis í lágmarki er mikilvægt að velja tilbúinn áburð með sem minnstu kadmíni. Það kemur sér nú vel að notaður hefur verið áburður með litlu kadmíni á Íslandi. Mikilvægt er að svo verði áfram.

Í mörgum löndum er fólki ráðlagt að neyta innmatar úr sláturdýrum í mjög takmörkuðu magni eða alls ekki vegna hás styrks aðskotaefna. Þetta er að

mörgu leyti óheppilegt þar sem innmatur er sérlega næringarríkur. Ljóst er að engin ástæða er til að takmarka neyslu á íslenskum lambainnmat vegna kadmíns, kvikasilfurs eða blýs. Þetta kann einnig að renna stoðum undir útflutning á lambainnmat til landa þar sem innanlandsframleiðslan er ekki hæf til manneðis. Þess ber þó að geta að lifur sláturdýra getur innihaldið svo mikið af A-vítamíni að hennar þurfi að neyta í hófi.

Verkefnið

Markmiðið með því verkefni sem hér er greint frá var að fá áreiðanleg viðmiðunargildi fyrir kadmín, kvikasilfur, blý, járn, kopar, sink og mangan í lifur og nýrum lamba svo bera mætti saman við afurðir frá öðrum löndum. Einnig átti að leggja grunn að þekkingu á magni þessara ólífrænu snefilefna í líffærum lamba og rannsaka samband þeirra við sömu efni í umhverfinu. Niðurstöðurnar auka við þekkingu okkar á hreinleika íslensks umhverfis og landbúnaðarvara. Þær nýtast við kynningar, sölustarfsemi og umfjöllun um öryggi afurðanna.

Ólafur Reykdal hafði umsjón með verkefninu, vann við sýnatöku, vinnslu sýna og uppgjör. Arngrímur Thorlacius sá um þróun mæliaðferða og mælingar. Guðríður Þórhallsdóttir og Þorsteinn Jóhannsson unnu við sýni og mælingar.

Efni og aðferðir

Sýni

Sýni af lambalifur og lambanýrum voru tekin í sláturhúsunum á Selfossi, í Borgarnesi, á Hólmavík, Blönduósi, Húsavík og Höfn í Hornafirði. Sýnataka fór fram í sláturtíð árin 1991 og 1992. Sláturtíð var skipt upp í þrjú jafnlöng tímabil og voru sýni tekin á fyrsta tímabilinu og aftur á því síðasta. Hverju sinni voru tekin fjögur sýni og fóru líffæri úr fimm lömbum í hvert sýni. Tilviljun réð því hvaða bæir lentu í úrtakinu en sýnataka hverju sinni dreifðist á heilan dag. Eftir á var fundið út frá hvaða bæjum lömbin voru. Staðsetning bæjanna er sýnd á 1. mynd. Sýnafjöldi var 192, þ.e. 96 sýni fyrir hvora tegund líffæris.

Á árinu 1991 voru að auki tekin sýni úr lömbum sem gengu nálægt Heklu. Gos í Heklu hófst þann 17. janúar 1991 og því lauk 11. mars sama ár. Þessi sýni voru fyrir utan tilraunaskipulagið og voru lömbin valin þannig að þau höfðu gengið nálægt svæðum þar sem aska féll í gosinu. Lömbin voru frá bæjunum Skarði, Hólum og Næfurholti.

1. mynd. Staðsetning bæjanna sem komu við sögu í rannsókninni.





Sýnunum var komið fyrir í frystigeymslu á RALA þar til þau voru hökkuð. Vinnsla sýnanna var sérlega hreinleg til að koma í veg fyrir að þau menguðust.

Mælingar

Sýni voru undirbúin á sama hátt fyrir allar mælingar með því að leysa þau upp í saltpéturssýru og vetnisperoxíði með örbylgjuhitun og auknum þrýstingi í lokuðum hylkjum. Við mælingar á kadmíni og blýi var notað atómgleyfnitæki með grafitofni. Upplausninni var skammtað með pípettu í grafitofninn sem síðan var hitaður í áföngum upp í 1200°C fyrir kadmín og 2200°C fyrir blý. Við þetta sundrast aska sýnisins í atóm sem mæld eru með ljósgleyfnimælingu.

Kvikasilfur var einnig mælt með atómgleyfnitæki og var þá notuð svokölluð kaldeimsmæling. Kvikasilfurssambönd í sýni eru þá afoxuð með bórhydriðlausn til að mynda kvikasilfursgufu sem skilin er frá mællausninni og atómin eru greind með ljósgleyfnimælingu. Við þessa mælingu er notuð flæði-innspýtingaraðferð til að halda sýnastærð í lágmarki.

Til mælinga á járn, kopar, sinki og mangani var notað tæki fyrir atómútgeislunarmælingu í rafgasi eða plasma (ICP-tæki).

Við gæðaeftirlit með mælingunum voru notuð þrjú viðmiðunarsýni með þekktu samsetningu (BCR Certified Reference Materials). Heimtur efnanna voru mældar. Niðurstöður þessara mælinga eru sýndar í 15. og 16. töflu. Niðurstöður blýmælinga standast ekki allar gæðakröfur sem gerðar voru þar sem

niðurstöður mælinga á viðmiðunarsýnum viku of mikið frá þekktum gildum. Aðrir gæðabættir fyrir blý, svo sem greiningarmörk, heimtur og breytileiki í mælingum, voru fullnægjandi. Niðurstöður fyrir önnur efni, sem mæld voru, eru fullnægjandi.

Upplausn 29 sýna var tvítekin til að kanna áreiðanleika mælinga. Niðurstöður fyrir kadmín ($\mu\text{g}/\text{kg}$) voru eftirfarandi: Upplausn 1: $31,0 \pm 19,4$ (10,8-114) og upplausn 2: $31,0 \pm 17,9$ (9,2-100). Niðurstöður eru meðaltal \pm SD (lægst – hæst). Einnig var járn, mangan, kopar og sink endurmælt í 32 upplausnum sýna. Munur á meðaltölum fyrstu og annarrar mælingar var 1% fyrir kopar, 18% fyrir járn og sink og 21% fyrir mangan.

Upplausn sýna

Sýni (0,2 g þurrrefni) var vegið í teflonhylki, bætt var í 3 ml af hreinni (suprapur) saltpéturssýru og 2 ml af vatnsefnisperoxíð (pro analysi). Hylkinu var komið fyrir í lokaðri bombu (Parr 4782) sem var sett í örbylgjuofn ásamt bikarglasi með 100 ml af vatni. Þrjár bombur voru hitaðar í senn í örbylgjuofninum í 3 mín. Upplausninni í teflonhylkinu var hellt yfir í tilraunaglas úr plasti. Hylkið var skolað með afjónuðu vatni sem bætt var í tilraunaglassið og loks var þynnt að 12 ml merki, einnig með afjónuðu vatni. Innihaldi tilraunaglasanna var blandað með því að hvolfa glösunum nokkrum sinnum. Notaðir voru tappar úr plasti. Eftir notkun voru teflonhylki skoluð tvisvar sinnum með afjónuðu vatni og látin þorna. Hylkin voru þurrkuð með örlitlu asetóni ef þau voru ekki orðin þurr þegar kom að útvigtun. Tilraunaglös og tappar voru hreinsuð með saltpéturssýru og afjónuðu vatni.

Mælingar

Við mælingar á kadmíni og blýi var 20 μl af upplausn pípettað í grafítöfn. Notað var Perkin Elmer 2380 atómgleyfnitæki með HGA-400 grafítöfni. Kadmín var mælt við 228,8 nm, blý við 283,3 nm og notuð var deuterium bakgrunnsleiðrétting. Grafítrörið var hitað í fjórum þrepum: þurrkun, öskun, atómeimingu og eftirbrennslu. Hitastig við atómeimingu var 1200°C fyrir kadmín og 2200°C fyrir blý. Við mælingar á kvikasilfri var einnig notuð óþynnt upplausn. Fyrir ICP-mælingarnar var bætt í afjónuðu vatni sem nam 50%, þ.e. þynningarstuðull var 1,5. Við upphaf mælinga hvers dags voru gerðar mælingar á viðmiðunarsýni og gengið úr skugga um að mæliniðurstöðurnar væru í lagi. Viðmiðunarsýni, staðall og sýrublankur voru síðan mæld reglulega milli mælinga á sýnunum sjálfum.

Tölfræðiuppgjör

NCSS tölfræðiforritið (Number Cruncher Statistical System) var notað við uppgjör. Fervikagreining var notuð til að meta marktækan mun eftir svæðum, árum og sýnatökutímabilum. Pearsons fylgnistuðlar voru reiknaðir til að meta fylgni efna í lifur og nýrum.

15. tafla. Heimtur og niðurstöður mælinga á viðmiðunarsýnum: kadmín, kvikasilfur og blý. Niðurstöður eru meðaltal \pm SD (n).

	Kadmín	Kvikasilfur	Blý
Greiningarmörk, $\mu\text{g/kg}$, 3*SD blankur	2	7	10
Heimtur, %	91 (2)	95 (2)	83 (1)
Nákvæmni			
Nautalifur (BCR no. 185)			
Mælt, $\mu\text{g/kg}$	285 ± 19 (11)	$46,1 \pm 6,8$ (11)	590 (472-697) (14)
Uppgefið, $\mu\text{g/kg}$	298 ± 25	44 ± 3	501 ± 27
Nautavöðvi (BCR no. 184)			
Mælt, $\mu\text{g/kg}$	$16,7 \pm 3,5$ (10)	< LOD *)	223 ± 36 (10)
Uppgefið, $\mu\text{g/kg}$	13 ± 2		239 ± 11
Svínanýru (BCR no. 186)			
Mælt, $\mu\text{g/kg}$			328 (2)
Uppgefið, $\mu\text{g/kg}$			306 ± 12
Hlutfallsleg staðalfrávik, %			
Nautalifur	7	15 (11)	13 (14)

*) < LOD (limit of detection): Undir greiningarmörkum.

16. tafla. Heimtur og niðurstöður mælinga á viðmiðunarsýnum: járn, kopar, sink og mangan. Niðurstöður eru meðaltal \pm SD (n).

	Járn	Kopar	Sink	Mangan
Greiningamörk, $\mu\text{g/kg}$, 3*SD blankur	1,17	0,72	0,35	0,63
Heimtur, %	118 (2)	111 (2)	112 (2)	117 (2)
Nákvæmni				
Nautalifur (BCR no. 185)				
Mælt, $\mu\text{g/kg}$	208 \pm 11 (4)	197 \pm 12 (4)	143 \pm 9 (4)	9,4 \pm 0,6 (4)
Uppgefið, $\mu\text{g/kg}$	214 \pm 5	189 \pm 5	142 \pm 3	9,3 \pm 0,3
Svínanýru (BCR no. 186)				
Mælt, $\mu\text{g/kg}$	294 \pm 0,6 (3)	33,3 \pm 0,5 (3)	130 \pm 3 (3)	8,2 \pm 0,1 (3)
Uppgefið, $\mu\text{g/kg}$	299 \pm 10	31,9 \pm 0,4	128 \pm 3	8,5 \pm 0,3
Hlutfallsleg staðalfrávik %				
Nautgripalifur	5 (4)	6 (4)	7 (4)	7 (4)
Svínanýru	0,2 (3)	3 (3)	3 (3)	1 (3)

Niðurstöður

Allar niðurstöður eru gefnar upp fyrir ferskvigt. Þurrefni í lifur var að meðaltali 29,8 g/100g (28.5-32,8 g/100g) og þurrefni í nýrum var að meðaltali 21,3 g/100g (19,8-22,8 g/100g). Marktækur munur ($p < 0,001$) var á þurrefni eftir land-svæðum fyrir bæði líffærin. Uppgjör var því gert bæði fyrir ferskvigt og þurrvigt en niðurstöður voru samhljóða hvor leiðin sem var farin.

Við gæðaeftirlit með mælingum voru notuð heimtupróf og viðmiðunarsýni með þekktan styrk efnanna sem var verið að mæla. Gæði mælinga voru fullnægjandi að undanskildum mælingum á blýi í viðmiðunarsýnum. Blýniðurstöður eru því settar fram með fyrirvara.

Kadmín

Kadmín úr fóðrinu safnast fyrir í nýrum og lifur skepnanna og eykst magnið með aldri. Styrkur kadmíns í kjötinu sjálfu er umtalsvert lægri en í lifur og nýrum. Styrkur kadmíns og fleiri ólífrænna snefilefna í innmat er hins vegar oft notað sem vísbending um heilnæmi kjötsins. Með því að mæla kadmín í lifur og nýrum fæst nokkur vísbending um mengun beitolandanna.

Niðurstöður

Niðurstöður mælinga á kadmíni koma fram í 17. töflu. Marktækur munur kom fram eftir svæðum (lifur $p < 0,01$, nýru $p < 0,001$). Flest hæstu gildin fyrir kadmín komu fram á Vestfjörðum, Suðausturlandi og Vesturlandi. Ekki var marktækur munur á magni kadmíns í innmat þegar árin 1991 og 1992 voru borin saman. Munur kom heldur ekki fram eftir því hvort sýni voru tekin snemma eða seint í sláturtíð.

17. tafla. Kadmín í lambalifur og lambanýrum eftir landshlutum.

Svæði	Fjöldi sýna	Kadmín (mg/kg) í lifrum Meðaltal (lægst-hæst)	Kadmín (mg/kg) í nýrum Meðaltal (lægst-hæst)
Suðurland	16	0,024 (0,009-0,052)	0,025 (0,007-0,058)
Vesturland	16	0,056 (0,014-0,230)	0,066 (0,019-0,242)
Vestfirðir	16	0,066 (0,035-0,130)	0,108 (0,053-0,254)
Húnavatnssýslur	16	0,028 (0,015-0,052)	0,034 (0,014-0,070)
Þingeyjarsýslur	16	0,038 (0,011-0,129)	0,041 (0,012-0,114)
Suðausturland	16	0,057 (0,025-0,208)	0,073 (0,014-0,185)
Öll svæði	96	0,045 (0,009-0,230)	0,058 (0,007-0,254)

Kadmín í lifur var að meðaltali 0,045 mg/kg fyrir öll svæðin en miðgildið er aftur á móti lægra, 0,035 mg/kg. Meðaltal fyrir nýru var 0,058 mg/kg og miðgildi 0,040 mg/kg. Í eftirlitsmælingum yfirdýralæknis hafa fengist svipaðar niðurstöður (Brynjólfur Sandholt 1992).

Svo virðist sem nokkur fylgni sé milli kadmíns í lifur og nýrum og er fylgnistuðull 0,70. Að jafnaði var heldur meira kadmín í íslenskum lambanýrum en í lifur og var hlutfallið að meðaltali 1,3. Hlutfallið er í 75% tilfella undir 1,5. Í erlendum rannsóknum kemur yfirleitt í ljós að talsvert meira kadmín er í nýrum en lifur. Út frá upplýsingum í 18. töflu má sjá að hlutfallið milli kadmíns í nýrum og kadmíns í lifur er á bilinu 1,9-3,9 í nokkrum erlendum rannsóknum.

Samkvæmt Kostial (1986) er kadmín í dýrum tekið upp úr blóði í lifur og þar binst það próteinum (metallóþíonein). Kadmín losnar hægt úr lifrinni og flyst með blóðinu einkum til nýrna. Þar sem lifrin er stærra líffæri en nýrun geymir hún stærstan hluta kadmínsins í líkamanum. Það getur verið að hlutfallslega lítið kadmín í nýrum íslensku lambanna sé vegna þess hve ung þau eru við slátrun. Einnig getur verið að lítið kadmín í fóðri geri lifrinni kleift að binda það að mestu leyti.

Umhverfisþættir

Það sem ræður mestu um styrk kadmíns í lifur og nýrum er aldur dýrs og styrkur kadmíns í umhverfinu. Lömb fá alltaf eitthvað af jarðvegi með grasinu sem bitið er. Á Nýja-Sjálandi er talið að jarðvegur geti numið a.m.k. 10% af því þurrefni sem skepnan innbyrðir (Grace o.fl. 1996). Íslenskur jarðvegur inniheldur eitthvað af kadmíni og fjölmörgum öðrum ólífrænum snefilefnum. Því má ætla að áfok jarðvegs auki það kadmín sem lömb fá í sig. Hins vegar kom í ljós að hæstu gildin fyrir kadmín í íslenskum lambainnmat voru frá svæðum utan gosbeltisins þar sem síst gætir áfoks jarðvegs. Lægstu gildin voru frá Suðurlandi þar sem búast má við nokkru áfoki jarðvegs. Þessar niðurstöður gefa því tilefni til að hugleiða hversu vel kadmín er nýtanlegt, enda getur samspil ýmissa ólífrænna snefilefna haft áhrif á það hversu mikið kadmín er tekið upp úr meltingarvegi. Þar sem íslenskur jarðvegur er járnríkur er hugsanlegt að járn úr jarðvegi dragi úr nýtingu kadmíns í meltingarvegi lamba vegna samkeppni jónanna (antagonistic interaction). Önnur snefilefni en járn gætu einnig komið við sögu. Þekkt er að járn og sink geta dregið úr frásogi kadmíns þegar magn kadmíns er umtalsvert, en minna er vitað um eðli samspilsins þegar styrkur kadmíns er lágur (Kostial 1986).

Hægt er að bera saman kadmín í mosum og innmat lamba eftir landshlutum. Árið 1990 var Ísland í fyrsta skipti með í norrænni rannsókn á ólífrænum snefilefnum í mosum. Erlendis hafa slíkar niðurstöður verið notaðar til að meta loftborna mengun. Í íslenskum mosum kom fram talsvert kadmín og var styrkurinn hæstur á gosbeltinu (Rühling 1992, Rühling og Steinnes 1998) en þetta hefur verið rakið til áfoks jarðvegs. Hæstu og lægstu gildi fyrir kadmín í

lambainnmat dreifðust með öðrum hætti og mosarannsóknin gefur því ekki vísbendingar um kadmín í íslenskum lambaafurðum.

Ósennilegt er að kadmín úr tilbúnum áburði skýri breytileika í kadmíni fyrir íslenskar lambaafurðir. Áburður sem framleiddur er í Gufunesi inniheldur lítið kadmín. Á Nýja-Sjálandi og Ástralíu hefur verið notaður áburður með nokkru af kadmíni. Kadmín í jarðvegi á Nýja-Sjálandi hefur aukist frá því sem áður var vegna notkunar á fosfat-áburði (Grace o.fl. 1993). Tilraunir þar í landi hafa einnig sýnt að kadmín í áburði eykur kadmíninnihald bæði jarðvegs og gróðurs (Roberts o.fl. 1997). Í ástralskri rannsókn á lifur og nýrum sauðfjár (Langlands o.fl. 1988) kom fram landshlutamunur á styrk efnisins. Höfundarnir töldu að muninn mætti rekja til þess að jarðvegur sem skepnurnar innbyrtu hefði verið mengaður kadmíni úr áburði. Robert o.fl. (1997) fundu hins vegar að lítill hluti kadmíns sem sauðfé fékk kom úr jarðvegi, heldur kom kadmínið að langmestu leyti úr plöntum.

Styrkir kadmíns í lifur lamba frá bæjunum Skarði, Hólum og Næfurholti í nágrenni Heklu voru 0,015, 0,022 og 0,053 mg/kg. Lömbin áttu að hafa verið á beit í nágrenni við svæði þar sem aska féll í Heklugosinu 1991. Kadmín í öðrum sýnum sem tekin voru af lifur frá bæjum á Suðurlandi sama ár (1991) var á bilinu 0,009 til 0,053 mg/kg. Þessi sýni voru átta og voru úr lömbum frá bæjum víða á Suðurlandi (Fljótshlíð, Landeyjum, Holtahreppi, Hrunamannahreppi, Gnúpverjahreppi, Biskupstungum og Ölfusi). Styrkir kadmíns í nýrum lamba frá Skarði, Hólum og Næfurholti voru 0,027, 0,063 og 0,076 mg/kg en niðurstöður frá öðrum bæjum á Suðurlandi þetta ár voru á bilinu 0,010 til 0,058 mg/kg. Kadmín í nýrum lamba frá Hólum og Næfurholti er nokkru herra en mældist í öðrum sambærilegum sýnum frá Suðurlandi en ekki verður fullyrt hvort um áhrif frá eldgosinu er að ræða. Alla vega eru áhrifin ekki umtalsverð í þessum tilfellum.

Samanburður við hámarksgildi í reglugerð

Í reglugerð um aðskotaefni er sett hámarksgildi fyrir styrk kadmíns í innmat. Á Íslandi er hámarksgildið fyrir innmat 0,5 mg kadmín/kg. Sama hámarksgildi gildir hjá Evrópusambandinu. Hæsta gildið úr þeirri rannsókn sem hér er kynnt var 51% af hámarksgildinu. Í rannsókn á Nýja-Sjálandi 1993 fór kadmín í nýrum sauðfjár yfir leyfilegt hámark í 22-28% tilfella en á þeim tíma var hámarkið tvöfalt herra eða 1 mg/kg. Styrkur kadmíns í nýrum fór eftir aldri skepnanna. Þannig innihélt 1% af nýrum lamba og 30% af nýrum fullorðins fjár meira en leyfilegt magn kadmíns (Roberts o.fl. 1994). Í ástralskri rannsókn fór kadmín í lambanýrum í engu tilfelli yfir hámarksgildið, sem þá var 2,5 mg/kg, en 2% sýnanna fóru yfir 1 mg Cd/kg (Morkombe o.fl. 1994). Kadmín í 72% sýna af nýrum úr fullorðnu fé fór yfir hámarksgildi. Kadmín í lifur og nýrum sauðfjár jókst með aldri, var herra á þungbeittum svæðum og hæst í Suður- og Vestur-Ástralíu.

Samanburður við erlendar niðurstöður

Í 18. töflu eru sýndar niðurstöður fyrir kadmín í lifur og nýrum sauðfjár frá nokkrum löndum. Kadmín í lifur og nýrum íslenskra lamba er með því lágsta sem þekktist og mun lægra en gefið er upp í ýmsum löndum. Há gildi frá Suður-Noregi vekja athygli en verið getur að súr jarðvegur geri kadmín aðgengilegt fyrir plöntur.

18. tafla. Kadmín í líffærum sauðfjár í ýmsum löndum raðað eftir vaxandi styrk í lifur.

Land	Aldur mánuðir	Lifur mg/kg	Nýru mg/kg
Svíþjóð ^a		0,031 (0,015-0,13, n=11)	0,12 (0,018-1,3, n=98)
Ísland ^b	4-6	0,045 (0,009-0,230, n=96)	0,058 (0,007-0,254, n=96)
Þýskaland ^c	6-7	0,048 (0,005-0,191, n=207)	0,092 (0,017-0,457, n=207)
Finnland ^d		0,060 (n=4)	0,140 (n=4)
Kanada ^e		0,06 (0,01-0,40, n=152)	0,17 (0,01-2,42, n=155)
Holland ^f	2-48	0,089 (<0,001-1,89, n=123)	0,289 (<0,001-2,57, n=124)
N-Noregur ^g	5-6	0,180 (0,09-0,320, n=15)	
Þýskaland ^h	6-24	0,27 (0,005-1,25, n=62)	0,547 (0,043-1,818, n=71)
S-Noregur ⁱ	5-6	0,390 (0,040-0,850, n=15)	

Heimildir: ^a Jorhem 1999. ^b Þessi rannsókn. ^c Knoppler o.fl. 1979. ^d Nurtamo o.fl. 1980. ^e Salisbury o.fl. 1991. ^f Vos o.fl. 1988. ^g Frøslie o.fl. 1985. ^h Schulz-Schröder 1991. ⁱ Frøslie o.fl. 1985.

Kvikasilfur

Niðurstöður fyrir kvikasilfur koma fram í 19. töflu. Gildin eru mjög lág og hluti þeirra er undir greiningarmörkum, 7 µg/kg (þeim styrk sem hægt var að ákvarða með nægjanlegri vissu). Gildi sem eru lægri en greiningarmörkin eru venjulega birt sem „<greiningarmörk“ eða <7 µg/kg í þessu tilfalli, en í þessari skýrslu eru öll útreiknuð gildi gefin upp og notuð við tölfræðilegt uppgjör.

Að meðaltali var kvikasilfur í lambalifur 8,6 µg/kg en miðgildið var 7,8 µg/kg. Meðaltal fyrir kvikasilfur í nýrum var 11,5 µg/kg en miðgildi var 9,0 µg/kg.

Marktækur munur kom fram eftir svæðum fyrir bæði líffærin ($p < 0,001$). Að meðaltali kom fram mest kvikasilfur í sýnum frá Þingeyjarsýslum. Á óvart kom að sýni af Suðurlandi innihéldu minnst kvikasilfur og ekkert hæstu gildanna kom af þessu svæði. Lítil munur var á kvikasilfri í lifrum og nýrum, nema helst fyrir Þingeyjarsýslur og Vestfirði. Þetta gæti bent til þess að uppsöfnun á

kvikasilfri hafi verið lítil. Algengt er að erlendar rannsóknir sýni umtalsverðan mun á styrk kvikasilfurs í lifur og nýrum.

19. tafla. Kvikasilfur í lambalifur og lambanýrum eftir landshlutum.

Svæði	Fjöldi sýna	Kvikasilfur ($\mu\text{g}/\text{kg}$) í lifrum Meðaltal (lægst-hæst)	Kvikasilfur ($\mu\text{g}/\text{kg}$) í nýrum Meðaltal (lægst-hæst)
Suðurland	16	5,8 (0,4 - 10,9)	5,0 (0,0 - 12,7)
Vesturland	16	7,1 (0,0 - 22,6)	10,5 (2,5 - 26,8)
Vestfirðir	16	7,5 (1,7 - 14,5)	16,0 (3,4 - 39,2)
Húnavatnssýslur	16	6,6 (2,2 - 16,7)	8,1 (0,6 - 29,7)
Þingeyjarsýslur	16	12,9 (2,4 - 31,2)	20,1 (1,4 - 81,0)
Suðausturland	16	11,9 (2,9 - 26,4)	9,4 (0,0 - 27,7)
Öll svæði	96	8,6 (0,0 - 31,2)	11,5 (0,0 - 81,0)

Kvikasilfur í nýrum var marktækt hærra ($p < 0,001$) 1991 (meðaltal $14,9 \mu\text{g}/\text{kg}$) en 1992 (meðaltal $8,2 \mu\text{g}/\text{kg}$). Fimm hæstu gildin komu fyrir 1991 og er um að ræða sýni frá Þingeyjarsýslum og Vestfjörðum. Hæpið er að rekja þennan áramun til eldgossins 1991. Marktækur munur milli ára kom ekki fram fyrir lifur. Aftur á móti kom fram marktækur munur milli sýnatökutímabila fyrir lifur ($p < 0,01$).

Styrkir kvikasilfurs í lifur lamba frá bæjunum Skarði, Hólum og Næfurholti í nágrenni Heklu voru 17, 5 og $3 \mu\text{g}/\text{kg}$. Kvikasilfur í öðrum sýnum sem tekin voru af lifur frá bæjum á Suðurlandi sama ár (1991) var á bilinu 4 til $11 \mu\text{g}/\text{kg}$. Styrkir kvikasilfurs í nýrum lamba frá Skarði, Hólum og Næfurholti voru 9, 3 og $5 \mu\text{g}/\text{kg}$ en niðurstöður frá öðrum bæjum á Suðurlandi þetta ár voru á bilinu 0 til $13 \mu\text{g}/\text{kg}$. Öll þessi gildi eru mjög lág og sum þeirra eru undir greiningarmörkum. Í þessum tilfellum eru engar afgerandi vísbendingar um kvikasilfurmengun í lifur og nýrum vegna eldgossins.

Í Noregi hefur komið fram munur á styrk kvikasilfurs í lambalifrum eftir landshlutum (Frøslie o.fl. 1985). Meðaltal fyrir sýni frá Suður-Noregi var $16 \mu\text{g Hg}/\text{kg}$ en $4 \mu\text{g}/\text{kg}$ fyrir Norður-Noreg. Okkar niðurstöður liggja þarna á milli og eru yfirleitt meðal lægri gilda sem birt hafa verið (Vos o.fl. 1988).

Fiskafurðir eru helsta uppspretta kvikasilfurs í fæðinu. Í reglugerð um aðskotaefni í matvælum ná hámarksgildi fyrir kvikasilfur aðeins til fiskafurða. Yfirleitt er styrkur kvikasilfurs mjög lágur í landbúnaðarafurðum. Í sláturdýrum er styrkurinn hæstur í nýrum eða lifur. Ekki ætti að vera mikil hætta á kvikasilfurmengun hér á landi en þó er vitað að kvikasilfur losnar úr læðingi í eldgosum. Kvikasilfur sem þannig losnar er rokgyarnt og hefur verið álitíð að það stuðli ekki að aukinni upptöku kvikasilfurs í menn á Íslandi (Þorkell Jóhannesson 1980).

Blý

Niðurstöður fyrir blý koma fram í 20. töflu. Hafa þarf í huga að niðurstöður blýmælinga á viðmiðunarsýnum voru ekki fullnægjandi og eru niðurstöður fyrir blý því birtar með fyrirvara. Lambalifrar og lambanýru af Suðausturlandi skera sig úr með hæstan styrk blýs. Styrkurinn fyrir hin svæðin virðist vera svipaður. Munur eftir árum kemur hins vegar ekki fram. Athygli vekur að munur á blýi í lifur og nýrum er að jafnaði fremur lítill. Niðurstöðurnar eru með því lægsta sem birt hefur verið (Vos o.fl. 1988) og mun lægri en birt hefur verið fyrir iðnaðarsvæði (Falandysz 1991). Gildi fyrir blý í lifur og nýrum lamba sem voru á beit í nágrenni Heklu eftir eldgosíð 1991 voru svipuð þeim gildum sem mældust í sambærilegum sýnum annars staðar á Suðurlandi.

Í norrænum og evrópskum rannsóknum reyndist styrkur blýs í íslenskum mosum mjög lágur (Rühling 1992, Rühling og Steinnes 1998) og var hann hæstur á Suðausturlandi. Fyrir blý fæst því samsvörun milli blýs í lambalifur og loftborinnar blýmengunar samkvæmt mælingum á mosum. Reikna má með því að lágan blýstyrk megi skýra út frá lítilli mengun frá blýbensíni utan höfuðborgarsvæðisins. Einnig er minna blý í íslensku bergi en í bergi meginlandanna (Kristján Geirsson 1994). Í Noregi hefur einnig komið fram samræmi milli blýstyrks í lambalifur og loftborinnar blýmengunar (Frøslie 1985). Álitíð er að blý úr bensíni hafi verið helsta uppspretta þessarar mengunar en á seinustu árum hefur stórlega dregið úr notkun blýs í bensín.

20. tafla. Blý í lambalifur og lambanýrum eftir landshlutum.

Svæði	Fjöldi sýna	Blý (µg/kg) í lifrum Meðaltal (lægst-hæst)	Blý (µg/kg) í nýrum Meðaltal (lægst-hæst)
Suðurland	16	40,1 (26,1 - 57,3)	43,1 (29,8 - 86,4)
Vesturland	16	42,5 (31,1 - 55,9)	38,1 (26,0 - 48,7)
Vestfirðir	16	35,1 (17,1 - 49,7)	44,8 (30,7 - 77,6)
Húnavatnssýslur	16	35,4 (21,9 - 61,5)	28,8 (20,2 - 40,8)
Þingeyjarsýslur	16	34,3 (9,8 - 45,9)	31,3 (15,3 - 55,0)
Suðausturland	16	73,3 (40,7 - 159)	99,1 (44,4 - 501)
Öll svæði	96	43,5 (9,8 - 159)	47,5 (15,3 - 501)

Blý í sláturafurðum fer eftir staðbundinni blýmengun í beitolöndum eða fódri. Blý safnast einkum fyrir í beinum og nýrum en styrkur í kjötinu sjálfu er óverulegur. Á Íslandi er hámarksgildi fyrir blý í innmat 0,2 mg/kg. Okkar meðaltal er um fjórðungur af þessu gildi. Hins vegar er þekkt í sumum þéttbýlum iðnaðarlöndum að lambalifur er óneysluhæf vegna blýinnihalds. Í Þýskalandi hefur komið í ljós að meiri hætta er á að lambalifur sé menguð með blýi en kadmíni eða kvikasilfri (Langlands o.fl. 1988) enda hefur mikið blý verið notað í iðnaði á síðustu áratugum.

Járn

Lambalifur reyndist vera sérstaklega járnrík og voru niðurstöðurnar hærri en viðmiðunargildi frá grannlöndunum. Í 21. töflu kemur fram að meðaltal fyrir járn í lifur er lægst fyrir lömb frá Vestfjörðum en hæstu gildin í lifrum lamba eru frá gosbeltinu. Munurinn var marktækur eftir svæðum ($p < 0,05$). Samsvarandi munur fyrir járn magn í mosum hefur komið fram eftir svæðum (Rühling 1992, Rühling og Steinnes 1998). Járn í lambanýrum var um þriðjungur af því magni sem mældist í lifrum. Þótt nokkur munur hafi verið á járn í nýrum eftir svæðum, fylgdi það ekki sama mynstri og í lifrinni.

21. tafla. Járn í lambalifur og lambanýrum eftir landshlutum.

Svæði	Fjöldi sýna	Járn (mg/kg) í lifrum Meðaltal (lægst-hæst)	Járn (mg/kg) í nýrum Meðaltal (lægst-hæst)
Suðurland	16	156 (78 - 296)	51,6 (42,4 - 69,0)
Vesturland	16	133 (94 - 230)	45,7 (34,4 - 58,3)
Vestfirðir	16	118 (77 - 166)	57,6 (42,7 - 73,5)
Húnavatnssýslur	16	138 (79 - 218)	54,0 (36,1 - 75,8)
Þingeyjarsýslur	16	151 (88 - 335)	53,1 (39,7 - 76,7)
Suðausturland	16	149 (90 - 223)	54,0 (37,5 - 66,4)
Öll svæði	96	141 (77 - 335)	52,7 (34,4 - 76,7)

Telja má að áfok jarðvegs skýri þann mun sem er á járn í mosum eftir landshlutum, enda er íslenskt berg mjög járnríkt og jarðvegur er sömuleiðis járnríkur. Einnig má ætla að jarðvegur sé helsta uppspretta járn fyrir lömbin. Jarðvegur getur gefið umtalsverðan hluta af þeim steinefnum sem grasbítar taka inn. Jarðvegur getur verið 10-14% af þurrefni sem grasbítar fá og allt upp í 40% er þekkt (Suttle o.fl. 1975). Ljóst er að þannig fæst mikið járn þótt ekki sé það allt tekið upp úr meltingarvegi.

Hjá dýrum er járn haldið í jafnvægi með því að stýra frásogi þess úr meltingarvegi. Þeir þættir sem einkum hafa áhrif á frásogið eru aldur og koparbúskapur dýrsins, magn og form járn í fóðri og efni sem geta aukið eða dregið úr nýtingu járn. Breytileikinn fyrir járn í íslenskri lambalifur er athyglisverður þar sem ekki er sjálfgefið að mikið járn í fóðri endurspeglast í lifur. Ætla má að skepnur á beit á gosbeltinu fái sérlega mikið af járn og hluti þess sé nýtanlegt. Rannsókn sem gerð var á steinefnabúskap íslenskra hreindýra (Chase o.fl. 1994) styður það að grasbítar á gosbeltinu fái mikið járn. Í fóðri hreindýranna mældist mikið járn og höfðu greinarhöfundar nokkrar áhyggjur af mögulegri járneitrun.

Kopar

Niðurstöður

Marktækur munur ($p < 0,01$) kom fram á koparinnihaldi lambalifra eftir landshlutum (22. tafla). Tífoldur munur er á hæstu og lægstu kopargildum fyrir lifur í þessari rannsókn. Flest lægstu gildin eru frá Suðurlandi og eru allra lægstu gildin úr Fljótshlíð. Flest hæstu gildin eru frá Þingeyjarsýslum en þó koma há gildi fyrir í öllum landshlutum. Þessi mikli munur er athuganarverður vegna þess að sauðfé er mjög viðkvæmt fyrir koparskortum.

Kopar í nýrum var ekki eins breytilegur og í lifur enda er lifrin það líffæri sem geymir mestan kopar. Tæplega tvöfaldur munur var á hæstu og lægstu kopargildum í nýrum.

22. tafla. Kopar í lambalifur og lambanýrum eftir landshlutum.

Svæði	Fjöldi sýna	Kopar (mg/kg) í lifrum Meðaltal (lægst-hæst)	Kopar (mg/kg) í nýrum Meðaltal (lægst-hæst)
Suðurland	16	19,7 (7,3 - 68,2)	2,97 (2,57 - 3,72)
Vesturland	16	24,1 (11,3 - 61,8)	2,65 (2,33 - 2,98)
Vestfirðir	16	29,6 (15,4 - 54,7)	3,14 (2,85 - 3,53)
Húnavatnssýslur	16	26,2 (17,2 - 48,1)	2,83 (2,60 - 3,20)
Þingeyjarsýslur	16	33,7 (15,9 - 53,3)	2,89 (2,63 - 3,24)
Suðausturland	16	35,0 (15,4 - 66,5)	2,85 (2,11 - 3,97)
Öll svæði	96	28,1 (7,3 - 68,2)	2,89 (2,11 - 3,97)

Umhverfisþættir

Íslenskt berg er koparríkt borið saman við meginlöndin (Kristján Geirsson 1994). Íslenskir mosar innihalda meiri kopar en kom fram í mosum á hinum Norðurlöndunum og var styrkurinn hæstur á gosbeltinu (Rühling og Steinnes 1998). Svæðamunur á koparinnihaldi lifra tengist ekki gosbeltinu og þarf að leita annarra skýringa.

Styrkur kopars í íslenskum lambalifrum er lágur borið saman við önnur lönd. Í norski rannsókn (Frøslie o.fl. 1985) var styrkur kopars í lambalifur að meðaltali ríflega tvöfalt hærri en kom fram í íslensku rannsókninni. Það má því ætla að einhverjir þættir dragi úr nýtingu kopars hjá íslensku lömbunum. Það þarf þó að hafa í huga að talsverður munur kann að vera á koparinnihaldi lifra eftir sauðfjárkynjum.

Styrkur kopars í íslenskum grösnum hefur mælst frekar lágur (Björn Guðmundsson og Þorsteinn Þorsteinsson 1980) og koparskortur í lömbum (fjöruskjögur) hefur einstöku sinnum greinst hér á landi í sauðfé sem hefur verið á fjörubeit. Álitid er að í fjörugróðri sé efni sem dregur úr nýtingu kopars.

Koparskortur hefur þó einnig verið staðfestur í íslensku sauðfé sem ekki gengur í fjöru. Koparsúlfat hefur í einstaka tilfellum verið gefið.

Samspil efna

Þekkt er að járn, mólýbden, brennisteinn, sink og kadmín geta dregið úr nýtingu kopars hjá sauðfé (Lee o.fl. 1999). Athyglin hefur mest beinst að samspili mólýbdens og kopars. Fáir skepnan mikið mólýbden getur það leitt til koparskorts. Samspil járn og kopars hefur verið minna rannsakað en Grace og Lee (1990) töldu að járn í fóðri geti haft mikil áhrif á koparbúskap sauðfjár. Þeir gáfu sauðfé járnúlfat og leiddi það til þess að styrkur kopars í lifur lækkaði umtalsvert. Aftur á móti mældist ekki breyting á kopar í lifur þegar járn var gefið í jarðvegi (Grace o.fl. 1996). Í annarri tilraun var sýnt fram á að mólýbdenríkur jarðvegur dró úr nýtingu kopars hjá sauðfé (Suttle o.fl. 1975).

Grasbítar fá alltaf eitthvað af jarðvegi með því grasi sem bitið er og áfok jarðvegs verður til þess að auka við þann jarðveg sem skepnur fá. Með jarðvegi geta borist efni sem draga úr nýtingu kopars. Mikið járn er í íslenskum jarðvegi og er mögulegt að það dragi úr nýtingu kopars hjá sauðfé. Ekki er greinilegt samband milli járn og kopars í íslensku lifrunum svo ekki verður um þetta fullyrt. Lítið er vitað um mólýbden við íslenskar aðstæður en vel er mögulegt að það hafi áhrif á nýtingu kopars í íslenskum lömbum.

Koparbúskapur

Jórturdýr hafa þá sérstöðu að geta bundið sérlega mikinn kopar í lifur en jafnframt hafa þau lítinn hæfileika til að losa sig við koparinn og getur verið sérlega mikill kopar í lifur fullorðinna dýra (Davis og Mertz 1987). Magn kopars í lifur fer eftir dýrategund, aldri, kopar í fóðri og samspili kopars og annarra efna. Sauðfé bindur hlutfallslega meiri kopar í lifur en nautgripir og getur styrkur kopars í lifur sauðfjár orðið hár. Talsverður munur getur verið milli einstaklinga og er hann ekki allur vegna mismunandi magns kopars í fóðri heldur geta erfðir átt þátt í mismunandi losun kopars.

Styrk kopars í lifur er hægt að nota sem vísbendingu um koparbúskap dýrsins. Sauðfé er meðal dýrategunda sem hafa mestan kopar í lifur og eru venjuleg gildi talin vera á bilinu 30-120 mg/kg ferskvigt eða 100-400 mg/kg þurrefni (Davis og Mertz 1987). Talsverður hluti (60%) íslensku lifrarsýnanna innihélt minni kopar en sem svarar 30 mg/kg. Þetta er vísbending um það að koparinn nýtist illa vegna samspils við járn, mólýbden eða önnur efni. Einnig getur verið að stór hluti koparsins í jarðveginum sé bundinn öðrum efnum eða lítill kopar sé fyrir hendi í beitolöndunum.

Koparskortur hjá jórturdýrum er alvarlegt vandamál á Nýja-Sjálandi (Lee og Grace 1997) og er styrkur kopars í lifur og blóði enn notaður sem viðmiðun. Davis og Mertz (1987) sögðu frá rannsókn þar sem kopar í lifur lamba með fjöruskjögur var á bilinu 1-2 mg/kg ferskvigt eða 4-8 mg/kg þurrefni. Grace og Lee (1990) töldu að hætta væri á koparskorti ef kopar í lifur sauðfjár færi undir

20 mg/kg ferskvigt. Um 32% af lifrarsýnum í þessari rannsókn eru undir mörkunum (20 mg/kg) og er því hugsanlegt að nokkuð sé um dulinn koparskort hér á landi. Athyglisvert er að átta lægstu kopargildin (undir 11 mg/kg) eru fyrir lifrar frá Suðurlandi (Fljótshlíð, Hrunamannahreppur, Langholtskot, Eysta-Geldingaholt, Villingavatn og Ölfus). Önnur lifrarsýni undir 20 mg kopar/kg voru frá eftirtöldum stöðum: Vesturland (Eyjahreppur, Lundareykjadalur, Reykholtisdalur, Helgafellssveit), Vestfirðir (Sveitir við Steingrímsfjörð, Kaldrananeshreppur), Suðausturland (Nes, Litla-Sandvík, Bæjarhreppur), Þingeyjarsýslur (Mývatnssveit, Baldursheimur), Suðurland (Biskupstungur, Holtahreppur), Húnavatnssýslur (Káradalstunga, Áshreppur, Stóra-Giljá, Svínavatnshreppur).

Of mikill kopar getur einnig leitt til eitrunar hjá öllum dýrum. Engar niðurstöður fyrir kopar í íslenskum lifrum eru það háar að óttast þurfi kopareitrun. Aftur á móti getur kopareitrun í sauðfé verið vandamál inn til dala í Noregi (Frøslie o.fl. 1985) þar sem lítið mólýbden er í jarðvegi. Á þessum slóðum mælist kopar í lambalifur allt að 150 mg/kg. Samkvæmt Davis og Mertz (1987) koma merki um kopareitrun ekki fram fyrr en kopar í lifur fer yfir 150 mg/kg.

Nokkur gildi fyrir kopar í lambalifur eru tekin saman hér að neðan (ferskvigt):

Kopar í íslenskri lambalifur	7,3 –68,2 mg/kg	Þessi rannsókn
Eðlileg gildi fyrir kopar í lambalifur	30-120 mg/kg	Davis og Mertz 1987
Hætta á koparskorti: Kopar í lifur	<20 mg/kg	Grace og Lee 1990
Kopar í lifur lamba með fjöruskjögur	1-2 mg/kg	Davis og Mertz 1987
Kopar í lifur lamba með kopareitrun	>150 mg/kg	Davis og Mertz 1987

Sink

Niðurstöður fyrir sink eru lítið breytilegar (23. tafla) enda er stór hluti sinks í beinum. Þó kom fram marktækur munur á sinki í nýrum eftir svæðum. Sink í nýrum var hæst á Vestfjörðum bæði árin. Reyndar gildir það um öll efnin, nema kvikasilfur, að styrkur þeirra er að meðaltali hæstur á Vestfjörðum. Líta má á niðurstöður fyrir sink í lifur og nýrum sem eðlileg viðmiðunargildi. Gildin eru svipuð þeim gildum sem hafa fengist í öðrum löndum (Frøslie o.fl. 1985).

Mangan

Gildi fyrir mangan eru lítið breytileg (24. tafla) og má líta á þau sem eðlileg viðmiðunargildi. Munur eftir svæðum er óverulegur þótt hann sé marktækur fyrir nýru. Aftur á móti kemur fram marktækur munur eftir árum. Sá litli breytileiki sem kemur fram bendir til þess að ekki sé um uppsöfnun á mangani að ræða vegna umhverfismengunar.

23. tafla. Sink í lambalifur og lambanýrum eftir landshlutum.

Svæði	Fjöldi sýna	Sink (mg/kg) í lifrum Meðaltal (lægst-hæst)	Sink (mg/kg) í nýrum Meðaltal (lægst-hæst)
Suðurland	16	49,0 (33,6 - 72,1)	25,9 (20,2 - 42,2)
Vesturland	16	49,7 (41,2 - 57,1)	24,5 (21,0 - 27,6)
Vestfirðir	16	43,3 (36,7 - 51,2)	28,0 (23,5 - 31,8)
Húnavatnssýslur	16	46,8 (36,3 - 61,8)	24,4 (21,6 - 30,0)
Þingeyjarsýslur	16	55,9 (35,8 - 154)	24,5 (21,7 - 31,0)
Suðausturland	16	47,4 (33,3 - 65,0)	23,8 (19,8 - 28,9)
Öll svæði	96	48,7 (33,3 - 154)	25,2 (19,8 - 42,2)

24. tafla. Mangan í lambalifur og lambanýrum eftir landshlutum.

Svæði	Fjöldi sýna	Mangan (mg/kg) í lifrum Meðaltal (lægst-hæst)	Mangan (mg/kg) í nýrum Meðaltal (lægst-hæst)
Suðurland	16	4,01 (2,17 - 5,75)	1,16 (0,92 - 1,73)
Vesturland	16	4,05 (2,81 - 5,21)	1,08 (0,66 - 1,35)
Vestfirðir	16	3,91 (2,92 - 5,18)	1,33 (1,08 - 1,61)
Húnavatnssýslur	16	3,96 (2,85 - 5,60)	1,08 (0,81 - 1,33)
Þingeyjarsýslur	16	4,02 (2,69 - 8,72)	0,98 (0,74 - 1,17)
Suðausturland	16	4,11 (2,76 - 5,51)	1,17 (0,77 - 2,06)
Öll svæði	96	4,01 (2,17 - 8,72)	1,13 (0,66 - 2,06)

Heimildir

Björn Guðmundsson & Þorsteinn Þorsteinsson, 1980. Þungmálmur í íslensku grasi. *Íslenskar landbúnaðarrannsóknir* **12**: 3-10.

Brynjólfur Sandholt, 1992. Hreinleiki íslenskra sláturafurða. *Freyr* **88**: 617-625.

Chase, I.A., E.H. Studier & S. Þórisson, 1994. Aspects of nitrogen and mineral nutrition in Icelandic reindeer, *Rangifer tarandus*. *Comp. Biochem. Physiol.* **109A** (1): 63-73.

Davis, G.K. & W. Mertz, 1987. Copper. *Í Trace elements in human and animal nutrition*. 1. bindi, 5. útg., Academic Press, San Diego, USA, bls. 301-364.

Falandysz, J., 1991. Manganese, copper, zinc, cadmium, mercury and lead in muscle meat, liver and kidneys of poultry, rabbit and sheep slaughtered in the northern part of Poland, 1987. *Food Additives and Contaminants* **8** (1): 71-83.

- Frøslie, A., G. Norheim, J.P. Rambæk & E Steinnes, 1985. Heavy metals in lamb liver: contribution from atmospheric fallout. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **34**: 175-182.
- Grace, N.D. & J. Lee, 1990. Effect of increasing Fe intake on the Fe and Cu content of tissues in grazing sheep. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* **50**: 265-268.
- Grace, N.D., J.R. Rounce & J. Lee, 1993. Intake and excretion of cadmium in sheep fed fresh herbage. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* **53**: 251-253.
- Grace, N.D., J.R. Rounce & J. Lee, 1996. Effect of soil ingestion on the storage of Se, Se, vitamin B₁₂, Cu, Cd, Fe, Mn and Zn in the liver of sheep fed lucerne pellets. *New Zealand Journal of Agricultural Research* **39**: 325-331.
- Jóhannesson, Þ., G. Lunde & E. Steinnes, 1980. Mercury, arsenic, cadmium, selenium and zinc in human hair and salmon fries in Iceland. *Acta Pharmacol. et Toxicol.* **48**: 185-189.
- Jorhem, L., 1999. Lead and cadmium in tissues from horse, sheep, lamb and reindeer in Sweden. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A* **208**: 106-109.
- Kostial, K., 1986. Cadmium. Í *Trace elements in human and animal nutrition*. 2. bindi, 5. útg., Academic Press, San Diego, USA, bls. 281-318.
- Kristján Geirsson, 1994. Náttúruleg viðmiðunargildi á styrk þungmálma í íslensku umhverfi. Siglinga-málastofnun 1994.
- Knöppler, H.-O., W. Graunke, W. Mücke, H. Schulze & W. Gedek, 1979. Blei-, Cadmium- und Quecksilbergehalte in Fleisch- und Organproben von Lämmern und Schafen. *Fleischwirtschaft* **59** (2): 241-247.
- Langlands, J.P., G.E. Donald & J.E. Bowles, 1988. Cadmium concentrations in liver, kidney and muscle in Australian sheep and cattle. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **28**: 291-297.
- Lee, J. & N.D. Grace, 1997. A New Zealand perspective on copper, molybdenum and sulphur interactions in ruminants. Proceedings of the 27th seminar of the Society of Sheep and Beef Cattle Veterinarians NZVA. Foundation for Continuing Education of N.Z. Veterinary Association. Publication no. 175, bls. 25-38. Palmerston North, New Zealand.
- Lee, J., D.G. Masters, C.L. White, N.D. Grace & G.J. Judson, 1999. Current issues in trace element nutrition of grazing livestock in Australia and New Zealand. *Aust. J. Agric. Res.* **50**: 1341-1364.
- Morcombe, P.W., D.S. Petterson, H.G. Masters, P.J. Ross & J.R. Edwards, 1994. Cadmium concentrations in kidneys of sheep and cattle in Western Australia. I. Regional distribution. *Aust. J. Agric. Res.* **45**: 851-862.
- Nuurtamo, M., P. Varo, E. Saari & P. Koivistoinen, 1980. Mineral element composition of Finnish foods. V. Meat and meat products. *Acta Agric. Scand. Suppl.* **22**: 57-76.
- Roberts, A.H.C., R.D. Longhurst & M.W. Brown, 1994. Cadmium status of soils, plants, and grazing animals in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research* **37**: 119-129.
- Roberts, A.H.C., R.D. Longhurst & M.W. Brown, 1997. Cadmium in soil and plants and its cycling in sheep-grazed hill country pastures. Í *Contaminated soils, 3rd International Conference on Biogeochemistry of Trace Elements*. Proceedings. INRA, Paris. ISBN: 2-7380-0775-9.
- Rühling, Å., G. Brumelis, N. Goltsova, K. Kvietskus, E. Kubin, S. Liiv, S. Magnússon, A. Mäkinen, K. Pilegaard, L. Rasmussen, E. Sander & E. Steinnes, 1992. Atmospheric heavy metal deposition in Northern Europe 1990. *Nord* **1992**: 12.
- Rühling, A. & E. Steinnes, 1998. Atmospheric heavy metal deposition in Europe 1995-1996. *Nord* **1998**: 15.

Salisbury, C.D.C., W. Chan & P.W. Saschenbrecker, 1991. Multielement concentrations in liver and kidney tissues from five species of Canadian slaughter animals. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* **74** (4): 587-591.

Schulz-Schroeder, G., 1991. Blei- und Cadmiumgehalte in Fleisch-, Leber- und Nierenproben von Lammern und Schafen. *Fleischwirtsch.* **71** (12): 1435-1438.

Suttle, N.F., B.J. Alloway & I. Thornton, 1975. An effect of soil ingestion on the utilization of dietary copper by sheep. *J. Agric. Sci. Camb.* **84**: 249-254.

Vos, G., H. Lammers & W. Delft, 1988. Arsenic, cadmium, lead and mercury in meat livers and kidneys of sheep slaughtered in the Netherlands. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* **187**: 1-7.

Þorkell Jóhannesson, 1980. Kvikasilfur, arsen, kadmíum, selen og zink í hársýnum og laxaseiðum á Íslandi. *Tímarit um lyfjafræði* **15** (2): 43-46.