

Effekt af processering på indholdet af PFAS i vegetabiliske fodermidler

Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Forfattere: Lene Stødkilde og Tina Skau Nielsen

Institut: Husdyr- og Veterinærvidenskab, AU

Datablad

Titel:	Effekt af processering på indholdet af PFAS i vegetabiliske fodermidler
Forfattere:	Lektor Lene Stødkilde og Lektor Tina Skau Nielsen, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, AU
Fagfællebedømmelse:	Seniorforsker Martin Tang Sørensen og Post Doc Nikolaj Peder Hansen, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Akademisk medarbejder Rebekka Kjeldgaard Kristensen, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Fødevarestyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Dato for bestilling/levering:	05.03.2024 / 14.02.2025
Journalnummer:	2024-0664271
Finansiering:	Notatet er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Miljøministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri og Aarhus Universitet under ID nr. 3.24 i "Ydelsesaftale Husdyrproduktion 2024-2027".
Ekstern kommentering:	Nej.
Eksterne bidrag:	Vestjyllands Andel har leveret prøver af tilfældigt udvalgte kommercielt tilgængelige vegetabiliske fodermidler samt af rapsfrø fra veldefinerede batch til PFAS-analyse. Naturstyrelsen har givet tilladelse til indsamling af græs fra deres arealer i Vestjylland til processering og PFAS-analyse. Seniorforsker Rossana Bossi, Institut for Miljøvidenskab, AU har forestået PFAS-analyser af prøver. Viceinstituttleder, seniorforsker John Jensen, Institut for Ecoscience, AU har givet input til baggrundsafsnittet i notatet.
Kommentarer til besvarelse:	Notatet præsenterer resultater, som ved notatets udgivelse ikke har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review, vil der derfor kunne forekomme ændringer
Citeres som:	Stødkilde, L. og Nielsen T.S. 2025. Effekt af processering på indholdet af PFAS i vegetabiliske fodermidler. 21 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 14.02.2025.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på https://dca.au.dk/raadgivning/

Baggrund

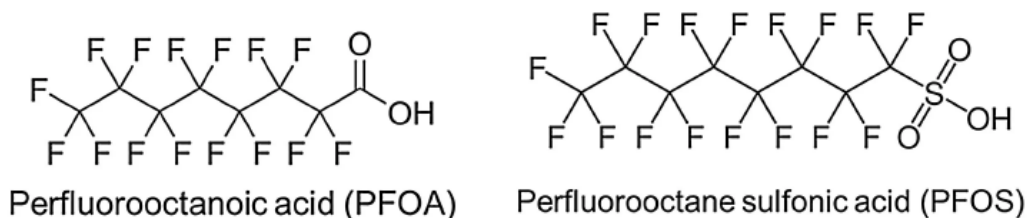
Baggrunden for opgaven er et behov fra Fødevarestyrelsen (FVST) omkring afdækning af PFAS-indhold i vegetabiliske afgrøder og deres afledte foderprodukter. I 2023 har FVST taget prøver af en lang række vegetabiliske fødevarer uden at finde PFAS-forbindelser over detektionsgrænsen. Men på baggrund af PFAS-fund i fiskemel, ønskes mere viden om indholdet af PFAS i vegetabiliske fodermidler og hvordan indholdet påvirkes af processering, da denne viden ikke eksisterer i tilstrækkelig grad. PFAS binder i høj grad til proteiner. Det ønskes derfor undersøgt, hvorvidt PFAS opkoncentreres, når foderråvarer processeres mhp. at øge proteinindholdet.

Bevarelsens overordnede formål er dermed at bidrage med viden om PFAS-niveauet i vegetabiliske fodermidler og hvorledes dette påvirkes af processering.

Besvarelse

Introduktion

Per- og polyfluorerede alkylforbindelser (PFAS) er en meget stor klasse (~ 10.000-12.000) syntetisk fremstillede organiske stoffer, som er karakteriseret ved at indeholde mindst ét fuldt fluoreret (F) methyl eller methylen kulstof (C) atom uden at hydrogen (H), klor (Cl), brom (Br) eller iod (I) er bundet til det (1) (Figur 1).



Figur 1. Eksempel på PFAS strukturformel i form af perfluor-oktansyre (PFOA) og perfluoroktansulfonsyre, som siden 2009 har været forbudte, men som fortsat er blandt de hyppigst forekommende PFAS i miljø og mennesker.

Kulstofkæderne i PFAS kan være lineære eller forgrenede og fuldt eller delvist fluorerede (2). Disse stoffer har en bred vifte af unikke fysisk-kemiske egenskaber, såsom at være særdeles

hårdføre under ekstreme betingelser (temperatur, tryk, stråling, kemiske påvirkninger fra syrer/baser), vand-, fedt- og smudsafvisende samt elektrisk- og varmeisolerende. De specifikke egenskaber skyldes det substituerede F atoms større størrelse i forhold til et H atom på kulstofkæden og den stærke binding mellem C og F (3). Derfor har PFAS siden midten af forrige århundrede været vidt anvendt i et utal af industrielle processer, emballager, rengøringsmidler, malinger, smøremidler og i en lang række andre forbrugsprodukter såsom tekstiler og møbler, og f.eks. i herbicider og insekticider anvendt i landbruget (4).

De fysisk-kemiske egenskaber og den stærke C-F binding gør, at PFAS nærmest bør betragtes som unedbrydelige gennem biologiske processer. Sammen med stoffernes bioakkumulative, toksiske og carcinogene egenskaber afføder det bekymring i forbindelse med effekter på miljøet og på dyrs og menneskers sundhed (5). På grund af deres kemiske stabilitet og delvise opløselighed i vand udviser de stor mobilitet i miljøet, og PFAS er fundet i adskillige økosystemer på tværs af kontinenter, inklusiv på Nordpolen (6). Ud fra et forsigtighedsprincip ønskes human PFAS-eksponering derfor generelt reduceret og The European Chemicals Agency (ECHA) annoncerede i 2023 et ambitiøst forslag om at regulere produktionen og anvendelsen af ca. 10.000 PFAS forbindelser (1).

Selvom PFOA (perfluor-octansyre) og PFOS (perfluor-octansulfat) (Figur 1), som er PFAS undergrupper, har været forbudte siden 2009 (7), er de fortsat blandt de hyppigst målte PFAS både i miljø og mennesker (6). Den mest betydningsfulde kilde til human PFAS-eksponering er via fødevarer og drikkevand, men inhalering via støv bidrager ligeledes (8). Gnaverstudier har vist, at den største akkumulering af PFOA og PFOS sker i lever, nyrer og blodserum (9), og modsat mange andre persistente organiske forbindelser, der typisk er lipofile, binder PFAS i mindre grad til fedt og i højere grad til proteinoverflader som f.eks. blod-proteiner (10-12).

Kød og kødprodukter er to hovedkilder til PFOA og PFOS-indtag hos mennesker i Europa kun overgået af fisk, skaldyr og æg (13). Indholdet af PFAS i husdyr og vildt fremgår for eksempel af Death et al. (2021) og Mikolajczyk et al. (2024) (14). Husdyr og vildt bliver potentielt eksponeret for PFAS gennem (utilsigtet) indtag af jord i deres fødesøgning og/eller via indtag af PFAS fra planter eller fodermaterialer, som indeholder PFAS via rodoptag fra jord eller på overfladen via atmosfærisk nedfald. Generelt er der en direkte sammenhæng mellem jordens indhold af PFAS og PFAS bioakkumulering i planter (6, 15). Graden af akkumulering i planter varierer, og er bl.a.

afhængig af PFAS kædelængde, funktionel kemisk gruppe, planteart samt plantedel (6). Jordtypen og forureningens alder påvirker også akkumuleringspotentialet. Der er dog på nuværende tidspunkt ikke tilstrækkelig viden om den generelle forekomst af PFAS i vegetabiliske afgrøder som anvendes til dyrefoder og fødevarer. Der er ikke fastsat grænseværdier for fluorstoffer i foder hverken på EU-plan eller nationalt. EU kommissionen vil på sigt fastsætte grænseværdier, men mangler på nuværende tidspunkt datagrundlag til at kunne gøre det (www.foedevarestyrelsen.dk). Specielt i lyset af den større affinitet til proteiner end fedt mangler der viden om hvorvidt PFAS-akkumulering i animalske og vegetabiliske matricer adskiller sig fra hvordan andre organiske forbindelser som f.eks. tjærestoffer (PAH) eller klorerede stoffer akkumuleres. Fiskemel, som anvendes som et højkvalitets animalsk foderprotein til bestemte dyregrupper, har i flere studier vist sig at indeholde høje koncentrationer af visse PFAS-forbindelser (8, 16). Fiskemel har derfor været i fokus som en kilde til PFAS i f.eks. æg (17) og anvendes ikke længere til økologiske æglæggende høner. Det anbefales desuden, at grise ikke indtager mere end maksimalt 1 kg fiskemel i smågriseperioden for at minimere risikoen for at overskride PFAS-grænseværdier i slagtekroppen (18).

I Danmark og det øvrige Europa er der stor fokus på at reducere anvendelsen af importeret soja-protein til husdyr til fordel for anvendelse af lokalt producerede proteinkilder, herunder f.eks. grønt protein fra bioraffineret græs (19, 20). Overordnet formodes græs enten i frisk, ensileret eller bioraffineret form således fremover at komme til at spille en meget større rolle i husdyrfodring. Også i relation til fødevarer og human ernæring er der i disse år stor fokus på planteproteiner og på at identificere nye kilder og processeringsmetoder for at optimere protein ekstraktion, sensorisk kvalitet samt funktionelle og ernæringsmæssige egenskaber (21, 22). Eftersom PFAS generelt binder til proteiner i blod, lever og nyrer, er spørgsmålet, om PFAS også opkoncentreres i planteproteinfraktioner produceret ved f.eks. bioraffinering af vegetabiliske foderingredienser eller mekanisk olieekstraktion, og der mangler viden om PFAS-niveauer i både processerede og ikke-processerede vegetabiliske foderafgrøder, som anvendes til danske husdyr.

Formålet med denne rapport er således at lave en screening af PFAS-indholdet i foderingredienser tilgængelige på det danske marked, og at undersøge hvordan processering, i form af protein-opkoncentrering, påvirker indholdet af PFAS. Dette gøres ved at indsamle relevante kommercielle foderråvarer og analysere dem for PFAS. Desuden indsamles, efter aftale med Naturstyrelsen, græs fra Naturstyrelsens arealer langs den danske vestkyst, hvor høje PFAS-værdier

tidligere er registreret. Græsset processeres gennem bioraffinering og der udvindes græsprotein. PFAS måles i udgangsmaterialet samt i proteinfraktionen for at følge fordelingen af PFAS. Rapsfrø og sojabønne processeres desuden til henholdsvis raps- og sojakage, og PFAS måles i udgangsmaterialet samt i proteinfraktionen. Et pilotstudie viste, at græspressepulv ikke kunne analyseres for PFAS grundet matrixens fysiske egenskaber (se materiale og metode afsnit) og olie fra raps og sojabønne kunne ikke analyseres for PFAS pga. begrænsninger i analysemetoden.

Begrænsninger

Besvarelsen rummer ikke en systematisk og repræsentativ kortlægning af PFAS i vegetabiliske fodermidler. Resultaterne skal ses som et øjebliksbillede af PFAS-indholdet i tilfældigt udvalgte fodermidler, som repræsenterer typiske foderingredienser anvendt til danske husdyr. Oprindelsen af de kommercielle prøver er ikke nærmere beskrevet. Resultaterne giver derfor kun en indikation af hvad PFAS-indholdet kan være i de udvalgte fodermidler, og kan ikke ekstrapoleres til en generel risikovurdering af hvert enkelt fodermiddel. Flere studier har brugt PFAS-”spiking” af fodermidler, dvs. kunstig PFAS-tilsætning til overfladen af f.eks. korn for eksempelvis at vurdere optag og fordeling i dyr. Pga. PFAS’ s affinitet for protein og lipider, kan det ikke udelukkes, at effekten af processering i overflade-”spiket” foder vil være anderledes end i foderingredienser, hvor PFAS er til stede ”internt” pga. optag fra jord via rødder. Der findes ikke studier som sammenligner effekten af processering når udgangsmaterialet enten er ”spiket” med PFAS eller dyret i PFAS forurenede jord (”internt” PFAS). Til denne besvarelse har vi valgt at anvende fodermaterialer hvor PFAS ikke er tilsat i form af ”spiking”.

Metodebeskrivelse

Fodermidler

Følgende fodermidler er indsamlet forår 2024 og prøver af frø, bælgeplanter og korn er dermed fra dyrkningssæson 2023 (Tabel 1):

Tabel 1. Indsamlede kommercielt tilgængelige stivelsesrige fodermidler samt proteinafgrøder/produkter.

Stivelsesrige fodermidler	Proteinafgrøder/produkter
Byg (DK, 1 prøve)	Rapsfrø (DK, 10 prøver)
Rug (DK, 1 prøve)	Ært (DK, 1 prøve)

Hvede (DK, 1 prøve)	Hestebønner (DK, 1 prøve)
Havre (DK, 1 prøve)	Lupin (DK, 1 prøve)
Majsstivelse (udenlandsk, 1 prøve)	Kartoffelprotein (DK, 1 prøve; NL, 1 prøve)
	Sojabønne (udenlandsk, 1 prøve)
	Sojaproteinkoncentrat (udenlandsk, 1 prøve)
	Fiskemel (DK, 1 prøve)

Afgrøder dyrket ved solceller

Der er indsamlet følgende fire afgrøder (hele planter) slut maj 2024 på et areal på Foulumgård (AU-Viborg), hvor afgrøder samdyrkes med dobbeltsidede solceller (model Jolywood JW-HD144N-555; Jolywood (Suzhou) Solar Technology Co, Ltd, Kina) enten placeret lodret eller på skrå (**Tabel 2**):

Tabel 2. Indsamlede afgrøder ved/i nærheden af solceller.

Afgrøde	Voksested
Vinterhvede	direkte under dryprenden på skrå sydvendte solceller
Kløvergræs	direkte under dryprenden på skrå sydvendte solceller
Urteblanding	ca. 20 meter fra lodrette solceller
Urteblanding	direkte under øst/vest vendte lodrette solceller

Solcellerne er opsat september 2022.

Græsprøver

I maj 2024 er der indsamlet prøver af græs fra Naturstyrelsens arealer med permanent græs omkring Nissum Fjord og på Harboøre Tange i Vestjylland. Prøvetagningsstederne er udvalgt på baggrund af NIRAS-rapporten "Screening af forekomsten af PFAS på Naturstyrelsens kystnære og vestvendte arealer i Jylland og på Sjælland" (23). Rapporten indeholder blandt andet resultater fra en screening af PFAS i græs fra 44 lokaliteter langs den jyske vestkyst. Til denne besvarelse er udvalgt 4 matrikelnumre omkring Nissum Fjord, hvor græs tidligere har haft et summeret PFAS-indhold (22 PFAS-forbindelser) mellem 4,7 og 17 ng/g vådt græs. Desuden er der udvalgt en lokalitet på sydsiden af fjorden, hvor der tidligere er målt 21 ng PFAS/g vådt græs. Matriklerne og dertilhørende analyseresultater er oplyst af Naturstyrelsen.

På Harboøre Tange er der udvalgt 4 lokaliteter, baseret på "interaktivt kort over PFAS-analyser på Harboøre Tange" <https://storymaps.arcgis.com/stories/607326eb5b9b443abc000616ec497796>, udarbejdet i samarbejde mellem RegionMidt, Lemvig Kommune og Naturstyrelsen. Græs på de 4 udvalgte steder havde tidligere, ifølge det interaktive kort, et summeret PFAS-indhold på 14-100 ng/g vådt græs (sum af PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS) (Tabel 3).

Tabel 3. Indsamlede græsprøver fra Vestjylland.

Græsprøver	Lokalitet
Græs1	Sydsiden af Nisum Fjord
Græs2	Vestsiden af Nisum Fjord
Græs3	Vestsiden af Nisum Fjord
Græs4	Vestsiden af Nisum Fjord
Græs5	Vestsiden af Nisum Fjord
Græs6	Harboøre Tange
Græs7	Harboøre Tange
Græs8	Harboøre Tange
Græs9	Harboøre Tange

På de fleste lokaliteter gik græssende kreaturer, og dermed var græsset relativt kort ved indsamling. På hver lokalitet blev der høstet ca. 2 kg frisk materiale fra minimum tre repræsentative områder. Græsprøverne blev efter indsamling opbevaret ved -18C°.

Processering af udvalgte prøver

For at undersøge effekten af processering blev sojabønne, rapsfrø og græsprøver processeret. Sojabønne og raps blev presset gennem en oliemølle (Sana 707 med Sana oil extractor, EUJ-702, Sana products) og olie og pressekagen opsamlet. Olie fra raps/sojabønne kunne ikke analyseres for PFAS pga. begrænsninger i analysemetoden.

Græsprøverne blev optøet i kølerum natten over og processeret gennem en skruepresse (Angel Juicer 8500s). Dette resulterede i en fiberholdig pulp (græspressepulp) samt en grøn juice. Den

grønne juice blev opvarmet til 85°C med en dypkoger og efterfølgende kølet ned til stuetemperatur. Herefter blev den varmebehandlede juice centrifugeret ved 2800 g i 10 min, hvorefter det udfældede protein blev opsamlet. Et pilotstudie viste, at græspressepulv ikke kunne analyseres for PFAS grundet matricens fysiske egenskaber (kraftig udvidelse ved tilsætning af organisk solvent; methanol).

Prøveforberedelse

Afgrøder dyrket under solceller, frisk græs og græsprotein blev tørret ved 60°C i ca 48 timer til konstant vægt (tørhed). De kommercielle fodermidler var lagerstabile og blev dermed ikke tørret yderligere. Alle prøver, på nær fiskemel, majsstivelse, sojaprotein- og kartoffelproteinkoncentrat, blev formalet inden analyse. Grundet højt fedtindhold var det nødvendigt at tilsætte flydende kvælstof ved formaling af rapsfrø og sojabønne. Én af de ti prøver af rapsfrø kunne ikke formales (Raps10; og PFAS kunne dermed ikke analyseres) til trods for tilsætning af flydende kvælstof ved formaling, formodentlig grundet højt fedtindhold.

I alt 55 prøver blev sendt til PFAS-analyse hos Institut for Miljøvidenskab, AU.

Alle prøver af græs er repræsenteret i resultatafsnittet ved det oprindelige græs og af udfældet protein. Prøven af sojabønne er repræsenteret i resultatafsnittet ved både de oprindelige sojabønner samt en pressekage, seks prøver af raps er repræsenteret ved både de oprindelige frø og pressekage, mens fire prøver af raps kun er repræsenteret af deres pressekage (tre prøver af formalede rapsfrø kunne ikke analyseres, formodentlig grundet et højt fedtindhold; Raps7, Raps8, Raps9).

PFAS-analyse

Metoden blev indledningsvist indkørt på udvalgte prøver. 1 g prøve blev afvejet i polypropylenrør og tilsat 10 ng ¹³C-mærket PFAS. Prøverne blev ekstraheret med 5 mL methanol to gange i 30 minutter i et ultralydsbad ved 30 °C. De kombinerede ekstrakter blev inddampet til ca. 2 mL med nitrogen. Til oprensning blev der anvendt Supelclean ENVI-Carb® SPE kolonner (1 g, 12 mL, 100-400 mesh, Supelco, USA). Kolonnerne blev konditioneret med 3 mL methanol. Derefter blev prøveekstrakten tilsat kolonnen med tre gange 1 mL methanol og direkte opsamlet i et andet rør. Ekstrakterne blev inddampet med nitrogen og genopløst i 0,5 mL methanol: 5 mM ammoniumacetat (50:50, v:v). Hver batch af prøver blev analyseret med en blind prøve. Analysen

blev udført ved væskekromatografi-tandem massespektrometri (LC-MS-MS) med negativ elektropray ionisering (ESI) ved brug af en Agilent 1290 Infinity Series HPLC koblet til en 6495C triple quadrupol massespektrometer (Agilent). Stofferne blev separeret på en Zorbax Eclipse Plus C18 kolonne 100 mm x 2,1 mm (Agilent) ved lineær gradient; mobilfase A var 100% 5 mM ammoniumacetat og mobilfase B var 90:10 (v/v) methanol/5 mM ammoniumacetat. Massespektrometers analysemetode var multiple reaction monitoring (MRM), hvor to ioner for hver analyt (en kvantificeringsion og en kvalificeringsion) blev valgt. Kalibreringsstandarder fra 0,1 til 40 ng/ml blev injiceret to gange med hver batch af prøver. Kvantificering var baseret på lineær regression ved brug af den relative respons af den umærkede forbindelse og den tilsvarende ¹³C-mærkede standard. De analyserede forbindelser, deres precursor- og produkt-ioner samt den relative ¹³C-PFAS anvendt til kvantificering er opsummeret i Bilag 1.

Datahåndtering

Alle fodermidler i Tabel 1 er analyseret i den form, de blev indkøbt, uden at blive tørret. Resultaterne opgives derfor på en 'as-is' basis, hvilket betyder som varen er. Græs, græsprotein, sojakage og rapskage er derimod tørret før analyse, og resultaterne opgives derfor i den tørrede prøve. Dette er tydeliggjort i Tabel 4.

Resultater under detektionsgrænsen (<LOQ) er ikke inkluderet i de summerede PFAS-indhold. For græs indsamlet i Vestjylland og de dertil hørende græsproteinfraktioner beregnes en PFAS-opkoncentreringsfaktor (se Tabel 4) som forholdet mellem PFAS i den tørrede proteinfraktion og i den tørrede græsprøve.

Resultater og diskussion

Indhold af PFAS i vegetabiliske fodermidler

Indhold af 35 PFAS-forbindelser i de analyserede prøver er inkluderet som Bilag 2, hvor også detektionsgrænser for hver enkelt forbindelse er angivet. Det skal bemærkes at antallet af analyserede PFAS-komponenter er højere i denne besvarelse end i tidligere publikationer, såsom rapporten fra NIRAS, hvor 22 komponenter blev analyseret (23). Størstedelen af de 35 analyserede fodermidler havde indhold under detektionsgrænsen for langt de fleste PFAS forbindelser. I Tabel 4 er angivet indhold af PFOS samt summen af PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS (PFAS_4), som er

de fire PFAS-komponenter, der hyppigst findes i fødevarer og ophobes i kroppen. For voksne individer har EFSA estimeret, at de fire stoffer bidrager med gennemsnitligt ca. 46 % af summen af de 17 PFAS-forbindelser, for hvilke der er beregnet en eksponering. Udover disse fire stoffer opgives i Tabel 4 den totale sum af alle analyserede PFAS-forbindelser (35 forbindelser; PFAS_35) med niveauer over detektionsgrænsen.

Tabel 4. Indhold af PFAS (ng/g vare as-is) i indsamlede prøver og den processerede fraktion samt PFAS-opkoncentringsfaktorer.

Prøve ID	Indhold i afgrøden			Indhold i proteinfraktionen			Opkoncentrings-faktor		
	PFOS	PFAS_4	PFAS_35	PFOS	PFAS_4	PFAS_35	PFOS	PFAS_4	PFAS_35
Hvede	< LOQ	< LOQ	9,47						
Byg	< LOQ	< LOQ	< LOQ						
Rug	< LOQ	< LOQ	< LOQ						
Havre	< LOQ	< LOQ	0,41						
Majsstivelse	< LOQ	< LOQ	0,80						
Vinterhvede, Foulum (skrå dryprende) ¹	< LOQ	0,21	1,71						
Urteblanding, ca. 20 m fra lodrette solceller ¹	< LOQ	< LOQ	0,43						
Urteblanding, direkte under lodrette solceller ¹	< LOQ	< LOQ	0,39						
Kløvergræs, Foulum (skrå dryprende) ¹	< LOQ	0,18	2,59						
Græs 1, Nissum Fjord ¹	0,08	0,08	0,98	0,08	0,08	0,63	1	1	0,64
Græs 2, Nissum Fjord ¹	4,88	19,98	23,56	7,76	25,28	36,40	1,59	1,26	1,54
Græs 3, Nissum Fjord ¹	1,40	2,37	23,80	2,85	4,71	14,74	2,04	1,99	0,62
Græs 4, Nissum Fjord ¹	0,88	2,40	13,03	1,91	5,05	14,09	2,17	2,10	1,08
Græs 5, Nissum Fjord ¹	1,73	3,75	10,09	3,31	8,12	10,80	1,91	2,16	1,07
Græs 6, Harbøre Tange ¹	0,53	0,71	7,12	3,01	3,50	3,75	5,68	4,93	0,53
Græs 7, Harbøre Tange ¹	1,03	2,24	8,23	2,36	5,06	5,57	2,29	2,26	0,68
Græs 8, Harbøre Tange ¹	0,48	0,67	7,92	4,24	6,32	9,33	8,83	9,44	1,18
Græs 9, Harbøre Tange ¹	1,86	2,42	10,71	7,74	9,86	10,30	4,16	4,08	0,96
Raps1	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	0,17			
Raps2	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	0,93			
Raps3	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ			
Raps4	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	0,53			
Raps5	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	0,17			
Raps6	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	0,17			
Raps7	-	-	-	< LOQ	< LOQ	0,84			
Raps8	-	-	-	< LOQ	< LOQ	0,22			
Raps9	-	-	-	< LOQ	< LOQ	0,24			
Raps10	-	-	-	< LOQ	< LOQ	0,22			
Lupin	< LOQ	< LOQ	1,03						
Hestebønne	< LOQ	< LOQ	0,81						
Ært	< LOQ	< LOQ	1,39						
Sojabønne	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	1,29			
Soja HP300				< LOQ	< LOQ	0,76			
Fiskemel				2,67	3,03	12,67			
Kartoffelprotein_1				0,05	0,05	0,05			
Kartoffelprotein_2				< LOQ	< LOQ	< LOQ			

PFAS_4: PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS. Rapsfrø 7,8,9 og 10 kunne ikke analyseres. De enkelte analyserede PFAS-komponenter findes i Bilag 2. ¹Angivet som ng/g tørret prøve

For de kommercielle hvede- og havreprøver detekteres 6:2 FTSA, mens niveauerne af alle PFAS-forbindelser er under detektionsgrænsen i byg og rug (Tabel 4). I majsstivelse findes ligeledes et målbart niveau af 6:2 FTSA som eneste detekterbare forbindelse. I et tidligere forsøg, hvor majs, havre og forårshvede blev dyrket i jord spiket med PFOS/PFOA (0; 0,25; 1,0; 10; 25; 50 mg/kg jord), blev der i langt de fleste planteprøver fundet koncentrationer, som var mere end 100 gange over FVST's og EU kommissionens indikatorværdier for planter (dvs. niveauer som estimeres at kunne give bekymrende PFAS-indhold i varer til konsum) (24, 25). Denne besvarelse har ingen oplysninger om PFAS-indholdet på de jorde, hvorfra de kommercielle fodermidler stammer. Det kan derfor ikke vurderes om hvede, havre og majsstivelsen kommer fra PFAS-holdige jorde eller om planterne har været udsat for PFAS gennem luft/vand i løbet af vækstsæsonen.

I planter af vinterhvede høstet direkte under dryprende på skrå solceller detekteres indhold af PFNA, PFBA og 6:2 FTSA. De samme PFAS-forbindelser samt PFHpA detekteres i kløvergræs opsamlet samme sted, mens der i urteblandingen høstet under og på 20 meters afstand af solcellerne findes PFPeS. Miljøstyrelsen vurderer, at risikoen for afsmitning af miljøfarlige stoffer til grundvandet fra solcelleanlæg generelt er lille, men at den afhænger af hvilke materialer de konkrete solcellepaneler består af (<https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/drikkevand-og-grundvand/grundvandsbeskyttelse/solceller-og-grundvandsbeskyttelse>). Samtidig viser indledende forsøg fra DTU Sustain kun en meget lille forekomst af PFAS på overfladen af gængse solceller anvendt i Danmark (26). Det er ikke lykkedes at finde sammenlignelige studier på de enkelte PFAS-forbindelser, og det ligger derfor uden for denne besvarelse, at vurdere PFAS-eksponeringsgraden af afgrøder under solceller.

I 8 ud af 9 græsprøver indsamlet omkring Nissum Fjord og Harboøre Tange findes de højeste PFAS-værdier blandt de i denne rapport analyserede afgrøder. Græsprøverne indeholdt flere forskellige PFAS-forbindelser: PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFUnA, PFHxS, PFHpS, PFOS, 6:2 FTSA, hvor særligt indholdet af 6:2 FTSA, men også PFOS og PFOA dominerer (Bilag 2). Samme billede ses i prøverne fra Harboøre Tange. Der er store variationer prøverne i mellem. Det summerede indhold af PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS (PFAS_4) varierer fra 0,08 ng/g til 19,98 ng/g tørret prøve i prøverne fra Nissum Fjord, mens prøverne fra Harboøre Tange varierer mellem 0,67 og 2,42 ng/g tørret prøve (Tabel 4, Bilag 2). Det totale indhold af de 35 analyserede PFAS-forbindelser varierer fra henholdsvis 0,98-23,80 ng/g tørret prøve (Nissum Fjord) og 7,12-10,71 ng/g

prøve (Harboøre Tange). Prøven med det laveste indhold af PFAS er taget på sydsiden af Nissum Fjord, og er den lokation med størst afstand til Vestkysten.

I NIRAS-screeningen af græs indsamlet i Vestjylland blev der på de valgte matrikler langs Nissum Fjord fundet værdier, som overskrider FVST's indikatorværdier for PFOS i foder til kvæg (0,03-0.19 ng/g våd vægt) samt for PFAS_4 og total PFAS (0,12-0.76 ng/g våd vægt). Det er primært PFOS, som dominerede. I prøverne fra Harboøre Tange blev der fundet værdier af PFOS, som overskrider indikatorværdierne (23), <https://storymaps.arcgis.com/stories/607326eb5b9b443abc000616ec497796>.

Denne besvarelse opgiver indholdet af 35 PFAS-forbindelser i tørrede græsprøver og adskiller sig hermed fra NIRAS-rapporten, hvor indhold af 22 PFAS-forbindelser er opgivet i våde græsprøver. Der kan dermed ikke laves en direkte sammenligning mellem de to fund. Tørstofindholdet (TS) i frisk græs er typisk 15-25 % (27). Bruges disse tal til at omregne PFAS-indholdet i de tørrede græsprøver i denne besvarelse til et indhold i en frisk græsprøve, så svarer de analyserede værdier præsenteret i dette notat til et indhold af de 35 PFAS-forbindelser på 0,15-3,57 µg/kg våd vægt for et TS-indhold på 15 % og 0,25-5,95 µg/kg våd vægt ved et indhold på 25 % for prøverne fra Nissum Fjord. For prøverne indsamlet ved Harboøre Tange vil et TS-indhold i planterne på 15 % svare til et PFAS-indhold på 1,07-1,61 µg/kg våd vægt, mens 25 % TS vil resultere i et indhold på 1,78-2,68 µg/kg våd vægt. Dermed overskrider størstedelen af de indsamlede græsprøver indikatorværdierne, men domineres primært af 6:2 FTSA, som ikke detekteres i NIRAS rapporten (23).

NIRAS vurderer, at PFAS i græs kan stamme fra PFAS-deposition fra luft på græssets overflade eller fra PFAS optag i planten via jordvandet. Førstnævnte betyder, at PFAS potentielt kan vaskes af planten ved regn og rapporten viser, at 50-66 % af PFAS-indholdet i græsset faktisk kan vaskes væk (23). Prøverne i denne besvarelse er ikke vasket inden analyse, men derimod frosset direkte. Ved optøning er evt. vandafløb medtaget, og det kan derfor ikke udelukkes, at de store variationer i analyseret indhold skyldes forskelligt grad af overfladevand i de oprindelige prøver. Nogle af prøverne, særligt i den nordlige ende af Harboøre Tange var meget tørre.

PFAS har generelt en stærk affinitet for proteinrige faser i matricer. Det summerede indhold af PFAS_4 er under detektionsgrænsen i alle de analyserede proteinafgrøder (Tabel 4). I lupin, en afgrøde med potentiale som alternativ proteinkilde både til dyr og mennesker, detekteres PFAS komponenterne PFHxA og 6:2 FTSA, mens der i hestebønner, en mere velkendt proteinkilde til dyr og human konsum, findes 6:2 FTSA. 6:2 FTSA bruges som alternativ til PFOS, blandt andet i

brandslukningsskum og ved galvanisering og detekteres i både vandmiljø og jord (28, 29). Trods lavere bioakkumulering og toksicitet i forhold til PFOS kan der stadig være potentielle miljømæssige risici associeret med denne komponent, og det er vist, at 6:2 FTSA optages gennem rødder og akkumuleres i forskellige dele af planter (30). PFHxA, et kortere-kædet nedbrydningsprodukt fra andre PFAS-forbindelser, som bruges i tekstiler og fødevareemballage, er tidligere blevet fundet i uspecificerede prøver af bælgplanter (31) samt i vegetabiliske fødevarer (32). PFHxA er desuden fundet i forskellige vandprøver, men viden om toksicitet samt indhold i foder og dyr er begrænset (33). I ærter detekteres PFPeA, som også tidligere er blevet fundet i lavere koncentrationer i vegetabiliske fødevarer (32). I alle prøver af rapsfrø er de analyserede PFAS-komponenter under metodens detektionsgrænse. Der findes således ikke et generelt mønster af højt indhold af PFAS i de udvalgte proteinafgrøder analyseret i dette studie.

Effekt af processering

På baggrund af den stærke affinitet af PFAS for protein er hypotesen, at PFAS opkoncentreres, når vegetabiliske foderråvarer processeres med henblik på at øge proteinniveauet.

Denne besvarelse belyser derfor indholdet af PFAS i en række kommercielle proteinkoncentrater (fra soja og kartoffel), som stammer fra vegetabiliske fodermidler. For direkte at undersøge processeringens effekt, er raps, soja og græs processeret til henholdsvis rapskage, sojakage og græsprotein. Som sammenligning inkluderes fiskemel, et fodermiddel, hvor problematikken omkring PFAS-indhold er velkendt. Data er præsenteret i Tabel 3.

I fiskemel detekteres et summeret indhold af de 35 analyserede PFAS-forbindelser på 12,67 ng/g prøve (as-is). Der findes en lang række forskellige PFAS-forbindelser, hvilket stemmer overens med publicerede studier på fiskemel fra det danske marked samt fra en testprøve, som er brugt til generelle karakteriseringer af PFAS i en lang række laboratorier. I disse prøver dominerer PFOS med et indhold på 5,03 ng/g. PFAS-profilen i fiskemelet kunne genfindes i æg fra økologiske høns fodret med fiskemel (34). I denne besvarelse detekteres et PFOS-indhold på 2,67 ng/g prøve (as-is) i fiskemel.

Der detekteres et PFOS-indhold lige over detektionsgrænsen (0,05 ng/g prøve (as-is)) i den ene prøve af kommercielt kartoffelprotein koncentrat, mens der i sojaprotein koncentrat, detekteres 0,76 ng 6:2 FTSA/g prøve (as-is). Der findes ikke andre PFAS-forbindelser i disse højkoncentrerede proteinprodukter.

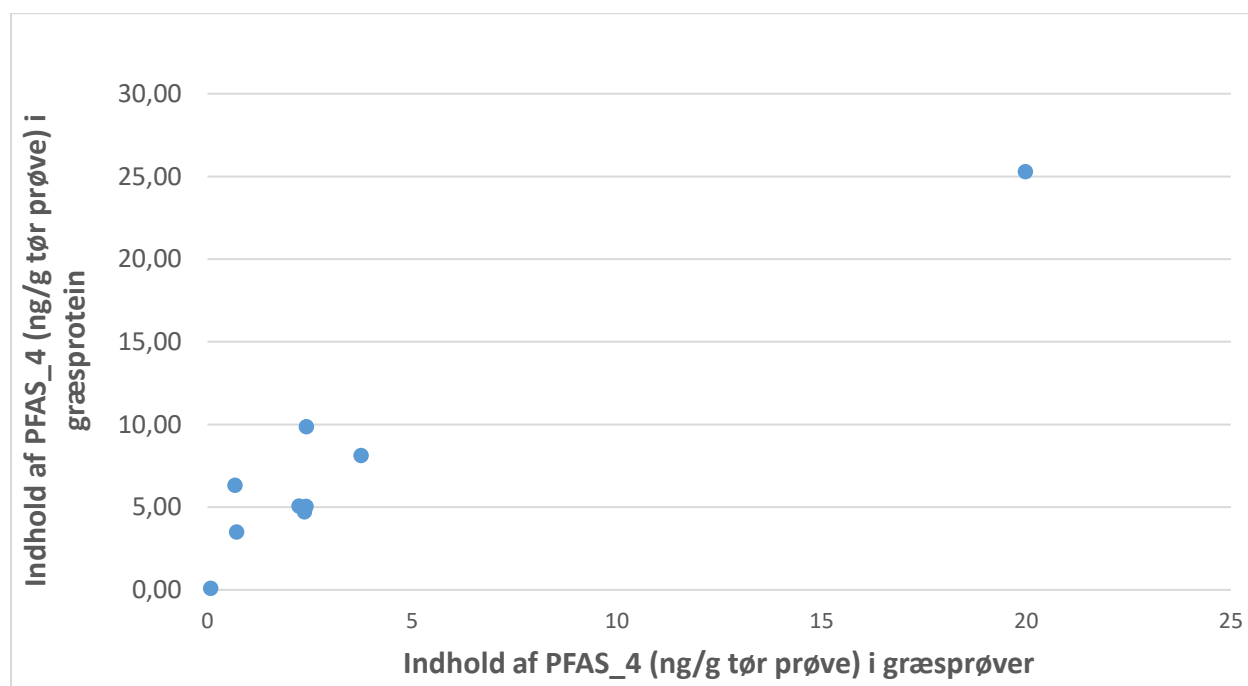
Rapsfrø præsenteret i Tabel 4 blev processeret til rapskage, som er et hyppigt brugt fodermiddel som kilde til protein og essentielle aminosyrer. I selve frøet er alle resultater under detektionsgrænsen, mens der i alle tilsvarende rapskager, bortset fra én, detekteres 6:2 FTSA i niveauer fra 0,17-0,93 ng/g prøve (as-is). PFAS er tidligere detekteret i olie fra raps (35), men det er ikke lykkedes at finde studier som rapporterer indhold i rapskage.

Der detekteres 0,53 ng/g prøve (as is) 6:2 FTSA i sojakagen, hvorimod indholdet i den oprindelige sojabønne er under detektionsgrænsen. I studiet af Granby et al. (2024) (34) blev der ikke fundet PFAS over detektionsgrænsen i økologisk sojakage fra Kina.

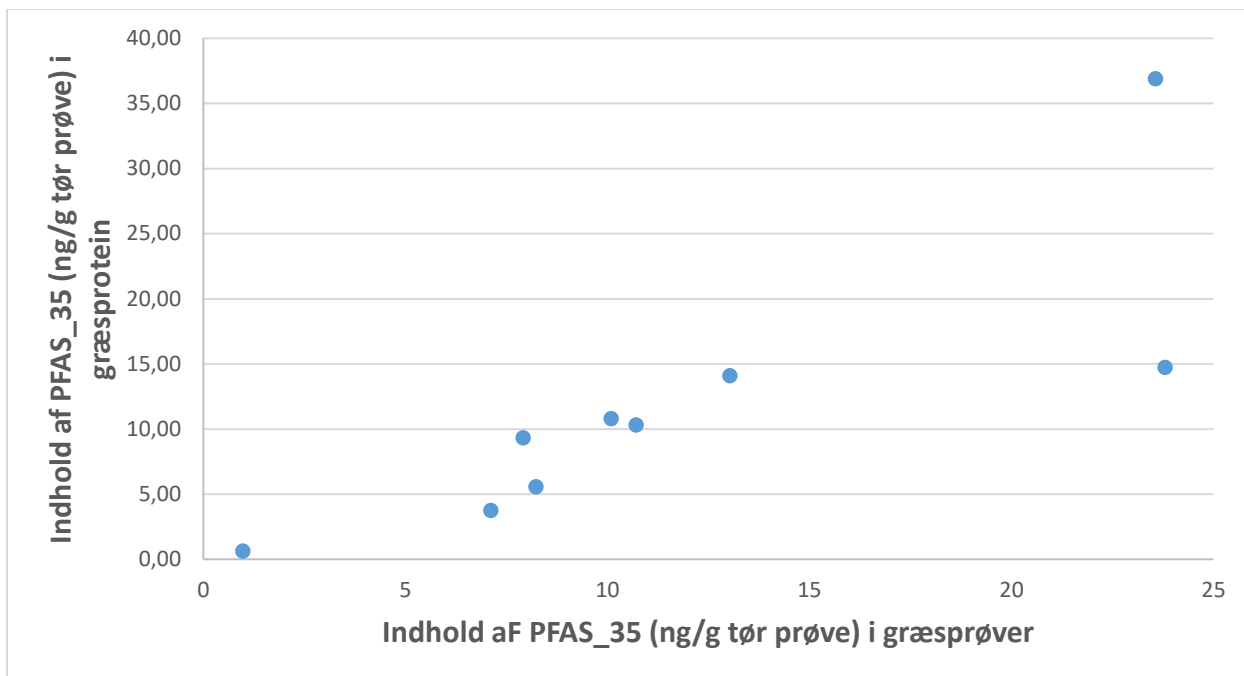
Ved bioraffinering af græs opkoncentreres indholdet af råprotein (på tørstofbasis) fra ca. 15-20 % i græsset til >50 % i det endelige produkt (20). I alle prøver af græsprotein bortset fra én, er det totale PFAS-indhold højt (Tabel 4) sammenlignet med de andre undersøgte fodermidler. Der detekteres et summeret indhold af de 35 analyserede PFAS-forbindelser på 0,63-36,40 ng/g tørret prøve, hvilket udgøres af op til 10 forskellige PFAS-forbindelser. Det summerede indhold af PFOA, PFOS, PFHxS og PFNA (PAFS_4) ligger mellem 0,08 og 9,86 ng/g tørret prøve, hvoraf PFOS udgør 0,08-7,76 ng/g tørret prøve. Trods detektion af flere forbindelser end i de tilsvarende græsprøver, så dominerer PFOS, PFOA og 6:2 FTSA også i græsproteinet. I nogle af prøverne fra den nordlige ende af Harbøre Tange erstattes detektionen af 6:2 FTSA med forbindelsen PFECHS, som bruges som alternativ til PFOS og detekteres i forskellige miljøprøver (36).

En risikovurdering fra EFSA har fastsat et tolerabelt ugentligt indtag af summen af PFOA, PFOS, PFHxS og PFNA (PAFS_4) på 4.4 ng/kg legemsvægt (13). Der foreligger ingen dokumenteret viden om overførsel af PFAS-forbindelser fra græsprotein til dyr via foder. Imidlertid, baseret på data fra fiskemel og æg (34), kan det antages, at PFAS-profilen i græsprotein i nogen grad vil kunne spejles i animalske produkter. En del studier fokuserer på at bruge græsprotein direkte som en mulig proteinkilde for mennesker. For en 75 kg person vil det tolerable ugentlige indtag af PFA_4 være på 330 ng, hvilket med det højest analyserede PFA_4 - indhold i græsproteinet på 25,25 ng/g svarer til et ugentligt indtag på 13 g græsprotein før det tolerable ugentlige indtag overskrides. Direkte inklusion af græsprotein produceret ud fra PFAS-holdige græsafgrøder i føde til mennesker kan således være en human eksponeringskilde til PFAS. Men det er værd at bemærke, at indtaget af græsprotein skal være relativt højt. Da denne besvarelse kun har undersøgt græsprotein produceret ud fra græs høstet i et begrænset geografisk område, kan der dog ikke laves generelle udtalelser omkring dansk produceret græsprotein.

En grafisk præsentation af indholdet af PFOA, PFOS, PFHxS og PFNA (PFAS_4) i græsprotein som funktion af indholdet i det oprindelige græs indikerer en sammenhæng mellem høje værdier i græsset og høje værdier i det bioraffinerede græsprotein (Figur 2). For samtlige 35 analyserede PFAS-forbindelser ses også en mulig sammenhæng mellem høje værdier i græsset og høje værdier i det bioraffinerede græsprotein (Figur 3). Det relativt lave antal prøver umuliggør statistiske sammenligninger. I Tabel 4 er der beregnet opkoncentringsfaktorer for PFOS, PFAS_4 og PFAS_35, dvs. forholdet mellem det absolutte indhold i det tørrede græsprotein og indholdet i det tørrede græs. PFOS i det tørrede græs opkoncentreres op til 8,8 gange i det tørrede græsprotein, mens PFAS_4 opkoncentreres op til 9,4 gange. For det samlede indhold af alle 35 PFAS-komponenter ses en mere varierende effekt af processering, hvor PFAS_35 fortyndes i nogle af græsproteinprøverne sammenlignet med græsset, mens det samlede indhold i andre prøver opkoncentreres en smule. Tallene indikerer, at PFOS, PFOS, PFNA og PFHxS i højere grad følger proteinfraktionen, mens andre PFAS-komponenter i græsset, primært 6:2 FTSA ikke på samme måde følger protein og dermed heller ikke opkoncentreres.



Figur 2. Sammenhæng mellem PFAS_4-indhold i græs og græsprotein (i de tørrede prøver).



Figur 3. Sammenhæng mellem PFAS_35-indhold i græs og græsprotein (i de tørrede prøver).

Konklusion

Indhold af PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS, de fire PFAS-komponenter, der hyppigst findes i fødevarer og ophobes i kroppen, er under detektionsgrænsen i de undersøgte protein- og kornafgrøder. I vinterhvede og kløvergræs indsamlet under solceller detekteres PFNA som eneste forbindelse af de fire førnævnte. De højeste værdier af PFAS findes i græs indsamlet på arealer langs den jyske vestkyst, hvor der også tidligere er målt høje koncentrationer. Her er det samlede PFAS-indhold repræsenteret ved en række forskellige forbindelser, hvor særligt PFOS, PFOA og PFOS-alternativet 6:2 FTSA dominerer. Størstedelen af de indsamlede græsprøver overskrider FVSTs indikatorværdier for PFOS og PFAS_4 indhold i foder til kød- og mælkekvæg samt æglæggere, men domineres primært af 6:2 FTSA, som ikke har været en del af tidligere analyser.

Til trods for at afgrøderne ikke er udvalgt specifikt mhp. at repræsentere forskellige dyrkningsloktioner, så indikerer den kendte sammenhæng mellem jordens indhold af PFAS og indhold af PFAS i planter, at jordens indhold af PFAS formodentlig er højere på de arealer i Vestjylland, hvor græsprøverne er indsamlet, ift. til der, hvor kornet i de indsamlede prøver har vokset.

Blandt kommercielle proteinkoncentrater findes PFAS som ventet i fiskemel, hvor PFOS og 6:2 FTSA dominerer. I de kommercielle vegetabiliske proteinkoncentrater fra kartoffel og soja er

PFOS-indholdet enten under eller på detektionsgrænsen. I Soja HP300 findes 6:2 FTSA. Processing af rapsfrø til rapskage samt sojabønne til sojakage medfører en detektion af 6:2 FTSA i alle prøverne som eneste PFAS. 6:2 FTSA er under detektionsgrænsen i både rapsfrø og sojabønne, hvilket indikerer en grad af opkoncentrering af 6:2 FTSA, når de to råvarer processeres til proteinfoder. I græs og bioraffineret græsprotein detekteres op mod 10 forskellige PFAS-forbindelser, hvor PFOS, PFOA og 6:2 FTSA dominerer. Indholdet af PFAS_4 er højere i græsproteinet end græsset, og både PFOS og PFAS_4 opkoncentreres ved bioraffinering. Sammenhængen mellem det summerede indhold af 35 PFAS-forbindelser i græs og græsprotein er mindre entydig. Både PFOS- og PFAS_4-indholdet i størstedelen af græsproteinprøverne overskrider FVSTs indikatorværdier.

Referencer

1. European Chemicals Agency E. Annex XV restriction report. Proposal for a restriction of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). 2023.
2. Buck RC, Franklin J, Berger U, Conder JM, Cousins IT, de Voogt P, et al. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integr Environ Assess Manag*. 2011;7(4):513-41.
3. Krafft MP, Riess JG. Selected physicochemical aspects of poly- and perfluoroalkylated substances relevant to performance, environment and sustainability-part one. *Chemosphere*. 2015;129:4-19.
4. OECD. Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs). 2013.
5. eBioMedicine. Forever chemicals: the persistent effects of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances on human health. *eBioMedicine*. 2023;95.
6. Ghisi R, Vamerali T, Manzetti S. Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review. *Environ Res*. 2019;169:326-41.
7. SC. All POPs listed in the Stockholm Convention, <https://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/ListingofPOPs/tabid/2509/Default.aspx> 2019 [
8. Death C, Bell C, Champness D, Milne C, Reichman S, Hagen T. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in livestock and game species: A review. *Sci Total Environ*. 2021;774:144795.
9. EFSA. Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. *EFSA Journal*. 2008;6(7):653.
10. Bischel HN, Macmanus-Spencer LA, Luthy RG. Noncovalent interactions of long-chain perfluoroalkyl acids with serum albumin. *Environ Sci Technol*. 2010;44(13):5263-9.
11. Chen YM, Guo LH. Fluorescence study on site-specific binding of perfluoroalkyl acids to human serum albumin. *Arch Toxicol*. 2009;83(3):255-61.
12. Qin P, Liu R, Pan X, Fang X, Mou Y. Impact of carbon chain length on binding of perfluoroalkyl acids to bovine serum albumin determined by spectroscopic methods. *J Agric Food Chem*. 2010;58(9):5561-7.
13. EFSA. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal*. 2020;18(9):e06223.
14. Mikolajczyk S, Warenik-Bany M, Pajurek M, Marchand P. Perfluoroalkyl substances in the meat of Polish farm animals and game - Occurrence, profiles and dietary intake. *Sci Total Environ*. 2024;945:174071.
15. Simones TL, Evans C, Goossen CP, Kersbergen R, Mallory EB, Genualdi S, et al. Uptake of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Mixed Forages on Biosolid-Amended Farm Fields. *J Agric Food Chem*. 2024;72(42):23108-17.
16. Li X, Dong S, Zhang W, Fan X, Wang R, Wang P, et al. The occurrence of perfluoroalkyl acids in an important feed material (fishmeal) and its potential risk through the farm-to-fork pathway to humans. *J Hazard Mater*. 2019;367:559-67.
17. Fødevareinstituttet. Indhold af PFAS i fiskemel og via indhold i økologisk foder i økologiske æg. 2023.
18. Tybirk P. Anbefalinger for maksimalt indhold af fiskemel i grisefoder nedjusteres af hensyn til risikoen for PFAS. 2023.
19. Stødkilde L, Ambye-Jensen M, Jensen S. Biorefined grass-clover protein composition and effect on organic broiler performance and meat fatty acid profile. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2020;104.
20. Jørgensen U, Jensen SK, Ambye-Jensen M. Coupling the benefits of grassland crops and green biorefining to produce protein, materials and services for the green transition. *Grass and Forage Science*. 2022;77(4):295-306.
21. Sá AGA, Moreno YMF, Carciofi BAM. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;97:170-84.
22. Zhang R, Fang X, Feng Z, Chen M, Qiu X, Sun J, et al. Protein from rapeseed for food applications: Extraction, sensory quality, functional and nutritional properties. *Food Chemistry*. 2024;439:138109.



23. NIRAS. Screening af forekomsten af PFAS på Naturstyrelsens kystnære og vestvendte arealer i Jylland og på Sjælland. Naturstyrelsen; 2023.
24. Stahl T, Heyn J, Thiele H, Hüther J, Failing K, Georgii S, et al. Carryover of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) from soil to plants. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2009;57(2):289-98.
25. Fomsgaard IS. Optag af PFAS i planter fra dyrkningsjorden–del 2. 2023.
26. Baun A, Bjerg PL, Jensen J, Jensen TK, Lyngberg A, Strobel BW, et al. Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark: Del 1: Identifikation af videnshuller. 2023.
27. Andreasen CB. Great opportunities for Denmark to secure self-sufficiency in protein: Department of Agroecology; 2020 [Available from: <https://agro.au.dk/en/current-news/news/show/artikel/gode-muligheder-for-dansk-selvforsyning-med-protein-1>].
28. Bohannon ME, Narizzano AM, Guigni BA, East AG, Quinn MJ, Jr. Next-generation PFAS 6:2 fluorotelomer sulfonate reduces plaque formation in exposed white-footed mice. *Toxicological Sciences*. 2023;192(1):97-105.
29. Brusseau ML, Anderson RH, Guo B. PFAS concentrations in soils: Background levels versus contaminated sites. *Sci Total Environ*. 2020;740:140017.
30. Zhao S, Liang T, Zhu L, Yang L, Liu T, Fu J, et al. Fate of 6:2 fluorotelomer sulfonic acid in pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) based on hydroponic culture: Uptake, translocation and biotransformation. *Environmental Pollution*. 2019;252:804-12.
31. Lasters R, Groffen T, Eens M, Bervoets L. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in homegrown crops: Accumulation and human risk assessment. *Chemosphere*. 2024;364:143208.
32. Piva E, Fais P, Ioime P, Forcato M, Viel G, Cecchetto G, et al. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) presence in food: Comparison among fresh, frozen and ready-to-eat vegetables. *Food Chemistry*. 2023;410:135415.
33. Jensen AA, Warming M. Short-chain polyfluoroalkyl substances (PFAS). The Danish Environmental Protection Agency. 2015.
34. Granby K, Ersbøll BK, Olesen PT, Christensen T, Sørensen S. Per- and poly-fluoroalkyl substances in commercial organic eggs via fishmeal in feed. *Chemosphere*. 2024;346:140553.
35. Sznajder-Katarzyńska K, Surma M, Wiczowski W, Piskula M. Determination of perfluoroalkyl substances (PFASs) in fats and oils by QuEChERS/micro-HPLC-MS/MS. *Food Research International*. 2020;137:109583.
36. Mahoney H, Cantin J, Xie Y, Brinkmann M, Giesy JP. Perfluoroethylcyclohexane sulphonate, an emerging perfluoroalkyl substance, disrupts mitochondrial membranes and the expression of key molecular targets in vitro. *Aquatic Toxicology*. 2023;257:106453.

Bilag 1. Opsummering af de analyserede PFAS- forbindelser, deres precursor- og product ioner samt den relative ¹³C-PFAS anvendt til kvantificering.

Forbindelse	Kemisk navn	Precursor (m/z)	Quantifier (m/z)	Qualifier (m/z)	Intern standard
PFBA	Perfluorbutansyre	263	219	-	PFBA ¹³ C ₄
PFBS	Perfluorbutansulfonsyre	299	80	99	PFBS ¹³ C ₃
PFBA ¹³ C	Perfluorbutansyre	217	172	-	-
PFPeA	Perfluorpentansyre	263	219	-	PFPeA ¹³ C ₅
PFPeA ¹³ C	Perfluorpentansyre	268	223	-	-
PFBS ¹³ C	Perfluorbutansulfonsyre	302	80	-	-
PFPeS	Perfluorpentansulfonsyre	350	80	99	PFBS ¹³ C ₃
PFHxS	Perfluorhexansulfonsyre	399	80	99	PFHxS ¹³ C ₃
PFHxS ¹³ C ₃	Perfluorhexansulfonsyre	403	103	-	-
PFHxA	Perfluorhexansyre	313	119	270	PFHxA ¹³ C ₅
PFHxA ¹³ C ₅	Perfluorhexansyre	315	270		-
PFHpA	Perfluorheptansyre	363	319	169	PFHpA ¹³ C ₄
PFHpS	Perfluorheptansulfonsyre	449	99	80	PFOS ¹³ C ₈
PFHpA ¹³ C	Perfluorheptansyre	367	322	-	
PFOS	Perfluoroktansulfonsyre	499	99	80	PFOS ¹³ C ₈
PFOS ¹³ C	Perfluoroktansulfonsyre	503	99	-	-
PFNA	Perfluornonansyre	463	419	219	PFNA ¹³ C ₉

PFNA ¹³ C ₉	Perfluornonansyre	468	423	-	-
PFOA	Perfluoroktansyre	413	169	219	PFOA ¹³ C ₈
PFOA ¹³ C ₈	Perfluoroktansyre	417	372	-	-
PFNS	Perfluornonansulfonsyre	549	99	80	PFNA ¹³ C ₉
PFDS	Perflordekanesulfonsyre	599	80	99	PFOS ¹³ C ₈
PFDA	Perfluordekansyre	513	469	219	PFDA ¹³ C ₆
PFDA ¹³ C ₆	Perfluordekansyre	515	470	-	-
PFUnA	Perfluoroundecansyre	563	519	169	PFUnA ¹³ C ₇
PFUnA ¹³ C	Perfluorundekansyre	565	520	-	-
PFUdS	Perfluorundekansulfonsyre	649	99	80	PFUnA ¹³ C ₇
PFDoA	Perfluordodekansyre	613	569	169	PFDoA ¹³ C ₂
PFDoA ¹³ C	Perfluordodekansyre	615	570	-	-
PFDoS	Perfluordodekansulfonsyre	699	99	80	PFDoA ¹³ C ₂
PFOSA	Perfluoroktansulfonamid	498	78	169	PFOSA ¹³ C ₈
PFTeA	(Perfluortridekansulfonsyre	749	99	80	PFTeA ¹³ C ₂
PFOSA ¹³ C ₈	Perfluoroktansulfonamid	506	78	-	-
PFTeA	Perfluorotetradekansyre	713	669	169	PFTeA ¹³ C ₂
PFTeA	Perfluortridekansyre	663	619	169	PFTeA ¹³ C ₂

PFTeA ¹³ C ₂	Perfluorotetradekansyre	715	670	-	
PFHxDA	Perfluorohexadekansyre	813	769	269	PFTeA ¹³ C ₂
PFODA	Perfluorooktadekansyre	913	869	369	PFTeA ¹³ C ₂
ADONA	4,8-dioxa-3H-perfluorononanoic acid	377	215	85	PFHxS ¹³ C ₂
HFPO-DA (Gen-X)	Hexafluoropropylene Oxid-Dimer syre	285	269	185	HFPO-DA ¹³ C ₈
HFPO-DA ¹³ C ₈	Hexafluoropropylene Oxid-Dimer syre	287	169	-	-
6:2 FTUCA	2H-Perfluoro-2-oktenoicsyre	357	293	243	6:2 FTCA ¹³ C ₂
8:2 FTUCA	2H-Perfluoro-2-decenoic syre	457	393	343	8:2 FTCA ¹³ C ₂
6:2 FTCA ¹³ C ₂	6:2 fluorotelomersyre	379	294	-	
8:2 FTCA ¹³ C ₂	8:2 fluorotelomersyre	479	394	-	
4:2 FTSA	4:2 fluorotelomersulfonat	327	307	80	6:2 FTSA ¹³ C ₂
6:2 FTSA	6:2 fluorotelomersulfonat	427	407	80	6:2 FTSA ¹³ C ₂
8:2 FTSA	8:2 fluorotelomersulfonat	527	507	80	6:2 FTSA ¹³ C ₂
6:2 FTSA ¹³ C ₂	6:2 fluorotelomersulfonat	429	409		-
PFECHS	Perfluoroethylcyclohexan Sulfonat	461	381	99	HFPO-DA ¹³ C ₈
9-Cl-PF3ONS	Perfluoro(2-((6-chlorohexyl)oxy) ethanesulfonsyre)	531	351	83	HFPO-DA ¹³ C ₈

11-Cl- PF3OUdS	11-chloroeicosafluoro-3- oxaundecane-1- sulfonsyre	631	451	83	HFPO-DA ¹³ C _{8s}
-------------------	--	-----	-----	----	--

