

546.171
B20

NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Nr. A15 1990

Ammoniakfordampning fra bygplanter



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Wyd. 12.3.90

Om NPo-forskningsprogrammet

EM.3
NPo-forskningsprogrammet skal tilvejebringe viden om, hvordan kvælstof (N), fosfor (P) og organisk stof (o) omsættes i jord og påvirker søer, vandløb, fjorde, hav og grundvand.

Denne rapport er een af de ca. 50, der udsendes som et resultat af NPo-forskningsprogrammet. Med Miljøstyrelsen som ansvarlig for programmets gennemførelse er der sat ca. 70 NPo-projekter i gang ved 25-30 institutioner.

Op gennen 1970'erne og i 80'ernes begyndelse kom der en stigende erkendelse af, at udledninger af næringsstoffer kunne blive en trussel mod livet i vandløb m.v. – og af at der kunne ske en nitratforurening af grundvandet. Den eksisterende viden blev i 1984 samlet af Miljøstyrelsen i den såkaldte NPo-rapport.

Rapporten førte til, at Folketinget i 1985 vedtog de første indgreb for at begrænse forureningen med næringsstoffer – ved at stille krav om, hvordan landbruget skal opbevare og sprede husdyrgødningen.

For at skaffe en større viden om næringsstoffernes indvirkning på naturen afsatte Folketinget samtidig 50 mill. kr. til dette forskningsprogram – som løber fra 1985 og frem til udgangen af 1990.

NPo-forskningsprogrammet blev yderligere aktuelt med Folketingets vedtagelse af Vandmiljøplanen i 1987. Her vil NPo-programmets resultater indgå som et vigtigt baggrundsmateriale for vurderingen af Vandmiljøplanens virkninger.

Til at sikre den faglige og økonomiske afvejning af forskningen blev der nedsat en styringsgruppe, som således har haft det øverste ansvar for NPo-programmets gennemførelse. Desuden blev der nedsat tre koordinationsgrupper, som hver har haft det faglige ansvar for deres område: jord og luft, grundvand og overfladevand.

Rapporterne udsendes i serien »NPo-forskning fra Miljøstyrelsen« – som er opdelt i A, B og C publikationer:

- A er rapporter om jord og luft
- B er rapporter om grundvand
- C er rapporter om vandløb, søer og marine områder

Miljøstyrelsen har været sekretariat for arbejdet og har sammen med koordinationsgrupperne stået for redaktionen af denne rapportserie.

4209

**NPo-forskning fra Miljøstyrelsen
Nr. A15 1990**

Ammoniakfordampning fra bygplanter

Feltundersøgelser 1989 og 1990

Jan K. Schjørring
Søren Byskov-Nielsen
Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

**Miljøministeriet
Miljøstyrelsen**

Indholdsfortegnelse

Sammendrag	5
1. Indledning	6
2. Materialer og metoder	7
2.1 Forsøgsareal	7
2.2 Måling af ammoniakfordampning	7
2.3 Planteprov	11
2.4 Kemiske analyser	12
3. Resultater	13
3.1 Klimaforhold	13
3.2 Ammoniakfordampning 1989	14
3.3 Relationen mellem NH ₃ -fordampning og N-omsætning i planterne i 1989	18
3.4 Ammoniakfordampning 1990	20
3.5 Relationen mellem NH ₃ -fordampning og N-omsætning i planterne i 1990	24
4. Diskussion og konklusion	26
5. Erkendtlighed	28
6. Referencer	29

Sammendrag

I vækstsæsonerne 1989 og 1990 fordampede mellem $\frac{1}{2}$ og $1\frac{1}{2}$ kg $\text{NH}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ fra de overjordiske dele af vårbygplanter, dyrket i markforsøg ved tre forskellige kvælstofniveauer. Størstedelen af det målte NH_3 -tab indtraf i den sidste halvdel af juni måned og i juli måned, d.v.s. i perioden mellem skridning og modenhed.

Karakteristisk for begge års forsøg var meget gunstige vækstforhold og opnåelse af høje kerneudbytter. Som følge heraf var betingelserne for indlejring af kvælstof i kernerne også gode, hvilket resulterede i, at mængden af kvælstof i kernerne i forhold til den totale mængde af kvælstof i planterne ved modenhed blev meget høj (større end 0,74). Disse forhold har sandsynligvis været medvirkende til, at ammoniaktabene blev så lave i de to års forsøg. I overensstemmelse med det lille tab af gasformigt kvælstof skete der heller ikke noget tab af ^{15}N -mærket kvælstof fra de overjordiske dele af bygplanterne.

Ammoniakfordampning fra planter vil være en ubetydelig post i kvælstofbalancen, såfremt tabet kun er af en størrelse svarende til den, målt i de to år, som ligger til grund for nærværende rapport. Amerikanske undersøgelser viser et tab på ca. $15 \text{ kg NH}_3\text{-N ha}^{-1}$ fra vinterhvede. Det vides ikke om tab af samme størrelsesorden kan forekomme under danske forhold, f.eks. i år med mindre gunstige vækstbetingelser. Resultater med isotop-beriget (^{15}N) kvælstof antyder, at det kan være tilfældet.

Nærværende forsøg har desuden kun omfattet en enkelt vårbyg-sort. Der kan formentligt være sortsforskelle i afgivelsen af ammoniak til atmosfæren, idet der er forskelle mellem sorter med hensyn til evnen til at genanvende kvælstof fra de vegetative plantedele i kernerne. Dette trænger til en nærmere undersøgelse. Det samme gælder for forskelle mellem plantearter med hensyn til afgivelsen af gasformigt kvælstof. Der foreligger eksempelvis ingen resultater for NH_3 -fordampning fra så vigtige landbrugsplanter som raps og ært.

1. Indledning

Baggrunden for undersøgelserne af ammoniakfordampning fra planter

I et treårigt markforsøg 1982-1984 vedrørende kvælstofdynamikken i en bygmark observeredes et tab på 5 til 40 kg N ha⁻¹ af ¹⁵N-mærket gødningskvælstof fra de overjordiske plantedele (Schjørring et al. 1989). De største tab optrådte i år, hvor forholdet mellem mængden af kvælstof i kernerne og den totale mængde af kvælstof i de overjordiske dele af afgrøden ved høst (kvælstofhøstindexet) var lavt (mindre end ca. 0,63). Det blev foreslået, at en del af det forsvundne kvælstof var fordampet direkte fra bygplanternes overjordiske dele.

Undersøgelser i klimakamre har indenfor det seneste årti fastslået, at ammoniak (og måske flygtige aminer) kan fordampe direkte fra planters overflade (Farquhar et al. 1980, O'Deen & Porter 1986, Parton et al. 1988, Schjørring 1990).

Udvekslingen af ammoniak mellem planter og atmosfære under markforhold har tidligere kun været undersøgt i et enkelt tilfælde. Denne undersøgelse skete i Georgia, USA, hvor Harper et al. (1987) i forsøg med vinterhvede målte et samlet tab på ca. 15 kg NH₃-N ha⁻¹ gennem hele vækstperioden.

Ammoniakfordampning fra planter måles under danske forhold

Formålet med nærværende projekt var:

- at belyse udvekslingen af ammoniak mellem en vårbyg-afgrøde og atmosfæren under markforhold i Danmark.
- at relatere denne udveksling til kvælstofgødskningen og planternes kvælstofdynamik.

2. Materialer og metoder

2.1 Forsøgsareal

Forsøgsareal og forsøgsbehandlinger	Forsøgene gennemførtes på Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskoles forsøgsgård i Tåstrup i vækstsæsonerne 1989 og 1990. Jordtypen var sandblandet lerjord til lerjord (JB 5-7). Kvælstof blev tilført i form af kalkammonsalpeter (NH_4NO_3) i tre forskellige mængder: 40, 120 og 160 kg N ha^{-1} . Disse tre gødningsniveauer blev valgt for at repræsentere henholdsvis underforsyning, optimal tilførsel og overgødsning med kvælstof. Med henblik på at følge afgrødens optagelse af det tilførte kvælstof blev der på hvert kvælstofniveau endvidere etableret fire mikroparceller á 4 m ² , hvor kvælstofgødskningen skete med isotop-beriget N (NH_4NO_3 med ca. 5% ¹⁵ N i form af ¹⁵ NH ₄ ¹⁵ NO ₃).
Tre forskellige kvælstofniveauer	I 1989 bestod forsøgsarealet af tre separate marker med en størrelse på 0,8-3,5 ha. I 1990 blev de 3 marker placeret som cirkulære parceller med en diameter på 50 m i en mark på i alt 3,5 ha. Arealet omkring parcellerne blev tilsået, men ikke kvælstofgødsket. Den indbyrdes afstand mellem parcellerne var 30 m. Forfrugten på forsøgsarealet var vårbyg med undtagelse af marken tildelt 160 kg N ha^{-1} i 1989, hvor forfrugten var rødkløver.
Bygsorten Corgi valgtes p.g.a. ringe lejesædstendens	Vårbyg af sorten Corgi udsåedes begge år den 10. april med 160 kg ha^{-1} . Baggrunden for sortsvalget var ønsket om en stråstiv afgrøde med en absolut ringe lejesædstendens. Alle marker blev grundgødet med P og K (400 kg 0-5-12 ha^{-1}) og i øvrigt behandlet i henhold til almindelig landmandspraksis m.h.t. plantebeskyttelse. Høst af planteprøver ved modenhed blev foretaget 7. august og 2. august i henholdsvis 1989 og 1990.

2.2 Metoder

Mikrometeorologiske metoder påvirker ikke mikroklimaet	Plantebevoksningers udveksling af ammoniak med atmosfæren studeres bedst ved anvendelse af mikrometeorologiske målemetoder, idet disse ikke ændrer de mikroklimatiske forhold (lufttemperatur, vindhastighed, luftfugtighed), der påvirker ammoniakfordamp-
--	---

ningen (Denmead 1983). Ulemperne ved de eksisterende mikro-meteorologiske metoder er, at de er særdeles arbejds- og arealkrævende.

Beskrivelse af metode anvendt i 1989 (aerodynamisk metode)

I 1989 var målingerne af NH_3 -fordampning baseret på dannelse af ligevægts NH_3 -koncentrationsprofiler i den jordnære atmosfære, når vinden blæser over en stor, ensartet ru ammoniakkilde (aerodynamisk metode). Metoden indebærer måling af vindhastighed, temperatur og luftens NH_3 -koncentration i flere højder over afgrøden. Den vertikale flux af ammoniak fra forsøgsarealet (ammoniakfordampningen pr. overfladeenhed af forsøgsarealet) beregnes ud fra hældningerne af de logaritmerede vindhastigheds- og ammoniakkoncentrationsprofiler (Paulson 1970). Forud for beregningerne korrigeres profilerne for atmosfærens termiske tilstand, hvorefter den vertikale NH_3 -flux, F_v ($\mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) kan beregnes ved:

$$F_v \hat{=} k u^* c^* \quad (1)$$

hvor k = von Karmans konstant (ca. 0,4)

u^* = friktionshastigheden (m s^{-1})

c^* = hældningen af det logaritmiske ammoniakkoncentrationsprofil ($\mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-3}$)

Beskrivelse af metode anvendt i 1990 (massebalancemetode)

På grund af arealmæssige begrænsninger ændredes metoden i 1990 til en massebalancemetode, der i modsætning til den aerodynamiske metode kan anvendes på relativt små forsøgsarealer (under 0,5 ha) og ikke kræver korrektion for atmosfærens stabilitet (Denmead 1983).

Den horisontale NH_3 -flux i en given højde z beregnes i massebalancemetoden som forskellen mellem mængden af NH_3 , der pr. tidsenhed transporteres over henholdsvis centrum og udkanten i vindsiden af forsøgsarealet. Luftens ammoniakkoncentration og vindhastigheden bestemmes derfor i forskellige højder inden vinden blæser ind over forsøgsarealet samt midt i det cirkulære

forsøgsareal. Den vertikale ammoniakflux, F_v kan herefter beregnes v.h.a. af ligning (2) (Ryden & McNeill 1984):

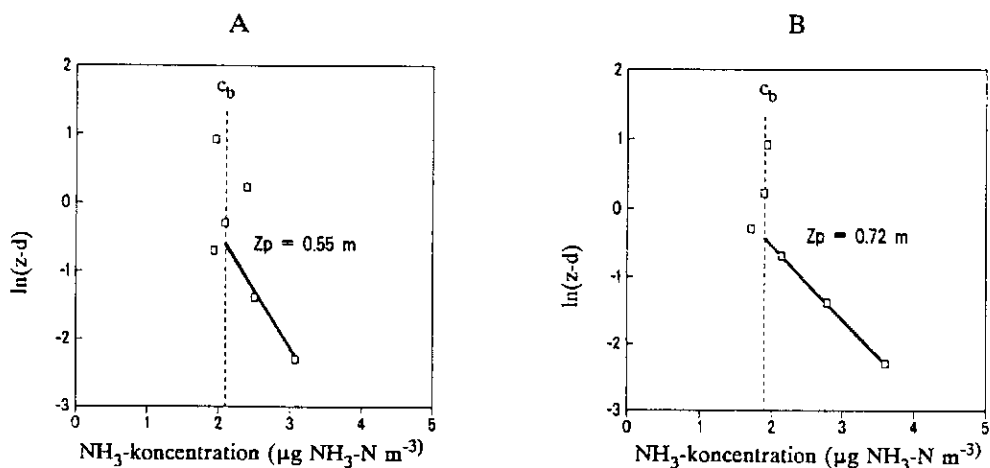
$$F_v \hat{=} \frac{1}{x} \int_{z_0}^{z_p} (\bar{u}c - \bar{u}c_b) dz \quad (2)$$

hvor

- x = radius af forsøgsarealet (m)
- u = den gennemsnitlige vindhastighed ($m s^{-1}$)
- c = den atmosfæriske NH_3 -koncentration i centrum af arealet ($\mu g NH_3-N m^{-3}$)
- c_b = baggrundskoncentrationen af ammoniak ($\mu g NH_3-N m^{-3}$)
- z = målehøjden (m)
- z_p = højden (m), hvor ammoniakkoncentrationen i centrum af arealet er lig med baggrundskoncentrationen ($c_b = c$)
- z_0 = ruhedslængden (m)

Bestemmelse af luftens ammoniakkoncentration med syrefælder

Den atmosfæriske ammoniakkoncentration blev målt i 6 højder over afgrøden. Den øverste højde var $2\frac{1}{2}$ til 4 meter over jordoverfladen. Desuden blev der målt i 2 højder i afgrøden. Målingerne udførtes ved i hver målehøjde at opsætte 250 ml Drechsel gasvaskeflasker, indeholdende en kendt mængde 0,05 M H_2SO_4 (50-100 ml) på en dertil indrettet mast. Atmosfærisk luft blev v.h.a. separate membranpumper suget gennem syreopløsningen med et flow på ca. $8 l min^{-1}$. Det præcise flow for hver pumpe i hver måleperiode aflæstes v.h.a. et flowmeter. Efter en afsluttet måleperiode (eks. 9^{00} - 18^{00}) blev flaskerne indsamlet fra masterne og ammoniumindholdet i syren bestemt spektrofotometrisk (afsnit 2.4). Den atmosfæriske ammoniakkoncentration i en given højde beregnedes ud fra ammoniumindholdet i syren, luftgennemstrømningshastigheden og måleperiodens længde. Eksempler på de målte NH_3 -koncentrationsprofiler er vist i Figur 1.



Figur 1. Eksempler på NH_3 -koncentrationsprofiler i 1990. (A) 23 juni (120 kg N), (B) 26 juni (160 kg N). Symbolbetegnelser som i ligning 2, side 9.

Det samlede NH_3 -tab gennem vækstsæsonen blev beregnet ved integration af et 4. ordens polynomium tilpasset de eksperimentelle data efter mindste kvadraters metode. Da de mikroklimatiske metoder som nævnt er særdeles arbejds- og arealkrævende, var det ikke i nærværende undersøgelser muligt at udføre gentagelser af målingerne på en given dag. Det er derfor nødvendigt at betragte tiden som gentagelse.

Det blev undersøgt om ammoniak fordampede fra jorden

Med henblik på at undersøge, om jorden havde bidraget til en registreret ammoniakfordampning, blev små bægre, indeholdende 7.9% ammoniumnikkelsulfat (pH 6.0) med 5 ppm methylrødt, placeret på jordoverfladen under en plastikbøtte, der vendt på hovedet blev presset 1-2 cm ned i jorden omkring opsamlingsbægerne. Bægerne henstod 4 døgn, hvorefter evt. absorberet NH_3 bestemtes ved titrering med 0,05 M H_2SO_4 .

2.3 Planteprøver

Planternes kvælstofdynamik

Med henblik på at relatere en evt. ammoniak-fordampning til kvælstoffets transport og omsætning i planterne blev der 1-2 gange ugentlig indsamlet planter fra forsøgsarealerne (8 gange 1 m sårække i hver mark). Disse planter blev umiddelbart efter afskæring puttet ned i en køletaske og transporteret til kølerum (4 °C).

I kølerummet blev friskvægten af hver enkelt række først bestemt, hvorefter de 8 rækker blev slået sammen, og der blev udtaget en repræsentativ prøve, svarende til ca. 20-50% af det samlede antal planter. Variationskoefficienten på middeltallet af friskvægten af de 8 rækker var i gennemsnit 7% og oversteg på intet tidspunkt 11%.

De udtagne planter blev dernæst opdelt i følgende fraktioner: aks, flagblad, de to øverste blade, de to midterste blade, nedre blade, ikke-aksbærende sideskud, og stængler med bladskeuder. Umiddelbart efter fraktioneringen blev hver fraktion nedfrosset med tøris til ca. -60 °C. Disse prøver blev senere analyseret for total N, nitrat, ammonium, amider og aminosyrer med henblik på at relatere NH₃-fordampningen til evt. variationer i indholdet af disse kvælstofforbindelser i planterne. En del af det fraktionerede plantemateriale blev frataget inden nedfrysning og anvendt til bestemmelse af aktiviteten af glutamin syntetase og glutamat syntase, to enzymer som er centrale i kvælstofomsætningen i planter.

De ikke fraktionerede planter blev anvendt til bestemmelse af tørstofudbytte og total-N, ligesom der af enkeltfraktionerne blev udtaget prøver til bladarealbestemmelse, tørvægt og total-N.

Resultaterne for planternes indhold af forskellige kvælstofforbindelser og for enzymaktiviteter er ikke inkluderet i nærværende rapport, men vil blive præsenteret i efterfølgende publikationer.

I hver af de 4 mikroparceller, hvor kvælstofgødskningen skete med ¹⁵N-beriget kvælstof, blev på hvert prøveudtagningstidspunkt udtaget 15 tilfældigt valgte planter. De 4×15 planter blev slået sammen, og der blev udtaget en repræsentativ prøve til bestemmelse

af ^{15}N -berigelsen i plantematerialet. På enkelte prøvetidspunkter blev de 15 planter fra hver mikroparcel dog analyseret hver for sig med henblik på at bestemme usikkerheden på berigelsen. Variationskoefficienten på middeltallet af berigelsen var omkring 7%.

Udtagning og fraktionering af planteprøver skete 2 gange ugentligt. Der blev lagt vægt på en hyppig udtagning af prøver gennem vækstperioden, idet mulighederne for at følge det tidsmæssige forløb af de undersøgte parametre derved forbedres. Med en prøveudtagning af denne hyppighed var det ikke muligt at gennemføre fraktionering af flere uafhængige gentagelser på hvert prøveudtagningstidspunkt.

2.4 Kemiske analyser

Ammoniumkoncentrationen i syreopløsningerne fra gasvaskeflaskerne blev bestemt på autoanalyser efter en metode, baseret på dannelse af et blå farvekompleks ved reaktion mellem phenol, hypochlorit og ammonium (Berthelots reaktion), forstærket i hastighed og intensitet ved tilsætning af nitrosopentacyanoferrat (Na-nitroprussid). Alternativt til denne metode anvendtes en manuel spektrofotometrisk metode, baseret på reaktion mellem dichloro-isocyanurat, salicylat og ammonium i nærvær af Na-prussid (ISO 7150). Begge metoder havde en detektionsgrænse på 0,02 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$.

Total-N og ^{15}N i plantemateriale bestemtes ved hjælp af henholdsvis en elementaranalysator (Carlo Erba EA 1108) og et massespektrometer (Tracermass Stable Isotope Analyzer, Europa Scientific).

3. Resultater.

3.1 Klimaforhold 1989/1990

Nedbøren i vækstperioden var i begge forsøgsår ca. 25% lavere end normalt

Månedsgennemsnit for lufttemperatur, global stråling, nedbør og potentiel evapotranspiration i vækstsæsonerne 1989 og 1990 er angivet i tabel 1. Den samlede nedbørsmængde målt på Højbakkegård i vækstsæsonen 1989 var 159 mm fra såning og til høst mod en normalnedbør i vækstperioden på 202 mm. Nedbørsunderskuddet i 1989 var størst i maj og juni, hvilket resulterede i en fremskyndet modning i alle marker. I 1990 var den samlede nedbør for vækstsæsonen kun 153 mm, men en bedre fordeling af nedbøren og en lavere evapotranspiration bevirkede, at planterne undgik synlig tørkestress. Halvdelen af nedbøren i vækstperioden 1990 faldt fra begyndende skridning omkring 20. juni og 14 dage frem.

Tabel 1. Månedsværdier for lufttemperatur, global stråling, nedbør og potentiel evapotranspiration i vækstsæsonerne 1989 og 1990.

	april	maj	juni	juli
Lufttemperatur (°C)				
1989	5.9	11.5	14.6	16.8
1990	7.8	12.0	14.9	15.8
Normal *	5.5	11.5	14.6	16.8
Global stråling (MJ m ⁻²)				
1989	418	679	654	619
1990	481	627	515	610
Normal *	411	574	608	573
Nedbør (mm)				
1989	43	14	37	65
1990	47	21	48	37
Normal *	39	43	53	67
Potentiel evapotranspiration (Penman), (mm)				
1989	59	110	102	106
1990	66	87	93	116
Normal *	57	93	103	102

* Gennemsnitsværdier for 1961-1990.

3.2 Ammoniakfordampning 1989

Det samlede ammoniaktab i 1989 var $\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$ kg $\text{NH}_3\text{-N ha}^{-1}$

Det samlede kvælstoftab i form af ammoniak, fordampet fra planterne, var af størrelsesorden $\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$ kg N (tabel 2). Fordampningen var størst ved det højeste kvælstofniveau. Der var ikke i 1989 nogen signifikant forskel i kerneudbyttet ved de tre kvælstofniveauer (tabel 2). Derimod steg proteinindholdet i kernerne med stigende N-tilførsel (tabel 2). Kvælstofhøstindexet (mængden af kvælstof i kerner i forhold til den totale mængde af kvælstof i planterne ved modenhed) var ved alle tre kvælstofniveauer meget højt (tabel 2).

Tabel 2. Samlet ammoniakfordampning, kvælstofhøstindex, kerneudbytte og proteinindhold i kerner for markerne tildelt 40, 120 og 160 kg N ha^{-1} i vækstsæsonen 1989 (95% konfidensintervaller for kvælstofhøstindex, kerneudbytte og proteinindhold).

	Kvælstofniveau		
	40 N	120 N	160 N
Ammoniaktab (kg $\text{NH}_3\text{-N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$)	0.7	1.0	1.3
Kvælstof-høstindex (%)	84 ± 2	80 ± 3	80 ± 3
Kerneudbytte med 15% vand (hkg ha^{-1})	64 ± 5	62 ± 7	63 ± 8
Proteinindhold (%)	9.8 ± 0.5	12.6 ± 1.1	13.7 ± 0.8

Forløbet af ammoniakfordampningen gennem forsøgsperioden (fra 19. maj og til 3. august), opdelt på henholdsvis dagperioder og natperioder, fremgår af Figurerne 2 og 3.

Ammoniakfordampning forekom kun om dagen og overvejende i kernefyldningsperioden

Ammoniakfordampning fra afgrøden forekom kun om dagen, ikke om natten. Udtrykt i relation til planternes udviklingstrin begyndte NH_3 -afgivelsen midt i strækingsfasen (omkring dag nr. 155, svarende til først i juni) og fortsatte til endt kernefyldning. På det laveste kvælstofniveau blev i flere tilfælde observeret en nettoabsorption af NH_3 i dagtimerne, medens dette aldrig var tilfældet på det højeste N-niveau (Figur 2).

Højere NH_3 -koncentration nede i plantebestanden end over plantebestanden

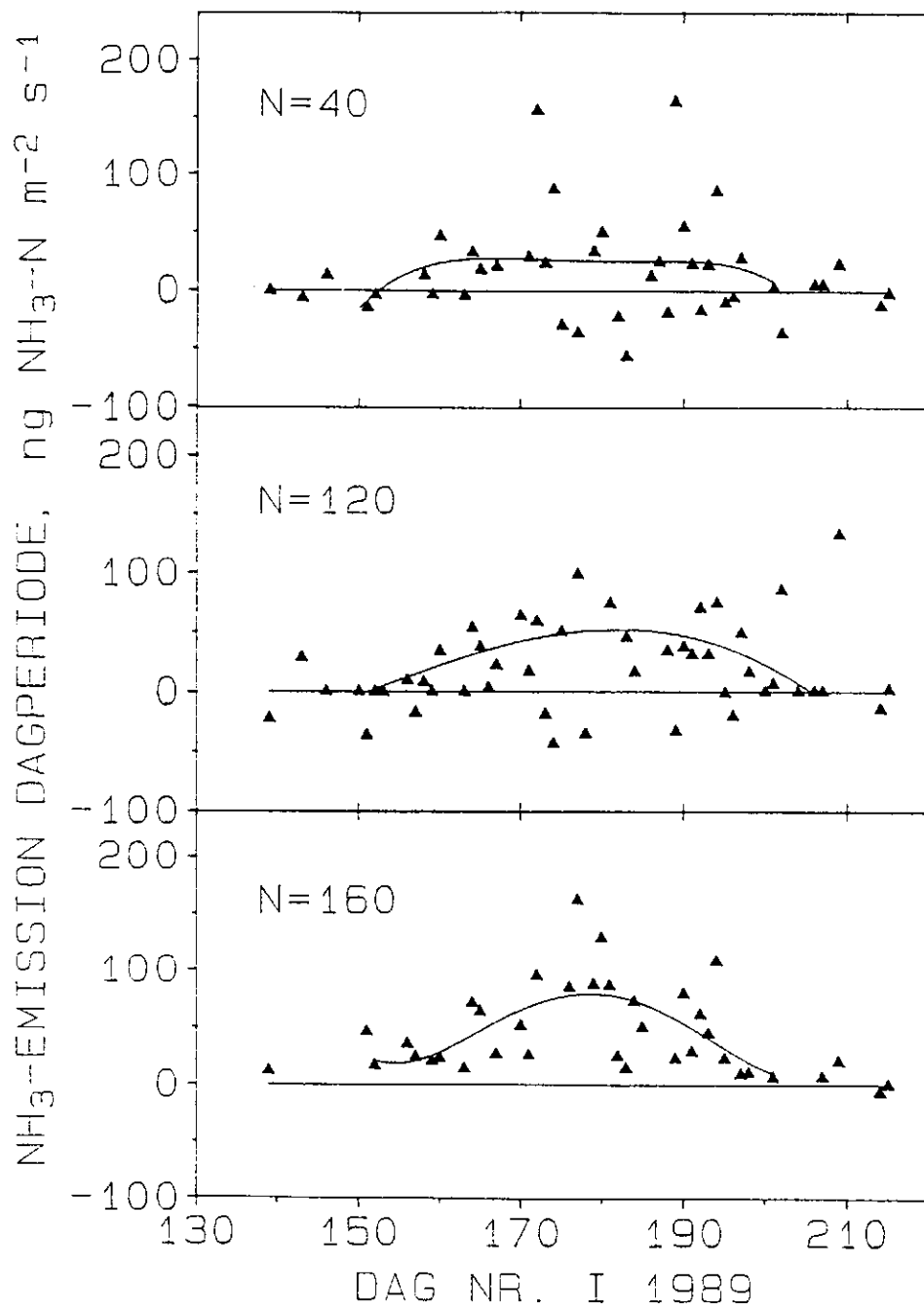
Den atmosfæriske NH_3 -koncentration i forskellige højder i og over bygafgrøden for perioden fra endt skridning (23. juni) og til sidst i kernefyldningen (15. juli) er angivet i tabel 3. Denne periode dækker det tidsrum, hvori NH_3 -tabet fra planterne var størst, og hvori afgrødehøjden var relativ konstant. I markerne tilført 120 og 160 kg N ha^{-1} var der en signifikant (5% niveau) højere NH_3 -koncentration i luften nede i plantebestanden end i luften i de to øverste målehøjder (gns. af 250 og 400 cm's højde). Også i marken tilført 40 kg N ha^{-1} var der et fald, dog ikke statistisk signifikant, i NH_3 koncentrationen fra 35 cm's højde og til de to øverste målehøjder. Disse resultater er i overensstemmelse med fordampningsresultaterne, som for alle marker gav et nettotab af ammoniak gennem forsøgsperioden.

Resultaterne i tabel 3 viser endvidere, at den atmosfæriske NH_3 -koncentration både i og over afgrøden steg med stigende N-tilførsel. Nede i afgrøden var koncentrationsstigningen størst for overgangen fra 40 og 120 kg N ha^{-1} , hvorimod yderligere gødskning ikke påvirkede den målte gennemsnitskoncentration af ammoniak i luften omkring planterne.

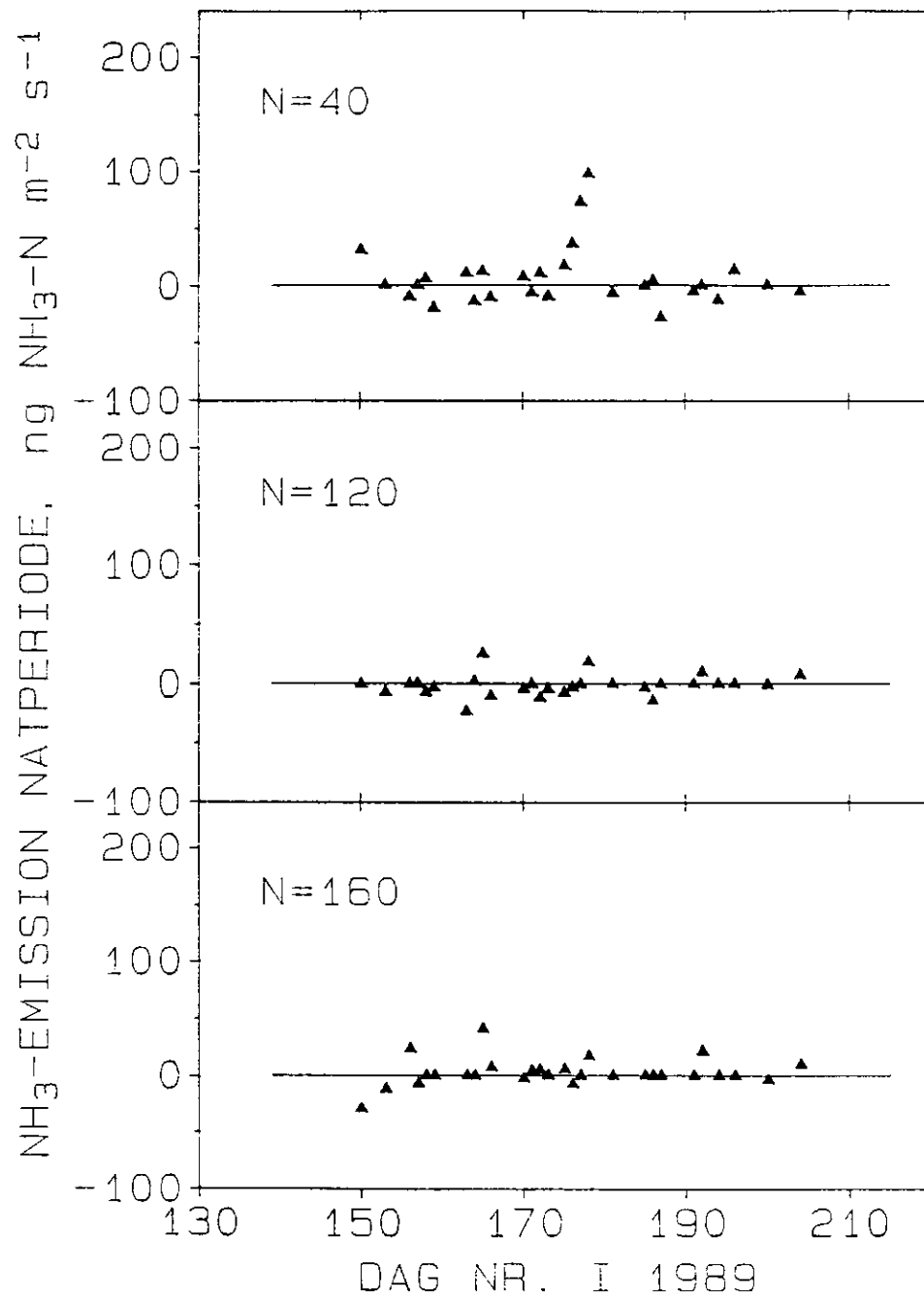
Tabel 3. Den atmosfæriske ammoniakkoncentration ($\mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-3}$ luft) i 1989. Gennemsnitsværdier og 95% konfidensintervaller for perioden fra omkring skridning (23. juni) til 15. juli målt i fire højder.

Højde over jorden*	Kvælstofniveau		
	40 N	120 N	160 N
Gns. af 250 og 400 cm	1.5 ± 0.6	1.8 ± 0.5	2.0 ± 0.7
150 cm	1.8 ± 0.6	1.7 ± 0.5	2.0 ± 0.6
35 cm	1.9 ± 0.6	2.8 ± 0.9	2.8 ± 0.6
15 cm	1.5 ± 0.7	3.9 ± 0.8	3.9 ± 0.8

* Plantebestandens højde var ca. 70 cm



Figur 2. Ammoniakudveksling mellem afgrøde og atmosfære i dagtimerne gennem forsøgsperioden 1989. Kurverne angiver 4. ordens polynomier, tilpasset de eksperimentelle data ved hjælp af mindste kvadraters metode. Skridning fandt sted i perioden mellem dag 170 og dag 177.



Figur 3. Ammoniakudveksling mellem afgrøde og atmosfære i nattimerne gennem forsøgsperioden 1989.

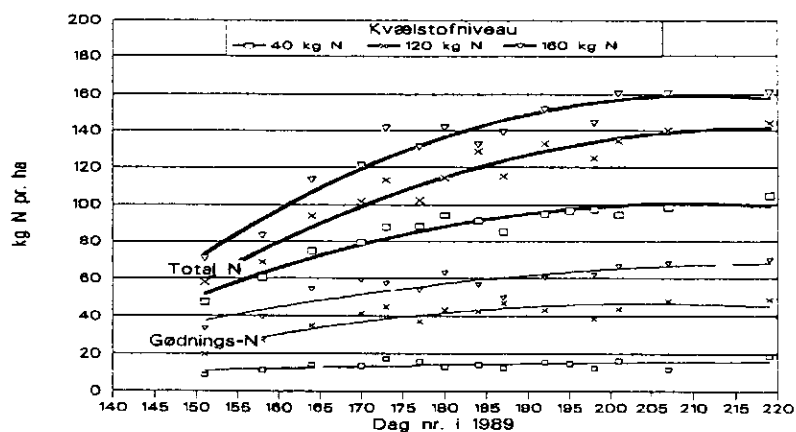
Ingen ammoniakfordampning fra jorden

Stigningen i koncentrationen fra 35 til 15 cm's højde i markerne 120 og 160 N kunne tyde på, at jorden havde bidraget til den målte ammoniakflux. Resultaterne opnået ved placering af bægge med ammoniumnikkelsulfatopløsninger på jorden viste imidlertid på intet tidspunkt, at jorden i sig selv gav anledning til ammoniakfrigivelse. Det målte NH_3 må derfor have stammet fra planterne. Den højere NH_3 -koncentration i 15 cm's højde end i 35 cm's højde kan skyldes en langsommere udskiftning af luften nær jorden sammenlignet med luften højere oppe i afgrøden.

3.3 Relationen mellem NH_3 -fordampning og N-omsætning i planterne i 1989

Intet tab af ^{15}N -mærket gødningskvælstof i 1989

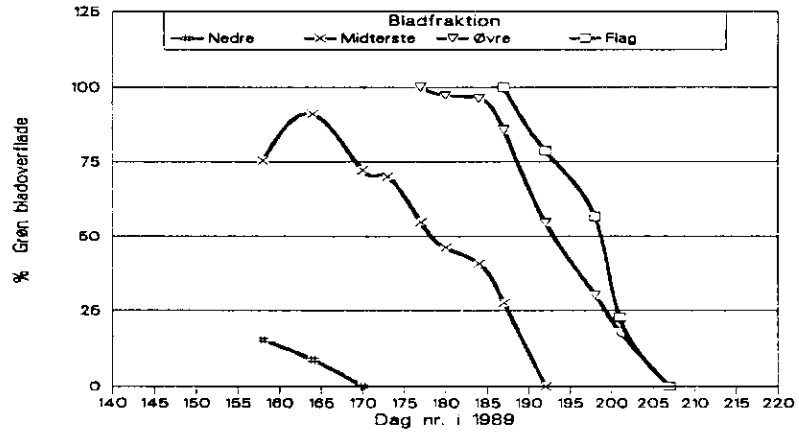
Indholdet af ^{15}N -mærket gødningskvælstof i planterne faldt ikke i perioden mellem skridning og modenhed (Figur 4). Det manglende tab af ^{15}N -mærket kvælstof fra de overjordiske dele er i god overensstemmelse med den lave NH_3 -fordampningsintensitet igennem vækstperioden (Tabel 2).



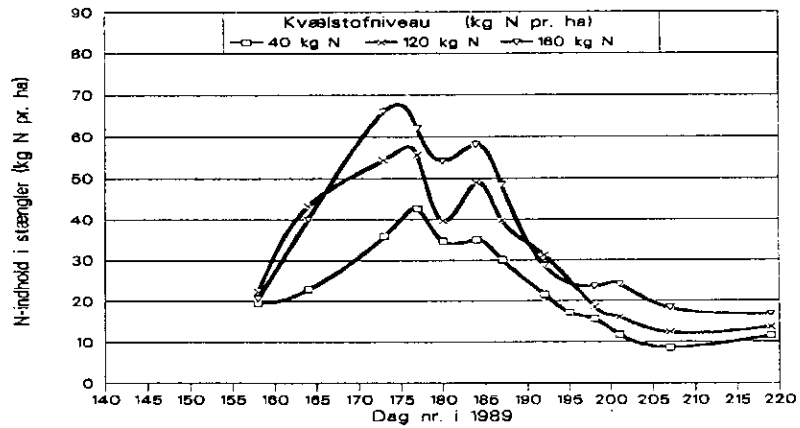
Figur 4. Forløbet af total kvælstofoptagelse og optagelse af ^{15}N -mærket gødningskvælstof hos vårbyg, dyrket ved 3 forskellige kvælstofniveauer i markforsøg 1989. Skridning begyndte omkring dag 170.

Kvælstofmobilisering fra blade og stængler

Perioden med ammoniakfordampning var sammenfaldende med perioden, hvor bladene gulnedes (Figur 5), og der mobiliseredes kvælstof fra de vegetative plantedele (blade og stængler). Stænglernes betydning for mobiliseringen af kvælstof til kernerne fremgår af tabel 4. Heraf ses, at kvælstof mobiliseret fra stængelfractionen udgjorde over halvdelen af den samlede mængde kvælstof, som blev mobiliseret fra de vegetative plantedele fra endt skridning og til modenhed.



Figur 5. Andelen af grøn bladoverflade for nedre blade, midterste blade, øvre blade og flagblad gennem vækstperioden 1989.



Figur 6. Mængden af kvælstof i stængelfractionen gennem vækstperioden 1989.

Tabel 4. Translokation af kvælstof i vårbyg mellem endt skridning (vækststadiet 10.5; dag 177) og til høst (vækststadiet 11.4; dag 219) i 1989.

		<-----Kvælstofindhold (kg N ha ⁻¹)----->		
		Ved endt skridning (v.s.* 10.5)	Ved høst (v.s. 11.4)	Forskel
40 N	Blade	23	6	-17
	Stængler	40	11	-29
	Sideskud	5	1	-4
	Aks	25	88	63
120 N	Blade	30	8	-22
	Stængler	48	13	-35
	Sideskud	8	2	-6
	Aks	33	98	65
160 N	Blade	40	8	-32
	Stængler	56	18	-38
	Sideskud	8	3	-5
	Aks	41	129	88

* Angiver vækststadiet (v.s.) efter Feekes skala.

3.4 Ammoniakfordampning 1990

Rekordudbytte i 1990

Kerneudbytte i 1990 (tabel 5) var endnu højere end i 1989 (tabel 2), der ellers var et rekordår. P.g.a. af en meget kompakt og dårlig jordstruktur i forsøgsarealet tilført 160 kg N ha⁻¹ i 1990, blev plantevæksten meget uensartet på dette areal. Dette er den væsentligste årsag til det lavere kerneudbytte ved 160 kg N ha⁻¹ end ved 120 kg N ha⁻¹ (tabel 4).

Tabel 5. Samlet ammoniakfordampning, kvælstofhøstindex, kerneudbytte og proteinindhold i kernerne for markerne tildelt 40, 120 og 160 kg N ha⁻¹ i vækstsæsonen 1990 (95% konfidensintervaller for kvælstofhøstindex, kerneudbytte og proteinindhold).

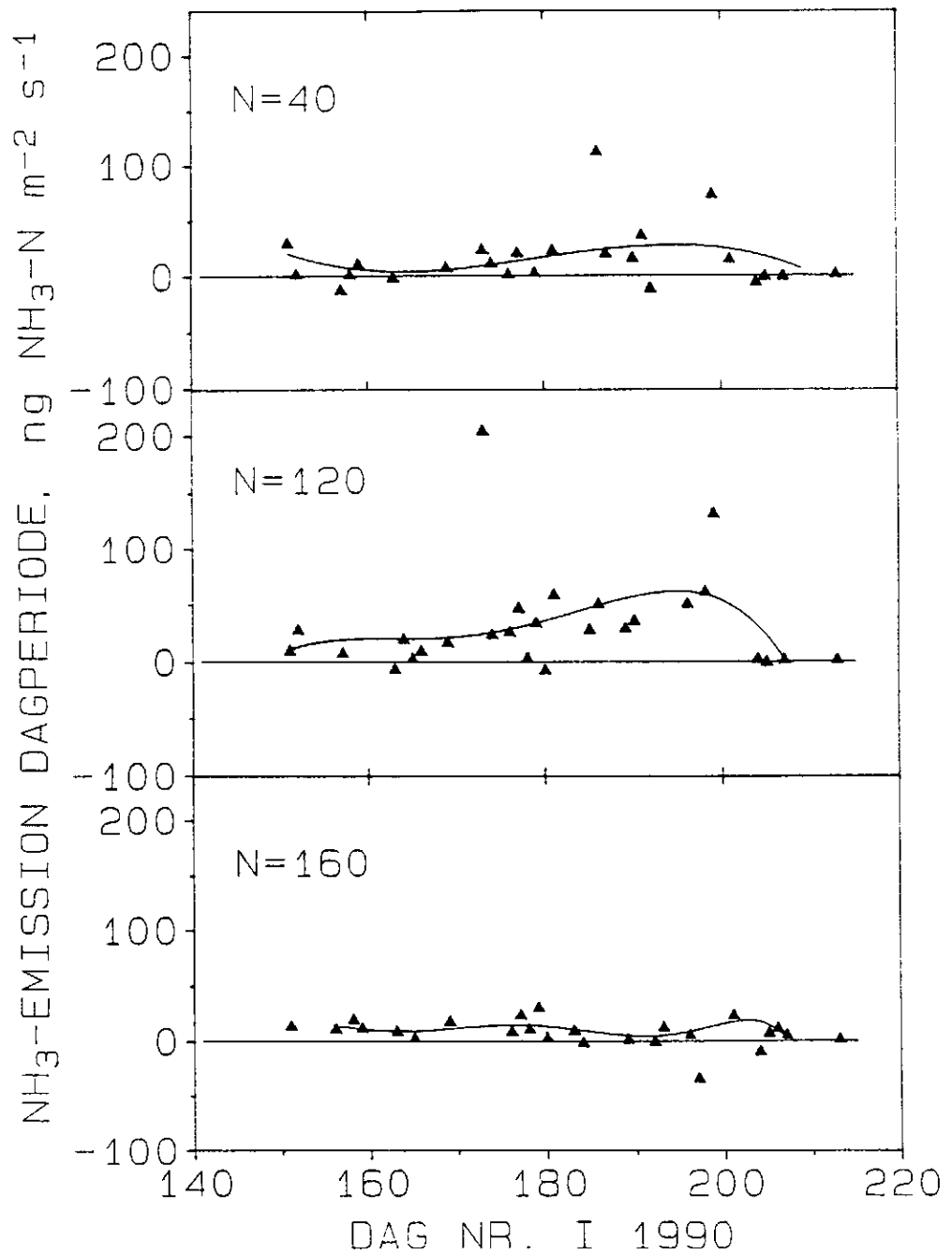
	Kvælstofniveau		
	40 N	120 N	160 N
Ammoniaktab (kg NH ₃ -N ha ⁻¹ år ⁻¹)	0.4	0.9	0.2
Kvælstofhøstindex (%)	80 ± 1	77 ± 3	74 ± 2
Kerneudbytte med 15% vand (hkg ha ⁻¹)	63 ± 7	80 ± 9	75 ± 9
Proteinindhold (%)	8.6 ± 0.4	11.0 ± 0.6	12.6 ± 0.9

Mindre NH₃-tab i 1990 end i 1989

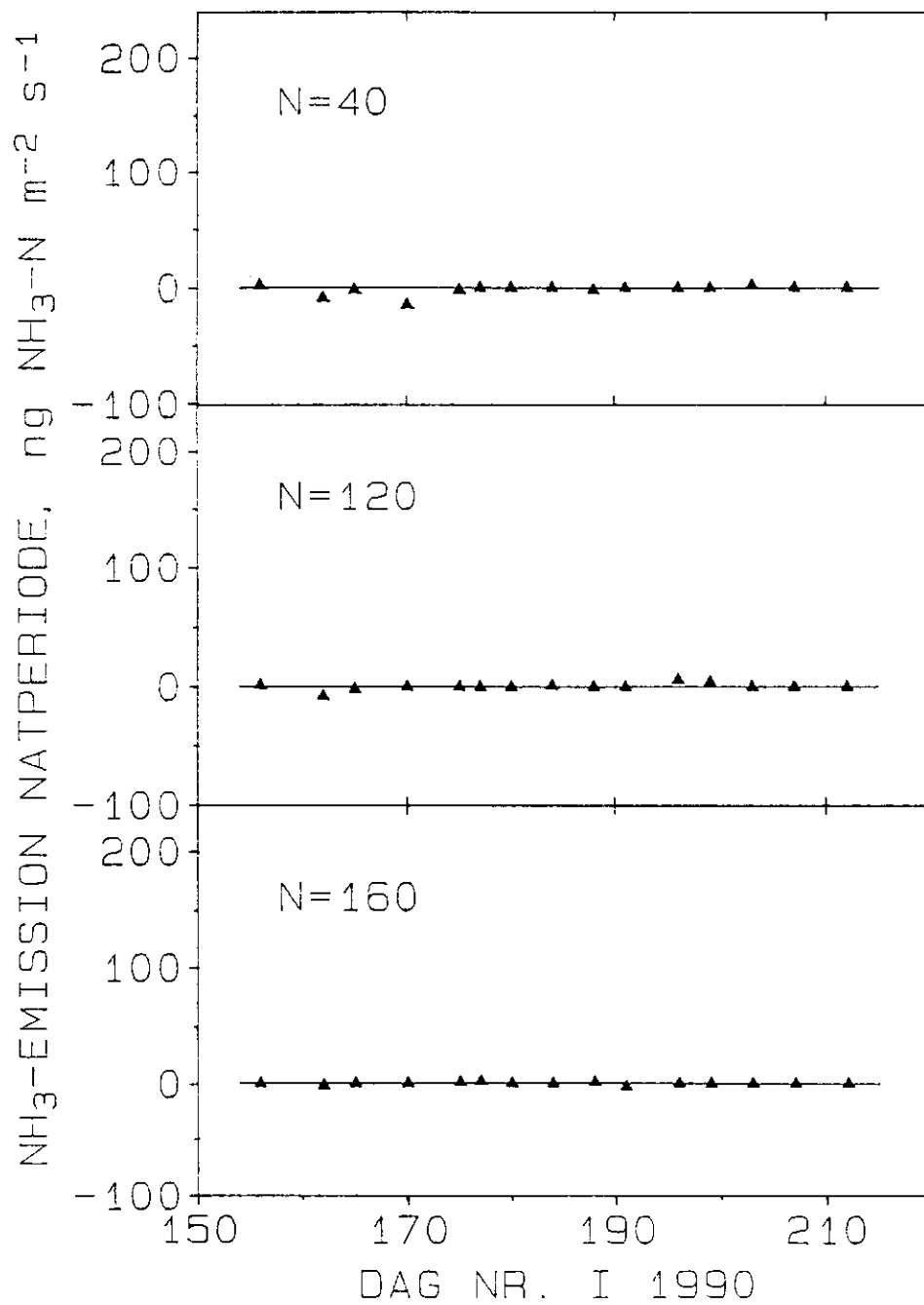
Det største NH₃ tab i 1990 blev målt fra forsøgsarealerne tilført 120 kg N ha⁻¹. De samlede NH₃-fordampningstab ved 40 og 120 N var mindre i 1990 end i 1989 (tabellerne 2 og 5). Den meget lille NH₃-fordampning fra forsøgsarealet tilført 160 kg N ha⁻¹ i 1990 kan måske hænge sammen med den meget uensartede plantevækst på dette areal.

Forløbet af ammoniakudvekslingen mellem afgrøden og atmosfæren i dagtimerne fra 1. juni (dag nr. 152) frem til 1. august 1990 (dag nr. 213) er vist i Figur 7. Perioden med ammoniakafgivelse strakte sig fra sidst i strækningsfasen (midt i juni) og frem til endt kernefyldning. Der blev på intet tidspunkt observeret ammoniakfordampning om natten (Figur 8).

Den gennemsnitlige atmosfæriske ammoniakkoncentration i forskellige højder i og over afgrøden i vækstperioden 1990 fremgår af tabel 6. På forsøgsarealet tilført 120 kg N ha⁻¹ var der en signifikant højere gennemsnitskoncentration af ammoniak i afgrøden (10 og 30 cm over jorden) end i 2.5 m's højde over afgrøden (nulpansforskydningen, d), medens dette ikke var tilfældet for forsøgsarealerne tilført 40 eller 160 kg N ha⁻¹.



Figur 7. Ammoniakudveksling mellem afgrøde og atmosfære i dagtimerne gennem forsøgsperioden 1990. Kurverne angiver 4. ordens polynomier, tilpasset de eksperimentelle data ved hjælp af mindste kvadraters metode. Skridning fandt sted i perioden mellem dag 170 og 177.



Figur 8. Ammoniakudveksling mellem afgrøde og atmosfære i nattimerne gennem forsøgsperioden 1990.

Tabel 6. Den atmosfæriske ammoniakkoncentration ($\mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-3}$ luft) i 1990. Gennemsnitsværdier og 95% konfidensintervaller for hele forsøgsperioden (31. maj til 23 juli) målt i tre højder.

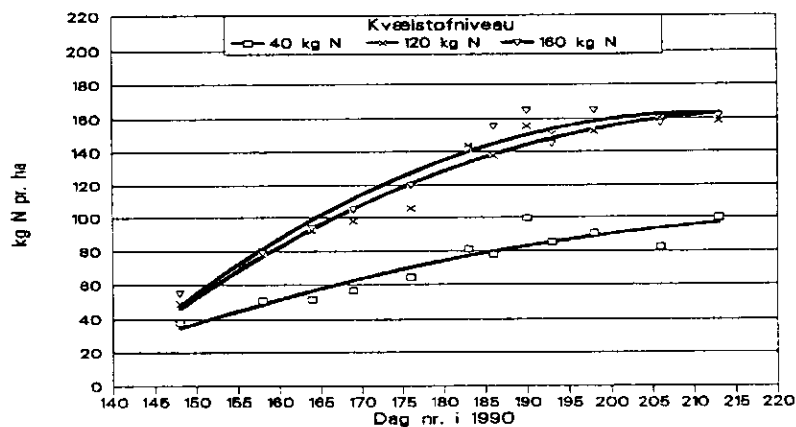
Højde	Kvælstofniveau		
	40 N	120 N	160 N
Øverste målehøjde ($d^* + 250$ cm)	2.7 ± 0.5	2.5 ± 0.5	29 ± 6
30 cm	2.3 ± 0.5	3.4 ± 0.7	29 ± 6
10 cm	2.4 ± 0.5	4.1 ± 0.9	28 ± 6

* d = nulplansforskydningen.

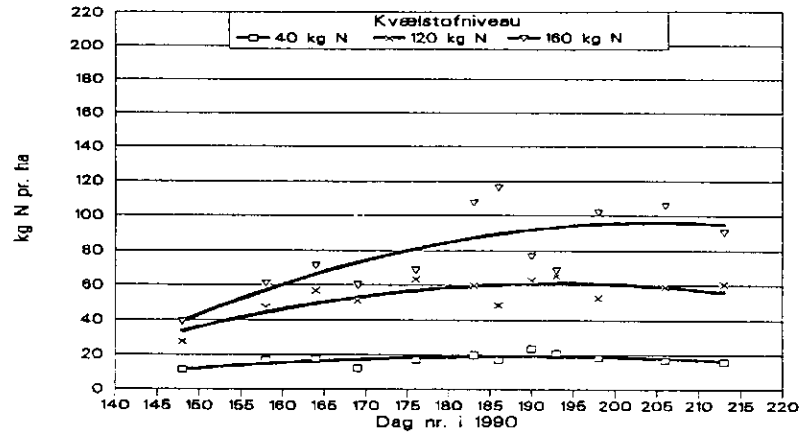
3.5 Relationen mellem NH_3 -fordampning og N-omsætning i planterne i 1990

Intet tab af ^{15}N -mærket gødningskvælstof i 1990

Hverken det totale indhold af kvælstof eller indholdet af ^{15}N -mærket gødningskvælstof i planterne faldt i perioden mellem skridning og modenhed (Figurene 9 og 10). Det manglende tab af ^{15}N -mærket kvælstof fra de overjordiske dele er i god overensstemmelse med den lave NH_3 -fordampningsintensitet igennem vækstperioden (Tabel 5).



Figur 9. Forløbet af kvælstofoptagelse (jord-N + gødnings-N) hos vårbyg, dyrket ved 3 forskellige kvælstofniveauer i markforsøg 1990. Skridning begyndte omkring dag 170.



Figur 10. Forløbet af optagelsen af ^{15}N -mærket gødningskvælstof hos vårbyg, dyrket ved 3 forskellige kvælstofniveauer i markforsøg 1990. Skridning begyndte omkring dag 170.

4. Diskussion og konklusion

Der blev målt NH_3 -fordampning fra planterne både i 1989 og 1990	I vækstsæsonerne 1989 og 1990 forekom et tab af ammoniak fra de overjordiske dele af vårbygplanter, dyrket i markforsøg ved tre forskellige kvælstofniveauer. Det samlede NH_3 -tab beløb sig til $1\frac{1}{2}$ kg $\text{NH}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Størstedelen af det målte NH_3 -tab indtraf i den sidste halvdel af juni måned og i juli måned, d.v.s. i perioden mellem skridning og modenhed. Sammenlignet med NPO-redegørelsens estimater for ammoniakfordampning fra især husdyrgødning, som fordelt på hele landbrugsarealet vurderes til at beløbe sig til 45 kg N $\text{ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (Miljøstyrelsen 1984), må det konkluderes, at NH_3 -tab fra planter i de to forsøgsår var en ubetydelig tabsproces.
De målte NH_3 -tab var små	
Gode betingelser for indlejring af kvælstof i kernerne kan have reduceret NH_3 -tabet	Karakteristisk for begge års forsøg var meget gunstige vækstforhold og opnåelse af høje kerneudbytter. Som følge heraf var betingelserne for indlejring af kvælstof i kernerne også gode, hvilket resulterede i, at kvælstofhøstindexet blev meget højt (0,80-0,84 i 1989 og 0,74-0,80 i 1990). Planterne havde med andre ord en meget effektiv remobilisering af kvælstof fra blade og stængler, og en effektiv indlejring af kvælstof i kernerne. Disse forhold kan være forklaringen på de lave ammoniaktab målt i de to års forsøg. I overensstemmelse med disse forhold fandt Schjørring et al. (1989) de største tab af ^{15}N -mærket kvælstof fra de overjordiske dele af bygplanter under forhold, hvor kvælstof-høstindexet var lavere end 0,63, hvorimod tabene var ubetydelige, når kvælstof-høstindexet var højere end 0,68.
Kvælstofhøstindexet angiver, hvor effektivt planterne udnytter optaget N til kerneproduktion	Kvælstof-høstindexet er et udtryk for planternes evne til at mobilisere kvælstof fra de vegetative plantedele og indbygge det i kernerne under de givne vækstbetingelser. Et lavt kvælstof-høstindex indikerer derfor, at der har været et relativt overskud af kvælstof i de vegetative plantedele, som ikke har kunnet anvendes til produktion af kerneprotein. Dette overskud kan formentligt (se nedenfor) give anledning til en ophobning af $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, som derefter kan forårsage et tab af ammoniak fra planten.

I kernefyldningsperioden mobiliseres kvælstof fra de vegetative plantedele

I kernefyldningsperioden sker frigivelsen af $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ i planteceller primært i forbindelse med nedbrydningen af proteiner under aldringsprocesserne (Dalling et al. 1976; Simpson & Dalling 1981). Derved forsvinder store mængder kvælstof fra blade og stængler. Det frigjorte kvælstof transporteres herefter som aminosyrer/amider til aksene, hvor det igen indbygges som protein. Perioden med den største NH_3 -fordampning i 1989 var sammenfaldende med en kraftig nedbrydning af protein i stængler og blade (tabel 4). Mængden af kvælstof, som blev mobiliseret fra stængelfraktionen, udgjorde således over halvdelen af den samlede mængde kvælstof, mobiliseret fra de vegetative plantedele i perioden fra endt skridning og til modenhed (tabel 4).

Ammoniak dannes til stadighed i planters kvælstofskifte, og må til stadighed assimileres eller udskilles, da det er en plantegift

Ammoniak er selv i meget lave koncentrationer en gift for planteceller. Det under aldringsprocesserne dannede $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ må derfor straks indbygges i organiske N-forbindelser, som kan transporteres videre til andre steder i planten. Indbygningen af $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ i transportforbindelser sker i alt overvejende grad i den såkaldte glutamat/glutamin syntase cyklus (GS/GOGAT-cyklus) (Mifflin & Lea 1976; Joy 1988). I tilfælde af et kvælstofoverskud i planten (overbelastning af GS/GOGAT), kan $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ formentligt ikke nå at blive indbygget i takt med at det produceres. Planten må derfor skille sig af med $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ på anden vis, f.eks. ved at NH_3 fordamper gennem spalteåbningerne. Spalteåbningerne er kun åbne om dagen, hvilket formentligt er årsagen til, at der ikke blev observeret ammoniakfordampning om natten (figurerne 3 og 8).

Der kan formentligt være sorts- og artsforskelle i ammoniakfordampningen

Udover at være påvirket af klima- og vækstbetingelser er kvælstofhøstindexet genetisk betinget (Austin et al. 1977; Desai & Bhatia 1978). Det er samtidig velkendt, at der er store forskelle med hensyn til de enkelte plantedeles bidrag til den samlede kvælstofmobilisering indenfor forskellige sorter og arter. Det får betydning for med hvilken hastighed og på hvilket tidspunkt den kraftigste translokation af kvælstof til kernerne finder sted. Eksempelvis mobiliseres der væsentlig mere kvælstof fra bladfraktionen i vinterhvede end det er tilfældet for vårbyg. Det betyder alt andet lige, at en større del af det indbyggede kvælstof retranslokteres tidligere

i aldringsperioden hos vinterhvede. Der kan derfor være sorts- og artsforskelle m.h.t. planternes potentiale for at tabe ammoniak til atmosfæren. Dette trænger til en nærmere undersøgelse. Det samme gælder for forskelle mellem plantearter m.h.t. til afgivelse af gasformigt kvælstof. Der foreligger eksempelvis ingen resultater for NH_3 -fordampning fra så vigtige landbrugsplanter som raps og ært. Desuden findes ingen informationer om potentialet for NH_3 -fordampning fra andre økosystemer end de landbrugsmæssige.

5. Erkendtlighed

Nærværende projekt, herunder specielt studierne af planternes kvælstofdynamik, er blevet gennemført i samarbejde med Arne Kyllingsbæk og Jørgen Vestergård Mortensen, Afdelingen for Planternærings og -fysiologi, Statens Planteavlsvforsøg.

6. Referencer

Austin, R.B., Ford, M.A., Edrich, J.A. & Blackwell, R.D. 1977. The nitrogen economy of winter wheat. - *J. Agric. Sci. (Camb.)* 88:159-167.

Dalling, M.J., Boland, G. & Wilson, J.H. 1976. Relation between acid proteinase activity and redistribution of nitrogen during grain development in winter wheat. - *Aust. J. Plant Physiol.* 3:721-730.

Denmead, O.T. 1983. Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field. - *In* Gaseous Loss of Nitrogen from Plant-Soil Systems (J.R. Freney and J.R. Simpson, eds), pp. 133-157. Martinus Nijhoff/dr. W. Junk Publishers, The Hague. ISBN 90-247-2820-7.

Desai, M.R. & Bhatia, C.R. 1978. Nitrogen uptake and nitrogen harvest index in durum wheat cultivars varying in their grain protein concentration. - *Euphytica* 27:561-566.

Farquhar, G.D., Firth, P.M., Wetselaar, R. & Weir, B. 1980. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environment: Determination of the ammonia compensation point. - *Plant Physiol.* 66:710-714.

Harper, L.A., Sharpe, R.R., Langdale, G.W. & Giddens, J.E. 1987. Nitrogen cycling in a wheat crop: Soil, plant and aerial nitrogen transport. - *Agron. J.* 79:965-973.

Joy, K.W. 1988. Ammonia, glutamine, and asparagine: a carbon-nitrogen interface. - *Can. J. Bot.* 66:2103-2109.

Mifflin, B.J & Lea, P.J. 1976. The pathway of nitrogen assimilation in plants. - *Phytochemistry* 15:873-885.

Miljøstyrelsen 1984. Opgørelse af belastning fra land af de indre danske farvande med organisk stof, total-N og total-P. Miljøstyrelsen, København.

O'Deen, W.A. & Porter, L.K. 1986. Continuous flow system for collecting volatile ammonia and amines from senescing winter wheat. - *Agron. J.* 78:746-749.

Parton, W.J., Morgan, J.A., Altenhofen, J.M. & Harper, L.A. 1988. Ammonia volatilization from spring wheat plants. - *Agron. J.* 80:419-425.

Paulson, C.A. 1970. The mathematical representation of wind speed and temperature profiles in the unstable atmospheric surface layer. - *J. Appl. Meteorol.* 9:857-861.

Ryden, J.C. & McNeill, J.E. 1984. Application of the micro-meteorological mass balance method to the determination of ammonia loss from a grazed sward. - *J. Sci. Food Agric.* 35:1297-1310.

Schjørring, J.K. 1990. Ammonia volatilization from the foliage of growing plants. - In *Trace Gas Emissions From Plants* (T.D. Sharkey, H.A. Mooney and E.A. Holland, eds). Academic Press, Orlando. (In Press).

Schjørring, J.K., Nielsen, N.E., Jensen, H.E. & Gottschau, A. 1989. Nitrogen losses from field-grown spring barley plants as affected by rate of nitrogen application. - *Plant and Soil* 116:167-175.

Simpson, R.J. & Dalling, M.J. 1981. Nitrogen redistribution during grain growth in wheat. III. Enzymology and transport of amino acids from senescing flag leaves. - *Planta* 151:447-456.

Registreringsblad

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

Serietitel, nr.: NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, A15

Udgivelsesår: 1990

Titel:

Ammoniakfordampning fra bygplanter

Undertitel:

Feltundersøgelser 1989 og 1990

Forfatter(e):

Schjørring, Jan K.; Byskov-Nielsen, Søren

Udførende institution(er):

Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole. Institut for Jordbrugsvidenskab. Sektion for Kulturteknik og Planteernæring

Resumé:

Feltundersøgelser af ammoniakfordampning fra bygplanter igennem vækstsæsonerne 1989 og 1990 viser, at der sker en fordampning af ammoniak direkte fra bygplanters overjordiske dele. Det samlede tab var mellem 1/2 og 1 1/2 kg NH₃-N pr. ha i hvert af de 2 år. Karakteristisk for begge forsøgsår var meget gunstige vækstbetingelser med en stor indlejring af kvælstof i kernerne, hvilket formentlig har reduceret ammoniakfordampningen.

Emneord:

omsætning; plantefysiologi; fordampning; dyrkningsforsøg; byg; ammoniak CAS 7664-41-7; nitrogen CAS 7727-37-9

ISBN: 87-503-8853-3

ISSN:

Pris: 45,- kr. (inkl. 22% moms)

Format: A5

Sideantal: 31

Md./år for redaktionens afslutning: december 1990

Oplag: 500

Andre oplysninger:

Rapport fra koordinationsgruppe A for jord og luft

Tryk: Notex-Grafisk Service Center as

NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Rapporter fra koordinationsgruppe A for jord og luft

- Nr. A1 : Kvælstof- og fosforbalancer ved kvæg- og svinehold
- Nr. A2 : Kortlægning af landbrugsdriften i to områder i Danmark
- Nr. A3 : Temperatur og denitrifikation
- Nr. A4 : Ammoniakafsætning omkring et landbrug med malkekvæg
- Nr. A5 : Ammoniakmonitoring
- Nr. A6 : Atmosfærisk nedfald af næringssalte i Danmark
- Nr. A7 : NH₃-fordampning fra handels- og husdyrgødning
- Nr. A8 : Næringsstofudvaskning fra arealer i landbrugsdrift
- Nr. A9 : Kvælstofomsætning og -transport i to dyrkede jorder
- Nr. A10 : DAISY - Soil Plant Atmosphere System Model
- Nr. A11 : Bestemmelse af NH₃-fordampning med passive fluxmålere
- Nr. A12 : NH₃-fordampning fra gyllebeholdere
- Nr. A13 : Næringsstofomsætning i marginaliseret landbrugsjord
- ★ Nr. A14 : Regionale beregninger af N-udvaskningen
- Nr. A15 : Ammoniakfordampning fra bygplanter
- Nr. A16 : Den mikrobielle biomasses variation i jordbunden
- Nr. A17 : Analyse af jordvands sammensætning - metodesammenligning
- Nr. A18 : Atmosfærisk ammoniak og ammonium i Danmark
- Nr. A19 : N-transformation in Soil, Amended with Digested Pig Slurry
- Nr. A20 : Simulering af kvælstoftab med SOIL-N-modellen
- Nr. A21 : Landbrugets gødnings- og arealanvendelse i 1983 og 1989

Den med ★ mærkede titel er ikke trykt på udgivelsesdagen for denne rapport, men forventes trykt i løbet af 1990.

Nr. A19 er tidligere annonceret med titlen:
Afgasset gylles indflydelse på N-omsætning i jorden

Ammoniakfordampning fra bygplanter

Feltundersøgelser af ammoniakfordampning fra bygplanter igennem vækstsæsonerne 1989 og 1990 viser, at der sker en fordampning af ammoniak direkte fra bygplanters overjordiske dele. Det samlede tab var mellem $\frac{1}{2}$ og $1\frac{1}{2}$ kg $\text{NH}_3\text{-N}$ pr. ha i hvert af de 2 år. Karakteristisk for begge forsøgsår var meget gunstige vækstbetingelser med en stor indlejring af kvælstof i kernerne, hvilket formentlig har reduceret ammoniakfordampningen.

A stylized white-on-black illustration of a landscape. On the left, three coniferous trees stand on a hill. In the center, a path or stream winds through a field. On the right, a cow stands on another hill. The foreground consists of several curved, concentric lines representing a field or water bodies.

Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

Pris kr. 45.- inkl. 22% moms

ISBN nr. 87-503-8853-3

0222 6773 311 Smillegade 1

11321/1636/11