

## Dyrkningssystemernes effekt på produktion og miljø

Jørgen E. Olesen, Aarhus Universitet, Institut for Jordbrugsproduktion og Miljø, 8830 Tjele, Danmark, e-mail: JorgenE.Olesen[a]agrsci.dk

Moderne landbrugssystemer har en kraftig indflydelse på det omgivende miljø, og i Danmark er der særlig fokus på nitratudvaskning og drivhusgasemissioner fra landbruget. På det globale skala er lattergas ( $N_2O$ ) en af de væsentlige drivhusgasser (Mosier et al., 1998), og i Danmark er landbruget langt den største kilde til udledning af lattergas. Der stilles i stigende grad krav til landbruget omkring reduktion af drivhusgasudledningerne, og tiltag til reduktion af udledningerne af  $N_2O$  og metoder til lagring af kulstof i jorden er derfor påkrævede. Bæredygtige landbrugssystemer skal også opfylde behovet for tilstrækkelige mængder og kvalitet i fødevarerne. Økologisk jordbrug har visse fordele i disse sammenhænge, men der er også behov for forbedringer (Berntsen et al., 2004; Olesen et al., 2005).

I økologisk jordbrug er afgrødeproduktionen i betydelig grad afhængig af jordens frugtbarhed for at sikre næringsstofforsyningen. Jordfrugtbarheden vedligeholdes især via sammensætningen af sædskiftet (grøngødning og efterafgrøder) og via anvendelse af husdyrgødning (Olesen et al., 2009). En forbedret anvendelse af disse for at forbedre afgrødeudbytter og reducere emissionerne til miljøet kræver en dybere forståelse af næringsstofomsætningen i jorden og af effekterne på afgrøde og ukrudt.

I 1997 blev der igangsat et langvarigt økologisk sædskiftforsøg på tre lokaliteter i Danmark (Olesen et al., 2000). I 2005 blev forsøget modificeret til også at inkludere et konventionelt sædskifte. De tre lokaliteter repræsenterer typiske jorder (sand, lerblandet sand og sandblandet ler) og klimaforhold for dansk landbrug. Designet af det nuværende 8-år gamle sædskiftforsøg tillader forsøgs-mæssig adskillelse af effekter af helårsgrøngødning, efterafgrøder og gødning. Dette giver mulighed for at gennemføre en differentieret analyse af forskellige dyrkningsstrategier. Dette langvarige forsøg er udnyttet til en integreret undersøgelse af produktivitet og kvælstofstrømme i økologiske dyrkningssystemer.

### Langvarigt sædskiftforsøg

Forsøget gennemføres på tre forsøgssteder i Danmark (Jyndevad på sandjord, Foulum på lerblandet sand, og Flakkebjerg på sandblandet ler). Der anvendes tre fire-markssædskifter, som sammenlignes på rotationsniveau (dvs. som gennemsnit af de fire år i sædskiftet). Alle marker i sædskifterne er repræsenteret hvert år. I forsøget indgår tre faktorer i to gentagelser:

1. Sædskifte og dyrkningsform (konventionelt og økologisk)
2. Efterafgrøder (uden (UE) og med (ME)).
3. Gødningsniveau (uden (UG) og med (MG)).

Forsøget blev igangsat i 1996 med dyrkning af vårbyg på alle forsøgssteder. Det første forsøgsår var 1997. I perioden 1997 til 2004 blev forsøget gennemført med tre økologiske sædskifter (tabel 1). I 2005 blev forsøget omlagt til to økologiske og et konventionelt sædskifte (tabel 1). Fra og med 2005 indgik der ikke længere nogen behandling, som både er uden efterafgrøde og uden gødning (tabel 2).

I første og anden rotation anvendtes som efterafgrøder både kvælstoffikserende (f.eks. kløver og vintervikke) og ikke-kvælstoffikserende (f.eks. rajgræs, cikorie og rug) arter i renbestand og/eller i blanding. I tredje rotation anvendes en blanding af kvælstoffikserende og ikke-kvælstoffikserende arter i O2 og O4, mens der udelukkende anvendes ikke-kvælstoffikserede arter i C4.

Gødningsniveauet i de gødede parceller i første og anden rotation svarende til 40% af kvælstofbehovet ifølge Plantedirektoratet inden nedsættelse af kvælstofnormerne i forbindelse med Vandmiljøplan II (Plantedirektoratet, 1997). Gødningen blev givet som gylle i mængder svarende til ammonium-indholdet i gødningen. I tredje rotation svarer gødningsmængderne i O2 og O4 til i gennemsnit 70 kg total-N/ha, hvilket svarer til den maksimalt tilladte import af konventionel husdyrgødning i økologisk jordbrug. I C4 anvendes handelsgødning i mængder svarende til Plantedirektoratets normer for 2004/05, i gennemsnit 110 kg/ha og der korrigeres ikke for årsvariation i afstrømningen.

Tabel 1. Afgrøder i forskellige sædskifter i forsøget i forskellige perioder (O er økologiske og C er konventionelle sædskifter).

	O1	O2	O4	C4
1. rotation 1997-2000	Vårbyg:udlæg Kløvergræs Vårhvede <sup>ME</sup> Lupin <sup>ME</sup>	Vårbyg:udlæg Kløvergræs Vinterhvede <sup>ME</sup> Ært/byg <sup>ME</sup>	Havre <sup>ME</sup> Vinterhvede <sup>ME</sup> Vintersæd <sup>ME</sup> Ært/byg <sup>ME</sup>	
2. rotation 2001-2004	Vårbyg:udlæg Kløvergræs Havre <sup>ME</sup> Ært/byg <sup>ME</sup>	Vårbyg:udlæg Kløvergræs Vintersæd <sup>ME</sup> Lupin/byg <sup>ME</sup>	Vinterhvede <sup>ME</sup> Havre <sup>ME</sup> Vårbyg <sup>ME</sup> Lupin/byg	
Lokaliteter	Jynde vad	Jynde vad Foulum Flakkebjerg	Foulum Flakkebjerg	
3. rotation 2005-2008		Vårbyg:udlæg Kløvergræs Kartofler Vinterhvede <sup>ME</sup>	Vårbyg <sup>ME</sup> Hestebønne <sup>ME</sup> Kartofler Vinterhvede <sup>ME</sup>	Vårbyg <sup>ME</sup> Hestebønne <sup>ME</sup> Kartofler Vinterhvede <sup>ME</sup>
Lokaliteter		Jynde vad Foulum Flakkebjerg	Jynde vad Foulum Flakkebjerg	Jynde vad Foulum Flakkebjerg

<sup>ME</sup>Efterafgrøde i ME-behandlingen.

Tabel 2. Behandlinger i forsøget fra 2005

Sædskifte	Produktionssystem	UE	ME	ME
		MG	UG	MG
O2	Økologisk planteproduktion med grøngødning	X	X	X
O4	Økologisk planteproduktion	X	X	X
C4	Konventionel planteproduktion	X		X

MG: husdyrgødning (økologisk) eller handelsgødning (konventionel). UG: Ugødet. ME er med efterafgrøde, og UE er uden efterafgrøde.

På Jynde vad vandes alle afgrøder. På Foulum vandes hele forsøget efter kartoflernes behov. På Flakkebjerg vandes kartoflerne så vidt muligt. Produktionen fra kløvergræsmarken i O2 snittes og

efterlades på marken i UG. I MG bortføres denne produktion. Der regnes med 3 slæt i løbet af året. Al halmproduktion snittes og nedmuldes eller henligger på jorden.

I O2 og O4 kontrolleres frøkrudt ved mekanisk ukrudtsbekæmpelse i de systemer, hvor dette er muligt. Rodkrudt bekæmpes ved jordbearbejdning forår eller efterår. I C4 bekæmpes ukrudt, sygdomme og skadedyr kemisk, og udsæd bejdses.

## Resultater og diskussion

Udbytteerne fra de tre forsøgslokaliteter er vist for de enkelte afgrøder i tabel 3. Som gennemsnit af de gødede behandlinger og afgrøder gav de konventionelle behandlinger reduktioner i udbytte på 19, 46, 23 og 28 % i henholdsvis vårbyg, vinterhvede, hestebønne og kartoffel. Udbyttereduktionen var i gennemsnit 29, 21 og 37 % på henholdsvis Jyndeved, Foulum og Flakkebjerg. Det var således især vinterhveden, der gav lavere udbytte under økologisk dyrkning, hvorimod der ved anvendelse af både efterafgrøder og husdyrgødning blev opnået højere udbytter i økologisk end konventionel vårbyg.

I de økologiske sædskifter bevirkede undladelse af gødning udbyttereduktion på 29, 51, 16 og 20 % i henholdsvis vårbyg, vinterhvede, hestebønne og kartoffel. Udbyttereduktionen var i gennemsnit 46, 16 og 25 % på henholdsvis Jyndeved, Foulum og Flakkebjerg. Undladelse af gødskning var således mest alvorlig på sandjorden ved Jyndeved, hvorimod den gunstige forhistorie på Foulum forud for iværksættelse af forsøget i 1996 stadig er med til at mindske udbyttereduktionen ved undladelse af gødskning.

I kornafgrøderne blev det største merudbytte af efterafgrøder opnået i sædskiftet uden kløvergræs (O4). Der var en positiv effekt af gødningsbehandlingen på udbytte af hestebønne på Jyndeved, hvilket indikerer at andre næringsstoffer end kvælstof er begrænsende her.

Tabel 3. Kerne, frø og knoldudbytter i de enkelte afgrøder på de tre lokaliteter (JY: Jyndeved, FO: Foulum, FL: Flakkebjerg) i gennemsnit af 2006 til 2008 (t tørstof ha<sup>-1</sup>).

Sædskifte	Gødning	Efterafgr.	Vårbyg			Vinterhvede			Hestebønne			Kartoffel		
			JY	FO	FL	JY	FO	FL	JY	FO	FL	JY	FO	FL
O2	-	+	2.9	4.5	2.7	0.7	3.2	3.0				4.5	6.1	5.1
	+	-	3.5	4.6	3.6	2.2	5.6	3.9				5.8	7.2	5.5
	+	+	5.2	5.0	3.4	2.6	5.4	4.1				6.2	6.4	5.8
O4	-	+	2.7	4.0	2.5	0.8	2.4	2.8	1.1	2.9	1.2	4.2	5.8	4.0
	+	-	3.7	3.6	3.1	2.2	4.6	3.2	2.5	2.6	1.5	5.8	7.0	5.8
	+	+	5.0	5.0	3.7	2.3	5.3	3.7	1.9	2.6	1.4	6.0	7.1	5.7
C4	+	-	4.9	5.3	5.1	5.7	7.8	7.0	2.7	3.2	2.2	9.0	8.9	8.3
	+	+	4.7	5.4	5.1	5.7	7.4	7.4	2.5	3.2	2.6	8.8	8.3	8.2

I gennemsnit af alle afgrøder i sædskiftet blev der opnået lidt større udbytter i sædskifte O4 end i O2 (tabel 4). Dette var særligt tilfældet på Jyndeved, hvor udbyttet i O4 var 14% større end i O2, hvorimod der ikke var forskel på gennemsnitsudbytterne i de to sædskifter på Flakkebjerg. På Flakkebjerg var der endog større udbytter i O4 end i O2 i sædskiftet uden tilførsel af gødning. Dette skal ses på baggrund af, at der i O4 i forhold til O2 er en yderligere bælgssædsafgrøde (hestebønne), som bidrager til udbyttet. Især på Flakkebjerg er udbytteerne i de øvrige afgrøder derfor øget så me-

get, at det kan kompensere for den manglede bælg-sædsafgrøde. Det skyldes formentlig, at kløvergræsset over de forudgående to sædskifter har bidraget til at øge jordens frugtbarhed, som herved sikrer højere udbytter. En sådan frugtbarhedseffekt er langt vanskeligere at opnå på sandjorden på Jynde vad, hvor en stor del af det mineraliserede kvælstof tabes ved udvaskning.

Tabel 4. Gennemsnitlige tørstofudbytter af alle afgrøder i sædskiftet på de tre lokaliteter i gennemsnit af 2006 til 2008 (t tørstof ha<sup>-1</sup>).

Sædskifte	Gødning	Efterafgrøde	Jynde vad	Foulum	Flakkebjerg
O2	-	+	2.0	3.5	2.7
	+	-	2.9	4.4	3.2
	+	+	3.5	4.2	3.3
O4	-	+	2.2	3.7	2.4
	+	-	3.6	4.4	3.4
	+	+	3.8	5.0	3.6
C4	+	-	5.6	6.3	5.6
	+	+	5.4	6.1	5.8

Mængden af både frøkrudt og rodukrudt er målt hvert i forsøget. I de økologiske systemer har mængden af frøkrudt ligget stabilt over de seneste otte år. Derimod har der været en stigning i mængden af rodukrudt i løbet af forsøgsperioden. Særlige problemer har været tidsler på Flakkebjerg og kvik på Jynde vad. Introduktion af kartofler i sædskiftet har dog medvirket til at begrænse mængden af rodukrudt.

Målinger af kvælstofudvaskning i forsøget viser store effekter af efterafgrøder på N-udvaskningen, især i de situationer, hvor der er foretaget en stubbearbejdning om efteråret i behandlingerne uden efterafgrøder. Sådanne stubbearbejdninger er ofte nødvendige for at bekæmpe rodukrudet.

Målinger af lattergasemissioner i vinterhvede har på både Foulum og Flakkebjerg vist de største samlede emissioner i de konventionelle systemer. Der har dog også kunne konstateres betydelige emissioner fra de gødede økologiske systemer. Når der korrigeres for udbytte i systemerne er der kun ringe forskel i lattergasemissioner per produceret enhed, dog med en tendens til lavere emissioner i O4 med efterafgrøde.

## Referencer

- Berntsen, J., Petersen, B.M., Kristensen, I.S. & Olesen, J.E. (2004). Nitratudvaskning fra økologiske og konventionelle planteavlsbedrifter - simuleringer med FASSET bedriftsmodellen. DJF rapport Markbrug nr. 107.
- Mosier A., Kroeze C., Nevison C., Oenema O., Seitzinger S. & van Cleemput O., 1998. Closing the global N<sub>2</sub>O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52, 225-248.
- Olesen, J.E., Askegaard, M. & Rasmussen, I.A. (2000). Design of an organic farming crop rotation experiment. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science* 50, 13-21.
- Olesen, J.E., Hansen, E.M., Askegaard, M. & Rasmussen, I.A. (2007). The value of catch crops and organic manures for spring barley in organic arable farming. *Field Crops Research* 100, 168-178.
- Olesen, J.E., Askegaard, M. & Rasmussen, I.A. (2009). Winter cereal yields as affected by animal manure and green manure in organic arable farming. *European Journal of Agronomy* 30, 119-128.