



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Resistent rajgræs – udvikling og forebyggelse

Bekæmpelsesmiddel-
forskning nr. 212

December 2022

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Solvejg Kopp Mathiassen,

Mette Sønderkov,

Gayle Somerville og

Per Kudsk.

Institut for Agroøkologi, Aarhus

Universitet

ISBN: 978-87-7038-461-2

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Forord	5
2.	Sammendrag	6
3.	Summary	8
4.	Introduktion	10
5.	Resistenstest af indsendte populationer 2017	12
5.1	Screening af populationer	12
5.1.1	Materialer og metoder	12
5.1.2	Resultater	14
5.2	Dosis-respons forsøg	15
5.2.1	Materialer og metoder	16
5.2.2	Resultater	17
5.3	Diskussion	19
5.4	Udvælgelse af lokaliteter til yderligere undersøgelse	19
6.	Resistenstest af udvalgte populationer 2019-20	23
6.1	Gentagen indsamling af prøver	23
6.2	Screening af populationer	23
6.3	Dosis-respons forsøg	23
6.4	Molekylær analyse af udvalgte populationer	24
6.4.1	Materialer og metoder	25
6.4.2	Resultater	25
6.5	Diskussion	27
6.5.1	Screening versus dosis-respons forsøg	27
6.5.2	Sammenligning af resistensniveau 2017 og 2019-20	27
6.5.3	Sammenfatning af resultater af resistenstest	28
7.	Interviews med landmænd	30
7.1	Metode	30
7.2	Resultater	30
7.2.1	Beskrivelse af bedrifter og landmænd	30
7.2.2	Sædskifter	31
7.2.3	Jordbearbejdningsmetoder	34
7.2.4	Ukrudtsbekæmpelse	35
7.2.5	Implementering af integreret ukrudtsbekæmpelse	36
7.2.6	Brug af maskinstation	37
7.2.7	Informationskilder og viden om herbicidresistens	37
7.3	Diskussion	37
7.4	Sammenfatning af resultater	43
8.	Modellering	45
8.1	Eksisterende resistensmodeller	45
8.2	Implementering af eksisterende viden om resistensudvikling i DK-RIM	46

8.3	Resultater af simuleringer af rajgræspopulationer	48
8.4	Diskussion af implementering af resistens i DK-RIM	56
9.	Resistensstrategi	58
10.	Perspektivering	60
11.	Anerkendelser	62
12.	Litteratur	63
	Bilag 1.Specifikationer af herbicider	66
	Bilag 2.Resultater af screeningsforsøg	67
	Bilag 3.Interview protokol	68
	Bilag 3.1 Strategi til at forsinke resistensudvikling	71
	Bilag 3.2 Informationskilder – ukrudtsbekæmpelse og resistens	72

1. Forord

Projektet 'Resistent rajgræs – udvikling og forebyggelse' er finansieret af Miljøstyrelsens Pesticidforskningsprogram (MST-667-00202). Projektet er udført ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet fra 15. juni 2018 til 30. juni 2021.

Fundamentet for projektet var et stort antal frøprøver af rajgræs, som blev indsendt til test for herbicidresistens af planteavlskonsulenter, firmakonsulenter og landmænd i 2017. Et udvalg af disse landmænd har efterfølgende medvirket i projektet ved at afsætte tid til personlige interviews og har desuden tilladt en gentagen udtagelse af frø af rajgræs fra deres marker. Det har været en stor fornøjelse og meget lærerigt at besøge disse landmænd. En stor tak til alle for positiv medvirken i projektet.

Corona pandemien har været en følgesvend i projektets to sidste år. Dette har vanskeliggjort udførelse af visse dele af projektet, men har også betydet en større generel interesse for og forståelse af resistensudvikling.

Projektet er blevet fulgt af følgegruppen 'Jordbrug'. Vi vil gerne takke følgegruppens medlemmer for deres engagement og konstruktive input gennem projektperioden. En speciel tak til Jens Erik Jensen, SEGES, Ulla Jakobsen, Miljøstyrelsen, og Nis Schmidt, Corteva, for kritisk gennemlæsning og kommentering af rapporten. Også en stor tak til Henrik Frølich Brødsgaard, Miljøstyrelsen, for samarbejdet gennem projektperioden.

Solvejg Kopp Mathiassen, Mette Sønderkov, Gayle Somerville og Per Kudsk



2. Sammendrag

De seneste års undersøgelser har vist en udbredt forekomst af resistens hos italiensk rajgræs (*Lolium multiflorum* Lam). Projektet belyser, hvilken betydning dyrkningssystemet har for resistensudvikling over for de to vigtigste herbicidgrupper, som anvendes til bekæmpelse af rajgræs – ALS-hæmmere i form af Atlantis OD (iodosulfuron-methyl-Na + mesosulfuron-methyl + mefenpyr-diethyl) og ACCase-hæmmere i form af Topik (clodinafop-propargyl + cloquintocet-mexyl).

I 2017 blev 61 populationer af rajgræs screenet for resistens. Resistensniveauet i disse populationer blev i dette projekt yderligere undersøgt i dosis-respons forsøg. 28 populationer blev udvalgt til en opfølgende undersøgelse (13 følsomme og 15 resistente populationer), og der blev lavet en ny indsamling af frø fra de pågældende marker i 2019-20 for at følge resistensudviklingen. I begge år blev der fundet hyppigere forekomst af resistens over for Atlantis OD end over for Topik. Resistensniveauet over for Atlantis OD, og i mindre grad Topik, var generelt højere i 2019-20 sammenlignet med 2017, hvilket viste, at der har været en fortsat udvikling af resistens i mange marker. En molekylær analyse af 17 af de indsamlede populationer fra 2019-20 viste, at target-site resistens er mere udbredt over for ALS-hæmmere end over for ACCase-hæmmere. Den mest udbredte mutation i ALS-genet var Pro-197, som blev fundet i 10 af de resistente populationer, mens Trp-574 blev fundet i 3 populationer. De øvrige 3 kendte mutationer i ALS-genet, som der blev analyseret for, blev ikke fundet. I ACCase-genet blev 3 af de 8 kendte mutationer, som medfører resistens, fundet (Trp-2027, Ile-2041, Asp-2078). I flere af de populationer, hvor de biologiske test viste stærkt nedsat effekt af Atlantis OD, blev der ikke fundet mutationer, eller der blev fundet en meget lav frekvens af mutationer. Disse resultater indikerer, at den manglende effekt i stor udstrækning skyldes en høj frekvens af metabolisk resistens.

Oplysninger om dyrkningssystemet blev indsamlet gennem personlige interviews med de landmænd, som stod for driften af de aktuelle marker. Bedrifterne er fordelt over hele landet og omfatter både fritidslandbrug og store landbrug. På omkring 65 % af bedrifterne kom hovedindkomsten fra planteavl. Bedrifterne havde meget forskellige sædskifter, og vårsæd og 'andre afgrøder' (kartofler, majs, frøgræs, spinat og græs) udgjorde en større andel af arealet på bedrifter med resistent rajgræs sammenlignet med bedrifter med følsomt rajgræs. Dette tilskrives, at bedrifter med resistens rajgræs har anerkendt problemet og allerede lagt sædskiftet om for at bremse resistensudviklingen. Ca. 25 % af landmændene med følsomt rajgræs og ca. 50 % af dem med resistent rajgræs havde ændret afgrødesammensætningen med henblik på at få kontrol over rajgræsbestanden. Den eneste anden dyrkningsparameter, hvor der var signifikant forskel mellem bedrifter med følsomt og resistent rajgræs, var pløjning, som blev anvendt meget hyppigere på ejendomme uden resistens.

Kemisk bekæmpelse var den primære direkte bekæmpelsesmetode. Sprøjteplanen laves i samarbejde med planteavlskonsulenten. Der anvendes behovsbestemte doseringer, og landmanden evaluerer, om sprøjtningen har virket. Oplysninger om herbicidanvendelsen de seneste 6 år viste, at ALS-hæmmere anvendes i 3 ud af 4 år og ACCase-hæmmere i 1 ud af 7 år i gennemsnit, med en tendens til større intensitet af behandlinger på bedrifter med resistent rajgræs.

Ingen af landmændene fokuserede på at øge afgrødens konkurrenceevne ved sortsvalg, mindre rækkeafstand eller større udsædsmængde. De såede moderat sent (midt-september) og ca. 40 % lavede manuelle optegnelser over ukrudtsforekomst. De var opmærksomme på risiko

for forurening med frø af fremmede arter og risikoen for spredning af resistente frø via maskiner. Landmændene deltog ikke ofte i efteruddannelseskurser ud over de obligatoriske opfølgninger på sprøjtecertifikater. Deres primære informationskilde var planteavlskonsulenten, og mange hentede desuden inspiration og råd i ERFA grupper.

På baggrund af resultaterne blev den eksisterende DK-RIM model udbygget med udvikling af target-site resistens (DK-RIM-res) over den 10-årige periode systemet dækker. Sammenligning af simuleringer med de to udgaver af beslutningsstøttesystemet viste, at ved kontinuerlig dyrkning af vinterhvede i et konventionelt pløjet dyrkningssystem med sen såning og sprøjtning med Topik EC hvert efterår eller Hussar Plus OD (iodosulfuron-methyl-Na + mesosulfuron-methyl + mefenpyr-diethyl) hvert forår er Boxer (prosulfocarb) i efteråret ikke tilstrækkeligt til at holde populationen på et lavt niveau, når der tages højde for resistensudvikling. I et varieret sædskifte med vårbyg, vinterraps, 2 x vinterhvede, en vekslen mellem virkningsmekanismer i vinterhveden og anvendelse af Kerb 400 SC (propryzamid) i vinterraps, vil rajgræspopulationen stige over 10 år i begge udgaver, men stigningen skyldes ikke resistens. Sædskiftet kan ikke holde populationen af rajgræs på et konstant niveau, og en yderligere indsats og diversificering af sædskiftet vil være nødvendigt. I samme sædskifte uden pløjning udvikles populationen af rajgræs hurtigere, men kan holdes under kontrol ved anvendelse af glyphosat før hver såning.

Resultaterne viste, at landmændene er godt på vej til forandring inden for mange af de indsatsområder, som Miljøministeriets resistenshandlingsplan fokuserer på. De områder, der bør styrkes, er afgrøde- og sortvalg, resistensforebyggelse i ikke-pløjede dyrkningssystemer, bedre formidling af viden om fordele ved sen såning og en vejledning i at prioritere såtid for forskellige marker. Et øget fokus på formidling af viden om herbicidgrupper og resistensrisiko bør være et fokus for konsulenterne, da landmændene i stor udstrækning følger konsulenternes råd. På baggrund af resultaterne er der udformet henholdsvis en proaktiv og en reaktiv resistensstrategi alt efter resistenssituationen på den enkelte bedrift.

3. Summary

Recent studies have shown a frequent occurrence of resistance in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam). The goal of this research project was to examine the influence of agricultural practices on the development of resistance against Atlantis OD (iodosulfuron-methyl-Na + mesosulfuron-methyl + mefenpyr-diethyl) and Topik (clodinafop-propargyl + cloquintocet-mexyl) in this species.

In 2017, 61 populations of Italian ryegrass were screened for resistance. The resistance level of these was further examined in a dose-response experiment in this project. Twenty-eight populations were selected for further examination (13 susceptible and 15 resistant populations) and new seeds were re-sampled from the same fields in 2019-20. In both samplings, resistance to Atlantis OD was more prevalent than resistance to Topik. Generally, the resistance level to Atlantis OD, and to a lesser extent Topik, was higher in 2019-20 than in 2017. This indicates a continuous development of resistance in many fields. A molecular analysis of 17 of the populations from 2019-20 showed that target-site resistance to ALS-inhibitors was more prevalent than to ACCase-inhibitors. Pro-197 was the most frequent mutation in the ALS-gene, and was present in 10 of the resistant populations, while the mutation Trp-574 was identified in 3 populations. Three of the mutations included in the analysis were not detected. In the ACCase-gene 3 of the 8 known mutations leading to resistance were found (Trp-2027, Ile-2041, Asp-2078). In several populations showing low effect of Atlantis OD, no mutations were observed or the frequency of the mutations was low. The results indicate that the resistance mechanism in these populations was metabolic resistance.

Information on agricultural practices was collected through personal interviews with the farmers, who were responsible for the management on the selected locations. The farms were distributed across the country and represent small as well as big farms. On 65 % of the farms, the main income was plant production. The crop rotations varied widely. Spring cereals and 'other crops' (potatoes, maize, seed grasses, spinach and grass) comprised a larger part of the area on farms with resistance compared to farms with no resistance. This is attributed to the fact that many farmers with resistance had already increased the diversity of the crop rotation due to resistance. Approximately 25 % of the farmers with susceptible ryegrass and 50 % of those with resistant ryegrass had changed the crop rotations in order to control the ryegrass population. The only other agricultural practice differing between the two groups were mouldboard ploughing, which was significantly more frequent on farms with no resistant ryegrass than on those with resistance problems.

The main direct weed control method was herbicide application. The spraying plan was made in cooperation with the agricultural advisor. The doses were set according to the weed flora, and most farmers evaluated the efficiency of the spraying through field observations. Information on the herbicide use for the latest 6 years showed that ALS-inhibitors were, on average, used in 3 out of 4 years, while ACCase inhibitors were used in 1 of 7 years. The intensity of treatments tended to be higher on farms with resistance issues compared to those with no resistance.

None of the farmers focused on increasing the crop competition by choosing competitive varieties, reducing the row distance or increasing the seeding rate. The time of sowing winter cereals was moderately late (mid-September) and 40 % of the farmers made manual weed maps. They were aware on the risk of infesting fields with new weed species and the inherent risk of spreading resistant seeds with field machinery. The farmers were rarely participating in

courses except the obligatory update course for spray certificate. Their main source of information was the agricultural advisors and they benefit from knowledge exchange and find inspiration in their ERFA groups (experience exchange groups of 5 to 10 farmers, who meet with an agricultural advisor several times during the season).

Based on the results, development of target-site resistance was added to the existing DK-RIM model (Denmark-Ryegrass Integrated Management). Scenarios with the two versions of the decision support system were compared. The scenarios were based on monoculture winter wheat in a conventional inversion tillage system with late sowing and use of Topik (clodinafop + cloquintocet) in the autumn or Hussar Plus OD (iodosulfuron-methyl-Na + mesosulfuron-methyl + mefenpyr-diethyl) in the spring with or without the use of Boxer (prosofocarb) in the autumn. Application of Boxer in autumn was not sufficient to keep the population of *L. multiflorum* on an acceptable level, when resistance development was included. Another scenario with a diverse crop rotation including spring cereals, winter oilseed rape and 2 years of winter wheat in which the herbicide modes of action in cereals are alternated and Kerb 400 SC (propyza-mide) is applied in the winter oilseed rape, the ryegrass population will increase over 10 years in both versions of the decision support system. In the same crop rotation with a no-till system, the ryegrass population will increase faster, but it can be managed by glyphosate application at sowing.

The results indicated that the farmers already have adapted several of the tools included in the resistance management plan from the Ministry of Environment. Efforts that seem to need more focus are the benefit of competitive crops and varieties, prevention of resistance in no-till systems, information on benefit of late sowing and a guidance in prioritizing the time of sowing of different fields. An increased focus on communication on herbicide groups and risk of resistance should be a priority for the advisors as the farmers have high trust in the advisors. The results are implemented in a pro- and reactive resistance strategy, respectively, which can be applied depending on the resistance situation on the individual farms.

4. Introduktion

Problemer med bekæmpelse af rajgræs har været stigende i de senere år, og en væsentlig årsag er udvikling af resistens over for de anvendte herbicider. En monitoring for herbicid-resistens i 2013-15 viste, at mellem 15 og 19% af de indsamlede prøver af italiensk og almindelig rajgræs (*Lolium multiflorum* Lam. og *Lolium perenne* L.) var resistente over for ALS- eller ACCase-hæmmere (Mathiassen og Kudsk, 2016). Disse tal var overraskende, da der ikke forinden var mistanke om udbredt resistens hos disse ukrudtsarter. Det var dog forholdsvis få prøver, der lå til grund for dette resultat. En efterfølgende resistenstest af 126 prøver af rajgræs konfirmerede, at der var tale om udbredt resistens, idet 60% af prøverne af italiensk rajgræs viste nedsat følsomhed over for en eller begge herbicidgrupper (Mathiassen, 2017). Disse prøver var indsendt af landmænd og konsulenter fra hele landet på baggrund af mistanke om resistens. Foruden de indsendte frøprøver fandtes en del oplysninger om de marker, som prøverne var indsamlet i og kontaktoplysninger til landmændene. Med så stort et materiale til rådighed var der et godt udgangspunkt for at undersøge om dyrkningshistorikken kunne belyse baggrunden for resistensudviklingen hos italiensk rajgræs.

Rajgræsserne er karakteriseret ved en stor genetisk variation, som betyder, at de kan trives i mange forskellige dyrkningssystemer. De producerer mange frø, og en utilstrækkelig bekæmpelse medfører derfor en hurtig opformering. I Danmark er almindelig rajgræs og italiensk rajgræs almindelig udbredte ukrudtsarter, mens man i de sydeuropæiske lande finder italiensk rajgræs og *L. rigidum*, som ikke har et dansk navn.

De mest anvendte herbicider til bekæmpelse af rajgræsarterne i kornafgrøder er ACCase-hæmmere som Topik EC (clodinafop-propargyl + cloquintocet-mexyl) og ALS-hæmmere, som Hussar OD (iodosulfuron + mefenpyr-diethyl), Cossack OD (iodosulfuron-methyl-Na + mesosulfuron-methyl + mefenpyr-diethyl), Atlantis OD (iodosulfuron-methyl-Na + mesosulfuron-methyl + mefenpyr-diethyl) og Broadway (pyroxulam + florasulam + cloquintocet-mexyl) (specifikationer i bilag 1). Det er den gentagne anvendelse af disse to herbicidgrupper, der har ført til udvikling af resistens.

I Europa blev det første tilfælde af resistens over for ACCase-hæmmere fundet i England i 1990 og over for ALS-hæmmere i Frankrig i 2003 (Heap, 2021). Resistens over for disse to herbicidgrupper er nu fundet i 4 europæiske lande (Italien, Frankrig, England og Danmark) (Heap, 2021). I Danmark blev det første tilfælde af resistens over for ALS- og ACCase-hæmmere hos italiensk rajgræs fundet i 2010 (Mathiassen, 2014), og senere monitoringer har som nævnt ovenfor vist, at resistens er ret udbredt hos denne ukrudtsart (Mathiassen & Kudsk, 2016, Mathiassen, 2017).

I en naturlig bestand af ukrudtsplanter vil der være et meget lille antal individer, som fra naturens side er resistente over for et givent herbicid. Hver gang der behandles med det pågældende herbicid, vil der ske en selektion af de planter, som er resistente. Jo flere ukrudtsplanter der er til stede, jo større er sandsynligheden for, at der er resistente planter imellem.

Ved gentagen anvendelse af herbicider med samme virkemekanisme i en mark sker der en udvælgelse af de resistente individer, som gradvis bliver dominerende. For herbicider med meget specifikke virkemekanismer kan en mutation i et enkelt gen medføre, at planten er resistent. Denne type resistens kaldes *target-site resistens* og fremmes af høje doser. Det er karakteristisk, at resistensen spredes meget hurtigt, og at resistensniveauet oftest er så højt, at der ikke opnås effekt af 10 x normaldosering. Resistens kan også skyldes andre nedarvede

egenskaber som f.eks. nedsat optagelse eller transport af herbicidet i planten, isolation af herbicidet i vakuolerne eller en hurtig nedbrydning af herbicidet i planten. Samlet set betegnes disse mekanismer som *non target-site resistens*, og mekanismen med hurtig nedbrydning af herbicidet kaldes *metabolisk resistens* og er ret udbredt hos græsukrudsarterne. Det antages, at den hurtige omsætning af herbicidet skyldes op- eller nedregulering af forskellige enzymer i planten bl.a. cytokrom P450, glycosyl transferase, glutathion transferase og ABC transporters som følge af ændringer i flere gener (Gaines et al., 2020). Denne resistens udvikles langsomt, da der er tale om en ophobning af flere mutationer i forskellige gener. Resistensniveauet er ofte lavere end for target-site resistens, men resistensen kan medføre nedsat effekt af flere forskellige herbicidgrupper. Metabolisk resistens antages at fremmes af sub-letale doseringer.

I en del år var forskningen meget fokuseret på at sammenkæde genetiske ændringer med udvikling af target-site resistens. Der er i øjeblikket kendskab til 8 mutationer i ACCase-genet (Kaundun, 2014) og 8 mutationer i ALS-genet (Tranel et al., 2021), som medfører resistens. Flere af disse mutationer er fundet i rajgræs (Yu & Powles, 2014, Kaundun, 2014).

I de senere år er fokus flyttet til de mekanismer, der er årsag til metabolisk resistens (Gaines et al., 2020). Disse mutationer påvirker ikke bare en herbicidgruppe, men kan medføre resistens over for flere forskellige herbicidgrupper på samme tid. I dag anses metabolisk resistens for at være den dominerende resistensmekanisme over for ALS- og ACCase-hæmmere hos ukrudsgræsser, men også target-site resistens findes i disse. Nyere undersøgelser i rajgræs har vist, at der i mange populationer er resistens både over for både ALS- og ACCase-hæmmere (multipel resistens). I nogle populationer skyldes det, at der er target-site resistens over for begge herbicidgrupper, i andre tilfælde er årsagen at populationerne har udviklet både target-site og metabolisk resistens (Scarabel et al, 2020).

Viden om resistensmekanismer er vigtig, men løser ikke problemet. I erkendelse heraf beskæftiger flere af de seneste videnskabelige artikler sig med den epidemiologiske udvikling af resistens med henblik på at forstå de bagvedliggende mekanismer (Comont & Neve, 2019, Comont et al., 2019, Hicks et al., 2018, Hermann et al., 2016). En forståelse af baggrunden for resistensudvikling betyder, at man har mulighed for at ændre dyrkningsstrategier med henblik på at forebygge og reducere resistensudvikling.

I nærværende projekt er dyrkningsmæssige og sociologiske aspekter inddraget i et forsøg på at finde mønstre, som fremmer eller reducerer resistensudvikling hos rajgræs. Disse oplysninger er ofte svære at få besvaret ved hjælp af et spørgeskema. Der er i projektet gennemført interviews af 28 landmænd, som havde problemer med italiensk rajgræs. Igennem disse samtaler er der ofte fremkommet oplysninger, som med stor sandsynlighed ikke ville være tilgængelige gennem et tilsendt spørgeskema.

Projektet belyser den epidemiologiske baggrund for resistensudviklingen ved at se på driftsform og dyrkningsmæssige forhold i op til 6 år før prøveudtagning.

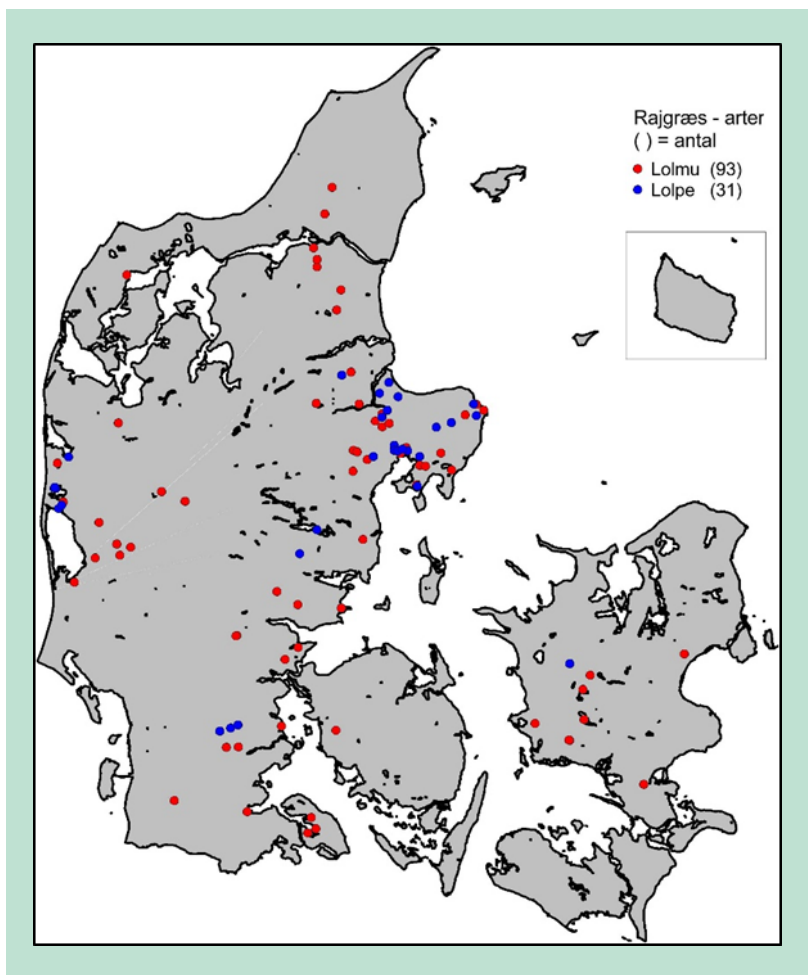
Vores arbejdshypoteser var:

- at dyrkningsformen har betydning for udvikling af resistens hos italiensk rajgræs
- at en analyse af sædskifte, jordbearbejdning, herbicidanvendelse m.m. i de seneste 6 år vil give indikationer af, hvilke faktorer der har størst betydning for resistensudvikling under danske forhold.

5. Resistenstest af indsendte populationer 2017

5.1 Screening af populationer

I projektet 'Monitering af resistens hos almindelig og italiensk rajgræs' (MST j.nr. 666-00188) blev i alt 124 populationer af rajgræs (31 populationer af almindelig rajgræs og 93 populationer af italiensk rajgræs) screenet for resistens over for herbicider tilhørende gruppen af ALS- og ACCase-hæmmere (HRAC 2 og 1). Frøprøver af de to rajgræsarter blev indsamlet af konsulenter og landmænd i marker med mistanke om resistens. De indsamlede prøver repræsenterede lokaliteter fra det meste af Danmark, dog med en overvægt af prøver fra Djursland og Sønderjylland (se figur 5.1). Den geografiske fordeling af prøver afspejler, at italiensk rajgræs er mest udbredt i Østjylland.

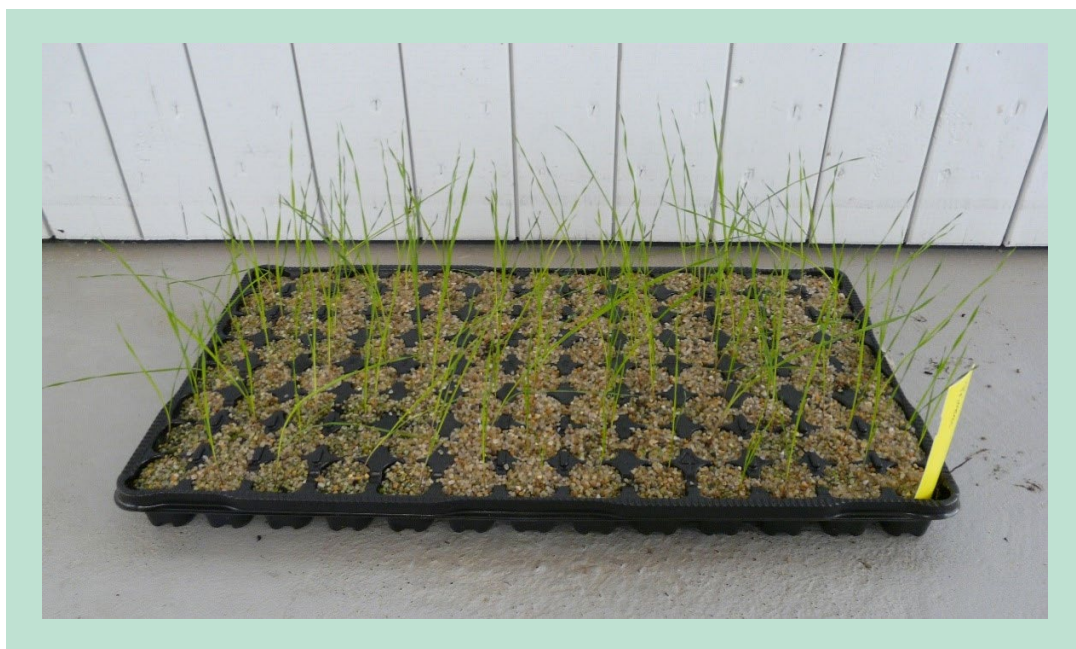


FIGUR 5.1. Geografisk fordeling af de populationer der indgik i screeningen i 2017. Lolmu= italiensk rajgræs, Lolpe= almindelig rajgræs.

5.1.1 Materialer og metoder

De indsendte frøprøver blev rensset og udsået i prikledbakker i en pottéblanding bestående af sphagnum, markjord (JB 7) og sand. Der blev sået 3 bakker (104 huller pr. bakke, figur 5.2) af hver population samt af henholdsvis 2 følsomme og en ALS-resistent referencepopulation. Bakkerne blev vandet op og placeret på automatiske vandebord i et opvarmet drivhus (14° C

om dagen, 10° C om natten). Ved begyndende fremspiring blev der suppleret med kunstigt lys til en dagslængde på 14 timer.



FIGUR 5.2. Spirebakke med 104 huller til screening af herbicideffekt.

Sprøjtning blev udført, da planterne havde 2-3 blade. For hver population blev en bakke behandlet med 0,25 L/ha Topik (reg. nr. 1-197, 100 g/L clodinafop + 25 g/L cloquintocet-mexyl) + 0,5 L/ha Renol (vegetabilsk olie) og en bakke med 0,5 L/ha Atlantis OD (reg. nr. 18-469, 10 g/L mesosulfuron-methyl + 2 g/L iodosulfuron-methyl-Na + 30 g/L mefenpyr-diethyl). Den tredje bakke forblev ubehandlet. Doseringerne svarer til de anbefalede doseringer til bekæmpelse af rajgræs i vinterhvede (Nielsen et al., 2021). Sprøjtningen blev foretaget i en kabinesprøjte med to Hardi ISO-02 fladsprededyser ved et tryk på 3 bar og en hastighed på 5,2 km/t, hvilket gav en væskemængde på 172,8 L/ha.

Planterne blev høstet 3 uger efter sprøjtning. Inden høst blev der foretaget en visuel bedømmelse af effekten. Ved denne bedømmelse blev der givet en karakter for biomassen i de behandlede bakker sammenlignet med de ubehandlede bakker. Der blev anvendt en skala fra 0 til 10, hvor 0 angiver, at planterne er upåvirkede af herbicidbehandlingen og 10 angiver, at alle planter er døde. Værdier mellem 0 og 10 angiver den relative reduktion af biomassen.

Antallet af levende og døde planter i hver bakke blev optalt. Planterne blev afklippet ved jordoverfladen og vejret. Planterne blev efterfølgende tørret i en ovn ved 80°C i 36 timer, og tørvægten blev registreret. Effekt på antal planter (= % døde planter) samt effekt på biomasse (% reduktion i friskvægt eller tørvægt per plante i forhold til ubehandlet) blev beregnet. Effekten på den enkelte population blev sammenlignet med effekterne på de følsomme og den resistente referencepopulation. Gruppering i resistente, delvis resistente og følsomme populationer blev foretaget ud fra kriterier angivet i tabel 5.1.

TABEL 5.1. Anvendte kriterier for klassificering af populationer i screening. Effekt på antal planter (= % døde planter) samt effekt på biomasse (% reduktion i friskvægt eller tørvægt per plante i forhold til ubehandlet) blev beregnet. Visuel bedømmelse: 0 til 10, hvor 0 angiver, at planterne er upåvirkede af herbicidbehandlingen og 10 angiver, at alle planter er døde.

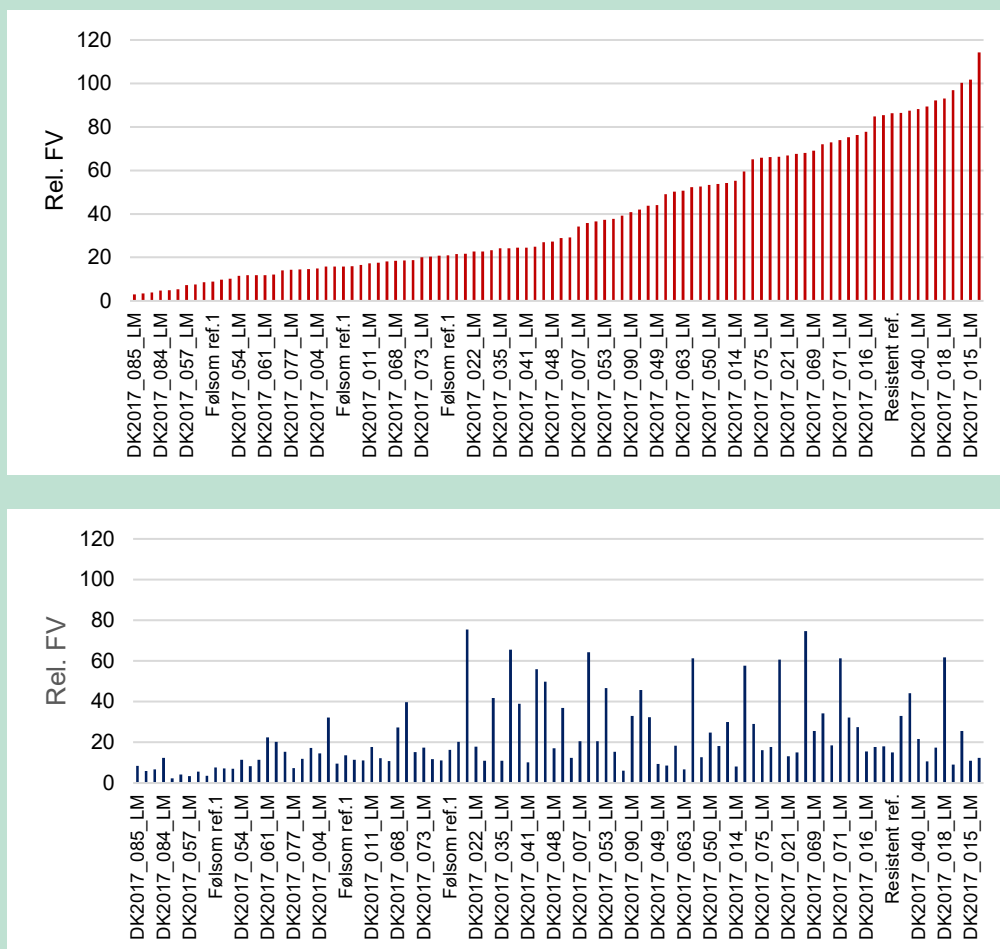
	Effekt		
	Resistent	Delvis resistent	Følsom
Biomasse (FV)	<50 %	50 %- 80 %	>80 %
Antal planter	<50 %	50 %- 80 %	>80 %
Visuel bedømmelse	0-4	5-8	>8

5.1.2 Resultater

Resultater af screening viste, at 66% af populationerne af italiensk rajgræs var helt eller delvist resistente over for Atlantis OD, som er en ALS-hæmmer, mens 42 % af populationerne var helt eller delvist resistente over for Topik, som er en ACCase-hæmmer (figur 5.3). Samlet set var 28 % af populationerne følsomme over for begge herbicider, mens 35 % af populationerne var helt eller delvist resistente over for begge herbicider (tabel 5.2 og figur 5.4) (Mathiasen, 2018).

TABEL 5.2. Fordeling (i %) af resistente, delvis resistente og følsomme populationer i screening.

	Resistente	Delvis res.	Følsomme
Atlantis OD	36 %	28 %	37 %
Topik	11 %	30 %	59 %



FIGUR 5.3. Screening af populationer for resistens over for Atlantis OD (øverst) og Topik (nederst). Figuren viser relativ friskvægt (Rel. FV) i forhold til ubehandlet af populationer af italiensk rajgræs efter behandling med henholdsvis 0,5 L/ha Atlantis OD og 0,25 L/ha Topik.



Figur 5.4. Resistensmønstre (% resistente eller delvis resistente populationer) ved screening af 93 populationer af italiensk rajgræs. 28 % af populationerne var følsomme over for begge herbicider og er ikke med i figuren.

5.2 Dosis-respons forsøg

For at verificere resistensmønstre og bestemme resistensniveauet i de screenede 2017-populationer blev der udført dosis-respons forsøg. Forsøget blev gennemført med 61 af de 93 populationer af italiensk rajgræs, da der ikke var tilstrækkelige mængder frø af de resterende 32 populationer til at udføre forsøget.

5.2.1 Materialer og metoder

Frø af populationerne blev sået i 1 L pletter i en pottéblanding bestående af markjord, sand og sphagnum tilsat alle nødvendige mikro- og makro næringsstoffer. Pletterne blev vandet op og placeret på udendørs borde med automatisk vanding (figur 5.5). Efter fremspiring blev der tyndet til samme antal planter per plette inden for den enkelte population (min. 3, max. 8 planter per plette). Atlantis OD og Topik + Renol blev udsprøjtet i 5 doseringer (1/4 N, 1/2 N, 1 N, 2 N og 4 N), da planterne havde 3-4 blade. Normaldoseringen (1 N) blev varieret i forhold til, om den enkelte population var vurderet som følsom eller resistent i screeningen. De anvendte doseringer fremgår af tabel 5.3. Sprøjtningen blev udført i en kabinesprøjte udstyret med to Hardi ISO-02 dyser. Der blev anvendt et tryk på 3 bar og en hastighed på 5,5 km/t, hvilket gav en væskemængde på 144 L/ha.

TABEL 5.3. Anvendte doseringer (L/ha) af Atlantis OD og Topik på følsomme og resistente populationer af italiensk rajgræs i dosis-respons forsøg. De delvis resistente populationer fik samme dosering som de resistente populationer.

Dosering	Atlantis OD		Topik	
	Følsomme	Resistente	Følsomme	Resistente
0,25 N	0,031	0,125	0,016	0,063
0,5 N	0,063	0,250	0,031	0,125
1 N	0,125	0,500	0,063	0,250
2 N	0,250	1,000	0,125	0,500
4 N	0,500	2,000	0,250	1,000

Planterne blev høstet 3 uger efter sprøjtning. Frisk- og tørvægt blev målt. Inden for hver population blev resultaterne af herbicidbehandlingerne analyseret med non-lineære regressioner ved hjælp af en log-logistisk dosis-respons model:

$$U_i = \frac{D - C}{1 + \exp[2b_i(\log(ED_{90i}) + 1.099 / b_i - \log(z))]} + C$$

hvor U er friskvægt, z er doseringen, D og C er den øvre og nedre asymptote ved lav og meget høje doseringer, ED_{90} er den dosering, som medfører 90 % reduktion i biomasse, b er hældningen omkring ED_{50} og i er de forskellige populationer (Seefeldt et al., 1995).



FIGUR 5.5 Populationer af italiensk rajgræs til dosis-respons forsøg på udendørs borde.

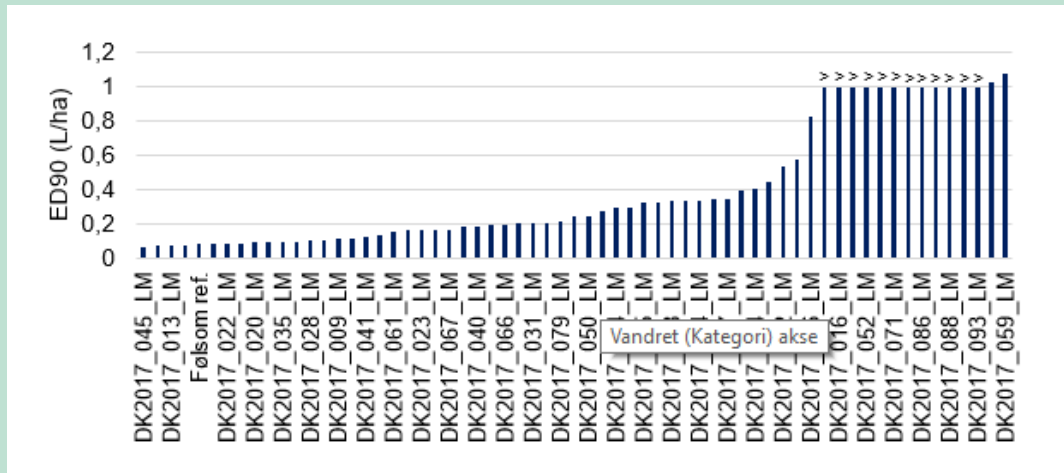
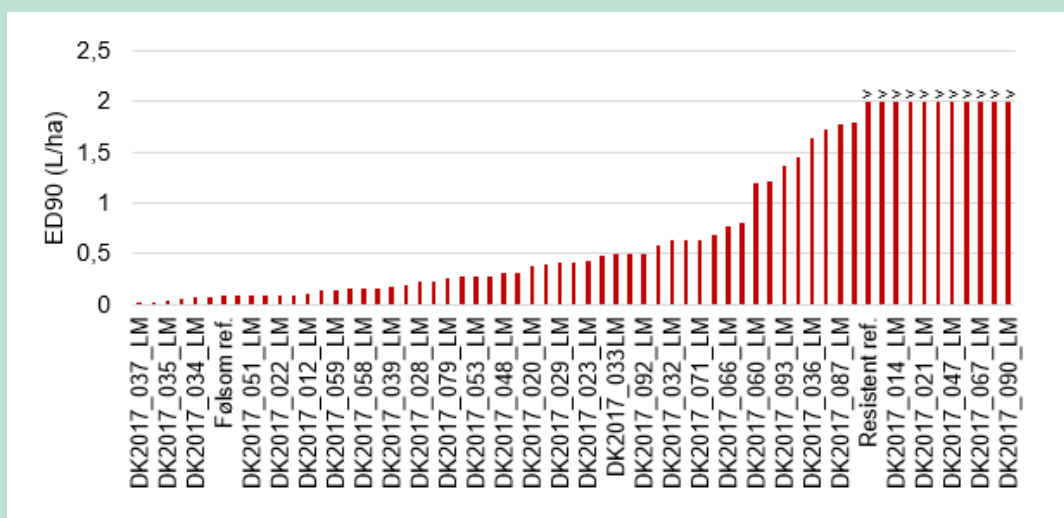
5.2.2 Resultater

En forudsætning for at bestemme ED90 doseringerne er, at de anvendte doseringer giver en rimelig beskrivelse af doseringskurven (effekter fra lav til høj). For flere resistente populationer var det ikke muligt at bestemme ED90 doseringer, da der ikke blev opnået effekt selv af den højeste dosering. ED90 doseringen for disse populationer er således højere end den maksimalt anvendte dosering og er i figur 5.6 sat til 2 for Atlantis OD og til 1 for Topik (= højeste anvendte dosering). ED90 doseringerne fremgår også af tabel 6.1.

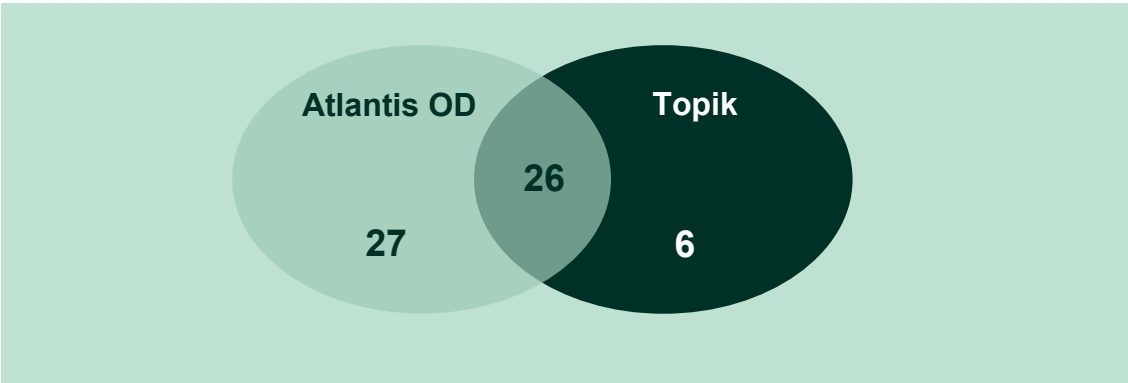
Ifølge Planteværn Online (<https://plantevaernonline.dlbr.dk/>) er ED90 af Atlantis OD og Topik på rajgræs med 3-4 blade i vinterhvede om foråret ca. 0,4 L/ha. Populationerne er derfor klassificeret som følsomme, når ED90 af henholdsvis Atlantis OD og Topik var lavere end 0,4 L/ha. Populationerne er klassificeret som resistente, hvis ED90 var større end 0,8 L/ha og som delvis resistente, hvis ED90 lå mellem 0,4 og 0,8 L/ha. Resultaterne af dosis-respons forsøget gav dermed en fordeling af de 61 populationer, som vist i tabel 5.4.

TABEL 5.4. Resistensmønstre af 2017-populationer. Følsomme: ($ED90 \leq 0,4$ L/ha Atlantis OD/ Topik), delvis resistente: ($0,4 < ED90 < 0,8$) og resistente: ($ED90 \geq 0,8$ L/ha Atlantis OD/ Topik).

	Følsomme	Delvis resistente	Resistente
Atlantis OD	48 %	22 %	30 %
Topik	68 %	10 %	22 %



FIGUR 5.6. ED90 doseringer af Atlantis OD og Topik på 61 af de indsendte populationer af italiensk rajgræs samt en følsom og en resistent reference population. For populationer hvor der ikke var effekt på biomasse af den højeste anvendte dosering, er ED90 sat til 2 for Atlantis OD og 1 for Topik svarende til de højeste anvendte doseringer med '>' over søjlerne.



FIGUR 5.7. resistensmønstre (% resistente eller delvis resistente populationer) ved dosis-respons forsøg med 61 populationer af italiensk rajgræs. 41 % af populationerne var følsomme over for begge herbicider og er ikke med i denne figur.

5.3 Diskussion

Resultaterne af dosis-respons forsøget viste en hyppigere forekomst af resistens over for Atlantis OD sammenlignet med Topik (figur 5.7), hvilket svarer til resultaterne af screeningen.

En sammenligning af resultaterne af screening og dosis-respons forsøg viser, at screeningen giver et godt bud på, hvilke populationer der er følsomme over for herbiciderne. Alle de populationer, som blev fundet følsomme over for Atlantis OD i screeningen, var også følsomme i dosis-respons forsøgene (Tabel 5.5). Af de 11 populationer, som blev fundet resistente over for Atlantis OD i screeningen, blev 64 % (7 prøver) bedømt resistente og 27 % (4 prøver) delvis resistente i dosis-respons forsøget. Af de 6 populationer, som blev vurderet til at være delvis resistente over for Atlantis OD i screeningsforsøget, var 33 % (2 prøver) følsomme, 33 % (2 prøver) delvis resistente og 33 % (2 prøver) resistente i dosis-respons forsøget.

For Topik var variationen i resultater af screenings- og dosis-respons forsøgene større end for Atlantis OD. Af de 12 populationer, som var følsomme i screeningsforsøget i 2017, var 83 % (10 prøver) også følsomme i dosis-respons forsøget, mens 17 % (2 prøver) var resistente. Der var kun 1 resistent populationer fra screeningen, som blev undersøgt i dosis-respons forsøg, hvor den også blev fundet resistent. Overordnet set kan det konstateres, at en stor del af de populationer, som blev klassificeret som delvis resistente over for et af herbiciderne i screeningen skiftede kategori til at være enten følsomme (S) eller resistente (R) i dosis-respons forsøget.

Generelt må resultaterne af dosis-respons forsøget, som beskriver det samlede respons af 5 doser formodes at være mere sikre end resultaterne af screeningsforsøgene, hvor resistensniveauet bestemmes ud fra en enkelt diskriminerende dosering.

TABEL 5.5. Sammenligning af resultater af henholdsvis screening og dosis-respons forsøg i 2017. Tallene angiver, hvor mange procent af populationerne, der giver samme eller et forskelligt respons i screening og dosis-respons forsøg. Tallene i parentes angiver antallet af prøver.

Dosis-respons	Screening Atlantis OD			Screening Topik		
	S (5)	R? (6)	R (11)	S (12)	R? (9)	R (1)
S	100	33	9	83	67	100
R?	0	33	27	0	0	0
R	0	33	64	17	33	0

5.4 Udvalgelse af lokaliteter til yderligere undersøgelse

Det var oprindeligt planlagt at udvælge 10 lokaliteter med følsomme populationer af italiensk rajgræs, 10 lokaliteter med begyndende resistens over for et eller begge herbicider og 10 lokaliteter med udbredt resistens over for mindst et af de to herbicider til de fortsatte undersøgelser i projektet. Disse undersøgelser omfattede en gentagen udtagning af frøprøver af italiensk rajgræs i de pågældende marker i 2019-20 med henblik på at undersøge, om resistensniveauet havde ændret sig. Planen var desuden at lave et interview med de landmænd, som stod for driften af de pågældende marker for at få indblik i de dyrkningsmetoder, de anvendte. Sammenligning af data om blandt andet sædskifte, herbicidanvendelse og dyrkningsmetoder fra bedrifter med følsomt, delvis resistent og resistent italiensk rajgræs skulle klarlægge, om der var et fælles mønster for nogle af disse parametre i marker, hvor der var resistens.

I forbindelse med udvælgelsen af populationer blev ca. 45 af landmændene fra den tidligere undersøgelse kontaktet, da en forudsætning for de fortsatte undersøgelser var, at de pågældende landmænd var villige til at medvirke i en interviewundersøgelse. Kun to af de kontaktede landmænd ønskede ikke at medvirke i projektet. Blandt de resterende blev udvælgelsen foretaget ud fra den geografiske placering, en nogenlunde ligelig fordeling af ejendomme med følsomme og resistente populationer, samt om landmændene var disponible for et interview på det rette tidspunkt.

Det blev besluttet at udvælge populationer til de fortsatte undersøgelser primært ud fra de effekter, som blev opnået i dosis-respons forsøget, da disse som nævnt i afsnit 5.3, bør tillægges større værdi end resultaterne af screeningen. Udvalgelsen blev foretaget ud fra effekt af Atlantis OD, da resistens over for dette herbicid var mere udtalt end over for Topik. Da gruppen af delvis resistente populationer i dosis-respons forsøget var begrænset, blev inddelingen af populationer reduceret til to grupper med de følsomme populationer i en gruppe (13 populationer) og de delvis eller fuldt resistente i en anden gruppe (15 populationer) (tabel 5.6).

Den geografiske fordeling af de udvalgte populationer fremgår af figur 5.8.



FIGUR 5.8. Geografisk fordeling af de populationer som blev udvalgt til de fortsatte undersøgelser.

TABEL 5.6. Følsomhed af 2017-populationer af italiensk rajgræs over for Atlantis OD og Topik ved screening og i dosis-respons forsøg. For begge herbicider er populationerne klassificeret som følsomme (S), når $ED_{90} \leq 0,4$, som delvis resistente (R?), når $0,4 < ED_{90} < 0,8$ og som resistente (R), når $ED_{90} \geq 0,8$ L/ha.

Population	Screening		Dosis-respons	
	Atlantis OD	Topik	Atlantis OD	Topik
Følsom ref. 1	S	S	S	S
Følsom ref. 2	S	S	S	S
Resistent ref.	R	S	R	S
DK2017_013_LM	S	S	S	S
DK2017_034_LM	S	S	S	S
DK2017_038_LM	S	S	Ikke testet	Ikke testet
DK2017_045_LM	S	S	S	S
DK2017_054_LM	S	S	Ikke testet	Ikke testet
DK2017_070_LM	S	S	Ikke testet	Ikke testet
DK2017_077_LM	S	S	Ikke testet	Ikke testet
DK2017_082_LM	S	S	Ikke testet	Ikke testet
DK2017_055_LM	S	R?	S	S
DK2017_061_LM	S	R?	S	S
DK2017_029_LM	R	R?	S	S
DK2017_019_LM	R?	S	S	S
DK2017_041_LM	R?	S	S	S
DK2017_018_LM	R	R?	R	R
DK2017_071_LM	R	R	R?	S
DK2017_083_LM	R	R	Ikke testet	Ikke testet
DK2017_016_LM	R	S	R?	S
DK2017_021_LM	R	S	R	S
DK2017_023_LM	R	S	R?	S
DK2017_040_LM	R	R?	R	S
DK2017_046_LM	R	S	R	R
DK2017_060_LM	R	S	R	S
DK2017_067_LM	R	S	R	R
DK2017_076_LM	R	R?	R	S
DK2017_086_LM	R?	S	R?	S
DK2017_090_LM	R?	R?	R	R
DK2017_074_LM	R?	R?	R?	R
DK2017_078_LM	R?	R?	R	S

De populationer, som blev udvalgt, var i 2017 indsamlet i 22 marker med vintersæd og 6 marker med vårsæd. For de resistente populationer var fordelingen 75 % fra vintersæd og 25 % fra vårsæd, mens det for de følsomme populationer var 86 % vintersæd og 14 % vårsæd. Populationernes resistensmønstre i forhold til de to herbicider er vist i tabel 5.7. Som det fremgår, er 8 af de populationer, som er følsomme over for Topik, helt eller delvist resistente over for Atlantis OD, mens alle de populationer, som er følsomme over for Atlantis OD, også er følsomme over for Topik.

TABEL 5.7. Resistensmønstre i dosis-respons forsøg af de populationer, som blev udvalgt til de fortsatte undersøgelser.

Atlantis OD\Topik	S	R?	R	I alt
S	13	0	0	13
R?	4	0	1	5
R	4	1	5	10
I alt	21	1	6	28

6. Resistenstest af udvalgte populationer 2019-20

6.1 Gentagen indsamling af prøver

I 2019 og 2020 blev der indsamlet nye prøver af italiensk rajgræs fra de udvalgte marker (se afsnit 5.4) med henblik på at se, om der var sket en udvikling i resistensniveauet i perioden fra første udtagning i 2017. Der blev indsamlet frøprøver fra 25 af de 28 lokaliteter (5 lokaliteter i 2019, 20 lokaliteter i 2020). I 3 marker var det ikke muligt at gentage indsamlingen. I en af markerne var der intet rajgræs, mens to marker var udlagt med rent græs til slæt, hvor det ikke var relevant at samle rajgræsprøver.

6.2 Screening af populationer

Screening blev udført, som beskrevet for prøverne fra 2017 (afsnit 5.1). I bilag 1 er resultaterne af screening af de udvalgte populationer 2017 og 2019-20 vist.

I 5 af de 25 populationer var resistensniveauet over for Atlantis OD øget i en sådan grad i perioden fra 2017 til 2019-20, at de skiftede kategori. Tre populationer, som var følsomme i 2017, blev klassificeret som delvis resistente i 2019-20, mens 2 prøver gik fra at være delvis resistente i 2017 til at være resistente i 2019-20. Omvendt var der 3 populationer, som viste større følsomhed over for Atlantis OD i 2019-20 end i 2017 (ændring fra resistente til delvis resistente). For Topik var resistensniveauet i perioden øget hos 12 populationer (7 fra følsomme til delvis resistente, 3 fra følsomme til resistente og 2 fra delvis resistente til resistente). En prøve viste større følsomhed over for Topik i 2019-20 end i 2017.

6.3 Dosis-respons forsøg

Dosis-respons forsøg blev udført, som beskrevet for prøverne fra 2017 (afsnit 5.2). Resultaterne af dosis-respons forsøg med populationer fra begge år er vist i tabel 6.1. De populationer, som i 2017 blev klassificeret som følsomme over for Atlantis OD, er afmærket med grønt, mens de populationer, som var helt eller delvis resistente, er mærket med rødt.

Af de 13 følsomme populationer fra 2017 var 6 fortsat følsomme over for Atlantis OD i 2019-20. Tre af de følsomme populationer var blevet resistente over for Atlantis OD, 1 var delvis resistent og 3 populationer blev ikke testet i 2019-20 på grund af lav spireevne af frøene. Af 5 populationer med delvis resistens over for Atlantis OD i 2017, var 4 blevet resistente, og af de 10 resistente populationer var 9 fortsat resistente og en delvis resistent i 2019-20. Af de 22 populationer, som var følsomme over for Topik i 2017, var 19 fortsat følsomme i 2019-20, mens 2 populationer havde ændret status til henholdsvis delvis resistent og resistent. To populationer med resistens over for Topik i 2017, var følsomme i testen i 2019-20.

TABEL 6.1. ED90 doseringer af Atlantis OD og Topik på de udvalgte populationer i prøver udtaget i henholdsvis 2017 og 2019-20. De følsomme populationer er mærket med grønt, de resistente populationer med rødt. Standardafvigelser er vist i parentes. For de populationer der ikke er testet i dosis-respons forsøg er resultatet fra screeningen anvendt (angivet i parentes som S for følsom, R som resistent)

Population	Følsomhed Atlantis OD		Følsomhed Topik	
	2017	2019-20	2017	2019-20
Følsom ref. 1	0,08 (0,01)	0,11 (0,01)	0,09 (0,01)	0,04 (0,01)
Følsom ref. 2	Ikke testet (S)	0,12 (0,01)	Ikke testet (S)	0,09 (0,01)
Resistent ref.	>2	>2	0,28 (0,05)	0,45 (0,06)
DK2017/20_013_LM	0,08 (0,01)	0,22 (0,02)	0,08 (0,01)	0,08 (0,01)
DK2017/20_034_LM	0,07 (0,01)	Ikke testet	0,29 (0,03)	Ikke testet
DK2017/20_038_LM	Ikke testet (S)	0,25 (0,02)	Ikke testet (S)	0,1 (0,01)
DK2017/20_045_LM	0,08 (0,01)	Ikke testet	0,07 (0,01)	Ikke testet
DK2017/20_054_LM	Ikke testet (S)	0,29 (0,02)	Ikke testet (S)	0,12 (0,01)
DK2017/20_070_LM	Ikke testet (S)	0,34 (0,02)	Ikke testet (S)	0,07 (0,01)
DK2017/20_077_LM	Ikke testet (S)	0,32 (0,02)	Ikke testet (S)	0,07 (0,01)
DK2017/20_082_LM	Ikke testet (S)	Ikke testet	Ikke testet (S)	Ikke testet
DK2017/20_055_LM	0,13 (0,02)	0,48 (0,06)	0,33 (0,03)	0,11 (0,02)
DK2017/20_061_LM	0,15 (0,02)	0,93 (0,12)	0,16 (0,03)	>1
DK2017/20_029_LM	0,38 (0,06)	1,56	0,24 (0,03)	0,18 (0,03)
DK2017/20_019_LM	0,19 (0,04)	1,41	0,17 (0,02)	0,1 (0,02)
DK2017/20_041_LM	0,05 (0,03)	0,28 (0,02)	0,13 (0,01)	0,09 (0,01)
DK2017/19_018_LM	>2	>2	0,34 (0,04)	0,45 (0,11)
DK2017/20_071_LM	0,64 (0,08)	0,82 (0,09)	>1	>1
DK2017/20_083_LM	Ikke testet (R)	1,76 (0,36)	Ikke testet (R)	>1
DK2017/19_016_LM	0,58 (0,01)	1,52	0,27 (0,04)	0,04 (0,03)
DK2017/19_021_LM	>2	>2	0,10 (0,01)	< 0,06
DK2017/20_023_LM	0,41 (0,7)	1,11 (0,12)	0,17 (0,02)	0,24 (0,05)
DK2017/20_040_LM	1,79 (0,45)	>2	0,18 (0,02)	0,02 (0,02)
DK2017/20_046_LM	>2	>2	0,12 (0,01)	0,05 (0,02)
DK2017/20_060-LM	>2	>2	0,17 (0,02)	0,18 (0,03)
DK2017/19_067_LM	>2	>2	0,17 (0,02)	0,07 (0,02)
DK2017/20_076_LM	1,73 (0,20)	>2	0,83 (0,16)	0,39 (0,09)
DK2017/19_086_LM	0,50 (0,07)	>2	>1	0,23 (0,05)
DK2017/20_090_LM	>2	0,50 (0,06)	>1	>1
DK2017/20_074_LM	0,63 (0,08)	0,48 (0,05)	0,33 (0,05)	0,08 (0,01)
DK2017/20_078_LM	1,46 (0,13)	0,95 (0,10)	>1	0,94 (0,16)

6.4 Molekylær analyse af udvalgte populationer

Som tidligere nævnt kan årsagen til resistens hos rajgræs være en ændring af virkningsstedet for herbicidet (target-site resistens). Target-site resistens kan opstå ved en enkelt mutation, og det er derfor muligt at analysere for dette ved en molekylær analyse. Alternativt kan der være

tale om metabolisk resistens, som skyldes en række mutationer i plantens DNA, for hvilke man endnu ikke har tilstrækkelig viden.

Der er forskel på, hvilke dyrkningsmæssige tiltag der har størst effekt i forhold til både forebyggelse og håndtering af resistente populationer afhængig af, om der er tale om target-site eller metabolisk resistens. For at kunne sammenholde oplysninger fra interviews om dyrkningssystemerne med den aktuelle resistenssituation på bedrifter med resistens er det derfor interessant at vide, om der er tale om target-site eller metabolisk resistens.

Sytten af de populationer fra 2019-20, som viste delvis eller fuld resistens over for et af de testede herbicider, blev undersøgt for mutationer for at afgøre, om årsagen til resistens skyldtes en ændring i target-site. Desuden blev de følsomme og resistente reference populationer undersøgt. Da frø indsamlet i marken ofte består af en blanding af følsomme og resistente individer, blev der foretaget en kloning af planterne med henblik på at udvælge de resistente individer af de enkelte populationer til mutationsanalysen.

6.4.1 Materialer og metoder

Frø af de udvalgte populationer blev sået i 2 L potter placeret i væksthuse. Da planterne havde udviklet to skud (BBCH 22) blev 15 planter fra hver population klonet. Hver plante blev delt i 2 skud (A og B). De delte planter blev plantet i 1 L potter i en potteblanding. Ti dage senere blev den ene halvdel af planterne (B) fra hver population sprøjtet med 0,5 L/ha Atlantis OD. Efter to uger blev der lavet en visuel bedømmelse af de sprøjtede planter, hvor de enkeltplanter af de herbicidbehandlede planter (klon B), der havde overlevet sprøjtningen blev fundet. Disse enkeltplanter repræsenterer den resistente del af populationen. De modsvarende planter fra klon A (ubehandlet) blev høstet og lufttørret. Fra hver population blev 8 af disse sendt til analyse hos IdentXX i Tyskland.

DNA fra planterne blev ekstraheret, og fragmenter af ALS- og ACCase-generne fra alle bladprøver blev amplificeret. Planterne blev analyseret ved SNP (single nucleotide polymorphism) for 5 kendte mutationer i ALS-genet (Ala-122, Pro-197, Ala-205, Asp-376 og Trp-574) og 7 kendte mutationer i ACCase-genet (Ile-1781, Trp-1999, Trp-2027, Ile-2041, Asp-2078, Cys-2088 og Gly-2096).

6.4.2 Resultater

Mutationer i generne kan optræde homo- eller heterozygotiske. Når der er tale om homozygoter er mutationerne til stede i begge kromosomer, hvilket ofte medfører et højere resistensniveau end hos heterozygoter, hvor mutationer kun er til stede i det ene kromosom. I tabel 6.2 angiver første tal den samlede procentdel af planterne (ud af 8), hvor der blev fundet mutationer, mens det andet tal viser, i hvor stor en procentdel af planterne der var tale om homozygotiske mutationer.

De følsomme referencepopulationer havde, som forventet, ingen mutationer, mens 50 % og 75 % af planterne af den resistente referencepopulation indeholdt mutationer i ALS-genet i henholdsvis Pro-197 og Trp-574 (tabel 6.2). De resterende planter var således enten følsomme eller metabolisk resistente.

I de 17 indsamlede populationer blev der kun fundet 2 af de 5 mutationer i ALS-genet, der blev analyseret for. Også her var det mutationerne Pro-197 og Trp-574, som blev identificeret (tabel 3.2). Mutationen i Pro-197 var den hyppigst forekommende og blev fundet i 10 populationer. I 8 populationer var denne mutation tilstede i mere end 50 % af planterne, og i 5 af disse populationer var mutationerne homozygotiske i mange af individerne (DK2020_016, DK2020_023, DK2020_040, DK2020_046, DK2020_060). I overensstemmelse hermed blev der fundet et højt resistensniveau i dosis-respons forsøget. Det samme var tilfældet for 2 po-

populationer med udbredt forekomst af heterogene mutationer (DK2019_067, DK2019_086). Resistensniveauet var tilsvarende højt i 3 populationer med heterozygotiske mutationer på et relativt lavt niveau (12-25 %, DK2019_018, DK2019_021, DK2020_076). For populationen DK2019_021 kan det høje resistensniveau forklares med den samtidige tilstedeværelse af mutationen Trp-574, mens det i de to andre populationer må antages, at resistensen primært skyldes metabolisk resistens.

Mutation i Trp-574 var mindre udbredt end Pro-197 og blev fundet i 3 populationer (DK2019_021, DK2020_046 og DK2020_067). I 2 af disse populationer var mutationen til stede i mere end 50 % af planterne. Tre af de 17 populationer (samt den resistente referencepopulation) indeholdt begge mutationer. Der var ingen af populationerne, som kun havde mutation i Trp-574. Resistensmønsteret for de to fundne mutationer er vist i tabel 6.3.

I 7 af de undersøgte populationer blev der ikke fundet nogle mutationer i ALS-genet. En af disse populationer var delvis resistent i dosis-respons forsøget (DK2020_090). De øvrige 6 populationer var resistente med ED90 doser fra 0,8 til 1,56 L/ha Atlantis OD. Den manglende effekt af Atlantis OD på disse populationer må antages at skyldes metabolisk resistens.

I ACCase-genet blev der fundet 3 af de kendte mutationer. Trp-2027 blev fundet i en population, Ile-2041 i 4 populationer og Asp-2078 i 2 populationer. Resistensmønsteret for disse 3 mutationer er vist i tabel 6.4. Tre populationer indeholdt to af disse mutationer i de samme individer, og i alle tilfælde var der tale om heterozygotiske mutationer (DK2020_016, DK_2020_071, DK2020_083). I disse 3 populationer var ED90 >1 L/ha Topik EC, mens den i population DK2020_078 med lav frekvens af Ile-2041 var 0,94 L/ha.

Der kan være to forklaringer på den lave frekvens af mutationer i ACCase-genet. For det første blev udvælgelsen af populationer til analyse for mutationer foretaget ud fra effekt af Atlantis OD, og det kan således ikke udelukkes, at en udvælgelse ud fra effekt af Topik ville have påvist flere mutationer i ACCase-genet. Den anden forklaring kan være, at årsagen til nedsat effekt af Topik hovedsagelig skyldes metabolisk resistens, hvilket stemmer godt overens med det lavere resistensniveau, der er fundet over for Topik sammenlignet med Atlantis OD.

Alle de fundne mutationer i ALS- og ACCase-genet i rajgræspopulationerne er også tidligere fundet i danske agerrævehalepopulationer. Blandt de kendte mutationer, som ikke blev fundet i rajgræspopulationerne (Ala-122, Ala-205 og Asp-376 i ALS-genet og Ile-1781, Trp-1999, Cys-2088 og Gly-2096 i ACCase-genet) er kun Ile-1781 tidligere rapporteret i Danmark, hvor det er den hyppigst forekommende mutation i ACCase-resistent agerrævehale.

TABEL 6.2. Procent planter med mutationer i ALS- og ACCase-gener i et udvalg af populationer fra 2019-20. Første tal angiver den samlede procent planter med mutationer, andet tal procent planter med homozygotiske mutationer.

Population	ALS-gen		ACCase-gen		
	Pro-197	Trp-574	Trp-2027	Ile-2041	Asp-2078
Følsom ref. 1	0	0	0	0	0
Følsom ref. 2	0	0	0	0	0
Resistent ref.	50/0	75/12	0	0	0
DK2020_061	0	0	0	25/0	25/0
DK2019_018	13/0	0	0	0	0
DK2020_029	0	0	0	0	0
DK2020_071	0	0	29/0	38/0	0
DK2020_083	0	0	0	75/0	12/0
DK2020_016	100/63	0	0	0	0
DK2019_021	25/0	76/38	0	0	0
DK2020_023	100/50	0	0	0	0
DK2020_040	100/88	0	0	0	0
DK2020_046	88/38	63/0	0	0	0
DK2020_060	100/50	0	0	0	0
DK2019_067	100/0	12/0	0	0	0
DK2020_076	12/0	0	0	0	0
DK2019_086	62/12	0	0	0	0
DK2020_090	0	0	0	0	0
DK2020_019	0	0	0	0	0
DK2020_078	0	0	0	12/0	0

6.5 Diskussion

6.5.1 Screening versus dosis-respons forsøg

Samlet set synes der at være bedre overensstemmelse mellem resultater af screening og dosis-respons forsøg med Atlantis OD end med Topik. Den mest oplagte forklaring på dette er, at den nedsatte effekt af Topik skyldes metabolisk resistens, hvilket understøttes af mutationsanalyserne. Metabolisk resistens medfører ofte lavere resistensniveau end target-site resistens og er derfor vanskeligere at erkende i en screening med kun en diskriminerende dosering. I nogle tilfælde vil væksten af planter med metabolisk resistens blive hæmmet i en periode efter sprøjtning for derefter at starte væksten igen. Dette skyldes, at det tager tid for planten at nedbryde herbicidet. Høsttidspunktet kan derfor være afgørende for, hvilket respons man får af behandlingen.

6.5.2 Sammenligning af resistensniveau 2017 og 2019-20

Sammenligning af resultater af både screening og dosis-respons forsøg for 2017 og 2019-20 populationer indikerer, at resistensniveauet i flere af populationerne er steget i løbet af de 2-3 år, der er mellem indsamlingerne af frø. For Atlantis OD har 8 populationer ændret resistensklasse i opadgående retning i løbet af de 2-3 år – en population har ændret status fra følsom til delvis resistent, 3 fra følsomme til resistente og 4 fra delvis resistente til resistente. For de populationer, der er gået fra følsomme til resistente, var der i 2018 og 2019 behandlet 2 gange med ALS-hæmmere i en af markerne og 1 gang i de to andre marker, mens der før 2017 var behandlet med ALS-hæmmere i 3-4 gange. For de 4 populationer, som ændrede status fra

delvis resistente over for Atlantis OD i 2017 til resistente i 2019-20, var 2 af markerne behandlet med ALS-hæmmere 3-4 gange i 2018 og 2019 (5-6 gange i forudgående år), en mark var behandlet 1 gang med ALS- og en gang med ACCase-hæmmer (6 gange med ACCase-hæmmere i forudgående periode), og den sidste mark var behandlet 3 gange med ACCase-hæmmere (2 gange med ALS-hæmmere i forudgående periode). For Topik har 2 populationer skiftet gruppe – en fra følsom til delvis resistent og en fra følsom til resistent. Den første af disse populationer var behandlet 1 gang med ACCase-hæmmere i 2018 og 2019, den anden var kun behandlet med ALS-hæmmere i disse to år.

Disse eksempler viser, at det er vanskeligt at se en direkte sammenhæng mellem herbicid valg og resistensudvikling over en kort tidshorisont.

6.5.3 Sammenfatning af resultater af resistenstest

De molekylære analyser viser, at target-site resistens er mere udbredt over for ALS-hæmmere end over for ACCase-hæmmere. I flere af de populationer, hvor der er fundet stærkt nedsat effekt af Atlantis OD i dosis-respons forsøgene, er der dog ikke identificeret mutationer i ALS-genet (f.eks. DK2020_083, DK2020_078, DK2020_071), eller der er kun fundet en lav frekvens af mutationer (f.eks. DK2019_018 og DK2020_076). Det samme gælder for forekomsten af mutationer i ACCase-genet. Der er for eksempel ikke fundet mutationer i ACCase-genet hos DK2020_076, DK2019_086 og DK2020_090, på trods af at resultaterne af dosis-respons forsøget viste høje ED90 doser for Topik for disse populationer.

Resultaterne indikerer således, at det i flere af populationerne er en høj frekvens af metabolisk resistens, som er mekanismen bag den nedsatte effekt af såvel ALS- som ACCase-hæmmere. Dette stemmer godt overens med de resultater, der blev fundet i C-IPM projektet RELIUM, hvor der ikke blev fundet mutationer i ACCase-genet og kun mutation i Trp-574 i ALS-genet i 2 ud af 4 danske populationer af italiensk rajgræs, som alle havde et højt niveau af resistens over for ALS-hæmmere og et lavt niveau af resistens over for ACCase-hæmmere (Scarabel et al., 2020).

TABEL 6.3. Resistensmønster over for forskellige herbicider som følge af mutationer i ALS-genet. ? angiver, at resistensmønstret er ukendt.

Herbicider	Mutationer i ALS-genet	
	Pro-197	Trp-574
Hussar OD	Resistent	Resistent
Hussar Plus OD	Resistent	Resistent
Atlantis OD	Resistent	Resistent
Cossack OD	Resistent	Resistent
Othello	Resistent	Resistent
Broadway	Følsom	?
Rexade	Følsom	?
Serrate	Følsom	?

TABEL 6.4. Resistensmønster over for forskellige herbicider som følge af mutationer i ACCase-genet. ? angiver, at resistensmønstret er ukendt.

Herbicider	Mutationer i ACCase-genet		
	Ile-2041	Trp-2027	Asp-2078
Topik/Topik EC	Resistent	Resistent	?
Serrate	Resistent	Resistent	?
Agil 100 EC	Resistent	Resistent	?
Focus Ultra	Følsom	Følsom	?

7. Interviews med landmænd

Der blev gennemført interviews med de 28 landmænd, som stod for markdriften på de lokaliteter, hvor der blev taget nye frøprøver på i 2019-20. Formålet med disse interviews var at få et bedre indblik i deres dyrkningsstrategier inklusiv forhistorien for de enkelte marker med henblik på at identificere eventuelle fælles træk for marker, hvor der var udviklet resistens. Spørgsmålene omfattede emner som sædskifte, etablering, jordbearbejdning, såtidspunkt, herbicid anvendelse og monitorering, men også mere generelle emner som driftsform, anciennitet, uddannelse, viden om herbicidresistens, og om hvor landmændene henter deres viden samt deres indtryk af omfanget af problemer med resistens i Danmark.

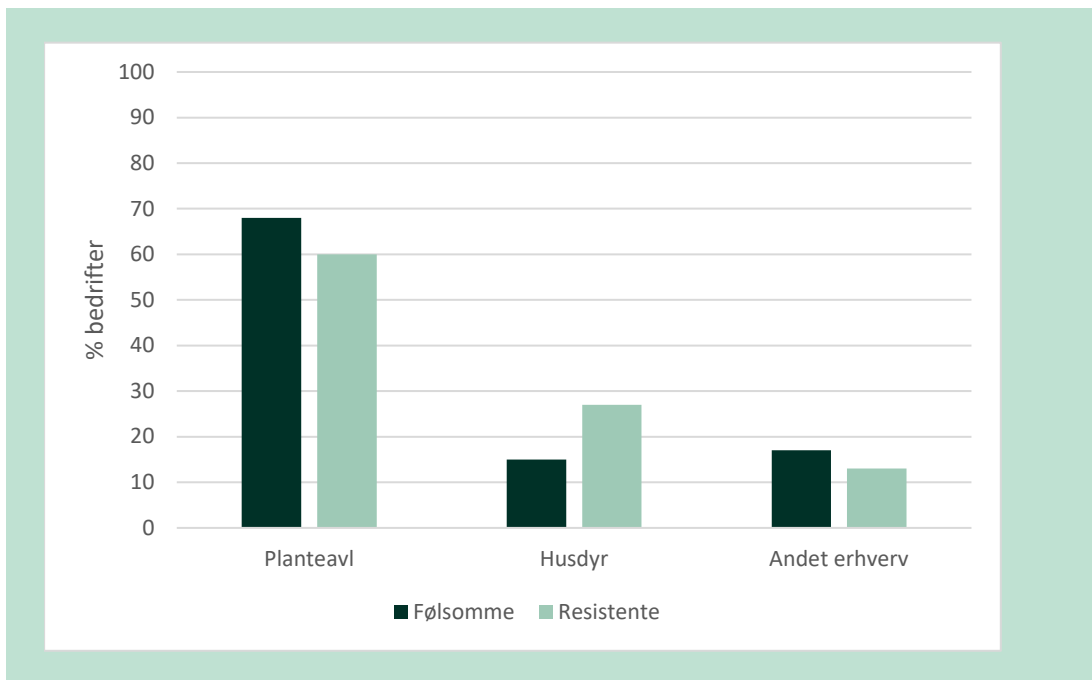
7.1 Metode

Interviews blev gennemført ved besøg hos de enkelte landmænd. Der blev anvendt en fast protokol med spørgsmål (se bilag 2), og samtalerne blev optaget med accept fra landmændene og senere transskriberet. Hvert interview varede fra 60 til 90 minutter. Ofte ledte de faste spørgsmål til en diskussion af andre emner, som gav oplysninger, vi ikke ville have fået adgang til ved skriftlig besvarelse af et spørgeskema. Resultaterne er analyseret ved en variansanalyse i SAS (SAS, 2016).

7.2 Resultater

7.2.1 Beskrivelse af bedrifter og landmænd

Bedrifterne er fordelt i hele landet (se figur 5.8) og varierer i størrelse fra 10 til 760 ha med et gennemsnit på 247 ha inklusiv forpagtede arealer. Undersøgelsen omfatter således både hobylandbrug (4 ud af 28) og større landbrugsbedrifter (6 ud af 28). På 19 af bedrifterne kommer hovedindkomsten fra planteavl, mens det på 2 af bedrifterne er husdyr, som er den største indtægtskilde (hovedsagelig griseproduktion, figur 7.1). På 2 af bedrifterne kommer hovedindkomsten fra andet erhverv. Alle ejendomme drives konventionelt – en enkelt har dog startet økologisk planteavl på en del af jordtilliggendet. Størstedelen af ejendommene ligger på lettere jord med 65 % på $JB \leq 5$ og 35 % på $JB \geq 6$.



FIGUR 7.1. Fordeling af bedriftstyper i gruppen med følsomme og resistente rajgræspopulationer.

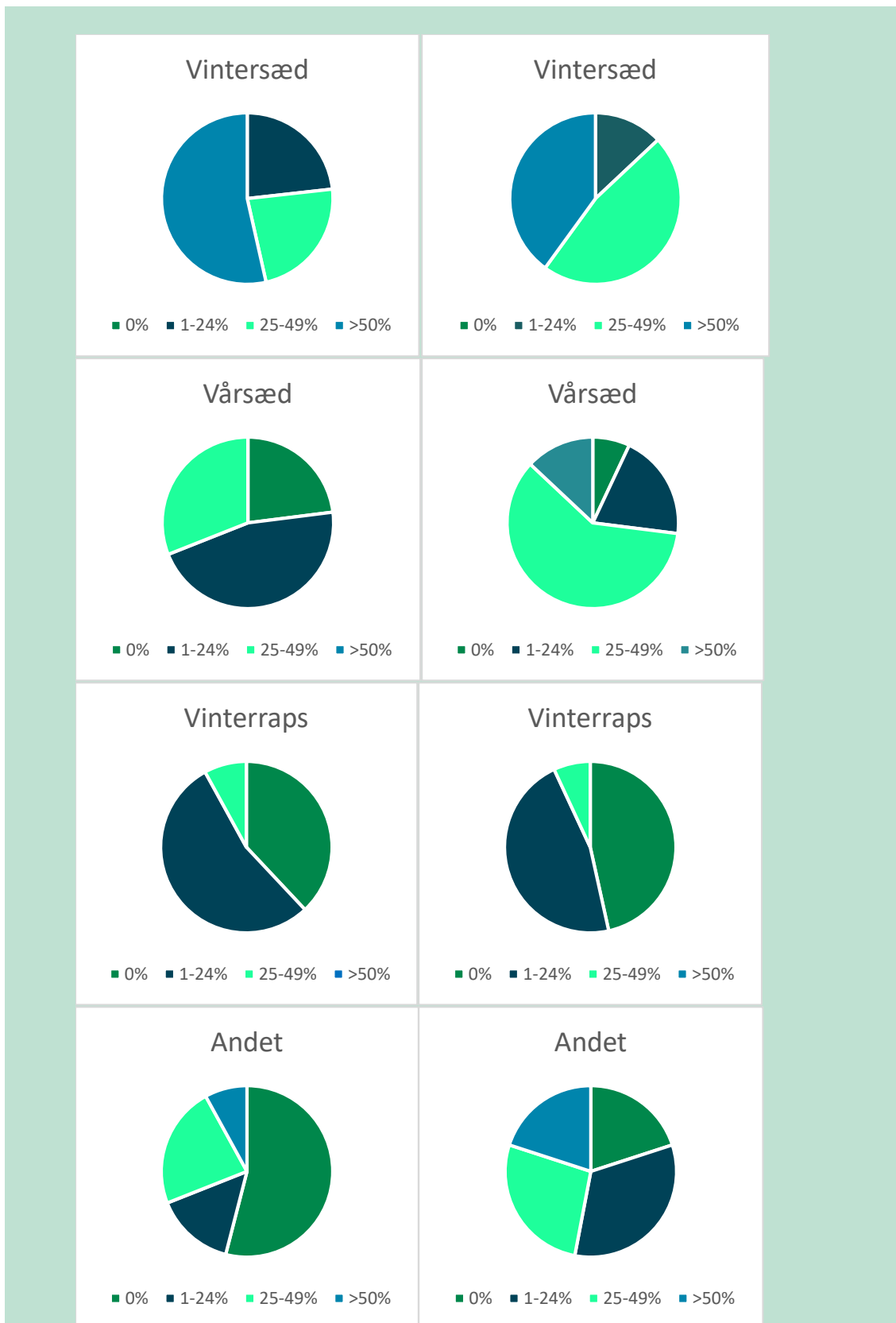
Landmændenes gennemsnitsalder er 53 år med den yngste på 31 år og den ældste på 81 år. Der er ingen forskel på gennemsnitsalderen for landmænd i gruppen med følsom og resistent rajgræs. Alle har gennemført landmandsuddannelsen. Tre af landmændene har derudover en uddannelse som agrarøkonom, og 3 er maskinmekanikere. Desuden er der to agronomer, en virksomhedsleder og en assurandør.

Landmændene havde i gennemsnit drevet ejendommene i 30 år med en variation fra 5 til 57 år. Der var ikke signifikant forskel på gruppen med følsom og resistent rajgræs, hvad angår antal år, de havde været drevet af samme landmand.

7.2.2 Sædskifter

For hver bedrift blev den procentvise andel af vintersæd, vårsæd, raps og andre afgrøder beregnet. Den gennemsnitlige afgrødefordeling i 2019-20 var 40 % vintersæd, 25 % vårsæd, 10 % vinterraps og 25 % andre afgrøder (frøgræs, kartofler, majs, spinat og græs). Dette dækker over meget varierende sædskifter med 0-100 % vintersæd, 0-50 % vårsæd, 0-25 % vinterraps.

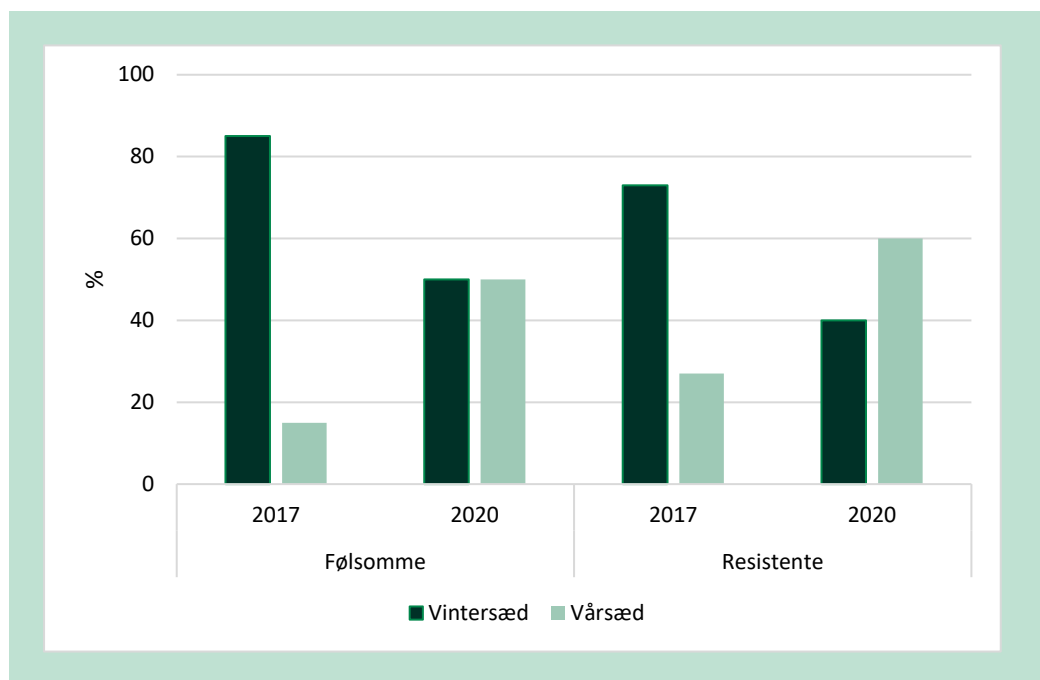
For alle bedrifter blev der foretaget en inddeling i procentvis arealdækning af hver afgrødegruppe: 0 %, 1-24 %, 25-50 % og >50 % af det samlede areal. En analyse af afgrødefordelingen på bedrifter med og uden resistent rajgræs indikerede, at vårsæd og andre afgrøder udgjorde en større andel af sædskiftearealet på ejendomme med resistent rajgræs sammenlignet med ejendomme uden resistens (figur 7.2). Arealet med vårsæd og andre afgrøder er henholdsvis 10 og 12 % større på ejendomme med resistent rajgræs sammenlignet med bedrifter med følsomt rajgræs.



FIGUR 7.2. Andel af vintersæd, vårsæd, vinterraps og andre afgrøder (frøgræs, kartofler, græs, majs, spinat) på bedrifter med følsomt (venstre figurer) og resistent rajgræs (højre figurer).

For populationerne fra 2017 var 78 % fra vintersæd og 22 % fra vårsæd. I gruppen med følsomt rajgræs var 85 % af prøverne fra vintersæd, mens 73 % af de resistente prøver var fra vintersæd (figur 7.3). I 2019-20 fordelte de udtagne prøver sig med 48 % fra vintersæd og 52 % fra vårsæd. I gruppen med følsomt rajgræs var fordelingen mellem vinter- og vårsæd 50:50, mens den i gruppen med resistent rajgræs var 40:60 (figur 4.5).

Omkring 30 % af landmændene nævner specifikt, at de har ændret afgrødesammensætning, som et redskab til at kontrollere rajgræsbestanden. Dette gælder 27 % af landmændene med følsomt rajgræs og 53 % af landmændene med resistent rajgræs



FIGUR 7.3. Afgrøder, i hvilke de udvalgte populationer af rajgræs blev udtaget i 2017 og 2020

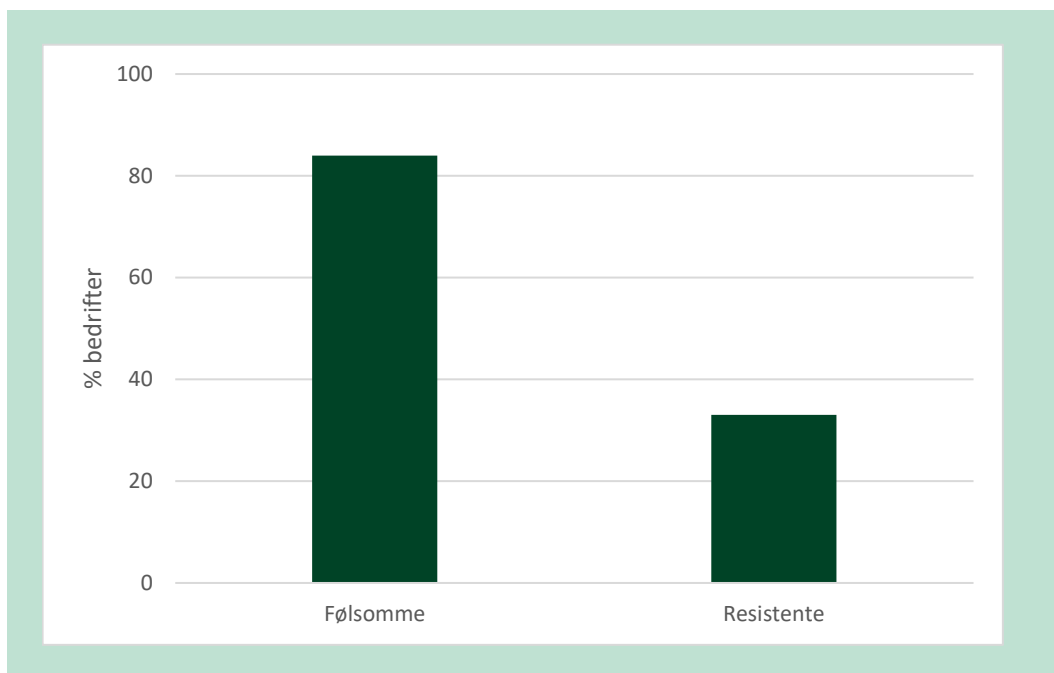
73 % af bedrifterne med resistens har en karakter for rajgræsbestandens tæthed, som er større end eller lig med 5 (tabel 7.1), hvilket viser, at det er svært at bekæmpe resistente bestande tilfredsstillende. Karakter ≤ 4 angiver spredt forekomst af italiensk rajgræs i marken, mens karakterer ≥ 5 angiver større områder eller uensartet forekomst i hele marken. Det er bemærkelsesværdigt, at næsten halvdelen af bedrifterne uden resistens, også har en tæthed af italiensk rajgræs ≥ 5 , hvilket indikerer, at italiensk rajgræs også kan være et alvorligt problem, uden at der er tale om resistens.

TABEL 7.1. Tæthed af italiensk rajgræs ved udtagning i marker uden og med resistens i 2019-20. Karakter ≤ 4 angiver spredt forekomst af italiensk rajgræs i marken, mens karakterer ≥ 5 angiver større områder med spredt forekomst eller en ensartet tæt forekomst i hele marken.

	1-4	≥ 5
Følsomme	54 %	46 %
Resistente	27 %	73 %

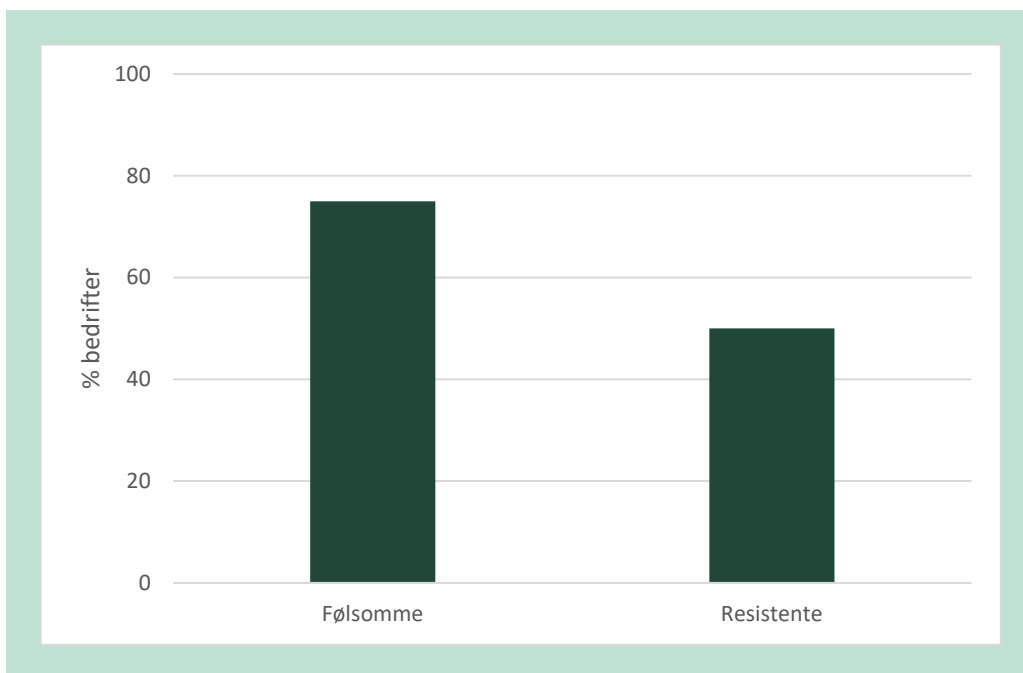
7.2.3 Jordbearbejdningsmetoder

I forhold til jordbearbejdning dækker undersøgelsen over 16 bedrifter, hvor der pløjes, 5 bedrifter med lejlighedsvis pløjning/dyb jordbearbejdning og 7 bedrifter uden pløjning. Der er en signifikant (5 % niveau) større andel af bedrifterne uden resistens, der pløjer (85 %) sammenlignet med gruppen med resistens, hvor kun 33 % pløjer (Figur 7.4).



FIGUR 7.4. Procent bedrifter med følsomt og resistent italiensk rajgræs der pløjer

Mere end halvdelen af alle landmændene (63 %) lader stubben være urørt fra høst til etablering af næste afgrøde, 17 % foretager en strigling, mens 21 % harver i mere end 2 cm dybde. Fire af landmændene har ikke svaret på dette spørgsmål. På lokaliteter uden resistens var stubben urørt i 75 % af markerne, mens det samme var tilfældet for kun 50 % af markerne med resistens (figur 7.5). Der var ikke signifikant forskel på stub-bearbejdningsmetoder på bedrifter med følsomt og resistent rajgræs.



FIGUR 7.5. Procent bedrifter med følsomt og resistent italiensk rajgræs der lader stubben være urørt indtil etablering af næste afgrøde

Et hyppigt argument for at bearbejde stubben er en forbedret halmnedmuldning, hvor kontakten mellem den snittede halm og jorden øges for at sikre omsætningen. Halvdelen af landmændene fjerner dog halmen efter høst - primært for at bruge det i eget halmfyr eller biogas-anlæg eller for at sælge det til halmvarmeværk.

7.2.4 Ukrudtsbekæmpelse

På alle ejendomme er kemisk bekæmpelse af ukrudt den primære direkte bekæmpelsesmetode. To landmænd nævner radrensning i visse afgrøder, og en enkelt nævner falsk såbed.

Mere end 90 % af landmændene bruger behovsbestemte doseringer, 50 % svarer, at de veksler mellem midler med forskellige virkemekanismer.

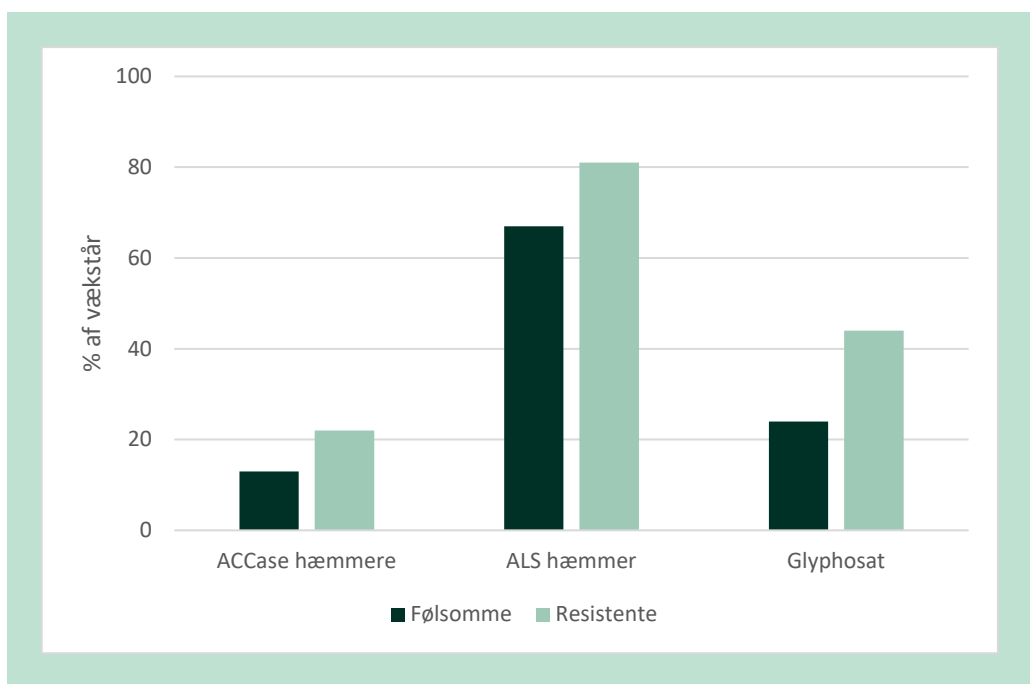
Langt hovedparten af landmændene laver sprøjteplan i samarbejde med deres planteavlskon-sulent (80 %). 38 % af landmændene bruger graderet bekæmpelse i form af at tilpasse dose-ringen til ukrudtsfloraen forskellige steder inden for den enkelte mark. 53 % af landmændene pletsprøjter, men kun to bruger ny teknologi som droner og sensorer i forbindelse med sprøj-ning.

Oplysninger om herbicidanvendelse i de aktuelle marker blev så vidt muligt indsamlet for 6 år (2012-2017). Der mangler oplysninger for henholdsvis 10, 7, 2 og 1 mark i 2012, 2013, 2014 og 2016. Oplysningerne viser, at i 3 ud af 4 af de vækstår, hvor herbicidforbruget er kendt, er der anvendt ALS-hæmmere (HRAC 2) til bekæmpelse af græsukrudt, mens ACCase-hæm-mere (HRAC 1) er anvendt i 1 ud af 7 vækstår (figur 7.6). Der er ingen signifikant forskel i andel af vækstår at de to herbicidgrupper anvendes på bedrifter med følsomme og resistente po-pulationer, men en tendens til at begge herbicidgrupper anvendes oftere på lokaliteter med re-sistens.

Boxer (HRAC 15) er anvendt i mere end halvdelen af vækstårene, hvilket betyder, at alle land-mænd fortsat bruger Boxer i forbindelse med vintersædsdyrkning på trods af, at dette produkt er blevet forholdsvis dyrt som følge af omlægning af pesticidafgiften. Der er ikke signifikant for-skel i anvendelsen af Boxer på bedrifter med eller uden resistent italiensk rajgræs.

Glyphosat (HRAC 9) anvendes i gennemsnit hvert 3. år med en tendens til hyppigere anvendelse på lokaliteter med resistens (44 % af vækstårene) end på lokaliteter uden resistens (24 %) (figur 7.6). Langt den største anvendelse er før såning, hvor 57 % af landmændene angiver, at de ofte anvender glyphosat, mens henholdsvis 14 % og 11 % svarer, at anvendelsen af glyphosat primært er før og efter høst. Anvendelsen af glyphosat før såning er signifikant hyppigere på lokaliteter med resistens (80 %) end på lokaliteter uden resistens (31 %). Dette hænger sandsynligvis sammen med, at pløjefri dyrkning, hvor glyphosat indgår som en erstatning for pløjning, er hyppigere på lokaliteter med resistens.

Næsten 80 % af landmændene svarer, at prisen har betydning for deres valg af herbicid. Omkring 35 % af landmændene mener, at vi mangler herbicider til at løse nogle ukrudtsproblemer. Alle landmænd har tiltro til godkendelsesproceduren for pesticider og mener at det er ansvarligt at anvende herbicider, når de følger brugsanvisningen.



FIGUR 7.6. Andel af vækstår i perioden 2012-17, hvor henholdsvis ACCase-hæmmere (HRAC 1), ALS-hæmmere (HRAC 2) og glyphosat (HRAC 9) er anvendt i marker med følsomme og resistente populationer af rajgræs

7.2.5 Implementering af integreret ukrudtsbekæmpelse

Spørgsmål vedrørende implementering af integreret ukrudtsbekæmpelse omfattede ud over den direkte bekæmpelse også forebyggende tiltag, som en bevidst vekslen mellem afgrødetyper, sortsvalg, rækkeafstand og såtidspunkt samt opfølgende tiltag som monitorering af effekt og brug af ukrudtskort.

Valg af afgrøde er i høj grad styret af dækningsbidrag og afsætningsmuligheder, og på ejendomme med husdyr er behovet for foder en afgørende faktor. For korn er sortsvalget primært bestemt af udbyttepotentiale og sygdomsresistens. Kun 4 landmænd angiver at buskningsevnen, og dermed konkurrenceevnen over for ukrudt også har betydning, mens flere nævner stråstyrke som en egenskab, der tages i betragtning. Mere end halvdelen af landmændene (57 %) svarer, at de veksler mellem afgrødetyper for at undgå opformering af ukrudt og øge mulighederne for ukrudtsbekæmpelse. Ingen af landmændene anvender rækkeafstand og ud-sædsmængde, som metoder til at øge afgrødens konkurrenceevne.

De fleste landmænd er bevidste om, at sen såning af vintersæd kan mindske problemer med græsukrudt, og 71 % svarer, at de anvender dette tiltag. Direkte adspurgt om hvornår deres såtidspunkt ligger, er svaret oftest omkring 20.- 25. september, hvilket kun kan betegnes som en moderat udsættelse i forhold til normal såtid.

Omkring 85 % af landmændene evaluerer, om ukrudtssprøjtningen har virket. Dette sker i de fleste tilfælde ved at gå gennem markerne, og mange oplever disse markture, som en af de største glæder ved at være landmand. Observationerne fra markturene bruges primært i næste års sprøjteplan, men kan også føre til en opfølgende sprøjtning, afpudsning eller håndlugning i vækstsæsonen.

39 % laver optegnelser over ukrudtsforekomst. Dette sker oftest ved manuel indtegnning på markkort – kun to landmænd anvender digital FarmTracking (<https://www.seges.dk/software/plante/farm-tracking>). Flere landmænd har adgang til optegnelse via FarmTracking eller andre systemer, men finder, at det er for besværligt at anvende.

7.2.6 Brug af maskinstation

Maskinstation bruges til specialopgaver på 25 af de 28 ejendomme. De opgaver, der hyppigst overlades til maskinstation, er presning af halm (64 %) og gylleudbringning (61 %), mens 29 % bruger maskinstation til såning af afgrøder som majs og spinat. Der er ikke forskel i brugen af maskinstation på ejendomme med følsomt og resistent rajgræs.

7.2.7 Informationskilder og viden om herbicidresistens

Halvdelen af landmændene er med i en ERFA gruppe og angiver denne, som en vigtig kilde til information. Meget få søger information via de digitale platforme som Facebook, Twitter m.m. De fleste læser landbrugsaviser og tidsskrifter, men hovedparten angiver planteavlskonulenten, som den vigtigste informationskilde.

Landmændenes viden om resistens er begrænset. Mindre end 10 % vurderes at have stor viden om problemet, 50 % har nogen viden, og for 40 % af landmændene er kendskab til resistensproblemer meget begrænset. Vurderingen er foretaget ud fra landmandens egen opfattelse samt ud fra simple spørgsmål om kendskab til hvilke danske ukrudtsarter, der har udviklet resistens.

Tyve procent af landmændene mener, at vi har store problemer med herbicidresistens i Danmark, og 20 % mener, at det er et begrænset problem. Den resterende gruppe (60 %) mener, at vi har et problem, men de har tiltro til, at det kan løses igennem rådgivning og godt landmandsskab.

7.3 Diskussion

I 2017 tilbød AU gratis resistenstest af prøver af rajgræs fra arealer, hvor der var mistanke om resistens. Det store antal rajgræsprøver, som blev modtaget til test i denne forbindelse har været udgangspunktet for nærværende projekt. I de marker, hvor prøverne var samlet, var bekæmpelse af italiensk rajgræs et stort problem. Det viste sig i nogle tilfælde at skyldes resistens, mens populationerne i andre tilfælde var følsomme. Da udgangspunktet var problemmarker er undersøgelsen ikke repræsentativ for den generelle resistenstilstand hos italiensk rajgræs i Danmark.

Problemer med græsukrudt er især knyttet til sædskifter med meget vintersæd, da de fleste græsukrudtsarters livscyklus ligner vintersædens. Risikoen for resistensudvikling øges, når ukrudtsbestanden er stor og specifikke arter er dominerende. Ukrudtsbestanden er ofte større på bedrifter med husdyrhold end på rene planteavlsbedrifter, hvor fokus ligger på husdyrholdet, hvilket må forventes at øge risikoen for resistensudvikling. Der er dog intet i resultaterne,

der bekræfter en øget hyppighed af resistens i husdyrbedrifter sammenlignet med planteavlbedrifter. Til gengæld er det meget tydeligt, at rajgræsbestanden er signifikant højere på bedrifter med resistens sammenlignet med bedrifter med følsom rajgræs (tabel 7.1).

Bekæmpelse af italiensk rajgræs bør ske ved en integreret strategi, hvor der indgår en række forebyggende tiltag. Formålet med disse er at begrænse rajgræssets etablering og vækstmuligheder. Dette gøres blandt andet ved at øge afgrødens konkurrenceevne over for ukrudtet. Valg af sorter med tidlig vækst og god buskningsevne kan reducere fremspiring af italiensk rajgræs (Lemerle et al., 1996, Wicks et al., 2004, Mennan & Zandstra, 2005). Reduceret rækkeafstand øger afgrødens konkurrenceevne mellem rækkerne, og en stor udsædsmængde styrker konkurrencen i rækken (Kudsk et al., 2016). De integrerede metoder bør udnyttes fuldt ud, når det gælder bekæmpelse af populationer, hvor de kemiske løsninger har svigtende effekt. Vores resultater viser, at sortvalg, rækkeafstand og udsædsmængde stort set ikke anvendes som forebyggende tiltag på de bedrifter, som indgår i undersøgelsen.

Sen såning af vintersæd reducerer fremspiring af græsukrudt. Som tommelfingerregel halveres fremspiringen af græsukrudt ved at udsætte såning af vintersæd med 2 uger. En stor del af de landmænd som indgår i projektet angiver, at de anvender sen såning af vintersæd som et tiltag til at mindske problemer med græsukrudt, men de er ikke villige til at løbe risikoen ved at udskyde såning til senere end ca. 20-25 september, hvilket begrænser effekten. Motivationen for at anvende sen såning modarbejdes til dels af den reduktion, man kan opnå i krav om efterafgrøder ved tidlig såning af vintersæd.

Sædskiftet antages at være den enkeltfaktor, som mest effektivt kan forebygge herbicidresistens (Kudsk et al., 2016). Et varieret sædskifte, hvor der indgår både efterårssåede- og forårssåede afgrøder samt enårige og flerårige afgrøder resulterer i en varieret ukrudtsflora, som ikke domineres af enkeltarter. Afgrødediversiteten medfører desuden en større diversitet i herbicidanvendelsen og må samlet set vurderes at reducere risikoen for udvikling af resistens. Udenlandske undersøgelser af sædskiftets betydning for udvikling af resistens hos agerrævehale viser dog divergerende resultater. En tysk undersøgelse fandt, at resistens var mindre hyppig i marker med en høj andel af forårssåede afgrøder og med høj afgrødediversitet (Hermann et al., 2016). Omvendt viste en engelsk undersøgelse ikke nogen sammenhæng mellem afgrødevalg og resistens hos agerrævehale (Hicks et al., 2018).

På de bedrifter som indgår i vores undersøgelse er der en tendens til større andel vårsæd og en signifikant større andel af 'andre afgrøder' i sædskiftet på bedrifter med resistens sammenlignet med dem uden resistens. Dette understøtter ikke antagelsen om, at et varieret sædskifte forebygger resistens. Forklaringen kan være, at der allerede inden 2017 er sket en omstilling til mindre vintersæd på ejendomme, hvor man har oplevet problemer med bekæmpelse af rajgræs. Den højere diversitet er således et respons på tilstedeværelsen af resistens og ikke et forebyggende tiltag. Bedømt ud fra afgrødefordeling for udtagne populationer i 2019-20, er der på de bedrifter, der indgår i projektet yderligere sket et afgrødeskift til mere vårsæd fra 2017 til 2019-20. En langt større andel af landmændene med resistent rajgræs har bevidst ændret afgrødesammensætning end landmænd uden resistens. Først og fremmest har de øget andelen af forårssåede afgrøder i sædskiftet, og i flere tilfælde har de også ændret afgrøde fra korn til eksempelvis kartofler eller majs. Landmændene har således ændret på en af de vigtigste parametre i en integreret bekæmpelsesstrategi. Sædskiftet antages ofte at være den dyrkningsmæssige faktor, det er vanskeligst at få landmændene til at ændre på, men noget tyder på, at de landmænd, som har oplevet resistent rajgræs på deres marker, er opmærksomme på, at de har et alvorligt problem, som der skal tages hånd om, hvilket også kan indebære en ændring i sædskiftet.

Jordbearbejdning er en anden af de få faktorer, som i vores undersøgelse viser en signifikant forskel mellem bedrifter med følsom og resistent rajgræs. På bedrifter med følsomt rajgræs er

der således en signifikant større andel af landmændene som pløjer end på bedrifter med resistent rajgræs. Ved reduceret jordbearbejdning sker en ophobning af ukrudtsfrø i de øverste jordlag, hvis effekten af herbicidbehandlingen er utilstrækkelig. Det kan resultere i en kraftig opformering af blandt andet græsukrudt og dermed øge risikoen for resistens. Spredning af resistensgener i populationen kan gå hurtigt ved reduceret jordbearbejdning, da der ikke sker en 'fortynding' af frøbanken med følsomme individer fra de dybereliggende jordlag. Et studium fra England undersøgte jordbearbejdningens betydning for udvikling af resistens over for ALS-hæmmere hos agerrævehale over 3 år. Forsøget blev gennemført under kontrollerede forhold, hvor pløjning og reduceret jordbearbejdning blev simuleret. Resultaterne viste, at ved pløjning faldt effekten af Atlantis OD fra 87 % til 71 %, mens den ved reduceret jordbearbejdning faldt fra 84 % til 33 % over 3 år (Moss et al., 2010). Den tidligere omtalte tyske undersøgelse fandt en lavere frekvens af resistens på marker med konventionel jordbehandling end marker med reduceret jordbehandling.

Nyere forskning har vist, at kun 5 % af de frø af italiensk rajgræs, der efterlades på jordoverfladen er spiredygtige efter 2 måneder, mens mere end 35 % af de frø, der placeres i 25 cm's dybde (svarende til en pløjning) bevarer spireevnen (Jensen, 2016). Der er tendens til at en større andel af bedrifter med resistens laver en stubbearbejdning, hvilket sandsynligvis er en afledt effekt af den hyppigere anvendelse af reduceret jordbearbejdning, som medfører et behov for at initiere omsætningen af halm hurtigst muligt efter høst. En let strigling påvirker ikke frøenes overlevelse, men så snart de bringes et par cm ned i jorden, sker der en konservering.

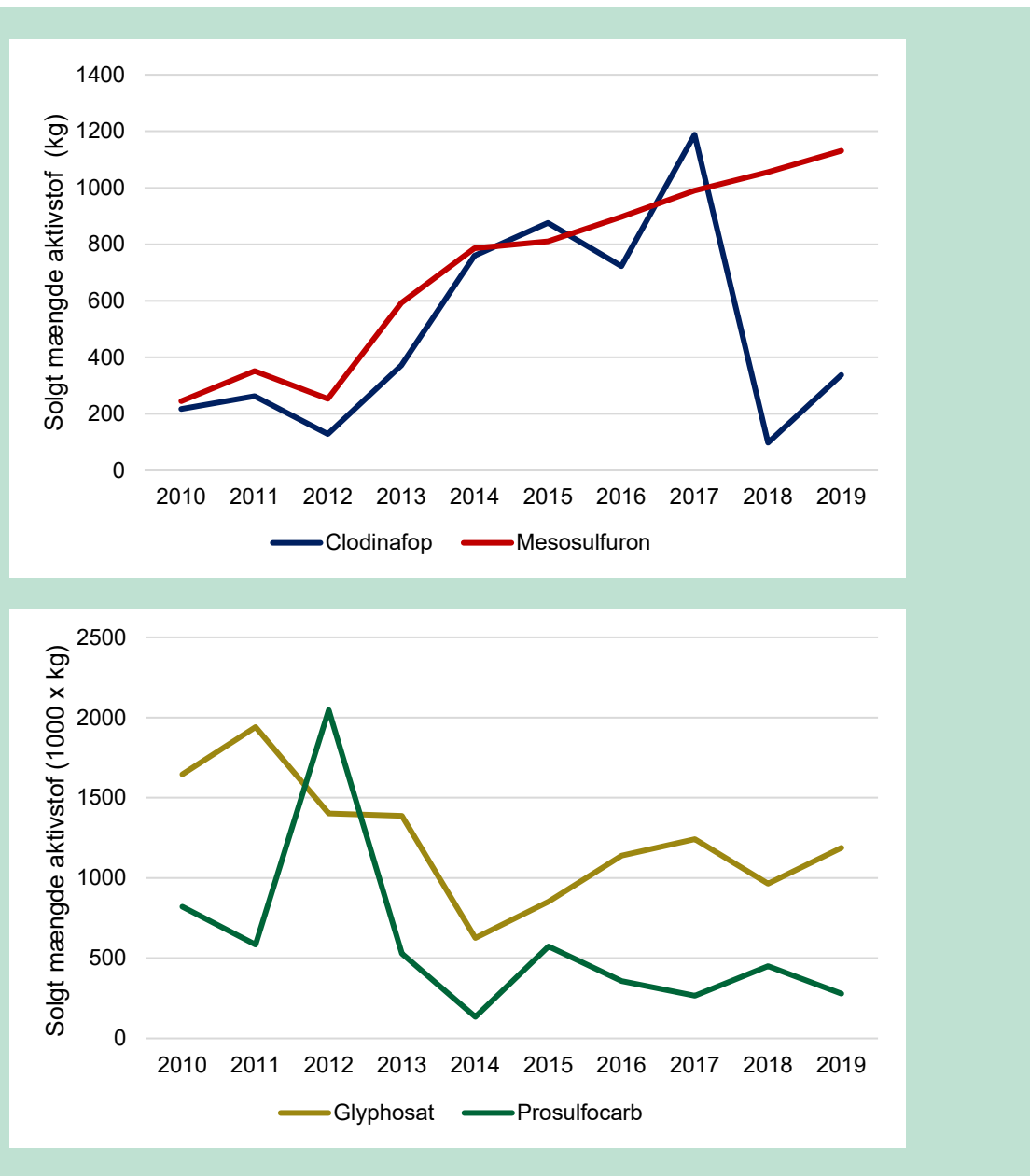
Forsøg med integreret bekæmpelse af italiensk rajgræs under danske forhold har vist, at pløjning, sen såning og falsk såbed hver især giver 50 % effekt over for rajgræs, mens et skift fra vinter- til vårsæd gav ca. 80 % effekt (Elander et al. 2021). Der er således gode muligheder for at reducere bestanden af italiensk rajgræs ved at anvende værktøjerne til integreret bekæmpelse, men den fremherskende metode til direkte bekæmpelse blandt de aktuelle bedrifter er sprøjtning.

Planteavlskonsulenten er en vigtig samarbejdspartner, når det gælder sprøjteplan, idet mere end 80 % af landmændene laver sprøjteplan i samarbejde med konsulenten. De fleste har tillid til, at planteavlskonsulenten kender deres marker, og at de foreslåede doseringer er behovsbestemte. Mere end halvdelen af landmændene pletsprøjter (kvik, tidsler, nye græsukrudtsarter), og ca. 40 % graduerer bekæmpelsen i marken i forhold til ukrudtsbestand og jordtype. Disse tal bekræfter, at danske landmænd er meget bevidste omkring at reducere forbruget af sprøjtemidler mest muligt og har en intention om at leve op til de politiske krav om at reducere pesticidforbruget.

I en traditionel herbicidstrategi er vekslen mellem herbicider med forskellige virkemekanismer et vigtigt værktøj for at undgå resistens. I forhold til bekæmpelse af græsukrudt er det en vanskelig strategi at anvende, da der kun er få godkendte herbicider med effekt over for græsukrudt. Derfor er det vigtigt at anvende midler som Boxer (prosulfo carb), Stomp (pendimethalin) eller Mateno Duo 600 SC (aclonifen + diflufenican) omkring fremspiring for at lægge en dæmper på græsukrudtet og bryde sekvenser af herbicider fra grupperne af ALS- og ACCase-hæmmere. Endelig kan glyphosat bruges som led i en bekæmpelsesstrategi mellem vækstsæsoner eller ved at sprøjte områder med store populationer væk. Andre tiltag som mekanisk bekæmpelse og forebyggende strategier bør dog altid tages i betragtning i kombination med herbicider.

I 2013 blev en ny pesticidafgift implementeret, som et led i Sprøjtemiddelstrategi 2013-15 (Miljøstyrelsen, 2012). Pesticidafgiften fastsættes på baggrund af midlernes iboende egenskaber, herunder deres potentielle belastning af sundhed, natur og grundvand. Afgiften betød, at ALS-hæmmere blev billigere at anvende end tidligere, mens andre midler som f.eks. Boxer og Stomp blev pålagt en høj afgift. I mange år har en behandling med Boxer eller Stomp lige efter

fremspiring af vintersæden været en fast del af sprøjteplanen. Den udbredte brug af disse herbicider i vintersæd om efteråret anses for at være en væsentlig grund til, at der ikke er mere udbredt resistens hos græsukrudsarterne i Danmark, end tilfældet er, og en øget pris kunne tænkes at reducere anvendelsen. Der har derfor været udtrykt bekymring om, at pesticidafgiften ville have en negativ effekt på resistenssituationen. Ifølge Bekæmpelsesmiddelstatistik 2019 (Miljøstyrelsen, 2021) er der sket en kraftig reduktion i den solgte mængde pendimethalin fra 2010-2019, hvilket skyldes at anvendelsen af Stomp er mindsket som følge af dose-ringsrestriktioner. I samme periode er den solgte mængde af prosulfocarb (Boxer) halveret, og glyphosatforbruget er faldet med 30 %, mens den solgte mængde af mesosulfuron (aktivstof i Atlantis OD) er firedoblet (figur 7.7). Den kraftige stigning i den solgte mængde prosulfocarb i 2012 skyldes hamstring på grund af de forventede prisstigninger som følge af pesticidafgiften.



FIGUR 7.7. Øverst: Solgte mængder aktivstof (kg) af clodinafop (Topik), og mesosulfuron (bestanddel af Atlantis OD). Nederst: Solgte mængder af aktivstof (1000 kg) af glyphosat og prosulfocarb (Boxer) (Miljøstyrelsen 2021)

I forhold til herbicidanvendelsen er der i dette projekt udelukkende set på de midler, som er rettet mod bekæmpelse af græsukrudt (Boxer, ALS- og ACCase-hæmmere) samt glyphosat, som anvendes i større eller mindre grad på alle de aktuelle bedrifter. Anvendelsen af glyphosat retter sig ikke primært mod græsukrudt, men midlet har effekt på alle ukrudtsarter herunder italiensk rajgræs. Boxer og glyphosat repræsenterer andre virkningsmekanismer end ALS- og ACCase-hæmmere og kan derfor betragtes som resistensbrydere.

Herbicidanvendelsen i de seneste 6 år på de aktuelle bedrifter viser, at ALS-hæmmere har været anvendt til bekæmpelse af græsukrudt i 3 ud af 4 år, mens ACCase-hæmmere kun er anvendt i 1 ud af 7 år. Den hyppige brug af ALS-hæmmere medfører et højt selektionstryk på rajgræspopulationerne, som afspejler sig ved en hyppigere forekomst af resistens over for ALS-hæmmere end over for ACCase-hæmmere. De seneste 6 års herbicidforbrug viser ikke signifikant forskel på, hvilke herbicider der er anvendt på bedrifter uden og med resistens, men en generel tendens til større intensitet i anvendelsen på bedrifter med resistens (figur 7.6). Tilsvarende er der i udenlandske undersøgelser fundet bedre sammenhæng mellem resistens og intensitet i herbicidanvendelsen end med diversitet i herbicidvalg (Hermann et al., 2016, Hicks et al., 2018). Det må forventes, at resistensproblemet fortsat vil være stigende, da der ikke er alternative midler på markedet eller på vej til markedsføring, og ALS- og ACCase-hæmmere derfor fortsat vil blive anvendt til bekæmpelsen af italiensk rajgræs og andre græsukrudtsarter.

Boxer bruges stadig i stor udstrækning til bekæmpelse af rajgræs i efteråret i vintersæd, men hvor den anvendte dosering tidligere lå på 2 L/ha, anvendes der ifølge landmændenes oplysninger almindeligvis 1,5 L/ha, hvilket forklarer et fald i salgstallene (figur 7.7). I forhold til target-site resistens er det positivt, at Boxer fortsat anvendes, da den repræsenterer en resistensbryder. De lave doseringer kan dog øge risikoen for udvikling af metabolisk resistens. Det er en udvikling som der allerede ses tegn på i form af vigende effekter af Boxer over for flere græsukrudtsarter (personlig kommunikation med Bayer og Syngenta).

Glyphosat anvendes i gennemsnit hvert 3. år. En mindre del af anvendelsen sker før høst (14 %), hvor det ikke antages at påvirke rajgræsbestanden. På dette tidspunkt har italiensk rajgræs kastet frø, og midlet har ikke effekt som resistensbryder for de enårige typer af italiensk rajgræs. Tilsvarende gælder for anvendelsen efter høst. For to- og flerårige typer af italiensk rajgræs kan en glyphosatsprøjtning rydde op i populationer, som har udviklet resistens over for ALS- og ACCase-hæmmere. Anvendelsen før såning må antages at give den bedste effekt som resistensbryder, forudsat at rajgræsplanterne er spiret frem, før sprøjtningen udføres. På ikke pløjede marker, vil der desuden være en effekt på overvintrende planter. Her kan glyphosat opfattes som en erstatning for pløjning i bekæmpelsen. Denne anvendelse er signifikant hyppigere anvendt på bedrifter med resistente populationer end på bedrifter med følsomme populationer, hvilket igen hænger sammen med en højere andel af ikke-pløjede marker.

Implementeringen af integreret ukrudtsbekæmpelse (IPM) er stadig på et forholdsvis lavt niveau. Det er dog positivt, at forholdsvis mange tænker i ændrede sædskifter. De værktøjer som er tilgængelige er enkeltvis ikke lige så effektive som herbicider, og effekten er generelt mere varierende end ved sprøjtning. Dermed er der behov for en kombineret strategi med flere tiltag, som de færreste landmænd på nuværende tidspunkt har viden om eller redskaber til. I gruppen af bedrifter med følsomme populationer af italiensk rajgræs svarer 85 % af landmændene, at prisen betyder noget for deres valg af herbicid, mens dette kun gælder 66 % af bedrifterne med resistente populationer. Forskellen kan skyldes, at landmænd, som har oplevet resistens er bevidste om, at de er nødt til at ofre, hvad det koster at få løst deres problem.

En effektiv strategi til at forsinke resistensudvikling er at opdage problemet på et tidligt stadium. Hovedparten af landmændene evaluerer effekten af ukrudtsprøjtningen ved at gå gennem markerne nogle uger efter sprøjtning. En del har planteavlskonsulenten med på disse ture. Der er stor villighed blandt landmændene til at pletsprøjte, håndluge eller afpudse mindre områder

i marken med henblik på at undgå opformering af problem ukrudtsarter. En enkelt landmand er begyndt at anvende drone til monitorering af ukrudtspletter. På 40 % af bedrifterne noteres ukrudtsforekomst på markkort. Dette gøres manuelt - kun to landmænd anvender den digitale løsning med hot spots i FarmTracking (<https://www.seges.dk/software/plante/farm-tracking>).

Ukrudtsarter kan spredes til nye arealer med markredskaber. De fleste landmænd er opmærksomme på dette og har gode intentioner om at rense mejetærskeren og halmpresseren for at undgå spredning af problemukrudtsarter. De indrømmer dog også, at høsten er en travl tid, hvor de gode intentioner ofte opgives på grund af tidspres. Næsten alle bedrifter bruger maskinstation til en eller flere opgaver, hvilket medfører risiko for at nye arter eller resistente populationer kan inficere markerne. Risikoen er størst, når det gælder tærskning og halmpresning. Meget få anvender maskinstation til tærskning, mens 64 % af bedrifterne bruger maskinstation til halmpresning. Landmændene er opmærksomme på risikoen for spredning af resistens via halmpresseren, men mener ikke, at det er realistisk at kræve en grundig rengøring af presseren, før den starter arbejdet på deres marker.

På spørgsmål om hvordan landmændene mener, at problemet med italiensk rajgræs er opstået, svarer 1/3 af landmændene i hver gruppe, at problemet var på marken ved overtagelsen af arealet. Da der er en høj andel af forpagtede arealer, vil der ofte være en kort markhistorik for landmanden på et areal. Blandt bedrifter med følsomme populationer mener en landmand, at det skyldes for hyppig dyrkning af vintersæd, 1 mener, at det er spredt fra nabomark, 1 mener, at der er tale om frøspredning fra græsmark eller gylle eller fugle. I gruppen med resistente populationer mener 3 landmænd, at det skyldes frøspredning fra græsmark eller gylle, og 3 mener, at det er spredt med redskaber.

I forhold til andre ukrudtsarter angiver 25 % af landmændene, at de har mistanke om resistens hos fuglegræs og 20 % mener at have resistens hos kamille.

Planteaviskonsulenten er den vigtigste kilde til information, og der er en stor tiltro til deres faglige viden. Det er derfor vigtigt at sørge for kontinuerlig efteruddannelse og formidling af ny viden til konsulentstaben. ERFA grupper står også højt på listen over informationskilder, og landmændene værdsætter de faglige diskussioner, som opstår ved at mødes i ERFA grupper. De fleste læser også faglige blade, mens de sociale medier kun anvendes af et fåtal. Resultaterne er i god overensstemmelse med en tidligere interviewundersøgelse vedrørende ukrudtsbekæmpelse (Sønderskov, 2020). Landmændene deltager ikke ofte i efteruddannelse, og mindre end halvdelen havde deltaget i temadage eller lignende inden for de seneste 2 år.

På spørgsmål om, hvilke tiltag de 28 landmænd har gjort for at bremse udvikling og spredning af rajgræs på bedriften, nævnes følgende tiltag:

Pletbehandling i marken: 12

Øget andel vårsæd: 10

Øget andel af 'andre afgrøder': 5

Sen såning: 3

Jordbearbejdning: 3 (1 har startet pløjning, 2 er startet med reduceret jordbearbejdning)

Falsk såbed: 1

Maskinhygiejne: 1

En af de landmænd som vi kontaktede med henblik på interview, ønskede ikke at deltage. Han havde opgivet dyrkning af marken og forpagtet den ud, da han havde erkendt, at han ikke kunne bekæmpe bestanden af italiensk rajgræs.



FIGUR 7.8. Håndlugning af italiensk rajgræs i sprøjtespor, som et tiltag til bekæmpelse. Planterne er håndluget, men efterladt i marken. Selvom en del af frøene måske når at modne, vil de formodentlig gå til ved opbevaring på jordoverfladen



FIGUR 7.9. Brakpudsning af et område af marken på grund af en tæt bestand af italiensk rajgræs

7.4 Sammenfatning af resultater

Samlet set var der kun meget få forskelle i anvendelse af forskellige dyrkningsmæssige tiltag på de bedrifter, som havde resistent og følsomt italiensk rajgræs.

Sædskifte:

- Større andel vårsæd og 'andre afgrøder' på bedrifter med resistens

Jordbearbejdning:

- Pløjning var signifikant mere udbredt på bedrifter uden resistens
- Tendens til større andel der lader stubben være urørt på bedrifter uden resistens.

Integreret ukrudtsbekæmpelse:

- Ingen forskel på afgrøde- og sortsvalg, rækkeafstand, udsædsmængde, såtidspunkt, evaluering af effekt af sprøjtning og kortlægning af ukrudt.

Ukrudtsbekæmpelse:

- Tendens til større intensitet i anvendelse af både ALS- og ACCase-hæmmere og glyphosat på bedrifter med resistent italiensk rajgræs.
- Ingen forskel i anvendelsen af Boxer, anvendelse af behovsbestemte doseringer, gradueret bekæmpelse og pletsprøjtning, vekslen mellem midler og udarbejdelse af sprøjteplan

Andet:

- Ingen forskel i brug af maskinstation, informationskilder og viden om resistens.

Årsagen til den større andel vårsæd og 'andre afgrøder' på bedrifter med resistens i vores undersøgelse skyldes sandsynligvis, at der allerede er foretaget et skift i afgrødevalg i på bedrifter med resistens som et tiltag til at løse problemet. I lighed med de tyske resultater, ser vi i Danmark en hyppigere forekomst af resistens på arealer, der ikke pløjes.

I Notat om virkemidler mod resistens hos ukrudt og svampe (Mathiassen et al., 2017) er effekt og omkostning af forskellige virkemidler mod herbicidresistens vurderet (tabel 7.2). Resultaterne af interviews med landmændene viser, at landmændene i vid udstrækning anvender sædskifte, vekslen mellem midler, forhindring af frøkast og monitoring som tiltag til at mindske udbredelsen af resistens. Landmændene har således implementeret flere af de metoder, som vurderes at have væsentlig betydning for resistensudviklingen. Mest overraskende er den udbredte anvendelse af ændret afgrødevalg (sædskifte), da det i mange sammenhænge er omkostningstungt at inkludere nye afgrøder eller øge andelen af vårsæd. I forhold til jordbearbejdning viser projektet, at specielt pløjning kan tillægges stor værdi.

TABEL 7.2. Oversigt over effekt og omkostninger ved forskellige virkemidler mod resistens hos ukrudt. * lav effekt/omkostning, ***** høj effekt/omkostning (Mathiassen et al., 2017)

	Effekt	Omkostning
Sædskifte	Variere	Variere
Kulturtekniske tiltag	**	Variere
Jordbearbejdning	***	**
Vekslen mellem midler	****	***
Blanding af midler	***	*
Stedspecifik bekæmpelse	***	****
Forhindring af frøkast	****	**
Monitoring	****	**
Formidling af viden	****	*

8. Modelling

8.1 Eksisterende resistensmodeller

Eksisterende modeller af herbicidresistens fokuserer typisk på enten at estimere tiden til resistens udvikles, hvornår niveauet af resistens når et kritisk punkt eller hvornår virkningen af herbiciderne falder under et givet niveau. Disse aspekter afhænger af en række biologiske, økologiske og generiske faktorer (Renton et al., 2014). Der er udviklet flere modeller, som simulerer en populations genetiske udvikling med hensyn til frekvensen af resistensgener (Maxwell et al., 1990, Gardner et al., 1998). Det er dog svært at lave genetiske modeller, som forudsiger 'tiden til resistens', da det afhænger af mange parametre, som igen afhænger af den enkelte populations genetiske sammensætning ved start af simuleringen (Diggle et al., 2003). En anden måde at anskue resistensudvikling er en mere praktisk tilgang, hvor man ser på tiltag, der kan mindske risikoen for udvikling af resistens ved at øge diversiteten i bekæmpelsesmetoder i dyrkningssystemet. Det kan være et længere og mere diversitets sædskifte, vekslen mellem virkemekanismer for herbiciderne, mekanisk ukrudtsbekæmpelse eller en ændret jordbearbejdningsstrategi.

Agerrævehale har været udgangspunkt for flere resistensmodeller. Cavan et al. (2000) udviklede en model, for nedrivning af target site resistens overfor ACCase-hæmmere via et dominant enkeltgen. Dette blev indarbejdet i en eksisterende simpel biologisk model for frøproduktion og effekt af jordbearbejdnings (Moss, 1990). Disse simuleringer forudsagde, at ved minimal jordbearbejdnings og kontinuerlig brug af ACCase-hæmmere ville resistens udvikles over 9-10 år. En gradvis diversificering af bekæmpelsen udsatte resistensudviklingen betydeligt.

Mens modellen udviklet af Cavan et al. (2000) er baseret på en simpel biologisk model med få bekæmpelsesmuligheder, så udviklede Colbach et al. (2016) en detaljeret model med henblik på at simulere en realistisk udvikling af agerrævehalepopulationer i et system, hvor der tages hensyn til jordbundens temperatur og fugtighed, frøpuljen, ukrudtsstæthed og sædskifte (rækkefølge, behandlingstidspunkter for jordbearbejdnings, såning, ukrudtsbekæmpelse, gødning og høst). Der er desuden inkluderet en række specifikke parametre for jordbearbejdningsdybde, type af mekanisk bekæmpelse, anvendte doseringer m.m. Agerrævehalepopulationers fremspiring simuleres over tid, så der er nyfremspirede planter over en lang periode. Denne struktur giver mulighed for at simulere, at nyfremspirede planter kan påvirkes individuelt på det tidspunkt, hvor de spirer. For at simulere udviklingen af target-site resistens blev den oprindelige agerrævehalemodel (AlomySys) suppleret med en genetisk undermodel. Konceptet var, at enhver operation i marken, som reducerer frøproduktionen, også reducerer sandsynligheden for, at der opstår resistens, fordi det mindsker sandsynligheden for, at et individ med en mutation i target-site reproducerer sig. Simuleringerne viste, at i et 3-årigt sædskifte med raps, vinterhvede og vårbyg ville der optræde minimum 1 resistent agerrævehale pr m² efter 6-8 år, hvis der blev brugt ACCase-hæmmere hvert år. Hvis ACCase-hæmmere kun udgjorde 1 ud af 7 herbicider i det 3-årige sædskifte, blev den samme frekvens af resistens først nået efter 18 år. Yderligere diversificering af sædskiftet, sen såning af vinterhvede og brug af dybere jordbearbejdnings (pløjning) var faktorer, som forsinkede resistensudviklingen.

De to beskrevne modeller for udvikling af resistens hos agerrævehale repræsenterer en simpel og en detaljeret model, men giver samme resultater for hvor lang tid, der går, før resistens kan forventes i et simpelt sædskifte med lille variation i herbicidernes virkemekanisme. ALS- og ACCase-hæmmere er i højrisikogruppen for resistensudvikling men er samtidig nogle af de virkemekanismer, som er mest virksomme over for græsukrudt, henholdsvis HRAC 1 og 2.

Derfor er det vigtigt også at bruge de få andre virkemekanismer, som er til rådighed, f.eks. pro-sulfocarb (HRAC 15) og pendimethalin (HRAC 3). For at få flere virkemekanismer ind i sædskiftet er det ligeledes vigtigt at have et diverst sædskifte, hvor blandt andet vinterraps giver mulighed for at bruge et aktivstof som propyzamid (HRAC 3).

I lighed med Cavan et al.'s model for agerrævehale er en forholdsvis simpel populationsmodel for *Lolium rigidum* blevet kombineret med en genetisk resistensudviklingsmodel for at evaluere risikoen for udvikling af glyphosatresistens (Neve et al., 2003a). Forskellige tidspunkter for udbringning af glyphosat blev simuleret. Resultaterne indikerede generelt en lille risiko for resistensudvikling over for glyphosat, men også at jo senere glyphosat udsprøjtes i forhold til fremspiringen desto højere risiko er der for resistens, da en større andel af rajgræspopulationen er spiret frem, og der dermed er et højere selektionstryk. Hvis glyphosat kombineres med andre herbicider (efter fremspiring), vil selektionen forløbe langsommere. I Danmark er bekæmpelsen af rajgræs sjældent baseret udelukkende på glyphosat, men simuleringer for resistensudvikling over for glyphosat viste, at i ikke-pløjede dyrkningssystemer kan der være et højere selektionstryk, især når såning udskydes (Neve et al., 2003b).

Det australske beslutningssystem for integreret rajgræs bekæmpelse, RIM, er et bioøkonomisk værktøj med fokus på at visualisere konsekvenserne af en valgt dyrkningsstrategi over en 10-årig periode (Lacoste et al., 2014). RIM er parameteriseret for *L. rigidum*, som dominerer ukrudtsfloraen i hvedemarker i det vestlige Australien. Populationsudviklingen af *L. rigidum* er inddelt i kohorter, som på samme måde som i AlomySys, kan påvirkes individuelt gennem vækstsæsonen af bekæmpelsestiltag. Der er ingen frøpuljemodel, men i hver sæson produceres en mængde rajgræsplanter, som er afgørende for næste års frøpulje.

I Danmark har vi tilpasset RIM til danske forhold i form af DK-RIM (Sønderskov et al., 2020, https://www.landbrugsinfo.dk/public/4/0/f/plantebeskyttelse_dk_rim_varktoj_bekampelse_italiensk_rajgras), som kan være en hjælp i bekæmpelsen af italiensk rajgræs. Værktøjet er, som den australske udgave, beregnet til at visualisere udviklingen af rajgræs over en 10-årig periode. Brugeren tilpasser sædskiftet, jordbearbejdning, herbicidforbrug m.m. til den aktuelle situation. DK-RIM er primært tænkt som en hjælp i uddannelses- og rådgivningsmæssige sammenhænge. Man kan bruge det til at demonstrere potentielle udviklinger over en årrække, hvor det kan være svært at holde styr på effekten af alle de faktorer, der potentielt kan have indflydelse på rajgræspopulationen i et dyrkningssystem. Herbicidvalg, jordbearbejdning, sædskifte, efterafgrøder og udsædsmængde kan varieres i DK-RIM. DK-RIM giver desuden mulighed for at bortsprøjte eller destruere en afgrøde, hvor en rajgræspopulation er kommet ud af kontrol. Selvom beregningerne i DK-RIM tager hensyn til en lang række faktorer, så er det en simplificering, og der er f.eks. ingen detaljeret frøpuljemodel indbygget. I DK-RIM er de dyrkningsmæssige udgifter medtaget, og der beregnes et årligt økonomisk udbytte pr afgrøde på baggrund af kostprisen for de enkelte dyrkningsmæssige tiltag og indkomsten for salg af afgrøde.

Da dette projekt og tidligere undersøgelser har vist, at resistens hos rajgræs allerede er vidt udbredt, er det vigtigt at udvikle værktøjer til at nedbringe problemets omfang i form af forskellige bekæmpelsesstrategier. Projektets modelleringsdel har derfor fokuseret på at indbygge parametre for resistens i det eksisterende DK-RIM værktøj.

8.2 Implementering af eksisterende viden om resistensudvikling i DK-RIM

Resistenstest og oplysninger fra interviews af landmænd viser, at jordbearbejdning og herbicidforbrug er de to faktorer, der adskiller sig for bedrifter med følsomt og resistent italiensk rajgræs i dette projekt. Herudover vurderes sædskiftet at være en afgørende faktor i resistensfo-

rebyggelse og bekæmpelse. DK-RIM inkluderer allerede disse faktorerens betydning for rajgræs-populationen, og det er derfor et relevant værktøj at videreudvikle til også at omfatte resistensproblematikken.

Pløjning vil begrænse populationen af rajgræs, da en stor del af de producerede rajgræsfrø indarbejdes dybt i jorden efter høst og nyfremspirede planter bekæmpes ved jordbearbejdning i forbindelse med såbedstilberedning. I en lille population vil der være en lavere risiko for at udvikle resistens, da sandsynligheden for, at de mutationer, som betinger at resistens findes i marken, nedbringes. Efter en begyndende resistensudvikling vil pløjning supplere effekten af de herbicider, der bruges. Som tidligere beskrevet er der mange fordele ved et divers sædskifte, blandt andet at man har større mulighed for at veksle mellem forskellige virkningsmekanismer i herbicidvalget. Disse tre faktorer kan tilpasses i det publicerede værktøj (DK-RIM), hvor resistensniveauet indsættes ved start af perioden og ikke ændrer sig med tiden. Dermed er det primært et værktøj til at nedbringe tætheden af rajgræs uanset resistensniveau fra start. Ved at indarbejde resistensudvikling over den 10-årige periode kan værktøjet yderligere illustrere, hvordan resistensudviklingen kan forsinkes eller forhindres.

I dette projekt er DK-RIM blevet udvidet med løbende resistensudvikling over den 10-årige periode, som værktøjet arbejder inden for (DK-RIM-res). Resistensudviklingen, som er bygget ind i DK-RIM-res på nuværende tidspunkt, er target-site resistens over for ALS- og ACCase-hæmmere. Der er ikke på nuværende tidspunkt lagt en fuld resistensudviklingsmodel ind, men der er fastlagt en række regler for hvilke herbicidanvendelsesmønstre, der fremmer udvikling af target-site resistens (tabel 8.1 og 8.2). Metabolisk resistens indgår ikke i DK-RIM-res, da der ikke er tilstrækkelig viden om, i hvilket omfang forskellige herbicider påvirkes af metabolisk resistens. Der synes ikke at være faste mønstre for, at hvis effekten af en specifik ALS-hæmmer er reduceret med 30 %, så vil effekten af alle ALS-hæmmere være nedsat i samme omfang eller at effekten af ACCase-hæmmere, så kan antages at være nedsat i en bestemt grad. De mange små ændringer af forskellige kemiske forbindelser ophobes gradvist, og omfanget afhænger muligvis af rækkefølgen og de anvendte doseringer af forskellige herbicider.

Resistensudviklingen i DK-RIM er baseret på de data og resultater fra modelleringer, som er til rådighed blandt andet i de studier, som er beskrevet i sektion 5.1. Som udgangspunkt starter simuleringen med fuld effekt af de valgte herbicider. Systemet tager altså udgangspunkt i den effekt, brugeren angiver ved starten af simuleringen. Hvis der allerede er dokumentation for resistens i en mark, så skal det vurderes i hvor høj grad resistens påvirker effekten af de enkelte herbicider. De nuværende regler for resistensudvikling er de samme for ALS- og ACCase-hæmmere. Det betyder, at der sker en forholdsvis hurtig udvikling af resistens over for de to virkemekanismer ved gentagen brug.

Hvis man gentager brug af den samme virkningsmekanisme, som man har anvendt i første år, i andet år af simuleringen, vil effekten falde til 90 %. Dette bygger på antagelsen om, at der er en forhistorie med brug af både ALS- og ACCase-hæmmere i de fleste marker, og at der derfor er et højt potentiale for resistens. Efter det andet år følger resistensudviklingen tabellerne nedenfor.

I simuleringens tredje år kan der kun tages hensyn til to foregående år og dette følger tabel 8.1. I fjerde år tages der hensyn til den anvendte virkningsmekanisme i de tre foregående år som vist i tabel 8.2

TABEL 8.1. I det tredje år ('nuværende år' i denne tabel) i simuleringen vil der tages hensyn til brug af virkningsmekanismer i de foregående to år plus det aktuelle år. + den pågældende virkningsmekanisme benyttes det aktuelle år, - den pågældende virkningsmekanisme benyttes ikke det aktuelle år.

2 år før	1 år før	Nuværende år	Skønnet effekt
+	+	+	80 %
-	+	+	90 %
-	-	+	95 %
+	-	+	90 %

TABEL 8.2. I det tredje år ('nuværende år' i denne tabel) i simuleringen vil der tages hensyn til brug af virkningsmekanismer de foregående to år plus det aktuelle år. + den pågældende virkningsmekanisme benyttes det aktuelle år, - den pågældende virkningsmekanisme benyttes ikke det aktuelle år.

3 år før	2 år før	1 år før	Nuværende år	Skønnet effekt
+	+	+	+	65 %
+	-	+	+	85 %
+	-	-	+	90 %
+	+	-	+	85 %

Efter år 4 vil det først blive kontrolleret, om den aktuelle virkningsmekanisme er brugt mindre end 5 gange. Hvis det er tilfældet, så bruges værdierne i tabel 8.2, hvor der tages hensyn til de foregående 3 år plus det aktuelle år. Hvis der i de foregående år er brugt samme virkningsmekanisme mere end 5 gange, så vil effekten falde til 50 % i det femte år og derefter være 40 %. Dette er en konstant og symboliserer en dårlig effekt, men ingen yderligere resistensudvikling.

8.3 Resultater af simuleringer af rajgræspopulationer

Der er lavet en række simuleringer med DK-RIM for at kunne vurdere effekten af de beregningsmetoder, der er indbygget i DK-RIM i dette projekt. I det følgende bliver udviklingen af italiensk rajgræs for den publicerede udgave af DK-RIM uden resistensudvikling sammenlignet med den nye udgave af DK-RIM med resistensudvikling (DK-RIM-res). Simuleringerne er lavet for et konventionelt pløjet dyrkningssystem, hvor der benyttes sen såning (efter 20. september) for at forebygge opbygningen af en stor rajgræspopulation.

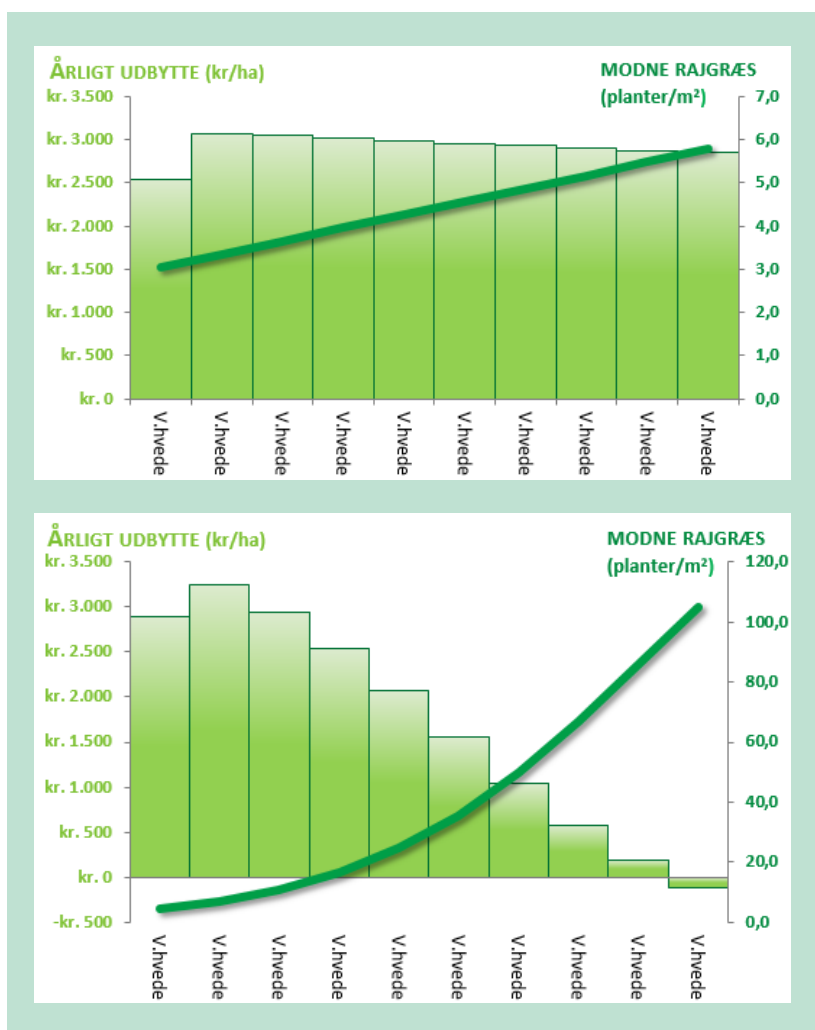
TABEL 8.3. Beskrivelse af de scenarier, der er brugt for at vise resistensudviklingen i den nye prototype af DK-RIM (DK-RIM-res). Der er taget udgangspunkt i et pløjet system med sent sået vinterhvede (scenarie 1a-5b) og i de sidste fire scenarier er to års sent sået vinterhvede i sædskifte med vårbyg og vinterraps vist for konventionel jordbearbejdning (scenarie 6a og b) og uden pløjning (7a og b). Der startes med et lavt niveau af italiensk rajgræs (2 planter pr m²) og ingen forudgående registrering af resistens.

Scenarie	Udgave	Afgrøde	Herbicidforbrug
1a	DK-RIM	Mono vinterhvede	1 L/ha Boxer* fulgt af 0,2 L/ha Topik EC* efterår
1b	DK-RIM-res	Mono vinterhvede	1 L/ha Boxer fulgt af 0,2 L/ha Topik EC efterår
2a	DK-RIM	Mono vinterhvede	0,2 L/ha Topik EC efterår
2b	DK-RIM-res	Mono vinterhvede	0,2 L/ha Topik EC efterår
3a	DK-RIM	Mono vinterhvede	1 L/ha Boxer efterår fulgt af 0,14 L/ha Hussar Plus OD* forår
3b	DK-RIM-res	Mono vinterhvede	1 L/ha Boxer efterår fulgt af 0,14 L/ha Hussar Plus OD forår
4a	DK-RIM	Mono vinterhvede	0,14 L/ha Hussar Plus OD forår
4b	DK-RIM-res	Mono vinterhvede	0,14 L/ha Hussar Plus OD forår
5a	DK-RIM-res	Mono vinterhvede	1 L/ha Boxer fulgt af enten 0,2 L/ha Topik EC efterår eller 0,14 L/ha Hussar Plus OD forår. Skiftevis hvert andet år startende med Topik i år 1.
5b	DK-RIM-res	Mono vinterhvede	Enten 0,2 L/ha Topik EC efterår eller 0,14 L/ha Hussar Plus OD forår. Skiftevis hvert andet år startende med Topik i år 1.
6a	DK-RIM	4 årigt sædskifte: vårbyg –raps-vinterhvede-vinterhvede	Vårbyg: 0,07 L/ha Hussar Plus OD Raps: 1,25 L/ha Kerb 400 SC* 1. vinterhvede: 1 L/ha Boxer efterår fulgt af 0,14 L/ha Hussar Plus OD forår 2. vinterhvede: 1 L/ha Boxer fulgt af 0,2 L/ha Topik EC efterår
6b	DK-RIM-res	4 årigt sædskifte: vårbyg –raps-vinterhvede-vinterhvede	Vårbyg: 0,07 L/ha Hussar Plus OD Raps: 1,25 L/ha Kerb 400 SC 1. vinterhvede: 1 L/ha Boxer efterår fulgt af 0,14 L/ha Hussar Plus OD forår 2. vinterhvede: 1 L/ha Boxer fulgt af 0,2 L/ha Topik EC efterår
7a	DK-RIM-res	4 årigt sædskifte No-Till: vårbyg –raps-vinterhvede-vinterhvede	Vårbyg: 0,07 L/ha Hussar Plus OD Raps: 1,25 L/ha Kerb 400 SC 1. vinterhvede: 1 L/ha Boxer efterår fulgt af 0,14 L/ha Hussar Plus OD forår 2. vinterhvede: 1 L/ha Boxer fulgt af 0,2 L/ha Topik EC efterår
7b	DK-RIM-res	4 årigt sædskifte No-Till: vårbyg –raps-vinterhvede-vinterhvede	Glyphosat umiddelbart før hver afgrøde: 540 g as/ha Vårbyg: 0,07 L/ha Hussar Plus OD Raps: 1,25 L/ha Kerb 400 SC 1. vinterhvede: 1 L/ha Boxer efterår fulgt af 0,14 L/ha Hussar Plus OD forår 2. vinterhvede: 1 L/ha Boxer fulgt af 0,2 L/ha Topik EC efterår

Kontinuerlig dyrkning af vinterhvede

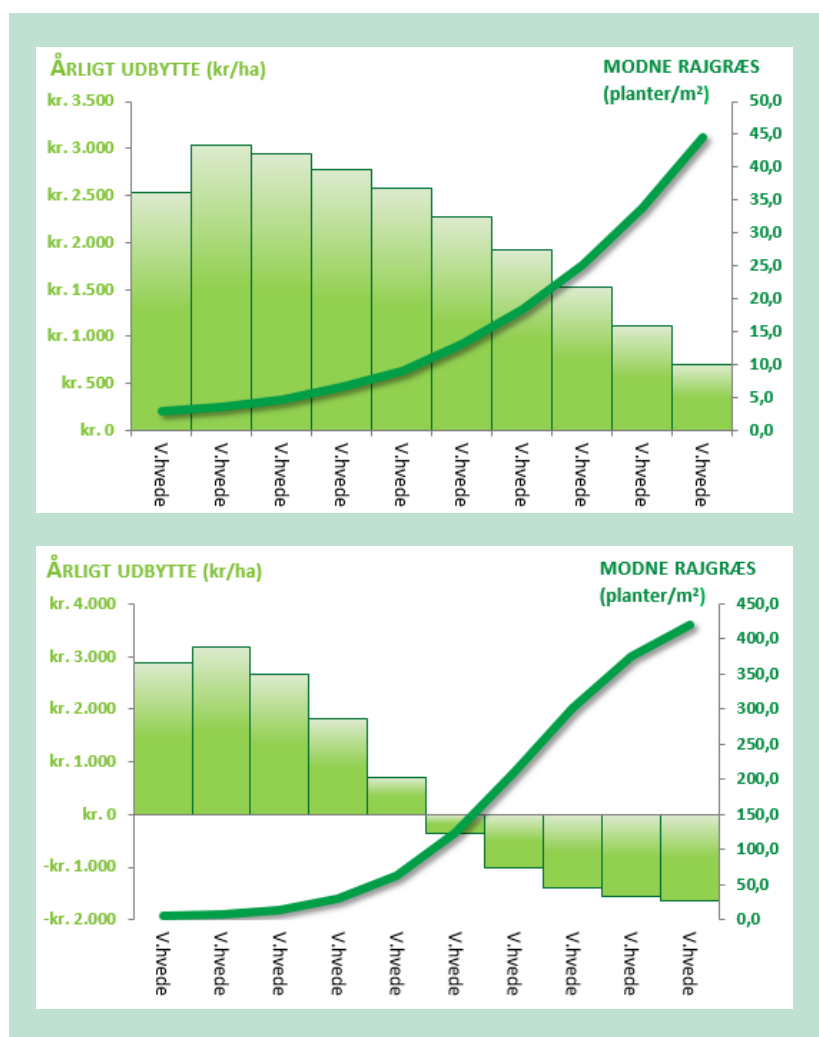
Selvom det ikke er et almindelig anvendt sædskifte, så er de første scenarier lavet med kontinuerligt vinterhvede, som vil give anledning til en hurtig opformering af italiensk rajgræs, hvis landmanden ingen forholdsregler tager. Hvert år estimerer DK-RIM et antal modne rajgræsplanter, som vil danne basis for antallet af frø, der tilføres frøbanken (kurve, højre y-akse = modne rajgræs, planter/m²). Ud fra omkostninger, afgrødeudbytte og salgspriser estimeres et årligt økonomisk udbytte (søjler, venstre y-akse = årligt udbytte i kr/ha). Det økonomiske udbytte skal ses som en standard måde at sammenligne udbytter fra forskellige scenarier, da det reelle økonomiske udbytte i høj grad afhænger af de specifikke forhold på den enkelte bedrift.

I scenarie 1a estimeres antallet af italiensk rajgræs til at øges med en moderat hastighed, når der bruges både Boxer og Topik EC hvert efterår (omkring 6 planter pr m² efter 10 år) (figur 8.1 øverst). Hvis der ikke bruges Boxer, så kan populationen ikke holdes nede og stiger gradvist over den 10-årige periode til mere end 100 planter pr m² (figur 8.1 nederst). Det økonomiske udbytte falder tilsvarende over perioden, da konkurrencen fra rajgræsset vil medføre et betydeligt udbyttetab (figur 8.1 nederst). Når de samme scenarier simuleres med den nye udgave, hvor gentagen brug af en virkemekanisme udløser resistens, så kan brugen af Boxer ikke længere holde populationen på det lave niveau, som der sås uden resistensudvikling. Efter den 10-årige periode vil populationen være på omkring 45 planter pr m², og hvis Boxer udelades vil der være omkring 425 planter pr m². Her vil udbyttet være så lavt, at der ikke længere er et positivt økonomisk udbytte efter de første 5 år af perioden (figur 8.2 nederst).



FIGUR 8.1: Udviklingen i antal rajgræsplanter (kurve, højre y-akse) og det økonomiske udbytte (søjler, venstre y-akse) over en 10-årig periode med den publicerede udgave af DK-RIM.

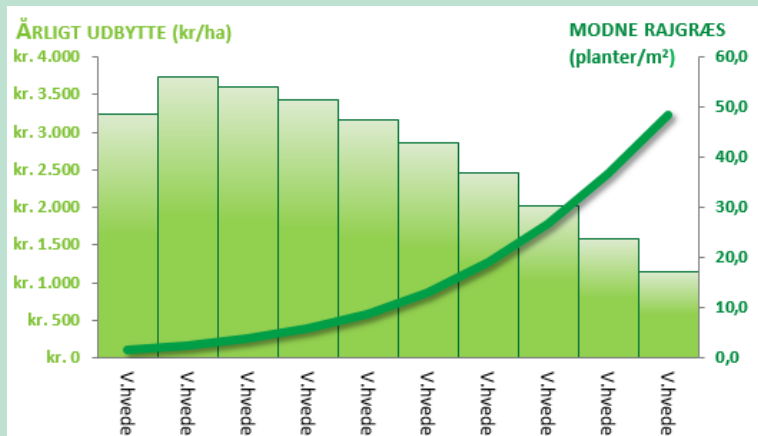
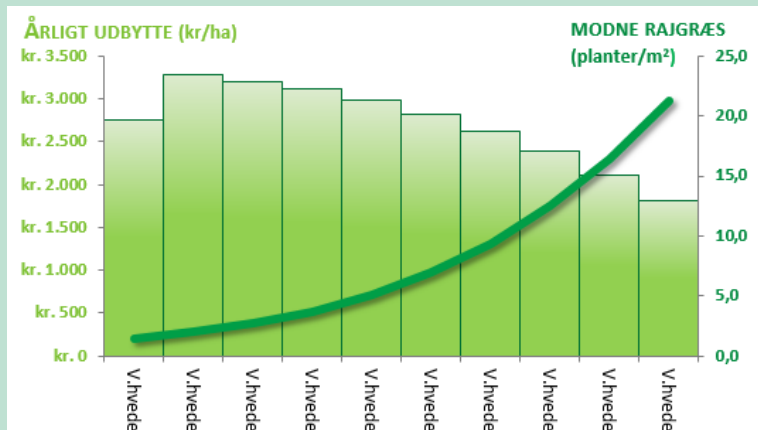
Øverste graf: scenarie 1a: 1 L/ha Boxer efterfulgt af 0,2 L/ha Topik EC hvert efterår. Nederste graf: scenarie 2a: Ingen Boxer men stadig 0,2 L/ha Topik EC hvert efterår



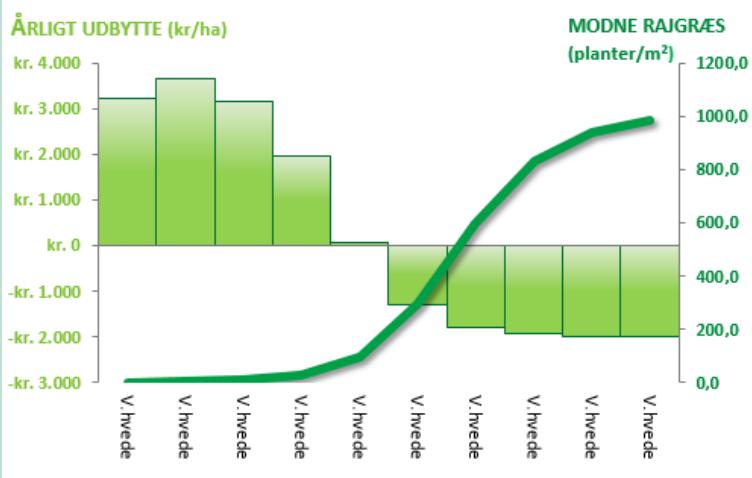
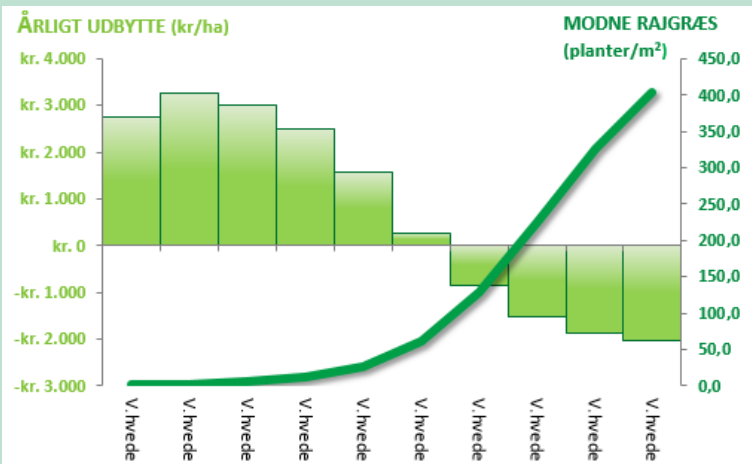
FIGUR 8.2: Udviklingen i antal rajgræsplanter (kurve, højre y-akse) og det økonomiske udbytte (søjler, venstre y-akse) over en 10-årig periode med den nye udgave, DK-RIM-res. Øverste graf: scenarie 1b: 1 L/ha Boxer efterfulgt af 0,2 L/ha Topik EC hvert efterår. Nederste graf: scenarie 2b: Ingen Boxer men stadig 0,2 L/ha Topik EC hvert efterår.

Topik EC er en ACCase-hæmmer, og italiensk rajgræs er moderat tolerant over for dette aktivstof. Ifølge PVO kan der forventes omkring 60 % effekt af 0,2 l/ha Topik EC, når rajgræsset har maksimalt 2 blade ved sprøjtning (<https://plantevaermonline.dlbr.dk/>). Hussar Plus OD er en ALS-hæmmer, og italiensk rajgræs er meget følsom over for dette aktivstof. Ifølge PVO er effekten af 0,14 l/ha Hussar Plus OD omkring 95 %, når rajgræsset har maksimalt 2 blade ved sprøjtning (<https://plantevaermonline.dlbr.dk/>). Forskellen i effektivitet over for italiensk rajgræs har stor betydning, når man ser på resistensudvikling i de valgte scenarier.

Når der ikke er indbygget resistensudvikling, så vil scenarie 3a (Boxer efterår, Hussar Plus OD forår) føre til en population på omkring 20 planter pr m² og scenarie 4a (Hussar Plus OD forår) til omkring 50 planter pr m²(figur 8.3). Mens scenarie 3b resulterer i 400 planter pr m² og scenarie 4b i 1000 planter pr m² (figur 8.4). Det økonomiske udbytte falder langsomt, når der ikke udvikles resistens, mens det allerede er negativt efter 5-6 år i DK-RIM-res.

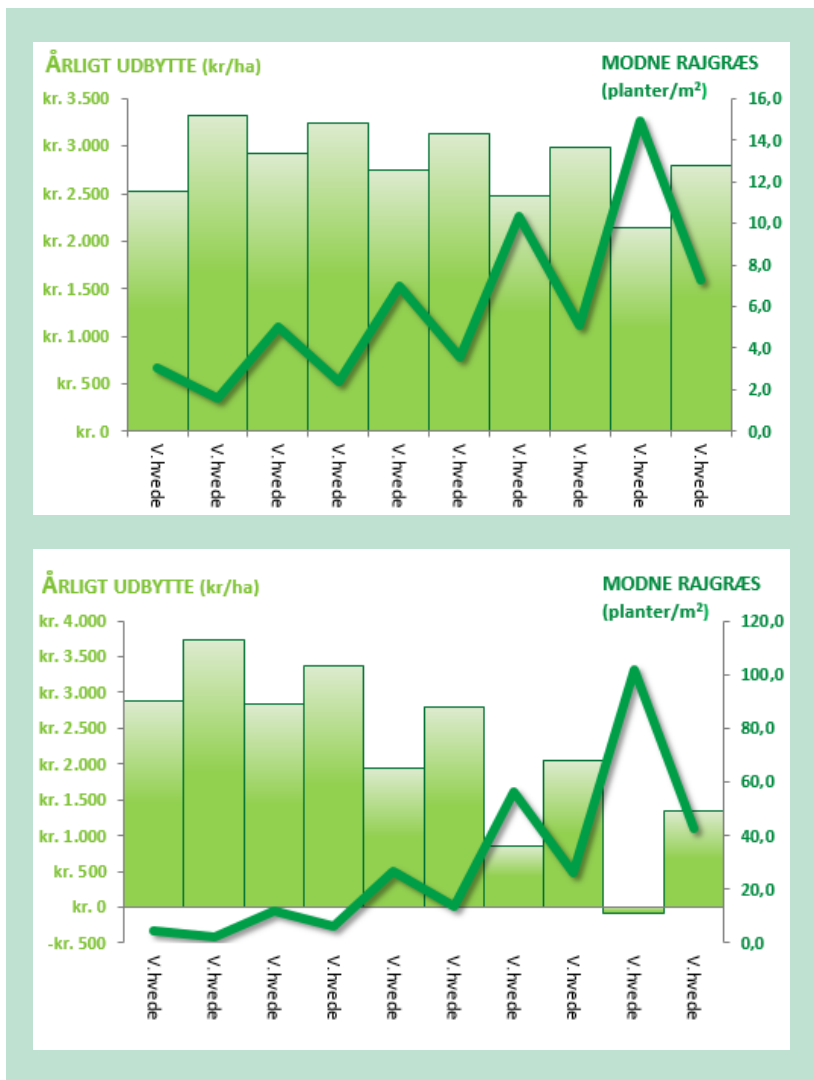


FIGUR 8.3. Udviklingen i antal rajgræsplanter (kurve, højre y-akse) og det økonomiske udbytte (søjler, venstre y-akse) over en 10-årig periode med den publicerede udgave af DK-RIM. Øverste graf: scenarie 3a: 1 L/ha Boxer efterfulgt af 0,14 L/ha Hussar Plus OD hvert forår. Nederste graf: scenarie 4a: Ingen Boxer men stadig 0,14 L/ha Hussar Plus OD hvert efterår



FIGUR 8.4. Udviklingen i antal rajgræsplanter (kurve, højre y-akse) og det økonomiske udbytte (søjler, venstre y-akse) over en 10-årig periode med den nye udgave, DK-RIM-res. Øverste graf: scenarie 3b: 1 L/ha Boxer efterfulgt af 0,14 L/ha Hussar Plus OD hvert forår. Nederste graf: scenarie 4b: Ingen Boxer men stadig 0,14 L/ha Hussar Plus OD hvert forår.

Hvis der i stedet veksles imellem Hussar Plus OD og Topik EC hver anden vækstsæson i vinterhveden, så sker udviklingen af resistens langsommere (figur 8.5). Med brug af Boxer hvert efterår lige efter fremspiring holdes rajgræspopulationen nogenlunde under kontrol (scenarie 5a), der vil dog ske en opformering, og på sigt vil resistensen betyde, at ingen af de to herbicider kan kontrollere populationen. Hvis der ikke bruges Boxer, sker opformeringen hurtigere og effekten af de to virkemekanismer forringes langt hurtigere (scenarie 5b). Efter de første otte år estimeres populationen til at være så stor, at udbyttet ikke længere kan sikre et positivt økonomisk resultat.

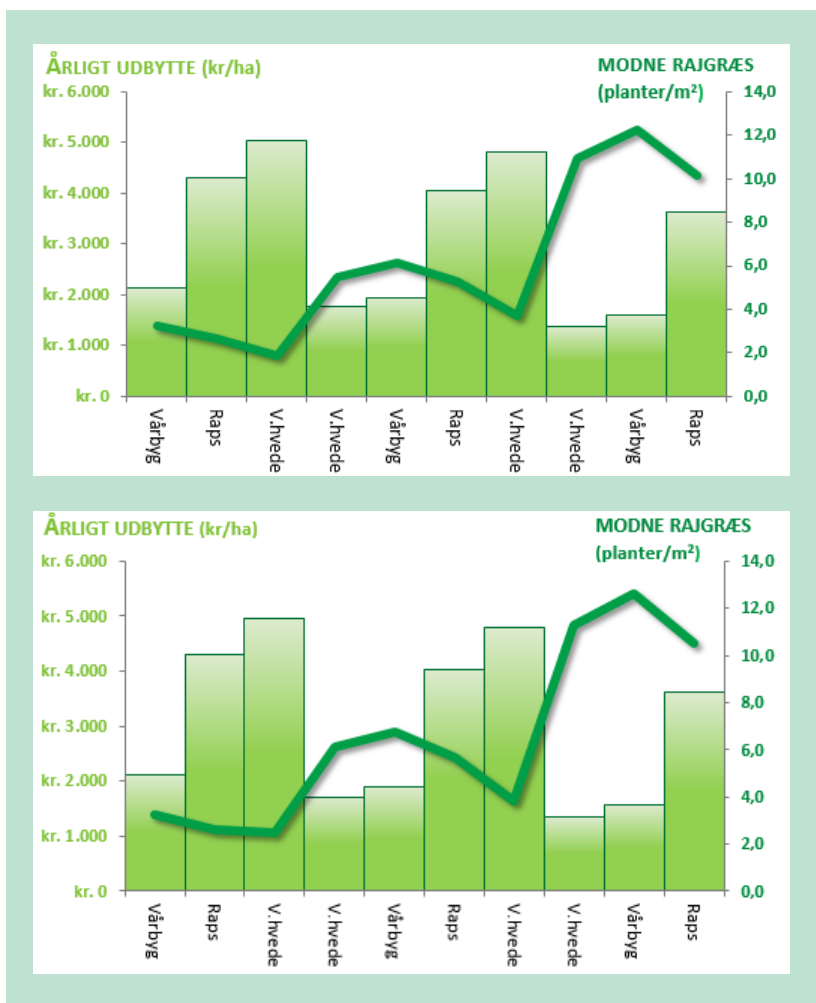


FIGUR 8.5. Udviklingen i antal rajgræsplanter (kurve, højre y-akse) og det økonomiske udbytte (søjler, venstre y-akse) over en 10-årig periode med den nye udgave, DK-RIM-res. Øverste graf: scenarie 6a: 1 L/ha Boxer efterfulgt af enten 0,2 L/ha Topik EC efterår eller 0,14 L/ha Hussar Plus OD forår. Nederste graf: scenarie 6b: ingen Boxer men enten 0,2 L/ha Topik EC efterår eller 0,14 L/ha Hussar Plus OD forår.

Varieret sædskifte

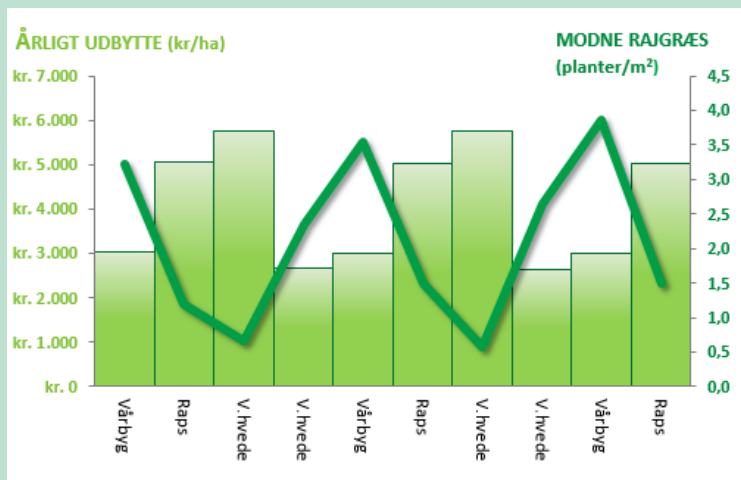
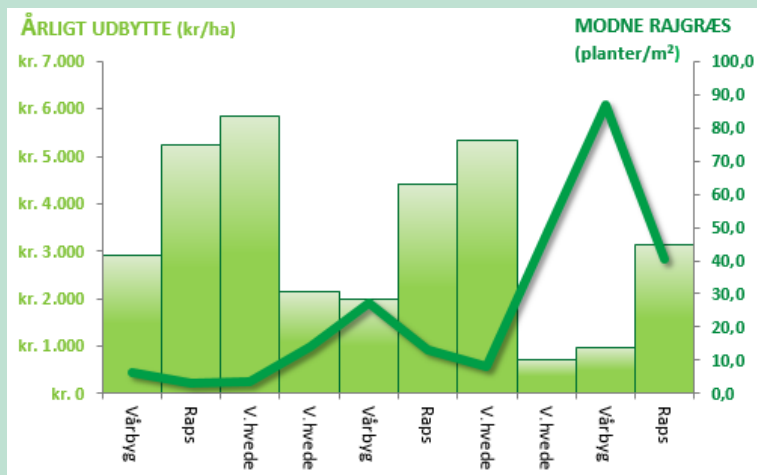
Kontinuerlig dyrkning af vinterhvede ses sjældent, og i scenarie 6a og 6b er et mere varieret sædskifte lagt ind (4 årigt sædskifte: vårbyg – vinterraps – vinterhvede - vinterhvede).

Med det varierede sædskifte er afgrødekongurrencen anderledes, og der vil være en bedre forfrugt for vinterhveden og dermed et væsentlig højere udbytte i første års vinterhvede. Samtidig kan der veksles mellem virkningsmekanismer og dermed forhindres en hurtig resistensudvikling (figur 8.6). I scenarierne 6a og 6b er der ingen væsentlig forskel i antallet af rajgræsplanter efter de 10 år. Dette opnås ved at have mulighed for at bruge Kerb 400 SC i vinterraps og dermed en fjerde virkemekanisme (HRAC 3) ud over HRAC 1, HRAC 2 og HRAC 15. Der veksles ligeledes mellem at bruge Topik EC og Hussar Plus OD til bekæmpelse af italiensk rajgræs efter fremspiring i vinterhvede. Reelt vil det i nogen grad være vejret og udbringningsforholdene, som vil være bestemmende for, hvilket produkt mange landmænd bruger. Selv i det varierede sædskifte vil rajgræspopulationen stige i den 10-årige periode, men da begge udgaver af modellen estimerer den samme udvikling, er det ikke en konsekvens af resistensudvikling.



FIGUR 8.6: Udviklingen i antal rajgræsplanter (kurve, højre y-akse) og det økonomiske udbytte (søjler, venstre y-akse) over en 10-årig periode med et varieret sædskifte med henholdsvis den publicerede udgave DK-RIM (scenarie 5a øverst) og den nye udgave, DK-RIM-res (scenarie 5b nederst).

Hvis der arbejdes med et ikke-pløjet system i det samme varierede sædskifte, så vil populationen af rajgræs udvikles hurtigere og nå et højere niveau i løbet af de 10 år. Det skyldes, at en lavere andel af de fremspirede planter antages at blive bekæmpet ved etablering af afgrøden. Ved pløjning rammes alle fremspirede rajgræs planter, og man antager, at 90 % af de fremspirede planter bekæmpes. Ved den direkte såning antages det, at kun 40 % bekæmpes, da en del af planterne vil stå mellem afgrøderækkerne, hvor der ikke sker nogen jordbearbejdning. I figur 8.6 ses det, at rajgræspopulationen allerede i 4. år når niveauet efter 10 år for det pløjede scenarie. I et ikke-pløjet system vil glyphosat som oftest blive anvendt for at kompensere for den manglende bekæmpelse, som pløjningen bidrager med. Når der lægges en glyphosatsprøjtning ind før hver såning, så vil rajgræspopulationen holdes under kontrol i hele perioden med en ganske svag stigning. Der sker en opformering i andet års vinterhvede, som efterfølgende bekæmpes i vårbyg og raps.



FIGUR 8.6. Udviklingen i antal rajgræsplanter (kurve, højre y-akse) og det økonomiske udbytte (søjler, venstre y-akse) over en 10-årig periode med et varieret sædskifte etableret direkte uden brug af glyphosat inden såning (scenarie 7a øverst) og med glyphosat inden såning (scenarie 7b nederst) med den nye udgave, DK-RIM-res.

8.4 Diskussion af implementering af resistens i DK-RIM

Udviklingen af resistens i DK-RIM-res er baseret på en latent resistens hos italiensk rajgræs i de fleste populationer i konventionelle marker. Som beskrevet tidligere, findes der ikke mange virkemekanismer over for græsukrudt ud over ALS- og ACCase-hæmmere. I scenarier med kontinuerlig dyrkning af vinterhvede viste simuleringerne, at der vil være et resistensniveau efter ca. 5 år, som umuliggør bekæmpelse med den valgte virkemekanisme, hvor der ensidigt benyttes samme virkemekanisme (enten HRAC 1 eller 2) uden brug af en resistensbryder som Boxer. Hvis der veksles mellem de to virkemekanismer, så forløber resistensudviklingen langsommere, men der vil stadig opstå en situation, hvor rajgræspopulationen ikke længere kan holdes under kontrol (efter ca. 8 år). For at undgå en situation, hvor rajgræspopulationen er ude af kontrol, skal der som minimum bruges Boxer hvert efterår, og optimalt er et varieret sædskifte med f.eks. vinterraps og en fjerde virkemekanisme. Det vurderes, at den nye udgave af DK-RIM med resistensudvikling kan være et værdifuldt værktøj i formidlingen af resistensproblematikken, og at de valgte resistensniveauer for herbicidforbrugsmønstret er realistiske.

Der er ingen af de valgte scenarier, der undgår en opformering af rajgræs over de 10 år. Derfor er det nødvendigt at udbygge bekæmpelsesstrategien yderligere. Det kunne være med en

flerårig afgrøde (f.eks. græs eller kløvergræs). Hermed forlænges sædskiftet og tiden mellem brug af herbicider med samme virkemekanisme. De økonomiske konsekvenser af denne strategi afhænger af, om man har mulighed for at anvende denne afgrøde til foder eller afsætte den. I tilfælde med meget høje tætheder af resistent rajgræs kan det på trods af negative økonomiske konsekvenser være at foretrække, da effekten over for græsukrudt er høj. Hvis man har frøgræs i sædskiftet, skal man dog være opmærksom på, at det i de fleste tilfælde kun er muligt at bruge ALS-hæmmere til bekæmpelse af uønskede græsarter (f.eks. enårig rapgræs i engrapgræsmarker). Det mest effektive vil være at have afgræsning eller græs til slet. I nogle sydeuropæiske lande har man set gode effekter af flerårige bælgplanter i sædskiftet, som kan virke sanerende på ukrudtspopulationer.

9. Resistensstrategi

Risikoen for udvikling af resistens afhænger af ukrudtsbestanden, dyrkningspraksis og herbicidanvendelsen. Alle tiltag som reducerer ukrudtsbestanden vil også reducere risikoen for resistens. Udvikling af ALS- og ACCase-resistens er envejs proces – der er mulighed for en hurtig stigning i resistensniveau, men resistensen forsvinder ikke ved ophør af brug af herbicider. Derfor er det vigtigt at holde resistensen på lavt niveau, da man ikke kan vende udviklingen men kun begrænse populationen af resistent rajgræs.

En effektiv resistensstrategi afhænger af udgangspositionen – det vil sige, om man er i en situation, hvor man prøver at undgå at få resistens (pro-aktiv), eller om man allerede har resistens, som man skal håndtere (re-aktiv).

I en proaktiv strategi kan følgende faktorer indgå:

1. Varieret sædskifte med mulighed for at anvende herbicider med forskellige virkningsmekanismer.

- *En række tokimbladede afgrøder som roer, kartofler, hestebønne og ærter sanerer for græsukrudt, idet de giver mulighed for radrensning og for brug af Focus Ultra (cycloxydim, HRAC 1).*
- *Vinterraps giver mulighed for at anvende Kerb 400 SC (HRAC 3).*
- *Større andel vårsæd hvor fremspiringen af rajgræs vil være mindre end i vintersæd.*

2. Diversitet i herbicidvalg og omtanke på at mindske afhængigheden af høj risiko midler som ALS- og ACCase-hæmmere (HRAC 2 og 1). Øget brug af herbicider med jordeftekt: Boxer (prosulfocarb, HRAC 15) og Kerb 400 SC. Øget brug af glyphosat (HRAC 9) før eller lige efter såning.

- *Der er mindre risiko for resistens med jordmidler. Der er dog set vigende effekter af Boxer, hvilket understreger behovet for at mindske afhængigheden af herbicider. Resistens over for glyphosat er ikke set i Danmark, men man skal være opmærksom på at glyphosat ikke bør anvendes flere gange i samme vækstsæson.*

3. Rotation eller blanding af herbicider med forskellig virkningsmåde

- *I korn har vi kun to herbicidgrupper at veksle mellem (ALS- og ACCase-hæmmere) til bekæmpelse i vækstsæsonen, hvilket gør det vanskeligt at lave en effektiv resistensstrategi med rotation eller blanding.*
- *Blanding kan øge bekæmpelseeffekten og reducere hastigheden med hvilken resistens udvikles, men det forebygger ikke udvikling af resistens.*

4. Effektive doseringer, tidspunkt og klimabetingelser

- *Her har vi et stort erfaringsgrundlag og beslutningsstøttesystemer til hjælp.*

5. Øget anvendelse af ikke-kemiske metoder (sen såning, øget udsædsmængde, konkurrencedygtige sorter, falsk såbed, mekanisk bekæmpelse) for at mindske afhængigheden af herbicider.

- *Disse metoder er mindre effektive, og effekten er mere variabel end kemisk bekæmpelse. Større afhængighed af klimaforhold. I praksis bør disse metoder derfor kombineres.*

6. Jordbearbejdning

- *Lad stubben være urørt længst muligt. Pløjning er en effektiv måde at få reduceret frøbanken. Etabler så vidt muligt efterafgrøder uden jordbearbejdning*

7. God maskinhygiejne

- *Undgå at få resistens ind fra andre ejendomme med maskiner så som mejetærskere og halmpressere*

8. Besigtigelse af markerne

- *Sikrer at man opdager resistensudvikling så tidligt, at man kan håndluge, afpudse eller på anden måde hindre frøspredning fra resistente planter.*

En re-aktiv strategi indeholder mange af de samme elementer som den proaktive, men sædskifte og ikke kemiske metoder bliver mere centrale, da mulighed for at løse problemet ved sprøjtning er mindre. Har man først fået target-site resistens over for eksempelvis ALS-hæmmere, så kan resistensniveauet ikke reduceres ved at veksle eller blande ALS-hæmmere med herbicider med andre virkemåder. Afhængigheden af jordherbicider som Boxer og Kerb 400 SC bliver større, men disse midler er ofte ikke tilstrækkelig effektive til en fuldstændig bekæmpelse. De ikke kemiske metoder kan bremse opbygningen af resistens men ikke stoppe den.

10. Perspektivering

Miljøstyrelsens resistenshandlingsplan 2019-2022 fokuserer på 7 specifikke indsatsområder inden for hvilke, der er sat forskellige aktiviteter i gang:

1. Et varieret og sundt sædskifte
2. Hensigtsmæssige dyrkningsmetoder
3. Kulturtekniske tiltag og resistente sorter
4. Overvågning af skadegørere og varsling og monitorering
5. Biologiske, fysiske og andre ikke-kemiske metoder
6. Optimalt valg af middel og dosering samt brug af anti-resistens strategier
7. Opfølgning på om indsatsen har virket

Nærværende projekt belyser landmændenes villighed til at ændre adfærd omkring flere af disse indsatsområder og giver dermed også en indikation af, hvor der er behov for den største indsats.

Ad 1. Resultaterne viser, at landmændene er villige til at ændre sædskifte, når de oplever problemer med resistens hos en ukrudsart. En stor del af landmændene har således erstattet vintersæd med vårsæd og taget andre afgrøder som kartofler, majs og frøgræs ind i sædskiftet.

Det vurderes fortsat vigtigt med en indsats omkring oplysning om betydningen af sædskifte for om muligt at få flere til at agere pro-aktivt.

Ad 2. Pløjefri dyrkning er en af de få dyrkningsmæssige tiltag, hvor projektet har vist en signifikant forskel mellem bedrifter med og uden resistens med en hyppigere forekomst på bedrifter med resistens. Landmændene har i stor udstrækning implementeret at lade stubben være urørt for at få flest mulige frø omsat.

Landmændene er bevidste om, at sen såning mindsker problemer med græsukrudt, men der er flere faktorer, som betyder, at det er vanskeligt at praktisere (risiko for dårligt såbed, reduktion i krav om efterafgrøder ved tidlig såning). Øget udsædsmængde og ændrede såmønstre er ikke faktorer, som de inddrager i deres dyrkningspraksis, og her er der behov for en øget indsats.

Der er behov for en øget indsats omkring resistensforebyggelse ved pløjefri dyrkning. Der er behov for at udvikle hensigtsmæssige strategier for pløjefri dyrkning som minimerer behovet for kemisk ukrudtsbekæmpelse. Bedre formidling om fordele ved sen såning og en vejledning i at prioritere såtidspunkt for forskellige marker. Mere viden om fordele ved øget udsædsmængde.

Ad 3. Landmændene er opmærksomme på at gødskning, kalkning og afvanding har betydning for en optimal vækst. Konkurrenceevne er ikke den afgørende faktor for valg af sort. Der er også behov for at undersøge, om sortsblandinger kan øge konkurrenceevnen for nogle afgrøder.

Det er vanskeligt at finde oplysninger om sorterens konkurrenceevne. Disse bør fremover bedømmes og fremgå af sortslisten.

Ad 4. Landmændene er opmærksomme på, når nye ukrudtsarter optræder, eller der er utilstrækkelig bekæmpelse af en art. De bruger tid på at gennemgå markerne – alene eller sammen med planteavlskonsulenten. Deres kortlægning er lav-praktisk, hvor pletter manuelt indtegnes på et kort.

I 2021 laves en ny monitoring af herbicidresistens, som skal vise, om udbredelsen af resistens er ændret i forhold til monitoringen i 2013-15.

Teknologiudvikling inden for dette område bør fremmes. I fremtiden må det antages at robotter og droner kan anvendes til monitoring og at data kan overføres til et markkort. Det er vigtigt for landmændene, at det er nemt at betjene faciliteterne, da de fleste landmænd ikke har den fornødne indsigt i digitale teknikker.

Ad 5. Stor villighed til at håndluge og afpudse arealer hvor nye ukrudtsarter optræder. Der er stor opmærksomhed på risiko for spredning af resistens med markredskaber men samtidig en erkendelse af, at det er svært at undgå på grund af tidspres.

Øget indsats omkring forbedret teknik til rensning af mejetærsker og halmpresser.

Ad 6. Sprøjteplanen laves oftest i samarbejde med planteavlskonsulenten. Landmanden har stor tiltro til, at konsulenten vælger middel og dosering, som er tilpasset ukrudtsforekomsten, og at der veksles mellem midler for at mindske risikoen for resistens.

Efteruddannelse af konsulenter i forhold til herbicidgrupper, virkemekanismer og resistensrisiko bør være et indsatsområde, da landmændene i stor udstrækning følger konsulentens råd. Der bør laves en strategi for, hvordan denne viden bedst muligt formidles til landmændene.

Ad 7. Der kan være en barriere at evaluere indsatsen, når det dyrkede areal er stort. Mange landmænd fortæller dog, at ture i marken for at tjekke effekten af en sprøjtning er noget af det de holder af. Se også under punkt 4.

I forhold til formidling viser projektet, at den vigtigste informationskilde for landmændene er planteavlskonsulenten. Det er derfor vigtigt, at konsulenterne er veluddannede og 'klædt på' til den rette rådgivning om resistens. Fagblade er også en vigtig informationskilde, hvorimod internettet og sociale medier foreløbig ikke er det primære sted, hvor landmændene søger oplysninger, hvilket kan hænge sammen med den høje gennemsnitsalder i erhvervet.

11. Anerkendelser

Vi skylder en stor tak til de landmænd, som har ofret tid på at blive interviewet og finde oplysninger vedrørende markernes historik samt tilladt os at tage prøver af rajgræs i deres marker. Uden deres velvillighed havde det ikke været muligt at gennemføre projektet.

Vores teknikere Betina Annita Bendtsen og Christian Appel Nielsen har ydet et stort arbejde med den praktiske gennemførelse af screening og dosis-respons forsøg.

Også en stor tak til Kirsten Jensen for transskribering af alle interviews, og til Charlotte Hamann Knudsen for opsætning og renskrivning af rapporten.

12. Litteratur

- Cavan G., Cussans J., Moss S.R.. 2000. Modelling different cultivation and herbicide strategies for their effect on herbicide resistance in *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* 40, 561-568.
- Colbach N., Chauvel B., Darmency H., Délye C., Le Corre V., 2016. Choosing the best cropping systems to target pleiotropic effects when managing single-gene herbicide resistance in grass weeds. A blackgrass simulation study. *Pest Management Science* 72, 1910-1925.
- Comont D., Hicks H., Crook L., Hull R., Cocciantelli E., Hadfield J., Childs D., Freckleton R., Neve P. 2019. Evolutionary epidemiology predicts the emergence of glyphosate resistance in a major agricultural weed. *New Phytologist*, 223, 1584-1594.
- Comont D., Neve P. 2021. Adopting epidemiological approaches for herbicide resistance monitoring and management. *Weed Research*, 61, 81–87.
- Diggle A.J., Neve, P., Smith, F.P. 2003. Herbicides used in combination can reduce the probability of herbicide resistance in finite weed populations. *Weed Research* 43, 371-382.
- Elander H., Banke L., Jørgensen P.E. 2021. Integreret bekæmpelse af græsukrudt i korn. *Planter i Fokus*.
- Gaines T., Duke S.O., Morran S., Rigon C.A.G., Tranel P., Küpper A., Dayan F.E. 2020. Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Biochemistry*, 295 (30), 10307-10330. DOI:10.1074/jbc.REV120.013572.
- Gardner S.N., Gressel J., Mangel, M. 1998. A revolving dose strategy to delay the evolution of both quantitative vs major monogene resistances to pesticides and drugs. *International Journal of Pest Management* 44, 161-180.
- Heap I. 2021. The International Herbicide-Resistant Weed Database. Online. Wednesday, August 4, 2021. www.weedscience.org
- Hermann J., Hess M., Streck H., Richter O., Beffe R. 2016. Linkage of the current ALS-resistance status with field history information of multiple fields infested with blackgrass. *Jul-Kuhn_Arch.*, 433, 273-279.
- Hicks H., Comont D., Coutts S.R., Hull R., Norris K., Neve P., Childs D.Z., Freckleton R.P. 2018. The factors driving evolved herbicide resistance at a national scale. *Nature Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0470-1>.
- Jensen P.K. 2016. Longevity of seed of Italian rye-grass following different stubble cultivation treatments. *Applied Crop Protection* 2016. *DCA report no. 094*, 114-118.
- Kaundun S.S. 2014. Resistance to acetyl-CoA carboxylase inhibiting herbicides. *Pest Management Science*, 70 (4), 1405-1417.
- Kudsk P., Mathiassen S.K., Melander B., Jensen P.K., Holst N., Nielsen O., Petersen P.H. 2016. Integreret ukrudtsbekæmpelse i landbrugsafgrøder. Synteserapport. *Bekæmpelsesmiddeforskning nr. 161*, 2016.

- Lacoste M., Powles, S. 2014. Upgrading the RIM Model for Improved Support of Integrated Weed Management Extension Efforts in Cropping Systems. *Weed Technology* 28, 703-720.
- Lemerle D., Verbeek, B., Cousens, R.D., Coombes, N.E., 1996. The potential for selecting wheat varieties strongly competitive against weeds. *Weed Research* 36, 505-513.
- Mathiassen S.K., Kudsk P. 2016. Etablering af en status for forekomst af herbicidresistens i Danmark (2013-2015). *DCA rapport; Nr. 084*.
- Mathiassen S.K. 2018. Herbicide resistance in *Lolium multiflorum* and *Lolium perenne*. *Applied Crop Protection* 2017. *DCA rapport nr. 117*, s. 108-113.
- Mathiassen S.K., Jørgensen L.N., Kristensen M., Enkegaard A., Kudsk P. 2017. Virkemidler mod pesticidresistens. Notat udarbejdet til Miljøstyrelsen.
- Mathiassen S.K. 2017. Notat vedrørende monitoring af resistens hos alm. Og italiensk rajgræs som en IPM indsats. Miljøstyrelsen, J.nr. MST 666-00188.
- Maxwell B., Roush, M., Radosevich, S.R. 1990. Prevention and management of herbicide resistant weeds. In: Heap, J.W. (Ed.), *The ninth Australian weeds conference*. Crop Science Society of South Australia Inc., Adelaide, Australia, pp. 260-267.
- Mennan H., Zandstra B.H. 2005. Effects of wheat (*Triticum aestivum*) cultivars and seeding rate on yield loss from *Galium aparine*. *Crop Protection*, 24 (12), 1061-1067.
- Miljøstyrelsen 2012. Beskyt vand, natur og sundhed. Sprøjtemiddelstrategi 2013-15. [https://mst.dk/media/93546/MST_spr%C3%B8jtemiddelstrategi_21032013%20\(2\).pdf](https://mst.dk/media/93546/MST_spr%C3%B8jtemiddelstrategi_21032013%20(2).pdf)
- Miljøstyrelsen 2021. Bekæmpelsesmiddelstatistik 2019. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 48.
- Miljø- og Fødevareministeriet 2019. Resistenshandlingsplan 2019-2022. <https://mst.dk/media/173783/resistenshandlingsplan.pdf>
- Moss S.R. 1990. The seed cycle of *Alopecurus myosuroides* in winter cereals: a quantitative analysis. *Wageningen, European Weed Research Society*: 27-35.
- Moss S., Tatnell L.V., Hull R., Clarke J.H., Wynn S., Marshall R. 2010. Integrated Management of Herbicide Resistance. Project no. 466. HGCA.
- Neve P., Diggle A.J., Smith F.P., Powles S.B. 2003a. Simulating evolution of glyphosate resistance in *Lolium rigidum* I: population biology of a rare resistance trait. *Weed Research* 43, 404-417.
- Neve P., Diggle A.J., Smith F.P., Powles S.B. 2003b. Simulating evolution of glyphosate resistance in *Lolium rigidum* II: past, present and future glyphosate use in Australian cropping. *Weed Research* 43, 418-427.
- Nielsen G.C., Jensen J.E., Nielsen S.F., Jensen P.K., Hartvig P., Jørgensen L.N. 2021. Vejledning i Planteværn 2021.
- Planteværn Online. <https://plantevaernonline.dlbr.dk/>
- Renton M., Busi, R., Neve, P., Thornby, D., Vila-Aiub, M. 2014. Herbicide resistance modeling: past, present and future. *Pest Management Science* 70, 1394-1404.

SAS 2016. Statistical analysis program 9.4, SAS Institute Inc, Cary, NC, USA

Scarabel L., Panozzo S, Loddo D., Mathiassen S.K., Kristensen M., Kudsk P., Gitsopoulos T., Travlos I., Tani E., Chachalis D., Sattin M. 2020. Diversified Resistance Mechanisms in Multi-Resistant *Lolium* spp. In Three European Countries. *Frontiers in Plant Science*, Bind 11, 608845, 12.

Seefeldt S.S., Jensen J.E., Fuerst E.P. 1995. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed Technology*, 9, 218-227. Doi: 10.1017/S0890037X00023253.

Sønderskov M. 2020. Interviewundersøgelse om ukrudtsbekæmpelse. https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/5/f/6/pl_5111_iwm_interview_undersoegelse_ukrudtsbehandling1.pdf

Sønderskov M., Somerville G, Lacoste M, Holst N., Jensen J.E. 2020. DK-RIM: Assisting Integrated Management of *Lolium multiflorum*, Italian Ryegrass. *Agronomy*, 10, (6), 856; <https://doi.org/10.3390/agronomy10060856>

Tranel P.J., Wright T.R, Heap I.M. 2021. Mutations in herbicide-resistant weeds to Inhibition of Acetolactate Synthase. Online <http://www.weedscience.com>. 8/4/2021.

Yu Q. , Powles S. 2014. Metabolism-based herbicide resistance and cross-resistance in crop weeds: A threat to herbicide sustainability and global crop production. *Plant physiology*, 166, 1106-1118.

Wicks G.A., Nordquist, P.T., Baenziger, P.S., Klein, R.N., Hammons, R.H., Watkins, J.E., 2004. Winter wheat cultivar characteristics affect annual weed suppression. *Weed Technology* 18, 988-998.

Bilag 1. Specifikationer af herbicider

Produkt	Reg. nr.	Aktivstof	Herbicid-gruppe (HRAC)
Agil 100 EC	396-12	Propaquizafop (100 g/L)	1
Atlantis OD	18-505	Mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl-Na + mefenpyr-diethyl (10 + 2 + 30 g/L)	2
Boxer	1-211	Prosulfocarb (800 g/L)	15
Broadway	64-69	Pyroxsulam + florasulam + cloquintocet-mexyl (68,3 + 22,8 + 68,3 g/Kg)	2
Cossack OD	18-564	Iodosulfuron-methyl-Na + mesosulfuron-methyl + mefenpyr-diethyl (7,5 + 7,5 + 22,5 g/L)	2
Focus Ultra	19-93	Cycloxydim (100 g/L)	1
Glyphosat (ingen specifikke produktnavne)	-	Glyphosat (varierende indhold afhængig af produkt)	9
Hussar OD	18-493	Iodosulfuron + mefenpyr-diethyl (100 + 300 g/L)	2
Hussar Plus OD	18-569	Iodosulfuron-methyl-Na + mesosulfuron-methyl + mefenpyr-diethyl (50 + 7,5 + 250 g/L)	2
Kerb 400 SC	64-72	Propyzamid (400 g/L)	3
Mateno Duo 600 SC	18-631	Aclonifen + diflufenican (500 + 100 g/L)	32 + 12
Othello	18-520	Diflufenican + mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl-Na + mefenpyr-diethyl (50 + 7,5 + 2,5 + 22,5 g/L)	12 + 2
Rexade 440	64-100	Pyroxsulam + halauxifen + florasulam (240 + 104,2 + 100 g/Kg)	2 + 4 + 2
Serrate	1-225	Clodinafop-propargyl + pyroxsulam + cloquintocet-mexyl (200 + 75 + 75 g/Kg)	2 + 1
Stomp CS	19-205	Pendimethalin (455 g/L)	3
Topik/Topik EC	1-197/396-74	Clodinafop-propargyl + cloquintocet-mexyl (100 + 25 g/L)	1

Bilag 2. Resultater af screeningsforsøg

Resultater af screeningsforsøg af følsomhed over for Atlantis OD og Topik i populationer udtaget i samme marker i 2017 og 2019-20. S= følsom, R? = delvis resistent, R= resistent. Anvendte kriterier for klassificering er vist i tabel 5.1.

Population	Følsomhed Atlantis OD		Følsomhed Topik	
	2017	2019-20	2017	2019-20
Følsom ref.	S	S	S	S
Følsom ref. 2	S	S	S	S
Resistent ref.	R	R	S	S
DK2017/20_013 LM	S	S	S	S
DK2017/20_034 LM	S	-	S	-
DK2017/20_038 LM	S	R?	S	R?
DK2017/20_045 LM	S	-	S	-
DK2017/20_054 LM	S	R?	S	R?
DK2017/20_070 LM	S	S	S	S
DK2017/20_077 LM	S	S	S	S
DK2017/20_082 LM	S	-	S	-
DK2017/20_055 LM	S	S	R?	R?
DK2017/20_061 LM	S	R?	R?	R
DK2017/20_029 LM	R	R?	R?	R?
DK2017/20_019 LM	R?	R	S	R?
DK2017/20_041 LM	R?	R?	S	R?
DK2017/19_018 LM	R	R?	R?	R
DK2017/20_029 LM	R	R?	R?	R?
DK2017/20_071 LM	R	R?	R	S
DK2017/20_083 LM	R	R	R	R
DK2017/19_016 LM	R	R	S	R
DK2017/19_021 LM	R	R	S	R?
DK2017/20_023 LM	R	R	S	R
DK2017/20_040 LM	R	-	R?	-
DK2017/20_046 LM	R	R	S	S
DK2017/20_060-LM	R	R	S	R?
DK2017/19_067 LM	R	R?	S	R?
DK2017/20_076 LM	R	R	R?	R?
DK2017/19_086 LM	R?	R	S	R
DK2017/20_090 LM	R?	R?	R?	R?
DK2017/20_074 LM	R?	R?	R?	R?
DK2017/20_078 LM	R?	R?	R?	R?

Bilag 3. Interview protokol

Introduktion

Formålet med interviewene er at få indblik i de agronomiske metoder en gruppe landmænd med følsomt rajgræs og en gruppe med resistent rajgræs anvender. Vi forsøger også at danne os et billede af driftsformen, landmændenes uddannelsesniveau og viden om resistens, deres tanker og holdninger til deres specifikke ukrudtsproblemer og den måde, de tager beslutninger om ukrudtsbekæmpelse og forebyggelse. Specielt er vi interesserede i at undersøge, om der findes nogle fælles træk for ejendomme med og uden resistensudvikling.

I interviewet bliver du bedt om din mening og holdning om den generelle situation omkring ukrudt og ukrudtsbekæmpelse på din gård, og de specifikke problemer du har i de afgrøder, du dyrker. Vi vil også meget gerne have adgang til din markplan og sprøjtejournal, for at se dit sædskifte og hvilke midler og doser du har brugt til at bekæmpe de ukrudtsarter, hvor der er størst risiko for resistens.

Den første del af interviewet handler generelt om din gård og om dig som landmand

1. Vil du beskrive din gård?

- Størrelse
- Har du husdyrhold?
- Hvilke afgrøder dyrker du? Hvad er det typiske sædskifte?
- Jordtype
- Dækker din gård over store afstande?
- Ejerskabsforhold/forpagtning/leje
- Har du ansatte?
- Bruger du maskinstation og i givet fald til hvilke typer opgaver?
- Er det nogle specielle hensyn på din gård, noget der adskiller sig fra andre gårde?
- Hvor henter du den største indkomst i landbruget – husdyr/planteavl?

2. Hvor lang tid har du været landmand?

- Blev din gård drevet på samme måde før du overtog? (arvet, købt af familie, har du inkluderet nye områder)

3. Er du fuldtidslandmand?

4. Hvor gammel er du?

5. Hvilket uddannelsesniveau?

- Folkeskole
- Ungdomsuddannelse
- Erhvervsuddannelse/landbrugsskole
- Universitetsuddannelse (Bachelorgrad)
- Universitetsuddannelse (kandidatgrad)
- Andet:

Den næste del af interviewet fokuserer på ukrudtet på din gård. Du skal have din hovedafgrøde i baghovedet, når du besvarer spørgsmålene.

6. Hvilke ukrudtsproblemer har du i din hovedafgrøde?

7. Er disse problemer relateret til andre problemer på din gård?

- Sygdomme
- Skadedyr
- Næringstoffer
- Vand (over-el. underskud)
- Jordkvalitet

8. Bruger du maskinstation til nogle opgaver?

Den følgende del af interviewet er om, hvordan du styrer ukrudtsproblemerne på din gård.

9. Hvad gør du for at undgå og bekæmpe ukrudt?

- Varieret sædskifte (afgrødevalg, specielle tiltag i markkanten, efter- og mellemafgrøder, såmønster)
 - Har ukrudtet indflydelse på dit valg af afgrøde (og sorter) i den enkelte mark?
 - Hvilke redskaber bruger du direkte eller indirekte for at undgå ukrudtsfremspiring før afgrøde etablering?
- Sortsvalg og afgrøde etablering (sortsvalg, frøkvalitet, såtæthed, såtidspunkt, sådybde, såmønster, udplantning)
 - F.eks. er sådybde noget du tænker på?
- Jordbearbejdning og jordkvalitetkvalitet (placering af næringsstoffer, type af jordbearbejdning og dybde, organiske materiale (dødt eller levende), stubbehandling, såbedsforarbejdelse, vanding og afvanding/dræning, kalkning)
- Målrettet bekæmpelse
 - Hvilke redskaber bruger du i den direkte bekæmpelse? (herbicer/Pre-E + Post-E, glyphosate, båndsåprøjtning, mekanisk bekæmpelse, biologisk bekæmpelse, håndlugning, opsamling af ukrudtsfrø ved høst, slåning, ukrudtsbrændere)
- Kemisk bekæmpelse
 - Hvem laver din sprøjteplan?
 - Bruger du behovstilpassede doseringer?
 - Veksler du mellem ukrudtsmidler fra forskellige herbicidgrupper?

10. Evaluerer du din ukrudtsbekæmpelse, og hvordan gør du det?

- Manuelt –går en tur i marken
- Digitalt via drone, robot eller lign
- Tager noter til senere brug
- Rådgiver
- Hvordan opbevarer du disse data?

11. Påvirkes dit valg af metode til ukrudtsbekæmpelse af eksterne faktorer som miljø, æstetik, den offentlige mening om sprøjtemidler, jordkvalitet og struktur eller andet?

12. Er der nogle faktorer som du mener har stor betydning for dit valg af ukrudtsbekæmpelsesmetode?

- Risikovillighed.
- Traditioner
- Lovgivningsmæssige faktorer?
- Klimafaktorer
- Jordtype
- Dyrkningssystemet
- Maskiner
- Teknologi
- Økonomiske faktorer

13. Ved du at nogle ukrudtsarter i Danmark har udviklet resistens over for herbicider?

Hvis nej – gå til 16

14. Ved du hvilke ukrudtsarter i Danmark der har udviklet resistens?

15. Har du selv oplevet problemer med resistent ukrudt på din ejendom? Hvis ja, hvilke arter?

16. Hvordan fandt du ud af at disse arter var resistente?

17. Gør du noget for at undgå resistensudvikling?

Hvis nej – gå til 18

18. Hvilke strategier bruger du? Landmanden præsenteres for bilag 1.

19. Oplever du nogle specifikke udfordringer ved at anvende denne strategi? Det kunne f.eks. være større arbejdsindsats, udbyttenedgang, økonomi, klima eller større variation i effekt.

20. Hvor har du din viden om resistent ukrudt fra?

21. Hvor stor tror du risikoen for udvikling af resistens i Danmark er på en skala fra 1 (lav) til 10 (meget høj)?

22. Der er forskellige måder landmænd kan få adgang til information om ukrudtsbekæmpelse, hvilke benytter du? Landmanden præsenteres for bilag 2.

23. Hvor mange gange har du deltaget i efteruddannelse inden for de sidste to år?

Bilag 3.1 Strategi til at forsinke resistensudvikling

Veksle mellem herbicider med forskellig virkemåde i sædskiftet	Pløjning
Veksle mellem herbicider med forskellig virkemåde i den enkelte afgrøde	Veksle mellem korn og bredbladede afgrøder
Anvende anbefalede doseringer	Veksle mellem efterårs- og forårssåede afgrøder
Anvende jordherbicider som Boxer, Stomp og Command	Mekanisk bekæmpelse
Anvende glyphosat før fremspiring	Sen såning af vintersæd

Bilag 3.2 Informationskilder – ukrudtsbekæmpelse og resistens

Kolleger	Tidsskrifter/ fagblade
Informations/ demonstrationsdage	Sociale medier (Facebook, Twitter o.l.)
Internettet generelt	Uddannelse
ERFA grupper	Information fra industrien
Firmarådgivere	Kontraktarbejdere
Uafhængige rådgivere	Erfaring fra familie og venner

Resistent rajgræs – udvikling og forebyggelse

Projektet belyser, hvilken betydning dyrkningssystemet for resistensudvikling over for de to vigtigste herbicidgrupper som anvendes til bekæmpelse af rajgræs – ALS- og ACCase- hæmmere. Resistensudviklingen i 28 populationer af italiensk rajgræs (13 følsomme og 15 resistente) blev fulgt fra 2017 til 2020. Der blev fundet en hyppigere forekomst af resistens over for ALS-hæmmere (Atlantis OD) end over for ACCase-hæmmere (Topik). Resistensniveauet var generelt højere i 2020 end i 2017. Ved molekylær analyse af udvalgte populationer blev der fundet to kendte mutationer i ALS-genet og 3 kendte mutationer i ACCase-genet. En stor del af de resistente populationer havde dog ingen eller lav frekvens af mutationer, hvilket indikerer, at metabolisk resistens var årsag til nedsat herbicideffekt i mange populationer. Interviews vedrørende dyrkningssystem med de involverede landmænd viste, at resistens var hyppigere forekommende på arealer med pløjefri dyrkning end på pløjede arealer, samt at der var en større andel vårsæd og vekselafrøder på bedrifter med resistent rajgræs. Sidstnævnte skyldtes, at landmændene med resistent rajgræs havde ændret sædskifte for at håndtere resistensproblemet. Kemisk bekæmpelse var den primære direkte bekæmpelsesmetode på alle bedrifter, og oplysninger om herbicidanvendelse i de seneste 7 år viste en hyppigere anvendelse af ALS-hæmmere end af ACCase-hæmmere til bekæmpelse af græsukrudt og en tendens til en større intensitet af behandlinger på bedrifter med resistent rajgræs. På baggrund af resultaterne blev den eksisterende DK-RIM model udbygget med udvikling af target-site resistens (DK-RIM-res) over den 10-årige periode som systemet dækker.



Miljøstyrelsen
Tolderundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk