

Vertikalskärning och avslagningar istället för svartträda för att reglera kvickrot



Vertikalskärning av vall vid Säby utanför Uppsala. Foto: Göran Bergkvist.

Projektansvarig: Göran Bergkvist, Institutionen för växtproduktionsekologi, SLU.

Projektgrupp: Björn Ringselle, Institutionen för växtproduktionsekologi, SLU (numera RISE), Lars Olav Brandsaeter, Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO), Division of Biotechnology and Plant Health.

Finansiär: SLU Ekoforsk

Sammanfattning

Det finns ett behov av alternativa metoder och skötselstrategier för fleråriga ogräs, särskilt för att kunna utveckla system med reducerad eller minimal jordbearbetning i ekologisk odling. Vi vill bidra genom att utveckla ett system där mängden kvickrot regleras av en kombination av konkurrens, klippning och vertikalskäring. I del 1 av projektet genomfördes fältexperiment där vallväxter etablerades på våren följt av en kombination av rhizomfragmentering och upprepad klippning. Hypoteserna som testades var att: (1) rhizomfragmentering minskar andelen kvickrot och ökar den totala produktionen i en gräs-klövergröda, (2) effekten på kvickrot förstärks av upprepad klippning och (3) konkurrens från vitklöver minskar kvickrotens rhizombiomassa relativt sett mer, och biomassaproduktionen relativt sett mindre, än italienskt rajgräs. Del 2 av projektet syftade till att kvantifiera effekten av rhizomfragmentering på konkurrensförhållandena mellan kvickrot och sådda gräs och klöver, samt på avkastningen hos en vall. Hypoteserna var att användning av skärande vertikala skivor i vallen skulle 1) minska förekomsten av kvickrot mätt som rhizombiomassa på hösten och som andelen kvickrot i skottbiomassan vid skörd, samt 2) öka avkastningen.

Slutsatser var att:

- Rhizomfragmentering med vertikala skivor minskar kvickrotens rhizom- och skottbiomassa samtidigt som det ökar skottbiomassan hos samodlat italienskt rajgräs och vitklöver.
- Effekten av rhizomfragmentering på kvickrot är lika stor om den genomförs före sådd av grödan eller när grödan är väletablerad och i relativa termer är effekten av dubbla behandlingar additiv.
- Upprepad klippning som utförs under växtsäsongen minskar mängden kvickrot och mängden gröda uppmätt på hösten i liknande proportioner.
- Vitklöver tenderar att ha en relativt större effekt på mängden rhizom i förhållande till mängden skott än italienskt rajgräs, medan en blandning av vitklöver och italiensk rajgräs verkar kombinera effekten av de ingående grödorna.
- Rhizomfragmentering på våren i vallar minskar mängden kvickrotsrhizom och andelen kvickrot i den skördade biomassan. Effekten var dock inte lika stor som potentialen visade i del 1 av projektet.
- Rhizomfragmentering på våren i vallar riskerar att minska den totala avkastningen.

Den sammanfattande slutsatsen är att rhizomfragmentering i kombination med konkurrens fungerar för att minska mängden kvickrot, men att den behöver göras när marken är tillräckligt lucker för att tallrikarna ska kunna tränga ner bra och att vallar då förmodligen inte är det bästa alternativet.

Summary

There is a need for alternative methods and management strategies for perennial weeds, especially to be able to develop systems with reduced or minimal tillage in organic farming. We want to contribute by developing a system where the amount of couch grass is regulated by a combination of competition, mowing and vertical cutting. In part 1 of the project, field experiments were carried, where Italian ryegrass and white clover were established in the spring followed by a combination of rhizome fragmentation and repeated mowing. The hypotheses tested were that: (1) rhizome fragmentation reduces the proportion of couch grass and increases the total production in a grass-clover crop, (2) the effect on couch grass is enhanced by repeated mowing and (3) competition from white clover reduces the rhizome biomass mass relatively more, and shoot biomass production relatively less, than Italian ryegrass. Part 2 of the project aimed to quantify the effect of rhizome fragmentation on the competitive conditions between couch grass and sown grasses and clovers, as well as on the yield of the forage crop. The hypotheses were that vertical cutting of the ley would, 1) reduce the amount of couch grass measured as rhizome biomass in the autumn and as the proportion of couch grass in the shoot biomass at harvests, and 2) increase the total yield.

Conclusions were that:

- Rhizome fragmentation through vertical disks has a reductive effect on couch grass rhizome and shoot biomass acquisition and increases the shoot biomass of grass–clover companion crops.
- The detrimental effect of rhizome fragmentation on couch grass is unaffected by whether it is performed pre-sowing or in the growing crop, and it is cumulative with number of applications. Fragmentation in the growing crop results in more companion crop biomass than when performed pre-sowing.
- Repeated mowing performed during the growth season has a strong reductive effect on both couch grass and the companion crops.
- White clover tends to have a relatively larger effect on rhizomes compared with shoots than Italian ryegrass, while a white clover-Italian ryegrass mixture seems to combine the effect of the component crops.
- Rhizome fragmentation in the spring in dikes reduces the amount of couch grass rhizomes and the proportion of couch grass in the harvested biomass. However, the effect was not as great as the potential showed in part 1 of the project.
- Rhizome fragmentation in the spring in ley crops risks reducing the total yield.

The conclusion in summary is that rhizome fragmentation in combination with competition works to reduce the amount of couch grass, but that it needs to be done when the soil is loose enough for the discs to penetrate well and that leys are probably not the best option for the operation.

Introduktion

Krypande fleråriga växter utgör en stor utmaning för integrerat växtskydd (IPM), bevarandjordbruk och särskilt ekologiskt jordbruk (Melanders et al., 2016). I konventionellt jordbruk bekämpas fleråriga ogräs vanligtvis med icke-selektiva herbicider (oftast glyfosat) eller med selektiva herbicider i toleranta grödor (t.ex. graminicider i tvåhjärtbladiga grödor). Utan herbicider krävs normalt intensiv jordbearbetning för att reglera mängden krypande perenner på ett tillfredsställande sätt (Håkansson, 2003). En sådan intensiv jordbearbetning är tids- och energikrävande och leder till långa perioder av bar jord, vilket i sin tur innebär stor risk för näringsläckage (Myrbeck et al., 2012; Aronsson et al., 2015) och jorderosion (Meyer et al., 1999). Det finns därför ett behov av alternativa metoder och skötselstrategier för fleråriga ogräs, särskilt för att kunna utveckla system med reducerad eller minimal jordbearbetning i ekologisk odling.

Elymus repens (L.) Gould, kvickrot, är ett flerårigt gräs med underjordiska stamutlöpare, rhizom, som kan orsaka skördeförluster i både ettåriga och fleråriga grödor (Ringselle et al., 2020). I områden som i norra Europa, där spannmål och vallar dominerar jordbruket, är kvickrot särskilt svår att kontrollera utan glyfosat även i konventionell odling, eftersom det finns få effektiva selektiva herbicider att använda mot kvickrot och för att klimatet gynnar arten. Dessa omständigheter är en viktig drivkraft för användning av glyfosat inom konventionellt jordbruk och jordbearbetning inom det ekologiska.

Frön av kvickrot är bara livskraftiga i några år och den huvudsakliga förökningskapaciteten hos kvickrot och orsaken till dess konkurrenskraft härrör därför från dess snabbt växande rhizomnätverk. Dessa underjordiska stamutlöpare fungerar som föröknings-, lagrings- och spridningsorgan (Kleijn och Van Groenendaal, 1999), och nätverket gör det möjligt att dela resurser och information mellan olika delar av plantan (Liu et al., 2016). Anledningen till att kvickroten främst är en problemart i de tempererade områdena i världen är att höga temperaturer missgynnar rhizomproduktionen (Håkansson, 1969).

För att reglera mängden kvickrot utan herbicider, är det en vanlig strategi att använda upprepad jordbearbetning för att fragmentera rhizomnätverket och sedan svälta det genom att tvinga kvickroten att använda sina resurser för att skjuta nya skott i omgångar (Ringselle et al., 2016), följt av en vändande jordbearbetning med plog på hösten eller på våren (Brandsæter et al., 2017). Ju mindre rhizomfragmenten är och ju djupare de blir begravda i jorden, desto mindre sannolikt är det att deras nya skott når markytan (Håkansson, 1968).

Rhizomfragmentering utan plöjning kan leda till att kvickroten sprider sig snabbare genom att generera fler, om än svagare, skott (Vengris, 1962; Håkansson, 1968). Nya studier har dock funnit att rhizomfragmentering ofta resulterar i antingen en ökning av antalet huvudskott på bekostnad av sidoskott (Kolberg et al., 2018) eller en direkt minskning av skottantal och rhizomproduktion (Bergkvist et al., 2017). Bergkvist et al. (2017) fann att fragmentering med spade ner till 10 cm djup i ett 10 × 10 cm mönster kunde minska kvickrotens rhizomproduktion med upp till 60 % i en vitklövervall.

Fleråriga ogräs som kvickrot tenderar att öka när gräsmarker och vall åldras (Håkansson, 2003), vilket ersätter bättre avkastande och näringsrikare sådda arter, samt utgör en risk för efterföljande grödor. Även om rhizomfragmentering inte skulle vara tillräckligt effektiv för att hantera kvickrot som en enskild åtgärd kan effekten ökas genom upprepade klippningar (Bergkvist et al., 2017),

Efter skörd av huvudgrödan har insådda vallarter med eller utan upprepad klippning under hösten i de flesta fall haft en marginell effekt på kvickrotens biomassa, särskilt i regioner med kort höstväxtsäsong (Brandsæter et al., 2012; Melander et al., 2012; Melander et al. al., 2013; Ringselle et al., 2015). Även om det finns några undantag, till exempel Bergkvist et al. (2010) som fann att rödsvingel insådd i samband med sådd av höstvet, dvs redan på hösten, minskade kvickrotens rhizombiomassa med 40 %. När klippningen genomförs upprepade gånger under sommaren istället för på hösten minskade kvickrotens rhizombiomassa på senhösten med mer än 75 % i försök av Bergkvist et al. (2017), även om klippfrekvensen i dessa försök var orealistiskt höga för de flesta praktiska användningsområden. Det råder inte enighet i litteraturen om en mer normal klippfrekvens är effektiv för att hålla kvickroten på en hanterbar nivå (Ringselle et al., 2020), eventuellt på grund av regionala skillnader. Det finns en tydlig skillnad mellan *E. repens*-kloner i deras känslighet för klippning (Neuteboom, 1981).

Vi vill bidra till utvecklingen av ett ekologiskt jordbruk med mindre användning av jordbearbetning för att kontrollera kvickrot, genom att införa ett system där mängden kvickrot regleras av en kombination av konkurrens, klippning och vertikalskärning. Syftet med detta projekt var att undersöka betydelsen vallväxttyp, klippning och vertikalskärning för regleringen av mängden kvickrot.

Del 1 av projektet är delvis finansierat via CORE Organic Plus (FertilCrop) och finns publicerat i Ringselle et al (2018). I ett fältexperiment etablerades vallväxter på våren följt av en kombination av rhizomfragmentering och upprepad klippning. Hypoteserna som testades var att: (1) rhizomfragmentering minskar andelen kvickrot och ökar den totala produktionen i en gräs-klövergröda, (2) effekten på kvickrot förstärks av upprepad klippning och (3) konkurrens från vitklöver minskar kvickrotens rhizombiomassa relativt sett mer, och biomassaproduktionen relativt sett mindre, än italienskt rajgräs. Rhizomfragmenteringen genomfördes med en nyligen utvecklad prototyp, Kvernelands vertikala rhizom/rotskärare (traktordragen), som använder vertikala skivristar tagna från en plog för att fragmentera rhizom med minimal markstörning.

Del 2 av projektet möjliggjordes ekonomiskt genom att en del samordningsvinster kunde göras med projektet FertilCrop (se ovan) och att ett norskt forskningsråd bidrog med halva finansieringen (LONGGRASS). Resultaten är i skrivande stund inte publicerade, men en uppsats är skickad till vetenskaplig tidskrift och är under granskning. Syftet med denna del av projektet var att kvantifiera effekten av rhizomfragmentering på konkurrensförhållandena mellan kvickrot och sådda gräs och klöver, samt på avkastningen, vilket skulle kunna ge stöd åt konceptet som presenteras av Bergkvist et al. (2017) och som sedan utvecklades i Ringselle et al. (2018). Tvååriga experiment genomfördes 2017-

2018 och 2018-2019 på två platser utanför Uppsala i Sverige. På en av platserna vitaliserades en gammal vall genom insädd av klöver och gräs i samband med den tidiga fragmenteringen, och på den andra platsen såddes en gräs-klöverblandning in i korn två år innan behandlingarna gjordes. Förekomsten av kvickrot var riklig på båda försöksplatserna. Hypoteserna var att användning av skärande vertikala skivor i vallen skulle 1) minska förekomsten av kvickrot mätt som rhizombiomassa på hösten och som andelen kvickrot i skottbiomassan vid skörd, samt 2) öka avkastningen.

Material och metod del 1

Försöksplatser

Experimenten genomfördes 2014 och 2015 vid Krusenberg söder om Uppsala (N 59 440, E 17 390). Den föregående grödan var korn 2014 och träda med syfte att bevara kvickrotspopulationen 2015. Inför försöket 2014 genomfördes höstplöjning följt av vårharvning, medan både plöjning och harvning utfördes på våren 2015. Jorden på platsen består av 20 % lera, 43 % silt, 33 % sand och 4 % organiskt material.

Försöksplan

Experimentet var arrangerade enligt en strip-plot-plan (Gomez och Gomez, 1984) med fyra upprepningar. Fyra faktorer undersöktes i faktoriella kompletta block med sammanlagt 32 behandlingskombinationer. Dessa fyra faktorer var: (1) gröda (ingen, italienskt rajgräs, vitklöver eller en blandning av rajgräs och klöver), (2) upprepad klippning, (3) tidig rhizom fragmentering (ERF: före sådd av gröda), och (4) sen rhizomfragmentering (LRF: några veckor efter sådd). Grödan och ERF-behandlingarna randomiserades i kolumner, och klippning och LRF randomiserades i rader (figur 1). Total rutstorlek var 4 m x 4 m 2014 och 3 m x 3 m 2015. ERF utfördes före sådd av grödan och LRF i den växande grödan. Vitklöver (*Trifolium repens* L. cv. Klondike) och italienskt rajgräs (*Lolium multiflorum* Lam. cv. Fredrik) såddes med 12–13 cm radavstånd och med en utsädesmängd av 10 respektive 20 kg ha⁻¹, samt med 5 och 10 kg ha⁻¹ i de blandade grödorna. Ingen växtnäring tillfördes. Klippningen gjordes till 3–5 cm höjd med hjälp av en vanlig roterande gräsklippare, när kvickrotsskotten i genomsnitt hade 3–4 blad. Detta resulterade i 10 klippningar 2014 och åtta klippningar 2015, med ett genomsnittligt klippningsintervall på 16 respektive 13 dagar. Det klippta materialet lämnades på fältet. Markvattenkoncentrationen mättes 10 gånger i varje block vid varje klippning (ThetaProbe typ ML2x, Delta-T Devices, England). Rhizomfragmentering genomfördes med en Kverneland prototyp (Kverneland Group Operations, Norge) som monterats med vertikala skivristar tagna från en plog. Diskarna gjorde en skåra genom jorden för att skära av rhizom och rötter med minimal störning av markytan. De vertikala skivorna satt 10 cm från varandra och maskinen var 1,5 m bred. Maskinen kördes genom mitten av rutorna och sedan igen vinkelrätt mot den första körningen, vilket resulterar i ett

rutmönster. År 2014 nådde ERF 10 cm djup, men LRF nådde bara ett djup av 8 cm på grund av hårda markförhållanden. År 2015 nådde ERF 12–14 cm, medan LRF nådde 8–9 cm.

WC	IR		IR		WR+IR	WR+IR	WC
WC	IR		IR		WR+IR	WR+IR	WC
WC	IR		IR		WR+IR	WR+IR	WC
WC	IR		IR		WR+IR	WR+IR	WC

Figur 1. Illustration av planen för ett block i försöken i del 1 av projektet där behandlingar införs vertikalt i kolumner och horisontellt i rader. Vertikala ränder i kolumner avser tidig vertikalskärning (ERF) och horisontella ränder i rader avser sen vertikalskärning. Bokstäverna i kolumner anger gröda, vitklöver (WC), italienskt rajgräs (IR). Det skuggade området i de två översta raderna klipptes upprepade gånger under försökets gång (M).

Provtagningar och analyser

Tre metoder användes för att mäta förekomsten av kvickrot: skottantal, rhizombiomassa och skottbiomassa. Utöver förekomsten av kvickrot mättes kvävekoncentrationen (N) i kvickrotsskotten och biomassan av den sådda grödan. Provtagningen fokuserade på de behandlingskombinationer som testade de initiala hypoteserna. Antalet kvickrotsskott (inklusive både huvudskott och sidoskott) med minst ett fullt utvecklat blad räknades i mitten 0,8 m x 0,8 m (0,64 m²) av rutan vid tre olika tillfällen: (1) strax före det första klippning, (2) före den tredje klippning och LRF, och (3) i augusti, före den första rhizomprovtagningen. Rhizomprovtagning för biomassabestämning gjordes i början av augusti och i oktober–november. I augusti placerades en 0,8 m 0,8 m (0,64 m²) ram i mitten av alla rutor med gräs-klöverblandning. Totalt togs åtta prover runt om utanför ramen, två på varje sida, med hjälp av en golfhålsbör (10,5 cm diameter, 21 cm djup). Alla rhizomer från proverna samlades in och rengjordes med vatten, och färsk viken uppmättes. En delmängd av rhizomerna valdes slumpmässigt ut för ett groningstest (se nedan), och resten torkades i 24 timmar vid 105 C och torrvikten registrerades. Torr vikten av de rhizomer som togs för grobarhetstestet uppskattades baserat på skillnaden mellan färskvikt och torr vikt för de rhizom som vägdes både färskt och torrt. I oktober–november grävdes 0,8 m 0,8 m (0,64 m²) upp i centrum av alla rutor gräs-klöverblandning och även med de andra grödorna och kontrollen i de rutor som klipptes, men där rhizomfragmentering inte utfördes. Rhizomen torkades vid 50 C under 48 timmar och torr vikten var bestämdes. I oktober–november, före den sena rhizomprovtagningen, klipptes all den ovanjordiska biomassan av vid markytan i samma rutor som

rhizombiomassan sedan bestämdes. Den ovanjordiska biomassan delades upp i italienska rajgräs, vitklöver, kvickrot och annat ogräs, och torkades sedan vid 50 C i 48 timmar. På hösten samlades kvickrotsskott slumpmässigt från centrum 0,8 m 0,8 m (0,64 m²) av alla klippta ytor utan rhizomfragmentering. Skotten torkades vid 50 C under 48 timmar och analyserades med avseende på kvävehalt (Leco CNS-2000, Leco, Corp., St. Joseph, MI, Förenta staterna).

Rhizommaterialet som hämtades in i början av augusti skars i 5-cm bitar med minst en nod. Tjugo rhizombitar valdes slumpmässigt från varje ruta. De äldsta och yngsta rhizomerna användes inte. Deras totala färskvikt registrerades. Två filterpapper placerades i botten av petriskålar (90 mm) och sprayades med 5 ml destillerat vatten. Fyra rhizom bitar lades i varje petriskål, med totalt fem skålar per behandling. Petriskålarna förseglades med paraffinfil, täcktes i aluminiumfolie och placerades i klimatkammare i 2 veckor. Temperaturen i klimatkammaren var 17 C under dagen (16 h) och 9 C på natten (8 h). Efter 2 veckor separerades kvickrotens skott och rhizombiomassa och vägdes efter torkning i 105 C i 24 timmar.

Resultaten analyserades i blandade linjära modeller behandlingar (medföljande gröda, ERF, LRF och slåtter) och deras samspel som fasta faktorer och år, block, rader och kolumner som slumpmässiga faktorer. När inte alla behandlingskombinationer var provtagna analyseras behandlingseffekterna i separata modeller. Tukey-Kramer-tester och kontraster användes för medelvärdesjämförelser. All analys utfördes med proc GLIMMIX i SAS 9.4 (SAS Institute, Inc.).

Material och metod del 2

Försöksplatser

Experimenten genomfördes på två fält med naturliga populationer av kvickrot nära Uppsala. Det första fältet låg vid Lövsta (59°50' N 17°46' E) och hade skötts som gräsmark innan försöken. Jorden består av 50 % ler, 46 % silt och 4 % sand och med 5 % mull. Vid Säby (59°49' N 17°42' O) såddes en gräsklöverblandning in i vårkorn 2015. Jorden består av 21 % ler, 50 % silt och 29 % sand, med 5 % mull.

Försöksplan

Experimentet var tvåfaktoriellt och utformat i randomiserade kompletta block. Det genomfördes två gånger på varje plats (2017-2018 och 2018-2019) i angränsande områden inom samma fält med fem upprepningar på varje plats och år. Faktorerna var (1) tidig rhizomfragmentering (ERF) utförd på våren när marken var tillräckligt torr och innan större tillväxt startade (Ja/Nej) och (2) sen rhizomfragmentering (LRF) utförd så snart förhållandena tillät efter det första skörden (Ja) /Nej). Således fanns det 20 rutor per experimentmiljö (4 behandlingskombinationer × 5 upprepningar). Rutorna var 4 m × 12 m, men endast 1,5 m × 12 m längs mittaxeln användes för provtagning och avkastningsbestämning

Skötsel av experimenten

Gräs-klöverblandningen såddes in i korn 2015 på Säby och såddes om i samband med behandlingarna vid Lövsta. En utsädesblandning bestående av 47 % timotej cv. Switch, 18 % ängssvingel cv. Tored, 18 % engelskt rajgräs cv. SW Birger, 10 % rödklöver cv. Vicky och 7 % vitklöver cv. Edith. På Säby användes inget gödsel, men vid Lövsta tillfördes 20 ton ha⁻¹ nötkreaturgödsel tidigt på våren under alla försöksår. Vallen skördades tre gånger varje år enligt lokal praxis, med användning av en vallskördare (Haldrup F-55, Haldrup GmbH) med en klipphöjd på cirka 8 cm.

Rhizomfragmentering genomfördes med samma maskin som används i delprojekt 1, men med avstrykare monterade nära skivorna för att förhindra att jord lyfts av de rullande skivorna. Planen var att använda samma behandlingsstrategi som i delprojekt 1, det vill säga köra maskinen två gånger (den andra körningen vinkelrätt mot den första) för att skapa ett kors och tvärs mönster, med 10 cm behandlingsdjup och 10 cm skivavstånd.

Både 2017 och 2018 var utmanande år för rhizomfragmenteringen. Våren var kall båda åren och somrarna var torra. År 2017 var torr och kall och 2018 exceptionellt torr och varm. Både ERF och LRF utfördes senare än vad som ursprungligen var tänkt på grund av vädret. Även med extra vikter (upp till ett ton) var det svårt att utföra LRF-behandlingen under de torra sommarförhållandena då marken var mycket hård, särskilt den styva leran vid Lövsta. Som ett resultat varierade skivdjupet mellan 5 och 11 cm. För LRF 2017 lutades maskinen för att lägga extra vikt på den främre skivraden, så att de kunde tränga ner i jorden; vilket innebar att endast den första raden med skivor användes. Det innebar ett skivavstånd på 20 cm. För att uppnå det avsedda skivavståndet på 10 cm kördes maskinen två gånger i varje riktning.

Provtagningar och analyser

För att få ett startvärde på mängden kvickrot mättes kvickrotens skottäthet strax före ERF med hjälp av en graderingsgaffel (Ringselle et al., 2015). Graderingsgaffeln ger ett värde för skottäthet mellan 0 och 3 genom att registrera förekomst/icke-förekomst av minst ett kvickrotsskott i de tre mellanområdena (3 × 0,333 m²) av gaffeln. Gaffeln placerades tio gånger med jämna mellanrum längs mitten av varje ruta.

Avkastningen de tre skördarna under behandlingsåret (Y1) och det påföljande året (Y2) registrerades rutvis och togs central i rutan på 1,5 m × 12 m. Den botaniska sammansättningen bestämdes omedelbart före de två första skördarna varje år genom att ta tolv knytnävsstora vegetationsprover i den centrala remsan av varje ruta och slå ihop dem till ett prov per ruta. Varje prov separerades sedan i kvickrot, sådda gräs, rödklöver, vitklöver, ettåriga ogräs och andra fleråriga ogräs. Varje fraktion torkades 72 timmar i 60°C och vägdes för att bestämma artsammansättning och torrsubstanshalt för beräkning av avkastningen.

Den tredje skörden i Y2 i försöket 2017-2018 vid Lövsta genomfördes inte eftersom torra förhållanden gjorde att grödan inte växte. I experimenten 2018-2019 registrerades inte förstaskördens avkastning på

Säby grund av ett fel. Den botaniska sammansättningen bestämdes därför vid andra- och tredjeskörden istället för i första och andra. Den botaniska sammansättningen bestämdes i tredjeskörden vid Lövsta 2018, eftersom torkan gjorde växterna svåra att identifiera.

Kvickrotens rhizombiomassa samlades in hösten Y1 genom att gräva upp alla rhizomer inom två 0,25 m² kvadranter. Döda rhizomer separerades från de levande före torkning. Rhizomen torkades i 72 timmar i 60°C timmar och torrsubstansvikten bestämdes.

Markvattenkoncentrationen i samband med skörd bestämdes (ThetaProbe typ ML2x, Delta-T Devices, England). Kvävehalten av *E. repens* skott bestämdes från prover tagna före den andra skörden i Y1. Koncentrationerna av totalt kväve (N) och totalt kol (C) bestämdes (Trumac CN, Leco corp, S:t Joseph, MI, USA).

Före statistisk analys omvandlades avkastningen och rhizombiomassan till g m⁻² och den totala (kumulativa) skörden beräknades per år och över båda åren. Avkastningsdata logtransformerades före analys. Rhizombiomassa och totalavkastning analyserades med hjälp av blandade linjära modeller med behandlingsfaktorerna (ERF, LRF, plats och startår) och deras samspel som fasta faktorer, och upprepningarna som slumpmässig faktor. Det togs hänsyn till att avkastning och botanisk sammansättning bestämdes upprepade gånger i samma ruta. Alla statistiska analyser gjordes i Rstudio 1.2.5033 (RStudio, Inc.) med hjälp av lme- eller lmer-funktionerna.

Resultat del 1

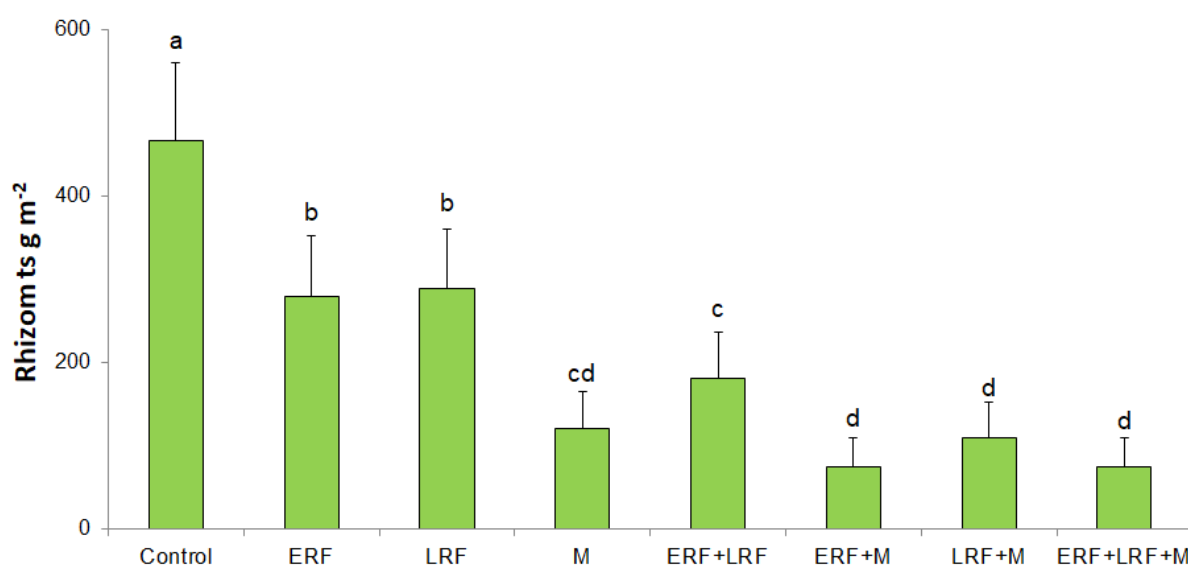
Grödornas tillväxt

I oktober–november var kvickrotens rhizombiomassa (628 mot 330 g m²; $P < 0,001$) och skottbiomassa (236 mot 144 g m²; $P = 0,01$) nästan dubbelt så stor 2014 som 2015, medan totala ovanjordiska biomassan var likartad (363 mot 318 g m²; $P = 0,1$) i gräs-klöver-rutorna som varken var klippta eller fragmenterade och tjänade som kontroll. I samma rutor var vitklöverskottets biomassa större 2014 än 2015 (14,4 g mot 1,2 g m²; $P = 0,01$), medan motsatsen var fallet för italienskt rajgräs (29 mot 89 g per g m²; $P < 0,001$). Mängden vitklöver och italienskt rajgräs i rena bestånd mättes endast i klippta tomter utan rhizomfragmentering. I det rena beståndet fanns det mer vitklöverbiomassa än i gräs-klöverblandningen (63 mot 33 g m²; $P = 0,06$), men det fanns ingen skillnad i biomassan italiensk rajgräs mellan renbestånd och blandning (87 mot 90 g m²; $P = 0,9$).

Effekt av rhizomfragmentering

Fragmenteringen av kvickroten minskade mängden kvickrotsrhizom, kvickrotens skottbiomassa och antalet kvickrotsskott, samtidigt som det gynnade tillväxten av de sådda grödorna, speciellt italienskt rajgräs. Vid samtliga tre provtagningar tillfällen under sommaren var det cirka 30 % färre kvickrotsskott i ERF-rutor än i rutor utan ERF. På hösten var kvickrotens rhizombiomassa i genomsnitt 38 % lägre i

ERF- och LRF-behandlingarna än i kontrollen (figur 2). Dubbla rhizomfragmenteringar (ERF+LRF) resulterade i mindre rhizombiomassa än en enda fragmentering ($P < 0,0001$), i genomsnitt resulterade dubbel rhizomfragmentering i 63 % mindre rhizombiomassa än i kontrollen. Dessutom fanns signifikant mindre kvickrotsskott efter fragmentering än i kontrollen ($P < 0,0001$). Fragmenteringen i gräs-klöverblandningen ökade den totala skottbiomassan med 30 % med LRF ($P = 0,06$) och 50 % med ERF+LRF ($P = 0,04$). Både LRF och ERF ökade det italienska rajgrässkottens biomassa i gräs-klöverblandningen jämfört med kontrollen (78 % med ERF, 170 % med LRF och 200 % av ERF+LRF). LRF och ERF+LRF ökade vitklöverskottets biomassa jämfört med kontroll ($P = 0,04$). ERF ökade skottbiomassa av annat ogräs än *E. repens* med 48 % ($P = 0,009$).



Figur 2. Effekten av tidig rhizomfragmentering (ERF), sen rhizomfragmentering (LRF), upprepade klippningar (M) på mängden kvickrotsrhizom sent på hösten i genomsnitt över de två experimenten på Krusenberg i del ett av projektet. Figuren visar att ERF och LRF kraftigt reducerade mängden rhizom och att effekten varje enskild behandling relativt sett var lika stor när båda behandlingarna genomfördes. Figuren visar också att många upprepade klippningar har negativ effekt på kvickrot.

Effekt av klippning med eller utan rhizomfragmentering

Upprepad klippning minskade kvickrotens rhizombiomassa med cirka 75 % jämfört med gräs-klöverkontrollen utan klippning. Att kombinera klippningen med rhizomfragmentering innebar inte signifikant mindre rhizombiomassa jämfört med enbart klippning. I gräs-klöverblandningen minskade upprepade klippning totala skottbiomassan med 35 % jämfört med kontrollen och kvickrotens skottbiomassa med 95 %, samtidigt som den ökade vitklövers biomassa från 8 till 33 g m². När klippning kombinerades med LRF producerades inte lika mycket italienskt rajgräs som LRF utan klippning ($P < 0,001$), eller lika mycket vitklöver som klippning utan LRF ($P = 0,03$).

Grödans betydelse

Effekten av de sådda vallgrödorna på kvickrotens undersöktes endast i de klippta leden. Ren vitklöver tenderade att minska kvickrotens skottbiomassa ($P = 0,08$) och rhizombiomassa ($P = 0,06$) jämfört med kontrollen. Rent italienskt rajgräs minskade kvickrotens skottbiomassa med 85 % och skottantal med 53 % jämfört med kontrollen, men hade ingen signifikant effekt på rhizombiomassan. Kvickrotsskotten som växte med bara italienska rajgräs hade 0,4–0,5 procentenheter lägre kvävekoncentration än de som växte i vitklöver eller i kontrollen. Gräs-klöverblandningen reducerade kvickrotens skottbiomassa, skottantal och skottens kväveinnehåll i liknande grad som italienskt rajgräs, men minskade också kvickrotens rhizombiomassa på ett likande sätt som vitklöver.

Groningstest

Både rhizomfragmentering och klippning minskade mängden av skottbiomassa som produceras av rhizomen i groningstesten med 20–30 %. De ursprungliga rhizomens färskvikt var också 20–30 % mindre i rhizomen från behandlingarna än i de från kontrollen. De initiala rhizomens färskvikt var korrelerade med skottbiomassan som produceras av rhizomerna i groningstestet ($P < 0,001$, lutningsuppskattning 0,02). När hänsyn tas till de initiala rhizomens färskvikt, hade inte längre klippning, ERF eller LRF någon direkt effekt på den producerade skottvikten.

Resultat del 2

Artsammansättning

I början av experimenten dominerade kvickrot (>50 %) på alla platser/år utom vid Säby 2018-2019. Under de två åren experimenten pågick minskade andelen kvickrot i samtliga fyra experiment, oavsett behandling. I första experimentet vid Lövsta fanns försumbara mängder sådda gräs i Y1, men en betydande mängd vitklöver och ogräs. Sådda gräs förekom i små mängder i Y2 vid Lövsta. Det andra försöket på Lövsta som låg precis intill det första en betydande andel sådda gräs.

Rhizombiomassa

Både ERF och LRF minskade kvickrotens rhizombiomassa, men effekten av ERF skilde sig signifikant mellan åren och effekten av LRF mellan platser. ERF minskade rhizombiomassan avsevärt 2018 (med 25 %), men inte 2017, och LRF i Lövsta (med 24 %) men inte i Säby.

Vallens avkastning

Den totala avkastningen i Y1 minskade av ERF på båda platserna, men mer vid Lövsta än vid Säby (-32 % mot -19 %). Den totala avkastningen i Y1 minskade även av LRF, men endast signifikant vid Säby (-12 %). I genomsnitt minskade ERF avkastningen i förstaskörden med 44 %, medan LRF minskade den andra och tredje skörden i Y1 med 24 respektive 53 %. I Y2, ökade ERF den totala grovfoderskörden med i genomsnitt 10 %, medan LRF inte hade någon signifikant effekt. Sett över båda åren minskade ERF avkastningen med 11 % och LRF med 4 %.

Vallens sammansättning

Kvickrotens andel av den totala biomassan i Y1 minskade med ERF jämfört med utan fragmentering (42,3 mot 46,7%). Samspelet ERF x LRF x Plats indikerade att LRF+ERF hade en större minskande effekt än endast ERF vid Lövsta, men inte vid Säby. I Y2 fanns det ingen signifikant behandlingseffekt vad avser andelen kvickrot. Klöverandelen påverkades inte av rhizomfragmentering hade ingen signifikant effekt på klöverfraktionen i Y1, men den sådda gräsfraktionen minskade jämfört med kontroll av LRF vid Säby Y1 (35 % mot 46 %).

Kväveinnehåll i skott av kvickrot

Kvävehalten i kvickrotens skott tenderade ($P=0,058$) att vara något högre efter ERF än i kontrollen i Y1.

Diskussion del 1 (se Ringselle et al., 2018 för fullständig diskussion)

Resultaten stöder hypotesen att fragmentering kvickrotens rhizom minskar dess tillväxt och ökar tillväxten av en samodlad gröda av gräs och klöver. Rhizomfragmenteringen var tillräcklig för att försvaga kvickroten och gynna grödan i konkurrensen med kvickroten, vilket också stöder antagandet att fleråriga växter drar betydande fördelar av sina vegetativa nätverk i blandade växtbestånd (Stuefer et al., 2004; Song et al., 2013; Lopp och Sammul, 2016). En del av minskningen i rhizombiomassa och antal skott kan förklaras av direkta rhizomskador, det vill säga, vissa fragment blir för små att producera skott som kan nå ytan eller vara tillräckligt konkurrenskraftiga för att överleva (Håkansson, 1968). Groningstestet visade att effekten av rhizomfragmentering inte bara var en minskning av den totala rhizombiomassan, utan även att vikten per cm rhizom minskade. Således minskade rhizomfragmenteringen kvickrotens konkurrenskraft, vilket i sin tur resulterade i att mindre energi lagrades i rhizomen. Rhizomvikt per cm rhizom var starkt korrelerad med hur mycket skottbiomassa rhizomen producerade, vilket innebär att rhizomfragmenteringen minskade både produktionen av rhizombiomassa, och vitaliteten hos rhizomnätverket. Förvaringsorgan av fleråriga växter förlorar mycket vikt under vintern på grund av cellostning (Verwijst et al., 2013), vilket skulle kunna innebära att den här observerade mindre vikten per cm rhizom leder till större vinterdödlighet.

Istället för att skada grödan, resulterade fragmenteringarna i ökad skottsbiomassa hos de sådda arterna. Den minskade konkurrenskraften hos kvickrot spelade med stor sannolikhet en betydande roll när det gäller att öka grödans biomassa. Det var speciellt fragmenteringen i den växande grödan som hade stor effekt på grödornas biomassa, utan att ha större effekt på kvickroten än fragmenteringen före sådd, vilket tyder på att fragmenteringen direkt gynnade grödan.

Experimenten gav inget stöd för hypotesen att upprepad klippning kan förbättra effektiviteten av rhizomfragmentering. Både rhizomfragmentering och klippning hade negativ effekt på kvickroten, men effekten av enbart klippning skilde inte signifikant från effekten av fragmentering i kombination med klippning. Detta stämmer överens med slutsatserna i Bergkvist et al. (2017). Potentiellt kan den höga

klippningsfrekvensen som användes i dessa experiment och som kraftigt minskade mängden kvickrot ha dolt en del effekter av fragmentering. Skillnaden i selektivitet mellan klippning och rhizomfragmentering återspeglades i effekten av dessa behandlingar på de respektive arterna. Klippningen minskade den totala biomassan för både italienskt rajgräs och kvickrot, även om kvickroten proportionellt förlorade mer skottbiomassa än italienskt rajgräs. Klippningen ökade däremot vitklövers skottbiomassa, vilket sannolikt beror på att vitklövers stoloner växer horisontellt. De kan därmed överleva och dra nytta av klippningen bättre än de flesta gräs och även att dra nytta av minskad ljuskonkurrens från gräsen (Burdon, 1983). Rhizomfragmentering minskade kvickrotens biomassaproduktion, samtidigt som den totala grödans biomassa ökade. Vitklöver kan generellt inte förväntas påverkas lika positivt som gräs, eftersom stolonerna borde påverkas negativt av fragmenteringen. I det aktuella experimentet hade vitklöver dock inte producerat stoloner vid tiden för fragmenteringarna.

Slutsatser av del 1 (Ringselle et al., 2018)

- Rhizomfragmentering med vertikala skivor minskar kvickrotens rhizom- och skottbiomassa samtidigt som det ökar skottbiomassan hos samodlat italienskt rajgräs och vitklöver.
- Effekten av rhizomfragmentering på kvickrot är lika stor om den genomförs före sådd av grödan eller när grödan är väletablerad och i relativa termer är effekten av dubbla behandlingar additiv. Fragmentering i växande gröda har större positiv effekt på sått gräs och klöver än fragmentering före sådd.
- Upprepad klippning som utförs under växtsäsongen minskar mängden kvickrot och mängden gröda uppmätt på hösten i liknande proportioner.
- Vitklöver tenderar att ha en relativt större effekt på mängden rhizom i förhållande till mängden skott än italienskt rajgräs, medan en blandning av vitklöver och italiensk rajgräs verkar kombinera effekten av de ingående grödorna.

Diskussion och slutsatser av del 2

Den första hypotesen angav att rhizomfragmentering med vertikala skivor skulle minska mängden kvickrotsrhizom och andelen kvickrot i den skördade biomassan. Studiens resultat stöder denna hypotes, men effekten var inte lika stark eller konsekvent som i Ringselle et al. (2018) och Bergkvist et al. (2017). Flera aspekter kan ha bidragit till den sämre effekten. För det första bidrog ett högt lerinnehåll i marken, en redan etablerad gröda och torra förhållanden under försöksåren till att det blev svårare att nå målet för behandlingsdjupet trots att mer vikter lades på maskinen än i Ringselle et al. (2018). Som ett resultat av detta kan rhizom som ligger lägre i markprofilen ha undgått fragmentering i större utsträckning än annars skulle varit fallet. För det andra har de fuktiga förhållandena på våren i kombination med leriga jordar sannolikt också orsakat vissa packningsskador från hjulen vid ERF, vilket kan ha varit mer skadligt för grödan än för kvickroten. Det är välkänt att grödor påverkas negativt av jordpackning (t.ex.

Håkansson, 1994), men vi känner inte till någon studie som jämför effekten av jordpackning på tillväxten av kvickrot jämfört med tillväxten av vallgrödor. Markpackning kan också påverka kvickrotens biomassaproduktion negativt (Werner och Rioux, 1977). För det tredje, försenades LRF under båda somrarna, eftersom torra förhållanden gjorde det svårt att få ner skivorna. År 2018, som var extremt torrt, fördröjdes behandlingarna ända till augusti 2018. Hårda jordar var inget problem i Ringselle et al. (2018), där grödorna såddes samma år som behandlingen utfördes och jorden var mjukare. Experimenten av Bergkvist et al. (2017) indikerar att rhizomfragmentering som utförs sent på säsongen är betydligt mindre effektiv än när den utförs på försommaren. Dessutom fann Bergkvist et al. (2017) en mindre effekt av fragmentering av rhizomer under det torraste av experimentåren. Mekanismen för detta undersöktes inte, men kvickrot anses vara en relativt torktolerant växtart (Palmer och Sagar, 1963; Janská et al., 2018), vilket innebär att den kan ha påverkats mindre av torka än de sådda gräs- och klöverarterna.

Lantbrukare har generellt fått rådet att inte fragmentera kvickrotrhizom utan att därefter vända ner dem med en plog, särskilt under våta förhållanden, för att undvika risken för ökad skottbildning och spridning (Håkansson, 2003). Även om de vertikala skivorna inte minskade förekomsten av kvickrot så mycket som förväntat med tanke på tidigare erfarenheter, ökade behandlingen inte heller förekomsten av kvickrot. Således ger denna studie ytterligare indikationer på att rhizomfragmentering i första hand har en negativ effekt på kvickrot snarare än att orsaka ökad skottproduktion (i likhet med Bergkvist et al., 2017; Kolberg et al., 2018; Ringselle et al., 2018). Det är förmodligen olämpligt att fragmentera kvickrotsrhizom i frånvaro av konkurrens, eftersom de försvagade rhizomen återhämtar sig lättare då.

Den andra hypotesen var att användningen av de vertikala skivorna för fragmentering av rhizom skulle öka avkastningen. Denna hypotes stöds inte av resultaten. Både ERF och LRF minskade avkastningen vid skörden efter fragmenteringen. Även om den minskade avkastningen delvis kompensades av senare skördar så var avkastningen istället större, var det inte tillräckligt för att kompensera för den initiala förlusten. Totalavkastningen under de två åren var fortfarande negativ för ERF och LRF. Det är inte konstigt att en åtgärd för att minska mängden kvickrot i en vall som i stor utsträckning består av kvickrot leder till en skördeminskning, eftersom ogräset i sig är en stor del av avkastningen. Dessutom är det möjligt att de positiva effekterna på avkastningen skulle ha fortsatt under de efterföljande åren om andelen sådda arter som är mer produktiva än kvickrot ökade efter fragmenteringarna. Andelen kvickrot minskade till viss del i vallskottets biomassa i Y1, men förskjutningen mot de sådda arterna var mycket mindre än i Ringselle et al. (2018) och syntes inte alls i Y2.

Ringselle et al. (2018) och Bergkvist et al. (2017) visade potentialen för rhizomfragmentering som ett sätt att minska förekomsten av kvickrot i växande grödor. Även om den aktuella studien stöder denna slutsats, lägger den till förbehållet att den nuvarande vertikala skivteknologin har begränsad funktionalitet under hårda markförhållanden även med extra vikter. Detta är en viktig begränsning, även

om det är vanligt att åtgärder för att reglera mängden ogräs inte kan användas under alla väder- och markförhållanden. I likhet med tidigare studier visar den aktuella studien vikten av behandlingstid och att det finns både positiva och negativa aspekter av behandlingarna. Behandlingen ERF hade sin största svaghet i att den minskade avkastningen av förstaskörden efter behandlingen. Behandlingen LRF hade sin största svaghet i att den var svår att genomföra på grund av hårda markförhållanden. Det förefaller alltså som att vertikala skivor för att reglera mängden kvickrot har potential i vallar, men det krävs mer utveckling av metoden och mer plats- och årsspecifika strategier för att det ska vara effektivt. Det bör också övervägas om metoden inte skulle vara mer lämpad för ettåriga grödor i odlingssystem utan vändande bearbetning där rhizom kan förväntas växa ytligt och jorden luckrats genom jordbearbetning, snarare än i vallar med generellt hård jord.

Även om skördestartgin inte inkluderades som en experimentell faktor i denna studie (alla led skördades tre gånger per år), är det intressant att konstatera att andelen kvickrot minskade i alla fält, oavsett behandling. På vissa områden (t.ex. experimenten 2017–2018) var förändringen ganska stor. I en översikt av icke-kemisk reglering av kvickrot, fann Ringselle et al. (2020) att många studier som tittade på fragmentering av kvickrot drog slutsatsen att kvickrot kan bilda nya rhizom och öka populationsstorleken även med en strategi med frekventa skördar (t.ex. Cussans, 1973; Neuteboom, 1981), men att andra studier drog slutsatsen att hög skördefrekvens kan minska mängden kvickrot (Bergkvist et al., 2017; Ringselle et al., 2018) och att till och med två-tre skördar om året ibland kan hålla kvickroten under kontroll (Pavlů et al., 2011; Štýbnarová et al., 2013). Denna diskrepans kan till viss del förklaras av det faktum att olika kvickrotkloner påverkas olika av avslagning (Neuteboom, 1981). Skillnader i när under året avslagningarna utförs kan också resultera i väldigt olika resultat (Bergkvist et al., 2017).

Referenser

- Bergkvist, G., Adler, A., Hansson, M., and Weih, M. (2010). Red fescue undersown in winter wheat suppresses *Elytrigia repens*. *Weed Res.* 50, 447–455. doi: 10.1111/j.1365-3180.2010.00789.x
- Bergkvist, G., Ringselle, B., Magnuski, E., Mangerud, K., and Brandsæter, L. O. (2017). Control of *Elymus repens* by rhizome fragmentation and repeated mowing in a newly established white clover sward. *Weed Res.* 57, 172–181. doi: 10.1111/wre.12246
- Brandsæter LO, Mangerud K, Helgheim M, Berge TW. (2017) Control of perennial weeds in spring cereals through stubble cultivation and mouldboard ploughing during autumn or spring. *Crop Protection* 98, 16–23.
- Brandsæter, L. O., Goul Thomsen, M., Wærnhus, K., and Fykse, H. (2012). Effects of repeated clover undersowing in spring cereals and stubble treatments in autumn on *Elymus repens*, *Sonchus arvensis* and *Cirsium arvense*. *Crop Protection* 32, 104–110. doi: 10.1016/j.cropro.2011.09.022
- Burdon, J. J. (1983). *Trifolium repens* L. *J. Ecol.* 71, 307–330. doi: 10.2307/2259979
- Cussans, G.W. (1973). A study of the growth of *Agropyron repens* (L) Beauv. in a ryegrass ley. *Weed Res.* 13, 283–291. doi: 10.1111/j.1365-3180.1973.tb 01276.x

- FertilCrop. Fertility Building Management Measures in Organic Cropping Systems. CORE Organic Plus Funding Bodies, being partners of the FP7 ERA-Net project CORE Organic Plus.
- Gomez, K. A., and Gomez, A. A. (1984). Statistical Procedures for Agricultural Research. New York, NY: JohnWiley & Sons.
- Håkansson I. (1994). Subsoil compaction caused by heavy vehicles-a long-term threat to soil productivity. Soil and Tillage Research 29, 105–110.
- Håkansson, S. (1968). Experiments with *Agropyron repens* (L.) Beauv. III. Production of aerial and underground shoots after planting rhizome pieces of different lengths at varying depths. Ann. Agric. Coll. Sweden 34, 31–51. doi: 10.1007/BF01880089
- Håkansson, S. (1969). Experiments with *Agropyron repens* (L.) Beauv. IV. Response to burial and defoliation repeated with different intervals. Ann. Agric. Coll. Sweden 35, 61–78. doi: 10.1007/BF01880089
- Håkansson, S. (2003). Weeds and Weed Management on Arable Land: An Ecological Approach. Wallingford: CABI Publishing. doi: 10.1079/9780851996516.0000
- Janská A, Svoboda P, Spiwok V, Kučera L, Ovesná J. (2018). The dehydration stress of couch grass is associated with its lipid metabolism, the induction of transporters and the re-programming of development coordinated by ABA. BMC Genomics 19, 317.
- Kleijn D, Van Groenendaal JM. (1999). The exploitation of heterogeneity by a clonal plant in habitats with contrasting productivity levels. Journal of Ecology 87, 873–884.
- Kolberg, D., Brandsæter, L. O., Bergkvist, G., Solhaug, K. A., Melander, B., and Ringselle, B. (2017). Effect of rhizome fragmentation, clover competition, shoot-cutting frequency, and cutting height on quackgrass (*Elymus repens*). Weed Sci. doi: 10.1017/wsc.2017.65
- Liu F, Liu J, Dong M. (2016). Ecological consequences of clonal integration in plants. Frontiers in Plant Science 7, 770.
- LONGTERMGRASS. Research Council of Norway through the program FFL-JA and the project (no. 255176) - Smart renewal of long-term grassland: towards higher productivity and profitability (Short name).
- Lopp, J., and Sammul, M. (2016). Benefits of clonal propagation: impact of imported assimilates from connected ramets. Plant Ecol. 217, 315–329. doi: 10.1007/s11258-016-0573-1
- Melander B., Rasmussen I.A., Olesen J.E. (2016). Incompatibility between fertility building measures and the management of perennial weeds in organic cropping systems. Agriculture, Ecosystems & Environment 220, 184–192.
- Melander, B., Nørremark, M., and Kristensen, E. F. (2013). Combining mechanical rhizome removal and cover crops for *Elytrigia repens* control in organic barley systems. Weed Res. 53, 461–469. doi: 10.1111/wre.12042
- Meyer, L. D., Dabney, S. M., Murphree, C. E., Harmon, W. C., and Grissinger, E. H. (1999). Crop production systems to control erosion and reduce runoff from upland silty soils. Trans. ASAE 42, 1645–1652. doi: 10.2134/jeq2016.08.0299
- Myrbeck Å, Stenberg M, Arvidsson J, Rydberg T. (2012). Effects of autumn tillage of clay soil on mineral N content, spring cereal yield and soil structure over time. European Journal of Agronomy 37, 96–104.

- Neuteboom JH. (1981). Effect of different mowing regimes on the growth and development of four clones of couch (*Elytrigia repens* (L.) Desv., syn. *Agropyron repens* (L.) Beauv.) In monocultures and in mixtures with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Landbouwhogeschool Wageningen 81, 1–26.
- Palmer J, Sagar G. (1963). *Agropyron repens* (L.) Beauv. (*Triticum repens* L.; *Elytrigia repens* (L.) Nevski). Journal of Ecology 51, 783–794.
- Pavlů V, Schellberg J, Hejman M. (2011). Cutting frequency vs. N application: effect of a 20-year management in Lolio-Cynosuretum grassland. Grass and Forage Science 66, 501–515.
- Ringselle B, Bergkvist G, Aronsson H, Andersson L. (2016). Importance of timing and repetition of stubble cultivation for post-harvest control of *Elymus repens*. Weed Research 56, 41–49.
- Ringselle B, Bertholtz E, Magnuski E, Brandsæter LO, Mangerud K, Bergkvist G. (2018). Rhizome Fragmentation by Vertical Disks Reduces *Elymus repens* Growth and Benefits Italian Ryegrass-White Clover Crops. Frontiers in Plant Science 8, 2243.
- Ringselle B, De Cauwer B, Salonen J, Soukup J. (2020). A Review of Non-Chemical Management of Couch Grass (*Elymus repens*). Agronomy 10, 1178.
- Ringselle, B., Bergkvist, G., Aronsson, H., and Andersson, L. (2015). Under-sown cover crops and post-harvest mowing as measures to control *Elymus repens*. Weed Res. 55, 309–319. doi: 10.1111/wre.12144
- Ringselle, B., Prieto-Ruiz, I., Andersson, L., Aronsson, H., and Bergkvist, G. (2017). *Elymus repens* biomass allocation and acquisition as affected by light and nutrient supply and companion crop competition. Ann. Bot. 119, 477–485. doi: 10.1093/aob/mcw228
- Song, Y.-B., Yu, F.-H., Keser, L. H., Dawson, W., Fischer, M., Dong, M., et al. (2013). United we stand, divided we fall: a meta-analysis of experiments on clonal integration and its relationship to invasiveness. Oecologia 171, 317–327. doi: 10.1007/s00442-012-2430-9
- Stuefer, J. F., Gómez, S., and Van Mólken, T. (2004). Clonal integration beyond resource sharing: implications for defence signalling and disease transmission in clonal plant networks. Evol. Ecol. 18, 647–667. doi: 10.1007/s10682-004- 5148-2
- Štýbnarová M, Mičová P, Karabcová H, Svozilová M. (2013). Occurrence of couch grass (*Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski] under different grassland management. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis 61, 1399–1404.
- Vengris J. 1962. The effect of rhizome length and depth of planting on the mechanical and chemical control of quackgrass. Weeds 10, 71–74.
- Verwijst, T., Eckersten, H., Anbari, S., Lundkvist, A., and Torssell, B. (2013). Weight loss in overwintering below-ground parts of *Sonchus arvensis* under current and temperature-elevated climate scenarios in Sweden. Weed Res. 53, 21–29. doi: 10.1111/wre.12001
- Werner PA, Rioux R. 1977. The biology of Canadian weeds. 24. *Agropyron repens* (L.) Beauv. Canadian Journal of Plant Science 57, 905–919.