



Sortblandningar:

Effekter på produktion och växtskydd.

Samuel Zander

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap • Institutionen för ekologi
Växtodlingsprogrammet
Uppsala 2024



Sortblandningar: Effekter på produktion och växtskydd.

Cultivar mixtures: Production and crop protection effects

Samuel Zander

Handledare: **Velemir Ninkovic, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi**

Examinator: Maria Viketoft, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i biologi

Kurskod: EX0894

Program/utbildning: Växtodlingsprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för vatten och miljö

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2024

Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

Nyckelord: Sortblandning, Sjukdomar, Bladlus, Avkastning

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för ekologi

Sammanfattning

Genetisk diversitet har flera positiva effekter på ekologiska system så som ökad produktivitet och minskad påverkan av skadegörare. Detta gäller även för diversitet på liten skala, det vill säga inom arten. En metod för att öka diversiteten i agrara system är via införandet av sortblandningar. Denna litteraturstudie undersökte hur man genom att blanda kommersiellt tillgängliga sorter kan uppnå flera fördelar. Som exempel kan nämnas att sjukdomspåverkan på grödan av flera vanligt förekommande svampsjukdomar kan minska, bladlössangrepp kan minska samtidigt som naturliga fiender attraheras, och resistensgener i grödorna kan skyddas. Effekten på sjukdomar och insekter tillsammans med fördelar av variationer i agronomiska egenskaper leder till en varierande men positiv trend på avkastningen jämfört med renbestånd av sorterna som blandningen består av. Det finns även fler möjliga men mindre undersökta fördelar av sortblandningar, minskning av ogräs, risken för liggsäd, ökning av vattenanvändningseffektivitet och kvalitetsegenskaper så som proteinhalt och hot water extract som är ett mått på vörtens koncentration dock med en potentiell minskning av kvalitetsegenskaper så som falltal för bakning och jäsbarhet för alkoholproduktion. Även om man kan se trender och samband av varierande styrka kring fördelarna med sortblandningar så är variationen stor. Resultatet varierar beroende på de ingående sorternas identitet och egenskaper samt mellan olika årsmåner. Detta gör det mycket svårt att ge specifika råd kring sortblandningar då kunskapen om proportioner och vilka sorter som bör blandas saknas.

Nyckelord: sortblandning, sjukdom, bladlus, avkastning

Abstract

Genetic diversity has several positive effects on ecological systems, such as increasing productivity and reducing the impact of pests. This is also true for diversity on a small scale, i.e., within species. One way of increasing diversity in agricultural systems is through the introduction of cultivar mixtures. This literature review examined how mixing commercially available cultivars can achieve several benefits. For example, the disease impact on the crop of several common fungal diseases can be reduced, aphid infestations can be reduced while attracting natural enemies, and crop resistance genes can be protected. The effect on diseases and insects together with benefits from variations in agronomic traits lead to a variable but positive trend in yields compared to pure stands of the cultivars that make up the mixture. There are also other possible but less studied benefits of varietal mixtures, reduction of weeds, risk of lodging, increase in water use efficiency and quality traits such as protein content and hot water extract which is a measure of wort concentration but with a potential reduction in quality traits such as falling number for baking and fermentability for alcohol production. Although there are trends and relationships of varying strength on the benefits of varietal mixtures, there is considerable variation. Results vary depending on the identity and characteristics of the cultivars involved and between different years. This makes it exceedingly difficult to give specific advice on cultivar mixtures as there is no knowledge of proportions and which varieties should be mixed.

Keywords: Cultivar mixture, disease, aphids, yield

Innehållsförteckning

1. Introduktion	5
1.1 Syfte	6
2. Metod.....	7
3. Resultat	8
3.1 Sjukdomar.....	8
3.2 Insekter	10
3.3 Ogräskontroll.....	11
3.4 Avkastning.....	12
3.5 Kvalitet	14
3.6 Resistenskontroll.....	15
3.7 Övriga effekter av sortblandningar	15
3.8 Egenskaper som påverkar blandningseffekten.....	15
3.8.1 Samband som påverkar sjukdomsminskning	15
3.8.2 Samband som påverkar avkastning	16
4. Diskussion	18
Referenser.....	21
Tack	26

1. Introduktion

Från spannmålens domesticering för 10 000 år sedan till början av den moderna växtodlingen i slutet av 1800-talet odlades vad som idag motsvaras av kulturspannmål (Åhman 2015; Finckh et al. 2000). Efter den gröna revolutionen och de högavkastande sorter som togs fram under den (Evenson & Gollin 2003), har de högavkastande sorterna som odlas i renbestånd dominerat och till följd minskat den genetiska diversiteten i agrara landskap (Letourneau et al. 2011). Denna monokultur av genetiskt identiska individer ger fördelen att grödan blir homogen i kvalitet och utveckling (Scottish Crop Research Institute 1999).

Monokulturer av grödor med identiska egenskaper ökar risken för allvarliga sjukdomsepidemier (King & Lively 2012). Detta hanteras i dagens jordbruk till stor del med hjälp av fungicider. Användandet av fungicider ger ett starkt selektionstryck för sjukdomar att utveckla resistens mot fungiciderna (Hawkins et al. 2018). För att förhindra en framtid med sjukdomar och andra skadegörare som är resistent mot alla tillgängliga verkningsmekanismer måste bekämpningen därför hanteras på ett mer hållbart sätt (Dara 2019). Ett verktyg för att minska behovet av pesticider är därför exempelvis samodling som ökar den genetiska diversiteten i systemet (Martin-Guay et al. 2018). En högre genetisk diversitet i agroekologiska system har visat på positiva fördelar (Letourneau et al. 2011) och även samodling ger liknande effekter (Martin-Guay et al. 2018). Det har även visats att en ökad diversitet inom arten, exempelvis genom sortblandningar, ger ett ökat sjukdomsmotstånd (Kiær et al. 2009). Så för att öka den genetiska diversiteten utan att påverka det praktiska arbetet inom jordbruket kan blandningar av sorter nyttjas. Sortblandningar innebär att två eller fler sorter av samma gröda odlas tillsammans, på samma plats, samtidigt.

Sortblandningar har använts i en hög utsträckning i självhushållsjordbruk (Smithson & Lenné 1996) men det har även skett en ökning i dess användning i konventionella jordbrukssystem, där det främst har använts i sjukdomsminskande syfte. Ett exempel på detta är de sortblandningar som användes i Östtyskland under 1980-talet för att minska mjöldaggsangrepp (Wolfe 1985), men andra studier visar att sortblandningar även kan ha fler fördelar (Reiss & Drinkwater 2018; Dahlin et al. 2018). En av dessa fördelar är en skördeökning till följd av blandningen (Bardot et al. 2017). Ett aktuellt exempel på detta är de danska sortförsöken där det används

en sortblandning av de 4 vanligaste använda sorterna som mätarsort (Vestergaard & Jørgensen 2023). I en sammanställning av resultaten sedan slutet av 2000-talet fann de en genomsnittlig skördeökning på 210 kg/ha i höstvet (Thorsted u.å. se Eborn 2023). Denna potential för meravkastning har lett till att andelen sortblandningar av det totala sålda höstvetetsädet har ökat från 1% 2019 till 40% 2023 (Vestergaard & Jørgensen 2023). Det ökade intresset för sortblandningar har även spritt sig till Sverige där blygsammare försök görs (Eborn 2023).

En möjlig förklaring till varför som användningen av sortblandningar i dagsläget är så pass begränsad, skulle kunna vara bristen på säker avsättning. Bagerier vill ha sortrena leveranser för att kunna styra sammansättningen själva. Detta har lett till att sortblandningar främst gått till animaliefoder men i och med det ökade intresset för sortblandningar, har sortblandningar som är godkända av industrierna introducerats (Eborn 2023).

1.1 Syfte

Då syftet med denna studie är att genom en genomgång av tillgänglig vetenskaplig litteratur undersöka potentiella fördelar och nackdelar med att odla flera sorter samtidigt. För att resultatet ska vara tillämpligt på svenska förhållanden fokuserades undersökningen på sädeslag som odlas i Sverige, så som vete och korn. Övriga grödor förekommer för att ge relevanta exempel på mekanismer.

Frågeställningarna som ska besvaras i denna studie:

Finns det potential för användning av sortblandningar i Sverige?

Vilka fördelar och nackdelar kring växtskydd och produktionsegenskaper har man funnit i andra delar av världen med sortblandningar?

2. Metod

Inför arbetets start bidrog handledaren med relevanta artiklar för att ge inblick och förståelse för ämnet. Utifrån dessa genomfördes arbetet via en litteraturstudie där vetenskapliglitteratur hämtades från databaserna: Google Scholar och Web of Science. De sökord som användes var: "intraspecific diversity", variety mixtures, variety mixtures Nordic, cultivar mixture, Cultivar mixture AND Sweden, Cultivar mixture AND Denmark, Cultivar mixture AND Finland, Cultivar mixture AND Norway, Cultivar mixture AND Wheat, Cultivar mixture AND cereal, Cultivar mixture AND bread, Cultivar mixture AND quality, "intraspecific diversity" wheat, Yield grain change, Cultivar mixture AND weed, cultivar resistance to bird-cherry aphid, Cultivar mixture lodging. Då exempelvis Cultivar mixture resulterar i 16 517 resultat i Web of Science sållades resulterande studier utifrån aspekter så som typ av gröda och aspekter de undersökte. Studier som flera resultat refererade till användes också.

Populärvetenskapliga källor söktes även via sökmotorn Google. Där användes sökorden bladlus resistens, och sortblandning. Anledningen till att en populärvetenskaplig källa användes är för att visa på intresset i samhället och en hänvisning till data som inte publicerats vetenskapligt.

3. Resultat

3.1 Sjukdomar

Sortblandningar har en varierande men i snitt en minskning av sjukdomsangrepp (Kristoffersen et al. 2020b; Huang 2012). Den underliggande tanken, likt allt gällande sortblandningar, är att interaktioner mellan växt och sjukdom påverkas av variation i genotypiska egenskaper (Garrett & Mundt 1999). I en metaanalys, det vill säga en statistisk analys av data från många studier, över skördeförändringar i sortblandningar av Borg et al. (2018) sammanställs fem möjliga mekanismer som påverkar interaktionen mellan sjukdomar och värdväxter i sortblandningar med en variation i sjukdomsmottaglighet.

Den första mekanismen som påverkar smittspridningen är utspädningseffekten. Jämfört med ett renbestånd av mottagliga sorter leder en variation i sjukdomsmottaglighet till att andelen mottagliga individer minskar och avståndet mellan de mottagliga plantorna ökar. Detta leder till att sannolikheten av att inokulum som sprids till eller inom ett fält stöter på en mottaglig planta (Borg et al. 2018).

Den andra mekanismen menar Borg et al. (2018) är barriärmekanismen. På grund av att svampsjukdomar såsom svartpricksjuka (*Zymoseptoria tritici*) och gulrost (*Puccinia striiformis*) inte själva har möjlighet att förflytta sig, så kan inte sporer som landar på en resistent planta förflytta sig till en mottaglig planta. Därmed utgör de resistenterna plantorna en fysisk barriär då de förhindrar sporer från att spridas vidare till en mottaglig sort.

Den tredje mekanismen är inducerad resistens. Vid en ökad variation hos värdväxters sjukdomsmottaglighet som sker finns i en sortblandning så kan även mångfalden av patogener öka. Denna mångfald av patogener kan öka förekomsten av avirulenta sporer det vill säga sporer som inte orsakar ett sjukdomsförlopp. Dessa avirulenta sporer kan i sin tur stimulera ett inducerat försvar och på så vis även förbereda ett skydd mot de virulenta sporer som annars orsakat sjukdom (Garrett & Mundt 1999).

Den fjärde effekten som Borg et al. (2018) lägger fram är disruptiv selektion. Det innebär att om det enbart finns en genetiskt identisk värdväxt med samma mottaglighet kan detta leda till att patogeners selektion är mycket starkt riktat mot angrepp av denna värdväxt. Detta kan i sin tur leda till att patogensorter med rätt virulens får en stor fördel och det kan leda till att angreppen blir allvarligare. Med en variation i mottaglighet hos värdväxten selekteras flera olika patogener med olika virulens som måste konkurrera med varandra.

Den femte effekten, kompositionseffekten, påverkar inte interaktionen mellan växt och patogen direkt utan påverkar i stället hur stor effekt som sjukdomen har på beståndet. Om en patogen exempelvis har en stor skadeeffekt på en sortkomponent kan de sorter som påverkats mindre utnyttja de resurser som de sjukdomsdrabbade plantorna inte längre kan utnyttja och på så vis kompensera för den angripna sortens förluster.

Utöver att grödans egenskaper påverkar interaktionen mellan växt och sjukdom så påverkar även sjukdomens egenskaper (Pélissier et al. 2021). I durumvete (*Triticum turgidum*) och ris (*Oryza sativa*) visades att sorter kan ändra varandras sjukdomsmottaglighet genom en slags påverkan som Pélissier et al. (2021) föreslår ska heta neighbour-modulated susceptibility, förkortat NMS. Denna effekt på sjukdomsmottaglighet varierade beroende på vilken patogen som undersöktes och Pélissier et al. (2021) menar att patogenens levnadsstrategi spelar roll. Resultatet i durumförsöket, visade att angreppen av den hemibiotrofa, det vill säga där livscykeln övergår från en biotrof fas till en nekrotrof fas (Steinberg, 2015), svampen som orsakar svartpricksjuka ökade, medan angreppen av den biotrofa svampen som orsakar brunrost minskade i den undersökta blandningen. Men försöket i ris visade på minskade angreppen från den hemibiotrofa svampen *Magnaporthe oryzae* men angreppen från den nekrotrofa svampen *Bipolaris oryzae* ökade (Pélissier et al. 2021).

Mycket av den forskning som har gjorts på sortblandningar har berört effekten på specialiserade, polycykliska, vindspridda, biotrofa patogener i stråsåd, främst rost (*Puccinia* spp.) och gräsmjöldagg (*Blumeria graminis*) (Mundt 2002)

I en metaanalys av gulrost i kinesiska fältförsök av Huang et al. (2012) fann de att 83% av blandningarna hade en sjukdomsminskande effekt, med ett snitt på 28% lägre sjukdomspåverkan än de i sortblandningen ingående komponenterna. Liknande fann Finckh & Mundt (1992) att samtliga sortblandningar infekterade med gulrost hade lägre angreppsgrad än de motsvarande sorterna i renbestånd men enbart 34% av blandningar hade signifikant lägre angreppsgrad.

Även i andra liknande sjukdomar finns en sjukdomsminskande effekt. I en metastudie av Huang et al. (2024) fann de en 10,85% lägre sjukdomsförekomst av

gräsmjöldagg i sortblandningar, medan i Östtyskland där sortblandningar användes i stor skala på 1980-talet minskade mjöldaggsincidensen med 80% (Finckh et al. 2000)

Eftersom sjukdomar som svartpricksjuka sprids från skörderester så förväntas utspädningseffekten vara mindre betydande, och detta tillsammans med det faktum att få sorter är resistent mot sjukdomen minskar den förväntade effekten av sortblandningar på svartpricksjuka (Borg et al. 2018).

I en metaanalys av sortblandningars effekt på svartprickssjuka i de danska sortförsöken mellan 1995 och 2017, fann de en minskning av angreppsgraden med 10,6% över åren (Kristoffersen et al. 2020b). Utöver att minska angreppsgraden mer än de ingående komponenterna visade även sortblandningarna på 12,3% mindre svartprickssjuka än de fyra mest odlade sorterna i renbestånd (Kristoffersen et al. 2020b). Mot deras förväntningar kunde de dock inte finna ett samband mellan sjukdomsminskning och sjukdomstrycket. För att replikera och utreda resultaten från de danska sortförsöken gjordes fältförsök för att undersöka hur olika sammansättningar av resistens och mottaglighet påverkade sjukdomsminskningen (Kristoffersen et al. 2022). De fann, att 82% av blandningarna minskade angreppsgraden med i snitt 14% jämfört med 28% för gulrost i Huang et al. (2012). Kristoffersen et al. (2022) fann även att produktionen av pyknidier var lägre i blandningar än i renbestånd.

Utöver svartprickssjuka fann Newton et al. (2012) när de undersökte jordbearbetningens effekt på sorter och sortblandningar även en sjukdomsreduktion av sköldfläckssjuka i blandningar jämfört med renbestånd.

3.2 Insekter

Likt variationen i resistens mot sjukdomar finns det mellan sorter en variation i motståndskraft mot insektsskadegörare så som havrebladlusen (Singh et al. 2020). Och likt för sjukdomar varierar även skyddet mot insektsskadegörare mellan studier. Sortblandningarnas påverkan på insektsskadegörarna verkar både ske via processer i plantorna som minskar insektsskadegörarna direkt, men även genom att påverka skadegörarnas naturliga fiender (Wan et al. 2022). Många studier fokuserar på bladlöss men med olika infallsvinklar. Duan et al. (2022) fann i fältförsök att en blandning av fem sorter med varierande mottaglighet mot gulrost hade lägre eller inte signifikant skilt nivå av bladlusangrepp jämfört med renbestånden. I odlingskammarförsök av Shoffner & Tooker (2012) fann de att i deras blandning av sex sorter var förekomsten av bladlöss signifikant lägre än i blandningen av tre sorter och i renbestånden. Tresortsblandningen hade färre bladlöss men ej

signifikant skilt från renbestånden. Men det är ej enbart i mer komplexa blandningar effekten finns, Dahlin et al. (2018) fann att 6 av 20 tvåsortskombinationer av korn gav signifikant minskad bladlusacceptans. Effekten påverkas av vilka sorter som blandas då det måste finnas en sort som inducerar en reaktion i den andra sortkomponenten (Ninkovic et al. 2013). Det måste även finnas en sort som reagerar på sina omgivande sorter (Ninkovic et al. 2013). Dahlin et al. (2018) fann även att bladluspopulationerna var lägre i sortblandningarna.

Glinwood (2009) undersökte effekten av olika kornsorters flyktiga doftämnen (på engelska volatile organic compounds, VOC) på bladlöss och dess naturliga fiender, nyckelpigor och en parasitstekel. De fann att om vissa sorter av korn blev utsatta för luft som passerat vissa andra sorter påverkades både bladlössens acceptans av värdväxten men även nyckelpigornas och potentiellt parasitsteklarnas beteenden. Den inducerade effekten tycks bestå av en förändring i VOC emission då den påverkas olika av olika inducerande sorter (Ninkovic et al. 2002). Kheam et al. (2024) visade att när sorten Salome utsattes för luft som passerat sorten Fairytale attraherades signifikant färre bladlöss. Vid analys av VOC emissionsförändringar ökade Salomes emission av trans- β -ocimene efter exponering för Fairytaleluft (Kheam et al. 2024). För att validera resultatet testades även ren trans- β -ocimene effekt på bladlöss som vid högre koncentrationer signifikant repellerande dem. Utöver att påverka attraktionen till plantan så påverkar sortblandningar även bladlössens tillväxt och utveckling (Kheam et al. 2023).

3.3 Ogräskontroll

Utöver kontroll av sjukdomar och insekter lyfter vissa studier ogräskontroll som en potentiell fördel hos sortblandningar.

Sortblandningars effekt på ogräs är dock mindre studerat och i de studier som finns varierar resultaten. En metastudie av Wan et al. (2022) fann en signifikant minskning av ogrästillväxt i agrara ekosystem. När resultaten delades upp efter laborativa försök eller fältförsök var dock sambandet inte längre signifikant i de studier som undersökte ogrästillväxten i fält utan signifikansen kom till stor del från försök i växthus (Wan et al. 2022).

I Lazzaro et al. (2018) var det enbart enstaka blandningar som vid vissa mättillfällen sänkte ogräsbiomassan jämfört med övriga försöksled. Inte heller Kaut et al. (2009), Rodriguez (2006) eller Pridham et al. (2006) fann någon systematisk ogräsbekämpande effekt av blandningar.

3.4 Avkastning

Även i försök med lågt sjukdomstryck finns en tendens till högre avkastning i sortblandningar (Reiss & Drinkwater 2018). Detta tyder på att utöver den förändring i avkastning som blir en följd av de ovan redovisade minskningarna i sjukdomspåverkan, så finns det fortfarande en ökning i avkastning som kvarstår.

För att förklarar denna effekt lyfter Barot et al. (2017) upp två potentiellt komplementära mekanismer för en ökad avkastning i sortblandningar. Den ena är urvalseffekten, där en ökad diversitet ger en ökad sannolikhet att någon eller några sorter lämpar sig väl för platsen och årsmånen. Den andra effekten är komplementering och facilitering där olika sorter har en bredare nischfördelning och kan på så vis nyttja de tillgängliga resurserna. Detta kan vara resurser så som näringen i marken, som kan användas effektivare eller genom att de olika sorterna på något sätt gynnar varandra, exempelvis genom att minska risken för skadegörare.

Båda dessa mekanismer bygger på antagandet att det är en variation mellan sorterna. Det kan vara variationer i många olika egenskaper så som fenologi (Reiss & Drinkwater 2018), strålängd (Kiær et al. 2012), konkurrens (Finckh 2006) eller flyktiga doftämnen (Dahlin et al. 2018).

I Danmark finns ett stort intresse för sortblandningar delvis på grund av att de lämpar sig väl för foderproduktion som utgör 90% av Danmarks vetekonsumtion (Vestergaard & Jørgensen 2023) Till följd av detta intresse finns det flera studier som undersöker främst sortblandningars interaktion med växtpatogener och effekten på avkastning (Kiær et al. 2012; Kristoffersen et al. 2020a & Vestergaard & Jørgensen 2023).

I en dansk studie har man sett att sex uppsättningar av tresortsblandningar av vårkorn, gav en genomsnittlig skördeökning på 1,9% men med en variation på mellan -12,5 och 15,5% (Kiær et al. 2012). De fann att blandningseffektens variation var signifikant olika mellan både olika sortblandningar och olika försöksplatser. Den framgångsrikaste blandningen hade en genomsnittlig skördeökning på 4% vilket motsvarade 210 kg/ha. Liknande fann Kristoffersen et al. (2020b) att i vete avkastade sortblandningarna i snitt 1,4% mer än både de ingående komponenterna i renbestånd men även över de fyra mest odlade sorterna i renbestånd. Sortblandningarnas skördeökning var ännu högre i försöksleden utan fungicidbehandling; 2,4% högre jämfört med de ingående blandningskomponenterna och 2,9% högre än de fyra vanligaste sorterna.

I och med den sjukdomsminskande effekten och den relativa skördeökningen utan fungicidbehandling, testade Kristoffersen et al. (2020a) om sortblandningar kan minska behovet av kemiska fungicidbehandlingar. De fann att i 16 av 24

blandningar ledde inte ett minskat antal bekämpningar till en signifikant skördeförlust, och 29% av blandningarna gav en högre skörd än renbestånden trots färre behandlingar. I försök att replikera sjukdomsminskningen från Kristoffersen et al. (2020b) fann Kristoffersen et al. (2022) en skördeökning på 2% i snitt och 67% av blandningarna fick en större skörd.

Ännu starkare effekt fann en kinesisk studie där de blandade den regionalt högst avkastande sorten med antingen en, tre eller sju andra lokala sorter (Kong et al. 2023). De fann att samtliga sortblandningar avkastade högre än de ingående sorternas medelavkastning i proportionerna som användes i blandningen. Utöver detta fann de även att över de fyra odlingsäsongerna så hade blandningarna innehållande 4 respektive 8 sorter en 4,31% och 4,46% högre avkastning än det högst avkastande renbeståndet (Kong et al. 2023).

Kiær (2009) utförde en metaanalys som kom fram till att sortblandningar har en varierande effekt på skörden mellan -30% upp till +100% men hos vete låg genomsnittet på 3,9% och på korn på 2,6% båda värden signifikant skilda från 0. När vetet och kornet delades in efter vår eller höstgröda så fanns det positiva sambandet enbart i höstvetet och vårkorn. Bidragande till detta sammanhang är troligen dataunderlaget då höstkorn och vårvete var det vanligast odlade typerna i länderna dataunderlaget kom ifrån (Kiær 2009).

Borg et al. 2018 fann i sin metaanalys en global meravkastning på 2,9% i spannet -40% till +60% totalt för alla grödor, men 4,3% i specifikt höstvetet. I vårvete fanns ingen signifikant merskörd. De fann dock ett kvadratisk samband med år (1935–2010) där 1987 var toppen på 4,4%. Vid högt sjukdomstryck ökade merskörd till 6,2%. Dock inokulerades plantorna i 56% av studierna med smittan. Att utsädestätheten varierade kraftigt mellan de olika sjukdomstrycken kan ha påverkat värdet av blandningseffekten.

Reiss och Drinkwater (2018)s metaanalys kom fram till en relativ skördeökning på 2,2%. Färre än 7% hade relativ skördeökning på över 10%. De fann inte heller att trenden med merskörd fluktuerade mellan år utan att blandningseffekten höll i sig. Effekten försvinner inte av mer högavkastande moderna sorter. Den relativa skördeökningen tycks vara större i optimala system. Den relativa skördeökningen var högre i ogödslade försök, i försök med lågt pH och låg mullhalt samt i försök med högt sjukdomstryck. Blandningarna hade även jämnare skörd över tid vilket kan vara positivt i ett föränderligt klimat.

I Montazeaud et al. (2022) undersöktes durumveteblandningar. De fann 4% skördeökning och -17% minskning av svartpricksjuka jämfört med motsvarande renbestånd. 43% av blandningarna var mindre produktiva och 24% var mer sjukdomsdrabbade. De fann ett exempel på en specifik allel, cfn0881580, och om

sorterna hade olika genotyp på allelen minskade skörd och sjukdomsförekomsten av svartpricksjuka ökade jämfört med blandningar som bara innehöll den ena allel-genotypen.

Huang et al. 2024 metaanalys fann att merskörden för vete var 4,07% och i sammanställningen av alla grödor så hade 65% av blandningarna en positiv effekt på avkastningen och 60% hade högre skördeindex och 60% hade högre proteininnehåll.

3.5 Kvalitet

Något som kan ha hindrat implementering av sortblandningar på stor skala är tanken att sortblandningar har en stor variation i kvalitet (Wolfe 2000). Dock har antagandet om renbestånd och homogenitet ifrågasatts då det i verkligheten även där finns en acceptabel heterogenitet i kvalitetsegenskaper för bryggerier (Swanston et al. 2000). Därför blir frågan om variationen i kvalitet hos sortblandningar är större än variationen inom en sort men odlade på olika fält?

3.5.1 Proteinhalter

Utifrån Hoang et al. (2022)s resultat över proteinhalterna för vetesortblandningarna ligger de inom variationen mellan renbestånden. Bakningsegenskapen falltal låg dock under snittet av komponenterna. Även Lazzaro et al. (2018) fann antingen en högre relativ proteinhalt eller ingen signifikant skillnad från de ingående komponenternas medel och Saradon & Saradon (1995) fann en relativ skördeökning och högre proteinhalt i sortblandningarna. I ett försök med sortblandningar bestående av olika proportioner av två sorter bakade Jackson & Wennig (1997) sortblandningarna till bröd. Dessa bröd bedömdes som antingen bättre eller likvärdiga bröd bakade av renbestånden och proteinhalten varierade mellan 11,0 och 11,3% i sortblandningarna och renbestånden.

3.5.2 HWE

Även den genomsnittliga maltningskvaliteten hot water extraction (HWE) ett mått på vörtens koncentration, i kornsortblandningar är relativt likvärdig renbeståndens kvalitet (Newton et al. 1998). Swanston et al. (2000) fann att tre av åtta undersökta sortblandningar hade ett HWE högre än samtliga ingående komponenter. Även Newton et al. (2008) fann en ökning i avkastning och ökad eller oförändrad HWE men jäsbarheten var signifikant lägre i sortblandningarna.

3.6 Resistenskontroll

Utöver att minska sjukdomstrycket kan sortblandningar användas som ett verktyg för att minska risken att skadegörare bryter grödors resistenser. Ett exempel på detta är genmodifierade grödor specifikt majs som producerar ett bakterieprotein från *Bacillus thuringiensis* (Bt) i sina vävnader, detta protein dödar de insekter som gnager på majsen. I Bt-majsen används sortblandningar enligt modellen refuge in the bag (RIB) (Grettenberger & Tooker 2015). Genom att samodla den resistenta bt majsen med en mottaglig sort minskar den evolutionära fördelen hos de individer av skadegörare som lyckas bryta resistensen (Grettenberger & Tooker 2015).

Utöver att bevara effektiviteten hos genmodifierade resistenser så kan principerna appliceras även på naturligt förekommande resistenser mot både insekter och sjukdomar (Smith et al. 2006). En sådan naturlig resistens skulle kunna vara mlogen i korn som 2008 odlades på cirka 60% av vårkorns arealen i västra och centrala Europa (Finckh 2008).

3.7 Övriga effekter av sortblandningar

Utöver dessa effekter nämnda ovan finns studier som har kommit fram till diverse effekter hos sortblandningar. Kong et al. (2023) visade att utöver att avkastningen kan öka så kan sortblandningar minska påverkan av torka genom en högre vattenanvändningseffektivitet torra år. Huang et al. (2024) fann även en positiv trend för vattenanvändningseffektivitet på i snitt 4,3%. Stützel & Aufhammer (1988) fann att förekomsten av liggsäd vid användning av sortblandningar minskade, medan Jackson & Wennig (1997) fann att förekomsten av liggsäd i blandningarna var mellan renbeståndens egenskaper och ökade och minskade med förhållandet av de ingående komponenterna.

3.8 Egenskaper som påverkar blandningseffekten

3.8.1 Samband som påverkar sjukdomsminskning

Den mest undersökta egenskapen i relation till den sjukdomsminskande effekten, är proportionen av resistent och mottagliga sorter. När Kristoffersen et al. (2020b) analyserade resultaten från sin metaanalys över svartpricksjuka fann de att beroende på var de satte gränsen för vad som räknas som resistent påverkade detta kraftigt resultatet. De lyfter sambandet att om sorter med högst 5% sjukdomsmottaglighet räknas som resistent så är den mest effektiva blandningen 25% resistent plantor. Även Kristoffersen et al. (2020a) fann ett mönster där de blandningar med högre

eller oförändrad skörd när färre fungicidappliceringar användes, tenderade att ha färre än $\frac{2}{3}$ resistenta sorter. När Kristoffersen et al. (2022) undersökte detta samband hittade de inget signifikant samband mellan andel resistenta sorter och sjukdomsminskning, men menade att den största effekten var i blandningar med 25–50% resistens. Däremot fann Huang et al. (2011) att angreppsgraden av gulrost minskade med ökande andel resistenta eller immuna sorter.

Huang et al. (2011) fann att en ökad variation av sjukdomsmottagligheten mellan blandningens sorter korrelerade med en ökad blandningseffekt. Detta samband återfanns även i Huang et al. (2012)s metaanalys över gulrost där de fann att för den sjukdomsminskande effekten så var variation i sorternas sjukdomsmottaglighet en variabel som var statistiskt signifikant.

Huang et al. (2012) fann även att såtäthet och sjukdomstryck var statistiskt signifikanta variabler för den sjukdomsminskande effekten. En såtäthet på 200–400 frön/m² ledde till en större sjukdomsminskning än en såtäthet på antingen fler än 400 frön/m² eller färre än 200 frön/m². Sjukdomsminskningen var dock högre vid både högt sjukdomstryck >60% och lågt sjukdomstryck <30% av de den högsta uppmätta sjukdomsintensiteten i försöken, jämfört med spannet 30-60% som hade lägre sjukdomsminskning.

Utöver dessa variabler fann Kristoffersen et al. (2022) ett linjärt samband kring antalet sorter där sjukdomsminskningen ökade från 0% till 15% när antalet sorter ökade från två till tre och sedan upp till 24% sjukdomsminskning vid fyra sorter.

3.8.2 Samband som påverkar avkastning

För avkastningen har olika studier funnit olika samband som korrelerar med en större skörd det vill säga en merskörd. Reiss & Drinkwater (2018) fann en större relativ skörd om sortblandningen sammansattes utifrån både sjukdomsminskande och fysiska egenskaper i åtanke. För blandningar ihopsatta för i syfte att minska sjukdomspåverkan så varierade den relativa skörden inte mellan högt och lågt sjukdomstryck. Liknande fann Kiær et al. (2009) inget signifikant samband i blandningars effekt på avkastning hos sortblandningar konstruerade utifrån diversitet i vare sig sjukdomsmotståndskraft eller ogräskonkurrens.

Dock fann Kiær et al. (2009) en korrelation mellan ökad relativ skörd med ökat antal sorter. Även Shoffner och Tooker (2012) fann en tendens till att produktiviteten ökade med antal sorter och Reiss & Drinkwater (2018) fann att blandningar som innehöll fyra eller fler sorter hade en genomsnittlig relativ skördeökning på 5% jämfört med renbestånden. De blandningar med två eller tre sorter ökade den relativa skörden med bara 2%. Även väldigt komplexa blandningar

kan ha god effekt. Lazzaro et al. (2018) fann att den enda blandningen med signifikant högre avkastning ett av försöksåren var en blandning med 12 sorter.

Utöver detta fann Kiær et al. (2009) även att sortblandningseffekten var större när variationen i komponenternas avkastning ökade. Detta samband återfanns även i Kiær et al. (2012) där de även fann ett samband mellan högre avkastning och variation i strållängd vid konkurrens med högväxta ettåriga ogräs och Borg et al. (2018) fann ett bredare samband med att variation i höjd gav en skördeökning. De fann likt Vidal et al. (2020) att diversitet i varken höjd eller tidighet hade negativ inverkan på merskorde utan att merskorde ökade med 3,3% vid en heterogen fenologi i blandningen (Borg et al. 2018).

Troligen kopplat med den ökade vattenanvändningseffektiviteten fann Kong et al. (2023) att merskorde var störst torra år, vilket tyder på en bättre anpassning till sämre klimatologiska förutsättningar jämfört med det högst avkastande renbeståndet. De fann dock ingen signifikans i variationskoefficienten så det finns inget säkert samband kring avkastningsstabiliteten.

Den stora variationen i förklarande samband tyder på att det Kiær et al. (2012) belyser att blandningseffekterna troligt beror på många små effekter som sorternas genotyp har med miljön, som inte kan beskrivas av diversitet i enskilda egenskaper utan effekten kan uppstå av diversitet i helheten. Detta skulle kunna vara en del av förklaringen för varför metaanalyser har funnit signifikanta trender över förändringar i relativ skörd med försöksplatsens latitud (Reiss & Drinkwater 2018; Kiær et al. 2009).

4. Diskussion

Ett viktigt budskap i detta arbete är att även om sortblandningar tenderar att ha positiva effekter på flera egenskaper så är variationen i dessa egenskaper mycket stor. Vissa blandningar ger exempelvis en betydande skördeminskning (Montazeaud et al. 2022) eller blir mer attraktiva för bladlöss (Kheam et al. 2024). Då mekanismerna som ligger bakom dessa effekter ej är med säkerhet kända finns det inte någon möjlighet att aktivt undvika dem i nya blandningar.

Utifrån de minskningar i påverkan av sjukdomsangrepp som följd av blandning av resistenser framstår sortblandningar som en god strategi för att minska behovet av växtskyddsmedel. Om enbart resistensblandningen är den önskade effekten finns alternativet multilines där man blandar linjer som enbart skiljer sig i resistensgener (Mundt 2002). Denna typ av blandning skulle kunna dra nytta av de effekter som utgår ifrån en variation i sjukdomsmottaglighet men de effekter som beror på variation i andra agronomiska egenskaper skulle gå förlorade så som selektionseffekter eller komplementära effekter som ger en ökad skörd. Samtidigt krävs också ett ytterligare växtförädlingsarbete för att ta fram fler varianter av sorter som enbart skiljer sig på resistensgenerna i stället för att blanda sorter som redan finns tillgängliga.

För att uttala sig om potentiella förluster av blandningseffekterna vid användande av multilines behöver effekter på skörden sättas i ett relevant sammanhang. En genomsnittlig ökning på 2–5% kan tyckas relativt försumbar, men vid en genomsnittlig svensk höstveteskörd på 7 ton per hektar (Jordbruksverket 2022) motsvarar det 140-350 kg per hektar. Det kan även ställas i relation till framsteg i växtförädlingen då undersökningar av försök inom CIMMYT (the International Maize and Wheat Improvement Centre) visat att förbättringen i avkastning ligger i genomsnitt på mellan 0,5–1% per år (Lopes et al, 2012; Sharma et al, 2012). Då effekterna av blandningar på skörd har kvarstår trots förädlingen av sortmaterialet som används i blandningarna (Borg et al. 2018; Reiss & Drinkwater, 2018), innebär det att med en relativt liten arbetsinsats, kan man i teorin ligga några år före medelvärdet av de ingående sorternas skörd. Samtidigt som man fortfarande kan ta vara på framtida förbättringar från växtförädlingen (Mundt 2002) och diversifiera sina risker vid val av utsäde.

I och med att effekterna av blandningar tycks ha kvarstått oberoende av förädlingsarbetet finns det goda möjligheter för växtförädlingen att fortsätta förädla fram mer resistent och högavkastande sorter att blanda. Utöver detta finns även möjligheten att förädla fram sorter lämpade för att blandas med varandra men då behövs en stabilare kunskapsgrund att utgå ifrån gällande de mekanistiska orsakerna för effekterna av sortblandningar.

Eftersom merskördeeffekten är global bör det även gå att se den i svenska förhållanden. Effekten av sortblandningar kan dock som nämnts ovan påverkas av klimat- och miljöförutsättningar så som lågt pH eller torka. Detta skulle kunna leda till att vissa delar av Sverige kan dra större nytta av sortblandningar än andra. I de svenska sortvalsförsöken har det fram till år 2017, likt de danska, funnits sortblandningar som jämförelse. En studie av de svenska sortvalsförsöken liknande Kristoffersen et al. (2018) för att, undersöka effekten både på avkastning och sjukdomspåverkan vara ett bra första steg i en kartläggning av svenska möjligheter till sortblandning.

Den sjukdomsminskande potentialen sammanvägt med den högre avkastningen i försök utan fungicider visar en tydlig potential för ökad avkastning i ekologiska odlingssystem där pesticider inte är ett alternativ. Då ekologiska jordbruk utgör en högre andel av de totala jordbruken i områden med lägre skördepotential exempelvis Jämtland (Jordbruksverket 2023) skulle de även dra nytta av den ökade relativa skördeökningen i de ovan beskriva sämre odlingsförutsättningarna. Men även i konventionella jordbruk skulle en relativ skördeökning och minskat behov av fungicider innebära en ekonomisk fördel.

Den höga variabiliteten på sortblandningseffekten kan vara avskräckande för lantbrukare. För att säkra en merskörd behövs mer kunskap om de underliggande mekanismer som styr. Genom punktvisa studier går det att testa enstaka sorter i kombination och jämföra egenskaper i hopp om att hitta ett samband mellan en gen eller egenskap och effekten. Ett annat alternativ skulle kunna vara att låta försöksodlingar och intresserade lantbrukare testa sig fram och bygga en databas över testade sortblandningar och deras resultat. Finns det sedan ett dataunderlag av blandningar som man vet ger effekt kan riktad forskning undersöka likheter, skillnader och mekanismer som tros leda till denna effekt.

Sortblandningar kan vara ett billigare sätt att bevara resistenser än att stapla resistenser i en sort då effekten kan uppnås med redan tillgängliga sorter. För att stapla resistenser krävs ett förädlingsarbete (Mundt 2002) med tillhörande kostnader dessutom utesluter inte sorter med staplade resistenser möjligheten att sortblanda.

Eftersom den sjukdomsminskande effekten tycks vara mest påtaglig i blandningar som innehåller sorter med hög mottaglighet för växtsjukdomar skulle sortblandningar kunna utgöra ett verktyg för att öka användbarheten av dessa. Om man har en högavkastande sort med sämre sjukdomsresistens skulle den kunna lämpa sig bättre i en sortblandning (Finckh & Mundt 1992)

Referenser

- Barot, S., Allard, V., Cantarel, A. Enjalbert, J., Gauffreteau, A., Goldringer, I., Lata, J., Le Roux, X., Niboyet, A. & Porcher, E. (2017) Designing mixtures of varieties for multifunctional agriculture with the help of ecology. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 13 <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0418-x>
- Borg, J., Kiær, L.P., Lecarpentier, C., Goldringer, I., Gauffreteau, A., Saint-Jean, S., Barot, S. & Enjalbert, J. (2018) Unfolding the potential of wheat cultivar mixtures: A meta-analysis perspective and identification of knowledge gaps. *Field Crops Research.* 221, 298-313. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.006>
- Dahlin, I., Rubene, D., Glinwood, R. & Ninkovic, V. (2018) Pest suppression in cultivar mixtures is influenced by neighbor-specific plant–plant communication. *Ecol Appl*, 28, 2187-2196. <https://doi.org/10.1002/eap.1807>
- Dara, S. (2019) The New Integrated Pest Management Paradigm for the Modern Age, *Journal of Integrated Pest Management.* 10 (1), <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz010>
- Duan, X., Pan, S., Fan, M., Chu, B., Ma, Z., Gao, F. & Zhao, Z. (2022) Cultivar Mixture Enhances Crop Yield by Decreasing Aphids. *Agronomy.* 12(2), 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020335>
- Eborn, M. (2023). Dansk utsädestrend på prov i Sverige. *ATL*, 22 Juni. <https://www.atl.nu/dansk-utsadestrend-testas-i-sverige> [2024-05-13]
- Evenson, R.E. & Gollin, D. (2003) Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science.* 300 (5620), 758-762 <https://doi.org/10.1126/science.1078710>
- Finckh, M., Gacek, E.S., Goyeau, H., Lannou, C., Merz, U., Mundt, C.C., Munk, L., Nadziak, J., Newton, A.C., de Vallavieille-Pope, C. & Wolfe, M.S. (2000). Cereal variety and species mixtures in practice, with emphasis on disease resistance. *Agronomie.* 20 (7), 813-837. <https://dx.doi.org/10.1051/agro:2000177>
- Finckh, M.R. & Mundt, C.C. (1992) Stripe Rust, Yield and Plant Competition in Wheat Cultivar Mixtures. *Phytopathology.* 82, 905-913 DOI: 10.1094/Phyto-82-905
- Finckh, M.R. (2008) Integration of breeding and technology into diversification strategies for disease control in modern agriculture. *Eur J Plant Pathol.* 121, 399–409. <https://doi.org/10.1007/s10658-008-9273-6>
- Garrett, K. A., and Mundt, C. C. (1999) Epidemiology in mixed host populations. *Phytopathology.* 89, 984-990. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1999.89.11.984>
- Glinwood, R., Ahmed, E., Qvarfordt, E. Ninkovic, V. & Pettersson, J. (2009) Airborne interactions between undamaged plants of different cultivars affect insect

- herbivores and natural enemies. *Arthropod-Plant Interactions* 3, 215–224
<https://doi.org/10.1007/s11829-009-9072-9>
- Grettenberger, I.M. & Tooker J.F. (2015) Moving beyond resistance management toward an expanded role for seed mixtures in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 208, 29-36 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.019>
- Hawkins, N.J., Bass, C., Dixon, A. & Neve, P. (2019), The evolutionary origins of pesticide resistance. *Biol Rev.* 94, 135-155. <https://doi.org/10.1111/brv.12440>
- Hoang, T.N., Kopecký, M. & Konvalina, P. (2022) Winter wheat mixtures influence grain rheological and Mixolab quality. *Journal of Applied Life Sciences and Environment*. 54(4), 417-428 <https://doi.org/10.46909/journalalse-2021-036>
- Huang, C., Sun, Z., Wang, H., Luo, Y. & Ma, Z. (2011) Spatiotemporal effects of cultivar mixtures on wheat stripe rust epidemics *Eur J Plant Pathol.* 131, 483–496
<https://doi.org/10.1007/s10658-011-9824-0>
- Huang, C., Sun, Z., Wang, H., Luo, Y. & Ma, Z. (2012) Effects of wheat cultivar mixtures on stripe rust: A meta-analysis on field trials. *Crop Protection*. 33, 52-58 <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.11.020>
- Huang, T., Döring, T.F., Zhao, X., Weiner, J., Dang, P., Zhang, M., Zhang, M., Siddique, K.H.M., Schmid, B. & Qin, X. (2024) Cultivar mixtures increase crop yields and temporal yield stability globally. A meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* 44, 28
<https://doi.org/10.1007/s13593-024-00964-6>
- Jackson, L.F. & Wennig, R.W. (1997)
- Jordbruksverket (2022). *Skörd av spannmål, trindsäd och oljevaxter 2022. Preliminär statistik för län och riket.* <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2022-12-14-skord-av-spannmal-trindsad-och-oljevaxter-2022.-preliminar-statistik-for-lan-och-rikt> [2024-05-13]
- Jordbruksverket (2023). *Ekologisk växtodling 2022.* <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2023-05-16-ekologisk-vaxtodling-2022> [2024-05-16]
- Kaut, A. H. E. E., Mason, H. E., Navabi, A., O'Donovan, J. T., & Spaner, D. (2009). Performance and stability of performance of spring wheat variety mixtures in organic and conventional management systems in western Canada. *The Journal of Agricultural Science*. 147(2), 141–153.
<https://doi.org/10.1017/S0021859608008319>
- King, K. C. & Lively, C. M. (2012) Does genetic diversity limit disease spread in natural host populations? *Heredity*. 109, 199–203. <https://doi.org/10.1038/hdy.2012.33>
- Kiær, L.P., Skovgaard, I.M. & Østergård, H. (2009) Grain yield increase in cereal variety mixtures: A meta-analysis of field trials. *Field Crops Research*. 114 (3), 361-373
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.09.006>
- Kiær, L.P., Skovgaard, I.M. & Østergård, H. (2012) Effects of inter-varietal diversity, biotic stresses and environmental productivity on grain yield of spring barley variety mixtures. *Euphytica*. 185, 123-138 <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0640-1>

- Kong, X., Li, L., Peng, P., Zhang, K., Hu, Z., Wang, X. & Zhao, G (2023) Wheat cultivar mixtures increase grain yield under varied climate conditions. *Basic and Applied Ecology*. 69, 13-25 <https://doi.org/10.1016/j.baae.2023.03.007>
- Kristoffersen, R., Heick, T.M., Müller, G.M., Eriksen, L.B., Nielsen, G.C. & Jørgensen, L.N. (2020a) The potential of cultivar mixtures to reduce fungicide input and mitigate fungicide resistance development. *Agronomy for Sustainable Development*. 40, 36 <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00639-y>
- Kristoffersen, R., Jørgensen, L.N., Eriksen, L.B., Nielsen, G.C. & Kiær, L.P. (2020b) Control of Septoria tritici blotch by winter wheat cultivar mixtures: Meta-analysis of 19 years of cultivar trials. *Field Crops Research*. 249, 107696 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107696>
- Kristoffersen R., Eriksen, L.B., Nielsen, G.C., Jørgensen, J.R. & Jørgensen, L.N. (2022) Management of Septoria Tritici Blotch Using Cultivar Mixtures. *Plant Disease*. 106, 1341-1349 <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-21-0069-RE>
- Lazzaro, M., Costanzo, A. & Bàrberi, P. (2018) Single vs multiple agroecosystem services provided by common wheat cultivar mixtures: Weed suppression, grain yield and quality. *Field Crops Research*. 221, 277-297 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.006>
- Letourneau, D.K., Armbrrecht, I., Rivera, B.S., Lerma, J.M., Carmona, E.J., Daza, M.C., Escobar, S., Galindo, V., Gutiérrez, C., López, S.D., Mejía, J.L., Rangel, A.M.A., Rangel, J.H., Rivera, L., Saavedra, C.A., Torres, A.M. & Trujillo, A.R. (2011), Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications*. 21 (1), 9-21. <https://doi.org/10.1890/09-2026.1>
- Lopes, M.S., Reynolds, M.P., Manes, Y., Singh, R.P., Crossa, J. & Braun, H.J. (2012), Genetic Yield Gains and Changes in Associated Traits of CIMMYT Spring Bread Wheat in a “Historic” Set Representing 30 Years of Breeding. *Crop Science*. 52, 1123-1131. <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.09.0467>
- Martin-Guay, M., Paquette, A., Dupras, J. & Rivest, D. (2018) The new Green Revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Science of The Total Environment*. 615, 767-772
- Mundt, C.C. (2002) USE OF MULTILINE CULTIVARS AND CULTIVAR MIXTURES FOR DISEASE MANAGEMENT. *Annual Review of Phytopathology*. 40, 381-410 <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.011402.113723>
- Newton, A.C., Swanston, J.S., Guy, D.C. & Ellis, R.P. (1998), THE EFFECT OF CULTIVAR MIXTURES ON MALTING QUALITY IN WINTER BARLEY. *Journal of the Institute of Brewing*, 104, 41-45. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1998.tb00973.x>
- Newton, A.C., Hackett, C.A. & Swanston, J.S. (2008), Analysing the contribution of component cultivars and cultivar combinations to malting quality, yield and disease in complex mixtures. *J. Sci. Food Agric*. 88, 2142-2152. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3326>
- Ninkovic, V., Dahlin, I., Vucetic, A., Petrovic-Obradovic, O., Glinwood, R. & Webster, B. (2013). Volatile Exchange between Undamaged Plants - a New Mechanism

- Affecting Insect Orientation in Intercropping. PLoS ONE 8 (7), e69431.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069431>
- Péllissier, R., Buendia, L., Brousse, A., Temple, C., Ballini, E., Fort, F., Violle, C. & Morel, J. (2021) Plant neighbour-modulated susceptibility to pathogens in intraspecific mixtures. *Journal of Experimental Botany*. 72 (18) 6570–6580
<https://doi.org/10.1093/jxb/erab277>
- Pridham, J. C., Entz, M. H., Martin, R. C. & Hucl, P. J. (2007). Weed, disease and grain yield effects of cultivar mixtures in organically managed spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science*. 87 (4), 855-859. <https://doi.org/10.4141/CJPS06006>
- Reiss, E.R. & Drinkwater, L.E. (2018) Cultivar mixtures: a meta-analysis of the effect of intraspecific diversity on crop yield. *Ecological Applications*. 28 (1) 62–77
<https://doi.org/10.1002/eap.1629>
- Rodríguez, E.E. (2006). *Effect of cultivar mixture on the competitive ability of barley against weeds*. SLU, Dept. of Crop Production Ecology.
<https://stud.epsilon.slu.se/11940/>
- Scottish Crop Research Institute (1999) *Scottish Crop Research Institute Annual Report 1998/99*. (Annual report 1998/99) Scottish Crop Research Institute
[https://www.hutton.ac.uk/sites/default/files/files/publications/legacy/annualreports/SCRI/SCRI annual report 1999 web.pdf](https://www.hutton.ac.uk/sites/default/files/files/publications/legacy/annualreports/SCRI/SCRI%20annual%20report%201999%20web.pdf)
- Sharma, R.C., Crossa, J., Velu, G., Huerta-Espino, J., Vargas, M., Payne, T.S. & Singh, R.P. (2012), Genetic Gains for Grain Yield in CIMMYT Spring Bread Wheat across International Environments. *Crop Science*. 52, 1522-1533.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2011.12.0634>
- Shoffner, A.V. & Tooker, J.F. (2013) The potential of genotypically diverse cultivar mixtures to moderate aphid populations in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Arthropod-Plant Interactions* 7, 33–43 <https://doi.org/10.1007/s11829-012-9226-z>
- Singh B, Simon A, Halsey K, Kurup S, Clark S & Aradottir GI. (2020) Characterisation of bird cherry-oat aphid (*Rhopalosiphum padi* L.) behaviour and aphid host preference in relation to partially resistant and susceptible wheat landraces. *Ann Appl Biol*. 177 184–194. <https://doi.org/10.1111/aab.12616>
- Smith, M.A.H., Wise, I.L. and Lamb, R.J. (2007) Survival of *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) on wheat (Poaceae) with antibiosis resistance: implication for the evolution of virulence. *The Canadian Entomologist*, 139(1), 133–140. <https://doi.org/10.4039/n06-027>
- Smithson, J.B. & Lenné, J.M. (1996) Varietal mixtures: a viable strategy for sustainable productivity in subsistence agriculture. *Annals of applied biology*. 128 (1) 127-158
- Steinberg, G. (2015) Cell biology of *Zymoseptoria tritici*: Pathogen cell organization and wheat infection. *Fungal Genetics and Biology*. 79, 17-23
<https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.04.002>
- Stützel, H. and Aufhammer, W. (1989) Effects of winter barley cultivar mixtures on lodging, *The Journal of Agricultural Science*, 112 (1), 47–55.
<https://doi.org/10.1017/S0021859600084094>

- Swanston, J.S., Newton, A.C., Guy, D.C. & Gacek, E.S. (2000), Malting Performance of Barley Cultivar Mixtures from the UK and Poland. *Journal of the Institute of Brewing*. 106, 239-244. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2000.tb00063.x>
- Vestergaard, N.F. & Jørgensen, L.N. (2023) Variety mixtures of winter wheat: a general status and national case study. *Journal of Plant Diseases and Protection*. <https://doi.org/10.1007/s41348-023-00856-z>
- Vidal T., Saint-Jean S., Lusley P., Leconte, M., Kríma, S.B., Boixel, A., Wheatamix consortium & de Vallavieille-Pope, C. (2020) Cultivar mixture effects on disease and yield remain despite diversity in wheat height and earliness. *Plant Pathol.* 69, 1148–1160. <https://doi.org/10.1111/ppa.13200>
- Wan, N.F., Fu, L., Dainese, M., Hu, Y., Kiær, L.P., Isbell, F. & Scherber, C. (2022) Plant genetic diversity affects multiple trophic levels and trophic interactions. *Nat Commun* 13, 7312 <https://doi.org/10.1038/s41467-022-35087-7>
- Wolfe, M.S (1985) The Current Status and Prospects of Multiline Cultivars and Variety Mixtures for Disease Resistance. *Annual Review of Phytopathology*. 23, 251-273 <https://doi.org/10.1146/annurev.py.23.090185.001343>
- Wolfe, M. (2000) Crop strength through diversity. *Nature*. 406, 681–682. <https://doi.org/10.1038/35021152>
- Åhman, I. (2015) Växtförädling. I: Fogelfors, H. (red.) *Vår mat*. Studentlitteratur 505-526

Tack

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Velemir Ninkovic, och min flickvän Caroline Chalto, för att de har stått ut med mig och inte gett upp hoppet på mig. Kan inte förstå det själv!

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.