



**INSTITUTIONEN FÖR BIOLOGI OCH  
MILJÖVETENSKAP**

# **TORKANPASSNING HOS UTVALDA GENOTYPER AV DEN VANLIGA BÖNAN UNDER UPPREPAD TORKA**

**David Boman**

---

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområde biologi  
BIO602, Examenskurs I Biologi, 15 HP

Grundnivå

Termin/år: Vt 2024

Handledare: Mats Andersson, Institutionen för biologi och miljövetenskap

Examinator: Cornelia Spetea Wiklund, Institutionen för biologi och miljövetenskap

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>2</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>Introduktion</b> .....	<b>4</b>
Ursprung och global betydelse .....	4
Framtida hot och torka .....	4
Försvarsmekanismer.....	5
Rwanda och pågående projekt.....	5
<b>Syfte</b> .....	<b>6</b>
<b>Metod</b> .....	<b>6</b>
Växtmaterial och odlingsförhållanden .....	6
Torkbehandling .....	7
Dataanalys .....	7
<b>Resultat</b> .....	<b>8</b>
Vissningscykler under experimentet .....	8
Areamätning .....	9
Vattenförlust i början/slutet av cyklerna .....	9
Tvåfaktor ANOVA med upprepade mätningar .....	10
<b>Diskussion</b> .....	<b>11</b>
Tolkning av resultatet.....	11
Resultatens relevans och framtida arbeten .....	12
<b>Slutsats</b> .....	<b>13</b>
<b>Tackord</b> .....	<b>13</b>
<b>Referenser</b> .....	<b>14</b>

## Sammanfattning

Den vanliga bönan (*Phaseolus vulgaris*) är en av de mest konsumerade grönsakerna globalt och är en källa för många viktiga näringsämnen, speciellt i många utvecklingsländer. Rwanda i Afrika är särskilt beroende av bönan då den utgör lite mer än hälften av proteinet från födan och mycket resurser läggs på att förbättra de existerande genotyperna. En oundviklig utmaning är den stigande globala uppvärmningen. Förutom temperaturökningen så är en annan konsekvens de förändrade nederbördsmonstren vilket påverkar vattentillgången på många platser. En vanlig respons hos växter vid mindre vattentillgänglighet är att delvis eller helt stänga klyvöppningarna på bladen vilket minskar transpirationen. Att kunna reglera denna förmåga är därför viktig så att växten inte hinner torka ut innan nästa regnfall. Syftet med studien var att undersöka om det finns en skillnad i förmåga att acklimatisera sig till upprepad torra hos olika utvalda genotyper av den vanliga bönan, med ursprung från Rwanda. Detta gjordes genom att väga bönplantorna dagligen från att de vattnas vid experimentstart tills att de synligt såg vissna ut för att beräkna vattenförlusten och dess hastighet. När samtliga individer hos en genotyp visade tydliga tecken på vissning så återvattnas de och proceduren upprepas tills totalt tre cykler av vissningar hade genomförts för varje genotyp. Bladarean mättes även efter varje vattning eftersom ytan påverkar den totala mängden möjlig transpiration. Statistiska analyser gjordes för att se potentiella skillnader genom att jämföra de olika genotypernas hastighet för vattenförlust vid olika tidsintervall med varandra. En skillnad mellan genotyperna kunde finnas, men dess pålitlighet är låg på grund av ett lågt antal replikat och mängden testade genotyper. Det fanns dock ett fåtal genotyper vars resultat skiljde sig betydligt från de andra. En signifikant skillnad i hastigheten vattenförlust mellan de tre vissningscyklerna hittades vilket tyder på att bönplantorna genomgår en respons från torkan. Ett experiment med färre genotyper och fler replikat hade troligtvis gett säkrare resultat i det statistiska testet.

## Abstract

The common bean (*Phaseolus vulgaris*) is globally, one of the most consumed legumes and is great source of various important nutrients, especially in many developing countries. Rwanda in Africa relies heavily on the common bean, and more than half of their protein intake comes just from them. Therefore, a lot of resources is put to into improving the existing genotypes. An unavoidable challenge is the ever-increasing global temperatures. Not only does the average temperature increase, but the precipitation patterns will shift and change, which causes a different water availability in many regions. A typical response in plants to less water availability is to partially, or fully close the stomata which reduces the amount of transpiration. An ability to regulate this response is consequently very important to make sure the plant does not use all the available water until the next rainfall comes. The purpose of this study was to investigate differences in acclimation between repeated periods of drought in some picked genotypes of the common bean, which have an origin from Rwanda. This was tested by weighing the bean plants daily from the last watering at experiment start, until they visibly looked withered to calculate the speed of water loss. When most individuals of a genotype showed clear signs of withering, they were rewatered, and the procedure was repeated until there is a total of three cycles of withering for each genotype. In addition, the leaf area was measured after each watering because the area will affect the total possible transpiration. Statistical analysis was also done to determine if there is a difference between the genotypes speed of water loss at certain time intervals. A difference could be found between the genotypes, but its reliability was considered low because of low number of replicates inside the genotypes and the sheer number of genotypes tested. There were however a few genotypes that clearly stood out from the rest. A significant difference could also be found in the speed of water loss between the withering cycles, which indicates there is some form of response to the repeated drought. An experiment with fewer genotypes and more replicates would most likely give a more reliable result from the statistical tests that were done.

## Introduktion

### Ursprung och global betydelse

*Phaseolus vulgaris*, eller på svenska den vanliga bönan är en växt som tillhör släktet Fabaceae (baljväxter) och har sitt ursprung i Latinamerika (Figur 1) där den domesticerats av den inhemska befolkningen under många tusen år (Schoonhoven & Voysest, 1991). Över sin naturliga utbredning kan två större genpooler identifieras, en i Centralamerika och en i bergskedjan Anderna (Bittocchi et al., 2012). Orsaken till den genetiska variationen är inte helt klarlagd, men den mest accepterade teorin är att den andiska populationen spred sig och genom olika geografiska barriärer isolerades de tillräckligt för att skapa distinkta subpopulationer (Bittocchi et al., 2012). Den genetiska variationen under domesticeringen har dock varit en stor fördel, då den gav upphov till olika genotyper som klarade olika förhållanden (Schoonhoven & Voysest, 1991). Det underlättade införandet av bönan till andra delar av världen betydligt när Amerika väl upptäcktes. Andiska varianter föredrogs i Europa, Afrika och tempererade klimat i Nordamerika, medan de centralamerikanska varianterna var mer lämpade på platser som Sydamerika och sydvästra Nordamerika (Schoonhoven & Voysest, 1991). Bönan frodas bäst i varma och fuktiga miljö som efterliknar deras ursprung, så även många platser i Asien är också lämpliga för odling (Swamy, 2023).

Idag finns väldigt många varianter av den vanliga bönan som odlas kommersiellt och några kända exempel är kidneybönor, brytbönor eller pintoböna (Swamy, 2023). Lika stor skillnad mellan bönorna som konsumeras finns även mellan plantornas utseende, speciellt jämfört med de vilda sorterna. Egenskaper som förändrats mest av flera generationer förädling är framför allt höjden som plantorna växer sig till, en försämring i kapslarnas naturliga öppningsmekanism, samt vikten och storleken på bönorna (Schoonhoven & Voysest, 1991). Något som alla sorter har gemensamt dock (även samtliga baljväxter) är förmågan att skapa symbios med kvävefixerande bakterier från släktet *Rhizobium* och mykorrhiza (Swamy, 2023).

Dessa två hjälper tillsammans åt att öka tillväxthastigheten genom en lättare tillgång till näringsämnen (Chalk et al., 2006) och kan vara en anledning till att den vanliga bönan har blivit en av de viktigaste grönsakerna för oss människor (Swamy, 2023). Särskilt i många utvecklande länder där det är ett bra substitut på mineraler och proteiner då animaliska produkter kan vara alldeles för dyra (Celmeli et al., 2018).

### Framtida hot och torka

Den globala uppvärmningen som orsakas av de stigande halterna växthusgaser i atmosfären är ett problem som blivit mer uppenbart och kommer definitivt bli värre med tiden. Stigande havsnivåer från smältande glaciärer, ändrade nederbördsmönster och mer extremt väder (Uddin, 2022) är några av de många konsekvenser, men för jordbruket kommer förändrade nederbördsmönstren ha en stor inverkan. Enligt vissa modeller vid en förhöjd global



Figur 1. Genpooler av den vanliga bönan (Swamy, 2023). 1 visar den centralamerikanska och 2 visar den andiska genpoolen.

temperatur så ses en genomsnittlig global ökning i nederbörd, men på regionnivå kan skillnaden i många fall extrema (Figur 2) (Giorgi et al., 2019).

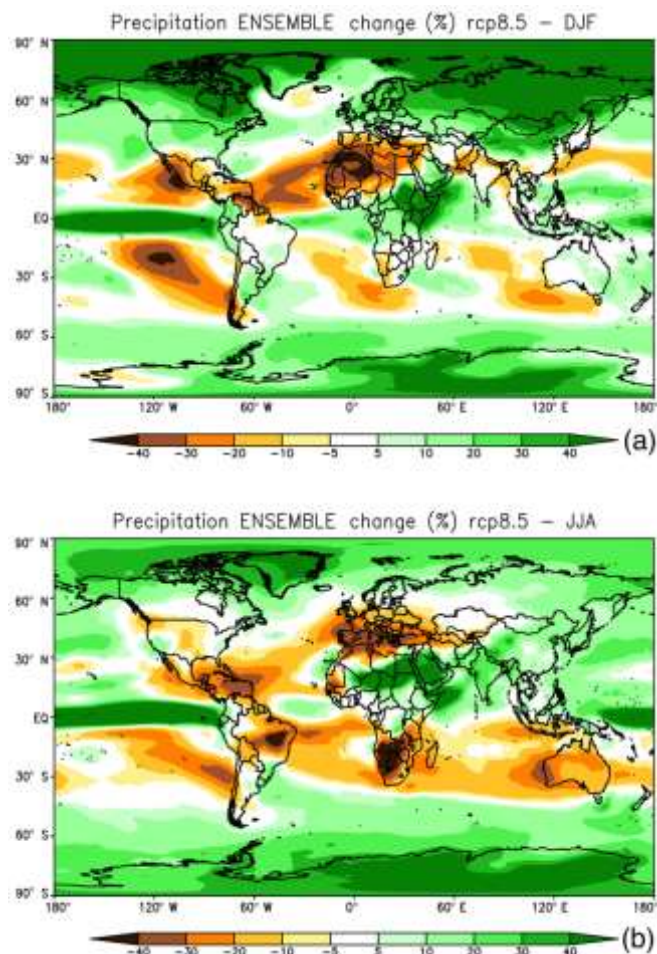
Vid torkområdena så utsätts växterna för en ökad stress då tillgång på vatten är essentiell i många biologiska funktioner som exempelvis turgor-trycket för att hålla sig upprätta, gasutbyte vid stomatan och kolfixerande processer under fotosyntesen (Nadeem et al., 2019). Alla dessa påverkar tillväxten negativt och beroende i vilket utvecklingsstadium torkan hamnar i så kan den totala skörden minska markant (Nadeem et al., 2019).

### Försvarsmekanismer

Växterna har dock utvecklat mekanismer för att bekämpa vattenbristen. Den huvudsakliga reaktionen vid torka är att reglera öppningsgraden för stomata (Nadeem et al., 2019). Detta är en viktig förmåga att kunna styra väl eftersom mer öppen stoma skulle snabbare förbruka vatten via transpirationen, och således löpa en större risk att helt torka ut. En annan mekanism är att producera och lagra specifika lösta ämnen i de celler som utsätts mest för torkan (Nadeem et al., 2019). Ämnenas förekomst i dessa celler fyller två funktioner. De agerar som en osmoregulator vilket gör att cellerna kan hålla kvar vatten längre vid stress, men även som ett skydd för lipider, proteiner och andra cellfunktioner som är viktigt att upprätthålla under (och för återhämtning av) stress (Nadeem et al., 2019). En alternativ mekanism som många baljväxter använder, men tar längre tid, är att anpassa sin levnadslängd till säsongerna (Nadeem et al., 2019). Målet blir i stället att hinna ta sig till reproduktionsstadiet innan torkperioden kommer och på så sätt leva vidare. Detta är mer förekommande vid områden med regn/torkperiod och innebär oftast en accelererad tillväxt vid vattentillgång. Att ta fram genotyper som är bättre anpassade på dessa egenskaper är därför ett bra steg till en rikare skörd på platser med mindre nederbörd.

### Rwanda och pågående projekt

Landet som är speciellt beroende av den vanliga bönan är Rwanda i Afrika (Oparinde et al., 2015). De har den högsta konsumtionen av bönor i världen per capita och utgör ca 65% av proteinet från kosten. Forskning för att fram bättre bönsorter är därför en stor prioritet och något som Rwanda Agriculture and Animal Resources Development Board (RAB) arbetar mycket med (RAB, 2024). Det är en självständig myndighet som är uppsatt av Rwanda enligt lag med syfte att utveckla jordbruket och. Göteborgs universitet har ett samarbete med RAB och University of Rwanda med fokus att forska på hur genetiska komponenter styr den vanliga bönans torktolerans (Andersson, 2023). Till forskningen har Göteborgs universitet



Figur 2. Globala nederbördsförändringar vid 4°C temperaturökning år 2071–2100 enligt regional climate model med CMIP5 data. (a) Under december-februari (b) Under juni-augusti (Giorgi et al., 2019)

fått tillgång till olika genotyper av den vanliga bönan, lantsorter (L) och förädlade sorter (i). Lantsorterna är insamlade på 80-talet i Rwanda och kultiveras mestadels för att bevaras, medan de förädlade sorterna används mer kommersiellt i landet. De flesta av de förädlade sorterna kommer från ett aktivt bönprogram från International Center for Tropical Agriculture (CIAT) som fokuserar på att ta fram bönor med bättre avkastning, mer resistenta mot insekter och öka innehållet av specifika näringsämnen (Alliance Biodiversity & CIAT, 2024). En fördel som lantsorterna har är att de odlats i det lokala klimatet under en längre tid, vilket troligtvis medfört gynnsamma adaptationer relaterade till torktolerans och vattenanvändning. Att kombinera äldre, hårdigare genotyper med nya, mer produktiva skulle potentiellt vara en lösning på framtidens problem.

## Syfte

Syftet med studien var att undersöka om det finns någon skillnad hur väl några olika genotyper reagerar på upprepad torka, och om det sker någon acklimatisering i vattenanvändning mellan torkperioderna. Studien ses som en pilotstudie för att kartlägga basala egenskaper gällande torktolerans och vattenanvändning hos de testade genotyperna, vilket kan användas av pågående eller framtida projekt.

## Metod

### Växtmaterial och odlingsförhållanden

Tio genotyper (L8, L21, L30, L34, L36, i3, i5, i6, i7, i8) valdes ut baserat på olika egenskaper från tidigare fältstudier i Rwanda. För varje genotyp användes 4 krukor/replikat vilket fick totalen att bli 40 krukor. Varje kruka fylldes först med vanlig planteringsjord som lätt fuktats med vatten tills det fanns ca 1 cm från den övre kanten kvar. För att öka chansen lyckad tillväxt så placerades två frön försiktigt ned i jorden med ett skapligt avstånd från varandra. Över jorden och fröna lades även ett lager vermikulit som hjälpte tillväxten. Krukorna placerades därefter i en slumpmässig ordning i 5 olika backar och lades in i en klimatkammare där kunde växa till sig. De allmänna förhållandena i kammaren var en ljusintensitet på  $400 \mu\text{mol/s/m}^2$  fotoner vid första bladet, 12 timmar mörker, 12 timmar ljus från 07:00-19:00 med en relativ luftfuktighet på 45% under dagen och 80% på natten för att minska vattenförluster i form av avdunstning. I kammaren vattnades plantorna dagligen under vardagarna och extra på fredagen så att det räckte helgen ut. En rotering av backarna gjordes även i samband med den vardagliga vattningen för att minska påverkan av positionen i kammaren och detta för att jämna ut den allmänna tillväxten. Vattningen höll på ända fram till experimentstart. Ca 1 vecka efter sådden av fröna så valdes den mest vuxna plantan ut från varje kruka och den andra togs bort.

När de var ca 6 veckor gamla så förbereddes samtliga krukor inför experimentet genom att placera en pinne i mitten bredvid plantan vilket de kunde växa runt, en täckning av så stor jordyta som möjligt med vanlig plastfolie och tejp i syfte att minimera direkt vattenförlust från jorden i form av avdunstning, samt att mäta totala bladarean för varje planta eftersom arean påverkar den möjliga transpirationen.

Mätningen av bladarean gjordes med appen Easy Leaf Area, som är ett verktyg för att approximera bladens area (Easlon & Bloom, 2014). För att appen ska räkna ut bladarean kräver den en röd referensruta på  $4 \text{ cm}^2$  vilket den jämför med den gröna ytan på bladen. För att underlätta mätningen och inte riskera att ta med grönt i bakgrunden så placerades två vita papper med långsidan mot varandra bakom bladen. I ett av pappren klipptes en springa i

mitten på långsidan där stjälken på plantan kunde enkelt få plats vilket ytterligare underlättade mätningarna. Summan av alla bladens area på varje individuell planta antecknades sedan.

### Torkbehandling

Experimentet startade dagen efter plastfoliebehandlingen och började med att vattna alla backar generöst med näringsberikat vatten på morgonen. I vattnet fick krukorna stå 3–4 timmar för att låta jorden bli maximalt mättad med vatten och därefter tömdes backarna på vatten. Efter tömningen vägdes varje kruka och tiden det tog från den första till den sista vägningen noterades, så att ett genomsnitt för tiden kunde beräknas. Krukorna vägdes därefter dagligen, framför allt på morgonen vid samma tid och vattnades inte längre. De roterades dock fortfarande. Morgonen valdes för att inte låta dem transpirera igen under soltid vilket ger ett säkrare mått på hur mycket vatten som förlorades under ett helt dygn. Denna procedur höll på tills minst 3 av de 4 plantorna i en genotyp visade starka/tydliga tecken på vissning, se Figur 3. Då placerades de vissnade genotyperna i en ny back efter morgonens vägning och vattnades åter igen med näringsberikat vatten för att mätta jorden. Efter några timmar togs vattnet bort, en ny slumpmässig placering gjordes och alla krukorna vägdes igen för att få med den mättade jordens vikt. Dagen efter så räknades även arean ut igen för de genotyper som vattnades dagen innan. Detta steg slutförde en vissningscykel och experimentet varade tills alla genotyper hade genomgått 3 cykler. Sista vägningen skedde 1 maj.



Figur 3. Tre godtyckliga vissningsgrader som användes för att avgöra hur vissna bönplantorna var under experimentets gång. A visar plantor med inga/få tecken på vissning, B visar en planta med tecken på vissning i form av minskad upprätthet och C visar en planta med tydliga/starka tecken på vissning vilket ses på den minskade upprättheten, men även hur bladen är betydligt mer fladdriga.

### Dataanalys

Med den insamlade data från experimentet så kunde statistiska tester göras för att se om skillnaden mellan genotyperna var signifikant. De två egenskaper som valdes ut för denna studie var:

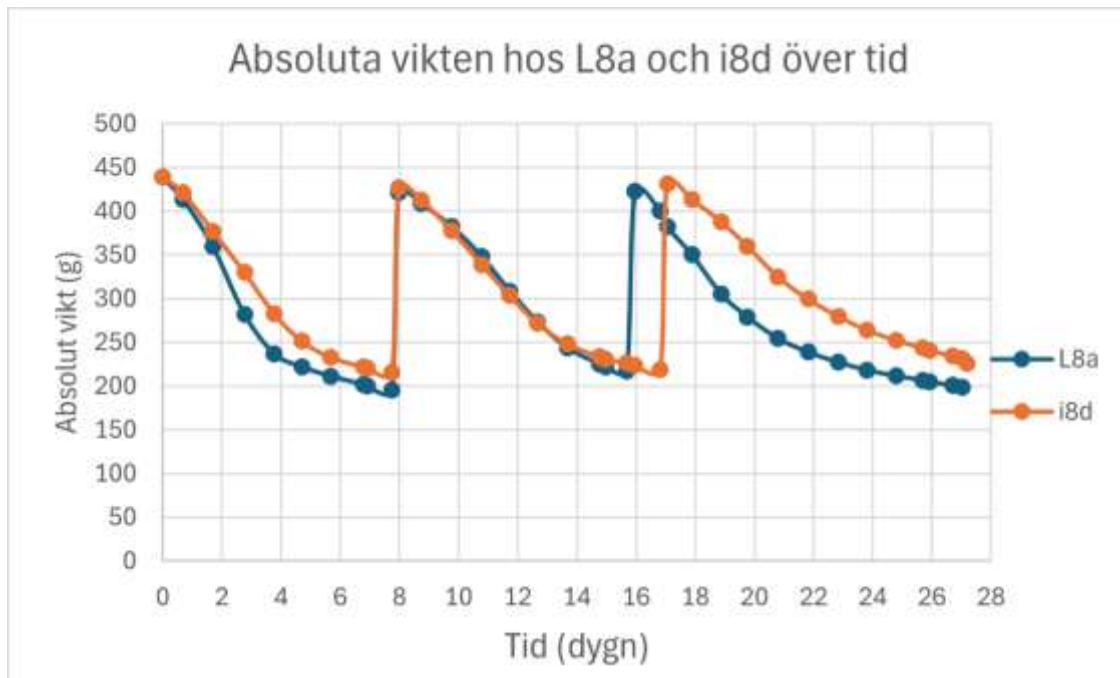
- Om hastigheten av vattenförlusten skiljer sig mellan starten av cyklerna och om det finns skillnad mellan genotyperna
- Om hastigheten av vattenförlusten skiljer sig mellan slutet av cyklerna och om det finns skillnad mellan genotyperna

Vattenförlusten i början och slutet av cykeln valdes ut, då värdet på denna hastighet kan antas vara extremast och därmed ge mest information om stomatas öppningsgrad mellan cykler. Vattenförlusten togs fram genom att göra en linjär regression för de tre första/sista dygnen under en cykel (g/dygn) och dividera med bladens genomsnittsarea ( $m^2$ ) för cykeln i fråga. Dessa värden på vattenförluster användes senare i de statistiska testerna. Baserat på experimentdesignen så valdes en tvåfaktor ANOVA med upprepade mätningar att genomföras då både en skillnad mellan starterna i cyklerna för en genotyp och mellan genotyper vill testas, samt att mätvärden som samlats in beror av varandra på grund av den dagliga vägningen. Det rekommenderades även att transformera data till dess motsvarande logaritmiska värde innan testet för att få responsvariablerna mer linjära (JMP, 2022). Båda testerna utfördes i JMP, vilket är ett mjukvaruprogram inriktat bland annat på att utföra och analysera statistiska tester på data (JMP, 2024).

## Resultat

### Vissningscykler under experimentet

Experimentet varade i sin helhet lite över 28 dygn innan alla genotyper hade genomgått alla tre vissningscykler. Längden på cyklerna visade sig dock variera både inuti individerna och mellan genotyperna, där den sista cykeln för samtliga genotyper varade aningen längre än de tidigare två. I samband med varje vägning så antecknades tiden i dygn från experimentets start vilket gör att vikten på krukorna kan illustreras grafiskt över tid, se Figur 4. I grafen finns individerna L8a och i8d, dvs 2 av 40 individer, som är till för att se generella mönster och skillnader. Här kan de tre distinkta vissningscyklerna tydligt ses när vikten går ner över tid tills de återigen vattnas och vikten ökar. En klar iakttagelse är att hastigheten som vikten minskar är större i starten av varje cykel, men avtar mer mot slutet när de började se vissna ut. En liknande vikt vid starten och återvattningarna kan även ses vilket tydliggör hur vattenförlusten skiljer sig mellan dessa två individer. Det reflekteras i deras varierande illustrerade kurvor, men även i de olika långa cyklerna.



Figur 4. Två exempel hur den absoluta vikten (g) förändras från första till sista dagen (dygn) av experimentet. Grafen visar individerna L8a och i8d där de 3 genomförda vissningscyklerna kan ses.

### Areamätning

För varje individuell kruka så gjordes 4 bladareamätningar. En dagen efter experimentstart, och sen dagen efter varje vissningscykel. Bladarean varierade kraftigt mellan individer och genotyper, men en generell ökning kunde ses från den första mätningen till sista med en genomsnittlig areaökningsfaktor på 2,43. Vissa minskade dock i area mellan näst sista och sista mätningen på grund av tappade blad. Den minsta mätta bladarean vid första mätningen var  $0,19 \text{ dm}^2$  och den största  $0,66 \text{ dm}^2$ , vilket motsvarar en faktor på ca faktor 3,5 i skillnad. Vid sista mätningen var den minsta bladarean  $0,45 \text{ dm}^2$  och den största  $1,81 \text{ dm}^2$  vilket är aningen större faktor på ca 4, men den absoluta skillnaden i area är betydligt mycket större.

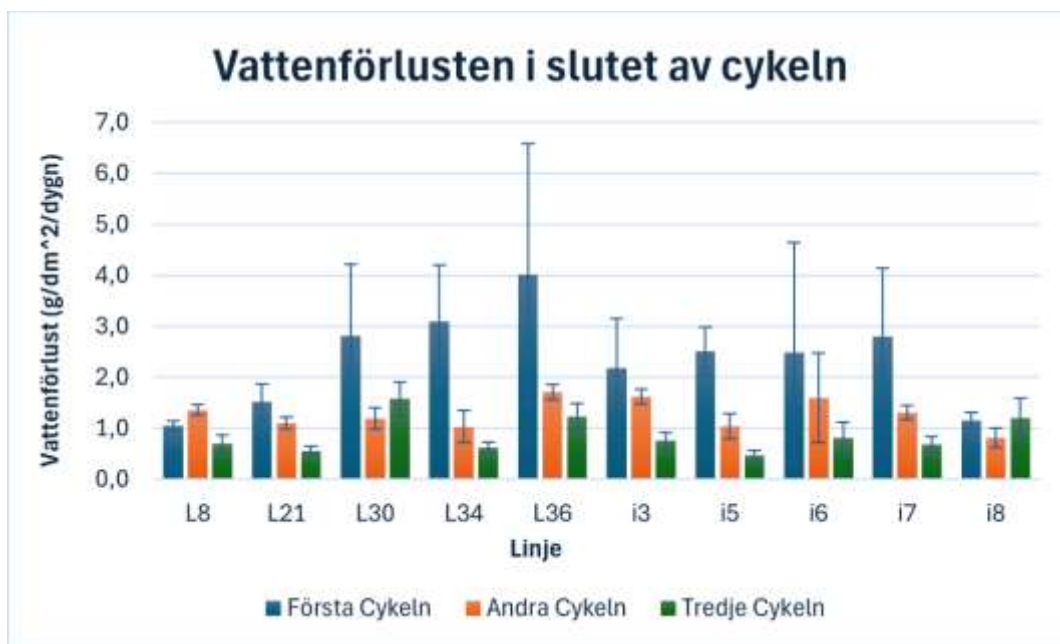
### Vattenförlust i början/slutet av cyklerna

Inför tvåfaktor ANOVAn så beräknades vattenförlusten i starten och slutet av cyklerna. Dessa värden kan användas för att få en överblick om hur genotyperna skiljde sig åt. Figur 5 visar den genomsnittliga vattenförlusten för varje genotyp under de tre första dyggen i varje cykel i form av ett stapeldiagram. Vattenförlusten i första cykeln är märkvärdigt högre än de andra två cyklerna inom samma genotyp, samt att felstaplarna är aningen större i den första cykeln. Den andra cykelns genomsnittliga vattenförlust verkar även vara något högre än den tredje cykeln. Genomsnittet mellan genotyperna varierar dock, men L36 har högst vattenförlust och minst har i8.

Figur 6 visar den genomsnittliga vattenförlusten för alla genotyper i slutet av varje cykel med samma upplägg som i Figur 5. Något som direkt märks i Figur 6 är att för respektive genotyp så är vattenförlusten betydligt mycket mindre i slutet än dess start i Figur 5 för samma cykel. Figur 4 gav också en ledtråd till detta. Även i detta stapeldiagram så har den första cykeln hos många genotyper ett mycket högre värde än de andra cyklerna och i samband väldigt stora felstaplar. Förutom dessa så är den relativa skillnaden på genomsnittet rätt stor inom en genotyp, men skiljer sig mycket mellan genotyper också. L36 var genotypen med över lag högst vattenförbrukning vid cykelns slutet och minst vid slutet av experimentet var genotyp i5.



Figur 5. Den genomsnittliga vattenförlusten (g/dm<sup>2</sup>/dygn) för varje genotyp (n=4) under de tre första dygnen i alla tre genomförda vissningscykler. Felstaplarna anger standardavvikelsen.



Figur 6. Den genomsnittliga vattenförlusten (g/dm<sup>2</sup>/dygn) för varje genotyp (n=4) under de tre sista dygnen i alla tre genomförda vissningscykler. Felstaplarna anger standardavvikelsen.

### Tvåfaktor ANOVA med upprepade mätningar

Tvåfaktor ANOVAn för upprepade mätningar gav följande resultat:

- Det fanns en signifikant skillnad i vattenförlust i starten av cyklerna både inom en genotyp ( $p < 0,0001$ ,  $df=1,82$ ) och mellan genotyper ( $p < 0,001$ ,  $df=9$ )
- Skillnaden i vattenförlust vid slutet av cyklerna var signifikant både inom en genotyp ( $p < 0,0001$ ,  $df=1,82$ ) och mellan genotyper ( $p=0,031$ ,  $df=9$ )

Ett signifikant resultat i dessa tester säger enbart om det finns åtminstone en skillnad i vattenförlust mellan två cykler inom genotypen, eller mellan genotyper. Vilka enskilda genotyper eller cykler som sticker ut och skiljer sig åt anger inte testet.

## Diskussion

### Tolkning av resultatet

Utifrån resultaten från experimentet så kan det nästan garanteras att det finns en signifikant skillnad i vattenanvändning både mellan cykler inom genotypen och mellan genotyper. Inte ett förvånande resultat utifrån Figur 5 och 6, men betydelsen av dessa skillnader och dess tillförlitlighet blir i stället nästa fråga. Ett av fenomenen som tydligt märktes var att vattenförlusten för starten och i slutet för många genotyper var högre än de andra två. Det tyder på att någon form av acklimatisering har skett efter den första cykeln hos samtliga eller majoriteten av genotyper. Eftersom växterna inte utsatts för någon torka innan den första vissningscykeln, så kan det antas att reglering av stomata från den minskade vattenpotentialen i jorden är den huvudsakliga responsen då de inte haft tid att acklimatiserats. För de andra två följande cyklerna så bör stomatareglering fortfarande vara en betydande del, men kan bero på andra mekanismer som till exempel osmoregulation (Nadeem et al., 2019). Vid planeringen av studien så ingick dock ett test för att mäta osmolariteten i bladen vid starten och slutet av experimentet för att veta hur stor roll osmoregleringen har, men tiden fanns inte för att slutföra detta och är därför inte med i studien. Vid tidigare studier som testat osmolariteten i den vanliga bönan vid torkstress så visar sig det att koncentrationen för många osmoreglerande ämnen ökar kraftigt (Amede & Schubert, 2003). De testade bönorna är förvisso av helt olika genotyper, men borde reflektera genotyperna i denna studie någorlunda väl. Ett osmolaritetstest hade därför varit ett bra tillägg i denna studie för att klarlägga dess effekt på vattenanvändningen.

Den stora variationen för slutet i första cykeln kan också ställa till problem vid analysering av grafen och de statistiska testerna som gjordes. Orsaken till den breda variationen för dessa är att enstaka individer inte växte lika snabbt som de andra inom samma genotyp vilket ledde till att de fortfarande förbrukade mycket vatten när de andra började vissna. Storleken påverkade även bladarean som var mindre i dessa fall. Med tiden verkade de hinna växa i kapp de andra inom samma genotyp, men den osynkroniserade tillväxten kan tänkas påverka resultatet i de följande cyklerna. Effekten av den bredare variationen gör att det blir svårare att hitta en signifikant skillnad mellan genotyper, men det hade inte en tillräckligt stor effekt för få resultatet att bli icke-signifikant ( $p=0,031$ ). Ett alternativ hade varit att utesluta de individer som inte växte tillräckligt snabbt för att få en jämnare variation om resultatet var icke-signifikant.

En annan intressant iakttagelse var den relativt stora tillväxten och bladareaförändring hos plantorna under experimentets gång. Eftersom tillväxten direkt ökar den totala bladarean för så kommer det påverka beräkningarna för de genomsnittliga vattenförlusterna. Den absoluta vattenanvändningen kommer vara högre i en större planta, så att få med denna faktor i beräkningarna är viktigt då bladarean styr den maximala möjliga transpirationen/vattenförbrukningen, och på så sätt spelar storleken på växten mindre roll. Speciellt när bladarean varierade så kraftigt mellan genotyper och individer. Något som kan påverka resultaten är bladavfall, vilket är en vanlig respons hos många baljväxter vid torkstress (Farooq et al., 2016). Principen bakom fenomenet är att offra produktivitet mot en högre chans att inte torka ut. Detta observerades under alla vissningscykler, men ökade i frekvens med tiden och var väldigt vanligt i den tredje cykeln. Bladarean minskade till och

med från cykel 2 till 3 för vissa individer. En minskning i bladarean kan tänkas ha två effekter för studien. Växtens faktiska vattenanvändning kommer minska, samtidigt som den beräknade vattenanvändningen kommer öka då divisionen sker med en mindre bladarea. Det vill säga, tappar en individ relativt mycket blad kommer den beräknade vattenanvändningen öka, men tappar den lite eller ingenting håller den sig låg. Dessa två effekter varierar troligtvis mellan genotyper och individer, vilket kan vara en förklaring till de växlande vattenanvändningarna mellan slutet av cykel 2 och 3 för vissa genotyper. Ett drömscenario hade varit att mäta bladarean samtidigt som vägningen dagligen, för att få nästan korrekta värden, men det skulle tagit alldeles för lång tid. En mer frekvent bladareamätning hade varit en förbättring om experimentet gjordes om.

### **Resultatens relevans och framtida arbeten**

Det absolut största problemet med experimentdesignen för studien är det låga antalet replikat per genotyp och mängden prövade genotyper. Lägre replikatstorlekar leder ofta till en större varians runt det sanna medelvärdet inom den definierade populationen, vilket underminerar och försvårar statistiska tester för att avgöra om det finns någon skillnad. En replikatstorlek på 4 per genotyp i detta experiment är avsevärt lite och är delvis orsaken till de stora felstaplar i Figur 5 och 6. Det reflekteras dock inte i resultatet för tvåfaktor ANOVAn då den var signifikant i alla tester och anledningen till det är framför allt på mängden genotyper som testades. Det statistiska testet beskriver endast om det finns åtminstone en skillnad mellan cykler eller genotyper, och chansen för att finna någon skillnad ökar exponentiellt när antalet genotyper ökar då de testas mot varandra. Att öka replikaten och minska antalet genotyper som testas hade varit en bra åtgärd för att få ett mer pålitligt resultat. Med tanke på att syftet på studien är en pilotstudie för att upptäcka skillnader mellan genotyperna så är det statistiska testet inte det mest relevanta, utan tolkningen av data från Figur 5 och 6 är mer intressant för ändamålet.

Samtidigt som denna studie utfördes, så pågick ett projekt som analyserar genetiska komponenter som styr torktoleransen för bönor på Göteborgs universitet. En möjlig applicering av resultatet från denna pilotstudie hade varit att fokusera mer på den genetiska analyseringen av de genotyper som visade mest gynnsamma egenskaper när det gäller vattenanvändning. Om enbart vattenanvändning är egenskapen som undersöks så hade en optimal genotyp visat en hög vattenanvändning vid starten av cykeln och en låg vid slutet av cykeln. Ett sådant mönster skulle innebära att växten är produktiv när det finns rikligt med vatten i jorden och är snål när det finns brist. Genotypen L36 visade i genomsnitt högst vattenanvändning vid början av cykeln, men använde förhållandevis mycket vid slutet. Vattenanvändningen för i5 var betydligt mindre än L36 vid starten av cyklerna, men aklimatiserade sig bäst vid slutet av experimentet. En korsning mellan dessa två skulle vara intressant för att se om den nya genotypen har kvar de båda positiva egenskaperna. Detta är bara ett exempel på hur tillvägagångssättet kan se ut, men mer arbete behöver läggas på att hitta genetiska komponenter som styr vattenanvändningen. Det kommer underlätta framtida förädlingsprocesser eller genetisk manipulering för att ta fram nya mer torktoleranta genotyper. Att odla och testa olika genotypers egenskaper är därför en bra grund att basera den genetiska forskningen på.

För att framställa en genotyp som är mer torktolerant för kommersiellt bruk, så är bättre vattenanvändning en viktig anpassning, men det finns många andra egenskaper som också har en stor betydelse. Det är bland annat rotdjup och lateral rotdensitet (Camilo et al., 2021), osmoregulering (Nadeem et al., 2019), skott och bladbeteenden (Subbarao et al., 1995), utvecklingsplasticitet, och anpassad tillväxthastighet för lokala regnsäsonger (Nadeem et al., 2019). Därför finns ett väldigt brett utvecklingsområde för att förbättra existerande

genotyper, vilket bör tas i åtanke under förädlingsprocessen. Effekten som de individuella egenskaperna har på torktoleransen varierar, men det viktigaste är att anpassa dem till de förutsättningar som finns i regionen de tänkt odlas i. Att testa genotyperna i denna studie för ytterligare en eller flera egenskaper separat hade gett en mer nyanserad bild över dess faktiska torktolerans. Det finns dock underlag att mer torktoleranta egenskaper leder till en minskad skörd (Subbarao et al., 1995). Det ses som ett utbyte i avkastning mot en ökad chans överlevnad. Givet att torktoleransen minskar avkastningen, så hade även en överanpassning varit missgynnande. Att anpassa genotyperna tillräckligt mycket för att överleva torkan, men fortfarande ge en god skörd, är då också ett viktigt arbete.

## **Slutsats**

Målet med studien var att odla upp och hitta skillnader mellan olika utvalda genotypers vattenanvändning när de utsattes för upprepad torka, samt om det fanns någon acklimatisering under perioderna. Skillnader kunde hittas både genom analysering av data och statistiska analyser, men resultaten från de statistiska testerna var inte helt tillförlitliga. Detta med tanke på experimentdesignen och de valda statistiska testerna, men en klar skillnad mellan genotyperna hittades fortfarande. För att förbättra metoden hade fler replikat med mindre genotyper kunnat testas. Resultaten från denna studie kan troligtvis användas som basis av pågående eller framtida studier för att få en uppfattning över de testade genotypernas torktoleransförmåga. Det kan ge en ledtråd för vilka genotyper som mer/mindre forskning bör läggas på, vilket förhoppningsvis leder till att i framtiden skapa en genotyp som är bättre anpassad till torkan och kan mätta fler människor.

## **Tackord**

Först och främst vill jag tacka min handledare Mats Andersson som har varit med under hela arbetets gång och svarat på oändligt många frågor som dykt upp på vägen. Det har varit en väldigt lärorik period och bra introduktion till forskarvärlden för en relativt ny student, så tack Mats för din vägledning. Ett tack går även till Karin Johansson som varit till en stor hjälp för att lösa de statistiska testerna. Sen vill jag även tacka Neethu och Diana Laura som varit med och hjälpt till i många moment under experimentets gång.

## Referenser

Alliance Biodiversity & CIAT. (Juni 2024). *BEANS*.

<https://alliancebiodiversityciat.org/crops/beans>

Amede, T., Schubert, S. (2003). Mechanisms of Drought Resistance in Grain Legumes I: Osmotic Adjustment, *SINET: Ethiopian Journal of Science*, 26 (1): 37-46.

<https://doi.org/10.4314/sinet.v26i1.18198>

Bitocchi, E., Nanni, L., Bellucci, E., Rossi, M., Giardini, A., Zeuli, S., Logozzo, G., Stougaard, J., McClean, P., Attene, G., Papa, R. (2012). Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data, *National Academy of Sciences*, 109 (14): E788-E786, <https://doi.org/10.1073/pnas.1108973109>

Camilo, S., Odindo A. O., Kondwakwenda, A., Sibiya, J. (2021). Root Traits Related with Drought and Phosphorus Tolerance in Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.), *Agronomy*, 11 (3): 552, <https://doi.org/10.3390/agronomy11030552>

Celemi, T., Sari, H., Canci, H., Sari, D., Adak, A., Eker, T., Toker, C. (2018). The Nutritional Content of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces in Comparison to Modern Varieties, *Agronomy*, 8 (9): 166, <https://doi.org/10.3390/agronomy8090166>

Easlon, M. H., & Bloom, J. A. (2014). Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area, *Applications in Plant Science*, 2 (7), <https://doi.org/10.3732/apps.1400033>

Farooq, M., Gogoi, N., Barthakul, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S. S., Siddique, K. H. M. (2016). Drought Stress in Grain Legumes during Reproduction and Grain Filling, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203 (2): 81-102, <https://doi.org/10.1111/jac.12169>

Giorgi, F., Raffaele, F., Coppola, E. (2019). The response of precipitation characteristics to global warming from climate projections, *Earth System Dynamics*, 10 (1): 73-89, <https://doi.org/10.5194/esd-10-73-2019>

JMP. (2022). *JMP Note 575343 – Analyzing Repeated Measures in JMP® Software*.

<https://community.jmp.com/t5/JMP-Knowledge-Base/Analyzing-Repeated-Measures-in-JMP-Software/ta-p/575343>

JMP. (2024). JMP Pro (Version 17) [Statistiskt verktyg]

[https://www.jmp.com/en\\_us/home.html](https://www.jmp.com/en_us/home.html)

Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Ma, C., Wang, X., Qiu, L. (2019). Research Progress and Perspective on Drought Stress in Legumes: A Review, *International Journal of Molecular Sciences*, 20 (10): 2541, <https://doi.org/10.3390/ijms20102541>

Oparinde, A., Birol, E., Murekezi, A., Katsvairo, L., Diressie, M., Nkundimana, J., Butare, L. (2015). Consumer Acceptance of Biofortified Iron Beans in Rural Rwanda: Experimental Evidence, *International Association of Agricultural Economists*, Aug 9-14 <http://doi.org/10.22004/ag.econ.211353>

Rwanda Agriculture and Animal Resources Development Board. (2024). *About RAB*.  
<https://www.rab.gov.rw/>

Schoonhoven, V. A., & Voysest. O. (1991). Common Beans: Research for crop improvement, *Centro Internacional de Agricultura Tropical*, ISBN 958-9183-24-7

Subbarao, G. V., Johansen, C., Slinkard, A. E., Nageswara Rao, R. C., Saxena, N. P., Chauhan, Y. S. (1995). Strategies For Improving Drought Resistance In Grain Legumes, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14 (6): 469-523,  
<https://doi.org/10.1080/07352689509701933>

Swamy, K. R. M. (2023). Origin, Domestication, Taxonomy, Botanical Description, Genetics and Cytogenetics, Genetic Diversity and Breeding of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.), *International Journal of Current Research*, 15 (05): 24769-24796,  
<https://doi.org/10.24941/ijcr.45447.05.2023>

The role of arbuscular mycorrhiza in legume symbiotic performance, *Soil Biology and Biochemistry*, 38 (9): 2944-2951, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.05.005>

Uddin, S. (2022). Causes, Effect, and Solutions to Global Warming, *Academia Letters*, 4829,  
<https://doi.org/10.20935/AL4829>