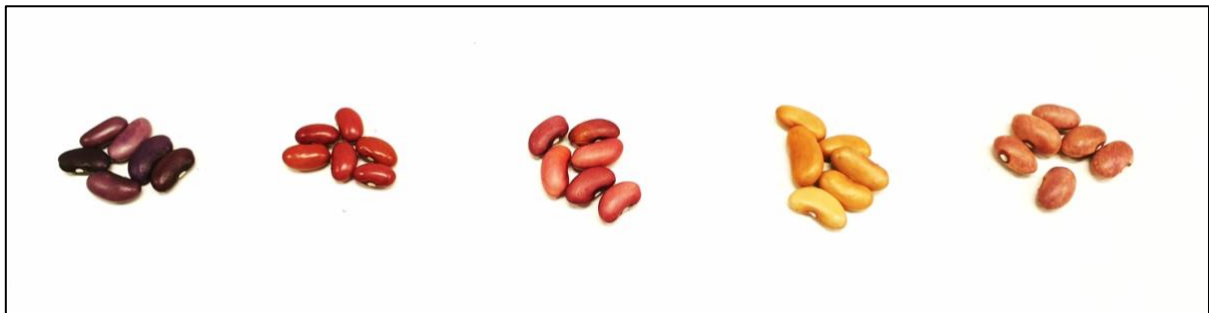




INSTITUTIONEN FÖR BIOLOGI OCH
MILJÖVETENSKAP

NEDKYLNING HOS VANLIG BÖNA, *PHASEOLUS VULGARIS*



Camilla Sjöndin

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområdet biologi

BIO602 Biologi: Examensarbete 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

Sammanfattning	2
Abstract	3
1 Introduktion.....	4
1.1 Den globalt viktiga bönan	4
1.2 Vanlig böna, <i>Phaseolus vulgaris</i>	4
1.3 Nedkylning genom transpiration	4
1.4 Tidigare forskning	5
1.5 Syftet med studien	5
2 Material och metod	6
2.1 Bönorna	6
2.2 Fältstudien	6
2.3 Labbstudien	6
2.4 Statistiska analyser	7
3 Resultat.....	7
3.1 Fältdata	7
3.2 Labbdata	8
4 Diskussion.....	10
4.1 Nedkylning av blad.....	10
4.2 Ökade lufttemperaturer.....	10
4.3 Ökade ljusintensiteter	10
4.4 De olika sorterna.....	10
4.5 Bladmorfologins inverkan	11
4.6 Slutsats.....	11
Tackord	11
Referenslista.....	11
Bilaga 1.	14

Sammanfattning

Böner är en global källa till vegetabiliskt protein och i vissa länder utgör de en huvudkälla för proteinintag. Under fortsatta klimatförändringar, som ökade temperaturer, är det nödvändigt att anpassa böner för att säkerställa en tillförlitlig livsmedelsförsörjning. En viktig mekanism som många växter har för att möta höga temperaturer är nedkylning genom transpiration. Vid transpiration öppnas stomata och avger vattenånga. Vattenmolekylerna använder värmeenergi från bladet för att övergå till gasform och därmed kyls bladet ner. Studiens mål var att undersöka hur omfattande nedkylningen är hos vanlig böna, *Phaseolus vulgaris*, och hur nedkylningen skiljer sig mellan olika bönsorter. Detta gjordes genom att jämföra skillnader i blad- och lufttemperaturer från befintliga fältdata från Rwanda och ett urval av fem bönsorter i laboratoriemiljö. I labb undersöktes dessutom hur en ökning av lufttemperaturer och ökning i ljusintensitet påverkar nedkylningsprocessen. I både fält- och labbstudien var plantorna bevattnade så att tillgång på vatten inte begränsade transpirationen. Både resultaten från fält och från labb visar att vanlig böna sänker bladtemperaturen med i genomsnitt 3,3 °C i förhållande till lufttemperaturen och att nedkylningen är större vid höga lufttemperaturer än i låga. Detta beror troligen på ökad VPD (Vapour pressure deficit) och ökad stomatakonduktans. Resultaten från labbstudien visade också att nedkylningen minskade med ökad ljusintensitet. I fältdata visades inga signifikanta skillnader mellan bönsorterna. Labbdata gav inte entydiga resultat men visar en trend där en sort oftast kylde sig bättre än övriga. Studien visar att transpirationell nedkylning är en viktig mekanism hos vanlig böna för att undvika höga temperaturer. Den ökande nedkylningen skyddar mot värmens skadliga påverkan och tillåter fortsatt fotosyntes även vid höga lufttemperaturer.

Abstract

Beans are a global source of plant-based protein, and in some countries, they constitute a primary source of protein intake. With ongoing climate change, including rising temperatures, it is necessary to adapt beans to ensure a reliable food supply. An important mechanism that many plants have, to cope with high temperatures, is cooling through transpiration. During transpiration, stomata open and release water vapor. Water molecules use heat energy from the leaf to convert into gas, thereby cooling the leaf. The aim of this study was to investigate the extent of cooling in common bean, *Phaseolus vulgaris*, and how cooling differs between various bean varieties. This was done by comparing differences in leaf and air temperatures from existing field data from Rwanda and a selection of five bean varieties in a laboratory setting. Additionally, the lab examined how an increase in air temperatures and an increase in light intensity affect the cooling process. In both the field and lab studies, the plants were watered so that water availability did not limit transpiration. Both field and lab results show that common beans lower leaf temperature by an average of 3.3°C relative to air temperature and that cooling is greater at higher air temperatures than at lower ones. This is likely due to increased VPD (Vapor Pressure Deficit) and increased stomatal conductance. The lab results also showed that cooling decreased with increased light intensity. In the field data, no significant differences between the bean varieties were observed. The lab data did not provide conclusive results but showed a trend where one variety often cooled better than the others. The study demonstrates that transpirational cooling is an important mechanism in common beans to avoid high temperatures. The increased cooling protects against the harmful effects of heat and allows continued photosynthesis even at high air temperatures.

1 Introduktion

1.1 Den globalt viktiga bönan

Baljväxter utgör en viktig källa för vegetabiliskt protein för människor globalt. I många utvecklingsländer utgör den huvudkälla för protein (Araújo et al., 2015). Vanlig böna, *Phaseolus vulgaris* är den mest odlade baljväxten för mänsklig konsumtion med en uppskattad produktion på ca 28 miljoner ton/år, främst i Asien, Nord- och Sydamerika och Afrika (FAO, 2022). I till exempel Rwanda (där fältdata i denna studie är hämtad) står bönor för upp till 65% av det genomsnittliga hushållets proteinintag och 32% av kaloriintaget (REMA, 2015). Många av de områden som är viktiga för bönproduktion är också områden där modeller förutspår de största klimatförändringarna (Williams et al., 2007).

Utöver sitt höga näringsinnehåll bidrar bönor till ett mer hållbart jordbruk (Uebersax et al., 2023). Baljväxter har låg påverkan på utsläpp av växthusgaser, landanvändning, energianvändning, övergödning, och försurning (Willett et al., 2019). Eftersom bönor, liksom andra baljväxter, lever i symbios med kvävefixerande bakterier krävs ingen tillsatt kvävegödsling vilket minskar kväveläckage och gör odlingarna resurssnålare. Bönor är näringseffektiva, går att lagra länge efter skörd och kräver inte lika mycket processning från skörd till konsument, som andra grödor (Uebersax et al., 2023). För bönor krävs också mindre odlingsytor än för andra grödor. Sedan 90-talet har produktionen ökat med ca 64% medan odlingsytan endast ökat med 38% (FAO, 2022).

1.2 Vanlig böna, *Phaseolus vulgaris*

Vanlig böna härstammar ursprungligen från två olika genpooler, en från Anderna och en från Mesoamerika. Den Andinska har evolverat vid medelhöga till höga altituder medan den Mesoamerikanska har evolverat vid något lägre altituder (Araújo et al., 2015). Vanlig böna uppvisar en rik diversitet och växer i olika typer av miljöer med medeltemperaturer mellan 14°C och 35°C (Araújo et al., 2015). Eftersom vanlig böna härstammar från medel till höga altituder så tillhör de en av de värmekänsligaste baljväxterna (Porch och Jahn, 2001). Dålig avkastning på grund av ökade temperaturer och torka är ett stort problem (Araújo et al., 2015). För en säker livsmedelsförsörjning är det viktigt att selektera bra bönsorter för framtidens klimat. Diversiteten inom vanlig böna erbjuder många egenskaper att utnyttja i förädlingsarbetet.

1.3 Nedkylning genom transpiration

Höga temperaturer är en stor stressfaktor för bönor. Generellt är de känsliga för temperaturer över 30°C på dagen och 20°C på natten (Singh, 2001, Rainey och Griffiths, 2005) och studier visar att ökade nattemperaturer har större inverkan än ökade dagstemperaturer (Porch och Jahn, 2001). Vanlig böna är som mest värmekänsliga under utvecklingen av reproduktiva organ (Porch och Jahn, 2001).

Nedkylning genom transpiration är en viktig funktion för att undvika överhettning hos flera värmeteroleranta grödor (Porch och Hall, 2013). Att hålla stomata öppna och bibehålla gasutbyte även i varma förhållanden bidrar till att växten kan sänka bladtemperaturen, ta upp koldioxid och därmed fortsätta fotosyntetisera (Porch och Hall, 2013). Värmeregleringen i bladen kontrolleras energimässigt utav ljusstrålning och transpirationell nedkylning. Dessa styrs i sin tur av bladegenskaper som stomatakonduktans, storlek, form, absorptions- och emissionsförmåga (Michaletz et al., 2016). Stomatakonduktans styrs av både inre och yttre faktorer som koldioxid- och vattengradienter och temperatur. Studier på vårmete har visat en stark positiv korrelation mellan stomatakonduktans och avkastning vilket visar att mera öppna stomata ökar fotosyntes. Detta sker både genom ökad koldioxidiffusion och genom transpirationell nedkylning som sänker bladtemperaturen under skadliga nivåer (Porch och Hall, 2013, Fischer et al., 1998). VPD

(Vapour pressure deficit) beskriver skillnaden mellan uppmätt fukthalt i luften och maximal fukthalt som luften kan hålla och ökar med ökad temperatur och minskar med ökad relativ luftfuktighet. Bönsorter som är torktåliga minskar stomatakonduktans vid högt VPD och höga temperaturer och kan på så sätt spara vatten genom att ha lägre transpiration medan värmetåliga bönsorter inte begränsar transpirationen som svar på högt VPD vid höga temperaturer och i stället ökar stomatakonduktans (Deva et al., 2020). Eftersom höga temperaturer ofta förekommer tillsammans med torka behöver växter i dessa situationer göra en avvägning mellan nedkylning genom transpiration och att spara på vatten (Deva et al., 2020).

1.4 Tidigare forskning

Tidiga studier visar att växter som utvecklats i miljöer med extrema temperaturer har förmågan att kraftigt reglera bladtemperaturen. Salisbury och Spomer (1964) visar att i alpina miljöer kan bladtemperaturen vara upp till 20° C högre än lufttemperaturen medan Smith (1978) visar att bladtemperaturen i ökenmiljöer kan vara ner till 18° C kallare än lufttemperaturen. Flera studier på vanlig böna fokuserar på effekterna av värme på reproduktionen. Studierna visar att om plantorna utsätts för höga temperaturer före blomning så resulterar det i minskad balj- och frösättning (Gross och Kigel, 1994) och färre och mindre pollen med dålig överlevnad (Weaver et al., 1985). Även Porch och Jahn (2001) beskriver låg överlevnad hos pollen och förändringar i pollenväggen vid höga lufttemperaturer.

Selektion baserad på omfattningen av transpirationell nedkylning har använts inom förädling av andra grödor som till exempel vårmete för att utveckla mer värmetoleranta sorter (Porch och Hall, 2013). I en studie av Traub et al. (2018) där man jämförde sänkning av bladtemperaturen hos olika sorter av vanlig böna fann man inga signifikanta skillnader mellan sorterna men de visade att bladen, vid tillräcklig bevattning, kunde sänka bladtemperaturen flera grader jämfört mot lufttemperaturen även vid lufttemperaturer på 40°C. De visade också att stomatakonduktans och bladtemperatur var negativt korrelerade. Deva et al. (2020) har också visat att nedkylning av bladen är en viktig mekanism hos vanlig böna och att det bidrar till värmetolerans. En annan studie på vete visade att värmetolerans är korrelerat med rotarkitektur. När de blev utsatta för torka hade sorter som var bättre på nedkylning av bladen mera djupgående rötter medan samma sorter utsatta för värme, utan torka, hade ytliga rötter (Pinto och Reynolds, 2015). Detta visar hur växten optimerar vattenupptaget för att kunna fortsätta transpirera och vikten av nedkylning genom transpiration.

1.5 Syftet med studien

Studien är indelad i två delar där den första är baserad på befintliga fältdata från Rwanda medan den andra delen är ett experiment i labbmiljö. Syftet med studien var att undersöka hur värme påverkar vanlig böna och att undersöka några faktorer som kan påverka förmågan till nedkylning av bladen. Studien utgick från dessa frågeställningar:

- Hur omfattande är nedkylningen hos vanlig böna, i fält respektive labbmiljö?
- Hur påverkas nedkylningen av förändringar i lufttemperatur?
- Hur påverkas nedkylningen av förändringar i ljusintensitet?
- Varierar nedkylningen mellan de olika sorterna?

Hypotesen var att nedkylningen av bladen hos vanlig böna påverkas av både lufttemperatur och ljusintensitet och att den varierar mellan olika sorter.

2 Material och metod

2.1 Bönorna

Bönorna till fältstudien valdes tillsammans med Rwanda Agriculture and Animal Resources Development Board (RAB). 12 olika bönsorter med ID Improved valdes av RAB baserat på populariteten och relevansen för odlare i landet. 40 sorter från olika delar av Rwanda valdes ifrån CIAT:s fröbank av forskningsgruppen från GU för att användas i pilotstudier. Sorterna gavs numeriskt ID. Dessa är äldre kultursorter som samlades in i olika delar av Rwanda under 80- och 90-talet. Utifrån pilotstudien valde man sedan 18 sorter baserat på torktålighet, variationen i egenskaper och att man ville ha bönor från både de Andinska och Mesoamerikanska genpoolerna. De 30 bönsorter som användes i studien återfinns i bilaga 1.

2.2 Fältstudien

I den första delen av studien användes data från tidigare fältstudier utförda i Rwanda. Den ena i augusti 2022 och den andra i juli 2023. Fältstudierna hade inte som huvudmål att studera transpirationell nedkylning utan hade torktolerans och gasutbyte som fokusområde.

Bladtemperaturer togs som extramätningar av ytterligare intresse. I åtta testrutor planterades 30 olika sorters bönor, 150 plantor i varje ruta. Tre mätningar av bladtemperatur togs per planta med en IR-termometer. Bladtemperaturen togs på det översta, fullt utvecklade trifoliata bladet. 2022 samlades data från alla åtta testrutor. Dessa data gav fler mätningar men under flera dagars tidsspann, vilket gav större variationer i ljus och lufttemperatur. 2023 samlades temperaturdata endast från tre av åtta testrutor. Dessa gav färre mätningar men under kortare tidsspann. Plantorna var bevattnade vid mätningarna av bladtemperatur. Lufttemperatur och luftfuktighet under fältstudierna mättes med hjälp av Tinytags som var uppställda mellan testrutorna och loggade var tionde minut år 2022 och var trettionde minut år 2023.

2.3 Labbstudien

Inledande temperaturmätningar gjordes på befintliga bönplantor från en annan bönstudie. Baserat på fältdata och de inledande labbmätningarna valdes fem bönsorter för att studera nedkylning av blad i laboriemiljö. De sorter som valdes var Improved 6, Improved 8, 30, 34 och 36.

Bönplantorna förvarades på hyllor, under växtbelysning i ett värmereglerat växtrum. Bladstorlek (bredd och längd), ljusintensitet (vertikalt och i vinkel mot bladet) och bladtemperatur (två mätpunkter på ett trifoliat blad per planta) mättes. Bladtemperaturen mättes med en IR-termometer och ljusintensiteten med en fotometer. Lufttemperaturen ställdes in på olika temperaturer olika dagar och den relativa luftfuktigheten var inställd på 45% under alla testuppsättningar. Sex replikat av varje bönsort användes förutom två bönor, en från 34 och en från Improved 8, som inte grodde. De sammanlagt 28 plantorna randomiserades och mättes under olika ljusintensiteter och olika lufttemperaturer (se tabell 1). Efter förflyttningar till nya ljusförhållandena påbörjades mätning efter ca 20–30 min för att låta plantorna acklimatisera sig. Att detta är tillräckligt bekräftas av Daughy och Goulden (2008) som visar att det endast tar i genomsnitt 2 min för bladen att ändra temperatur vid ökad ljusintensitet. Plantorna var väl bevattnade under hela experimentet.

Tabell 1. Rutor markerade med kryss visar vid vilka temperaturer och ljusintensiteter som mätningar av bladtemperaturer togs. Ljusintensiteten är ungefärliga då den varierar beroende på bladens vinkel och de olika plantornas läge i förhållande till ljuskällan. Rött kryss visar förkastade data.

Lufttemp (°C)	Låg ljusint. ~300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Medellåg ljusint. ~500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Medel ljusint. ~700 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Medelhög ljusint. ~900 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Hög ljusint. ~1400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
24	X	X	X	X	X
28		X			X
31					X
33		X			
35					X
39					X

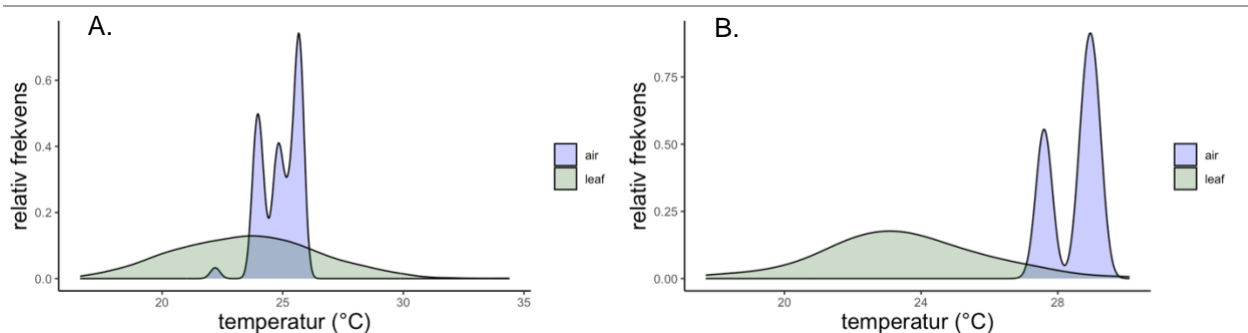
2.4 Statistiska analyser

I denna studie testades ifall det fanns skillnader mellan bönsorterna i förmågan att sänka bladtemperaturen. Detta testades med one-way ANOVA för varje år av fältdata och för varje testuppsättning (varje behandling i ljusintensitet och rumstemperatur) av labbddata. Ett utav dataseten var negativt skev och power-transformerades med x^3 till normalfördelning. De olika testuppsättningarna användes också för att undersöka skillnader i omfattningen av nedkylning vid ökade temperaturer och ökade ljusintensiteter. Detta testades med one-way repeated measurements ANOVA då samma plantor användes upprepade gånger för de olika behandlingarna. Pearsons korrelationstest utfördes för att undersöka om det fanns samband mellan ljusintensiteten i bladets vinkel och bladtemperaturen och även för att undersöka samband mellan bladlängd och bladtemperatur. Detta gjordes separat för varje testuppsättning. Alla statistiska tester utfördes i RStudio.

3 Resultat

3.1 Fältdata

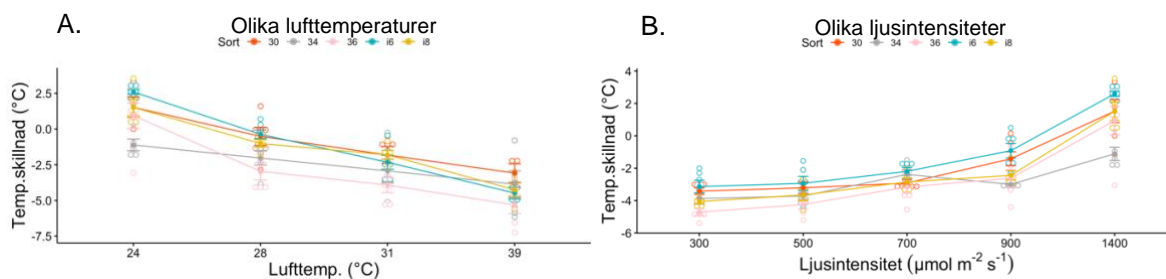
Data från fältstudien i Rwanda visade att bladtemperaturen oftast är lägre än lufttemperaturen. Tillsammans visade fältdata en genomsnittlig nedkylning på $-3,3$ °C. Data från 2022 då medeltemperaturen i luften var $24,8$ °C visade en genomsnittlig nedkylning på $-1,4$ °C med en variation mellan $-9,1$ och $+8,7$ °C. Data från 2023 då medeltemperaturen i luften var $28,5$ °C visade en genomsnittlig nedkylning på $-5,1$ °C med en variation mellan $-9,9$ och $+1,3$ °C. Resultaten visar att nedkylningen var större år 2023 då medeltemperaturen var varmare än år 2022 (figur 1). Det visades inte några signifikanta skillnader mellan de 30 olika bönsorterna som testades (2022: $F_{29,510} = 1.37$, $p > 0.05$) (2023: $F_{29,60} = 1.39$, $p > 0,05$). Data från 2022 visar stora variationer i nedkylning för varje sort.



Figur 1. Frekvens av luft och bladtemperaturer i augusti år 2022 (A) och i juli år 2023 (B) från fältstudien i Rwanda. Notera att värdena på x och y-axeln skiljer sig mellan diagrammen. (Dataälla: Karin Johansson)

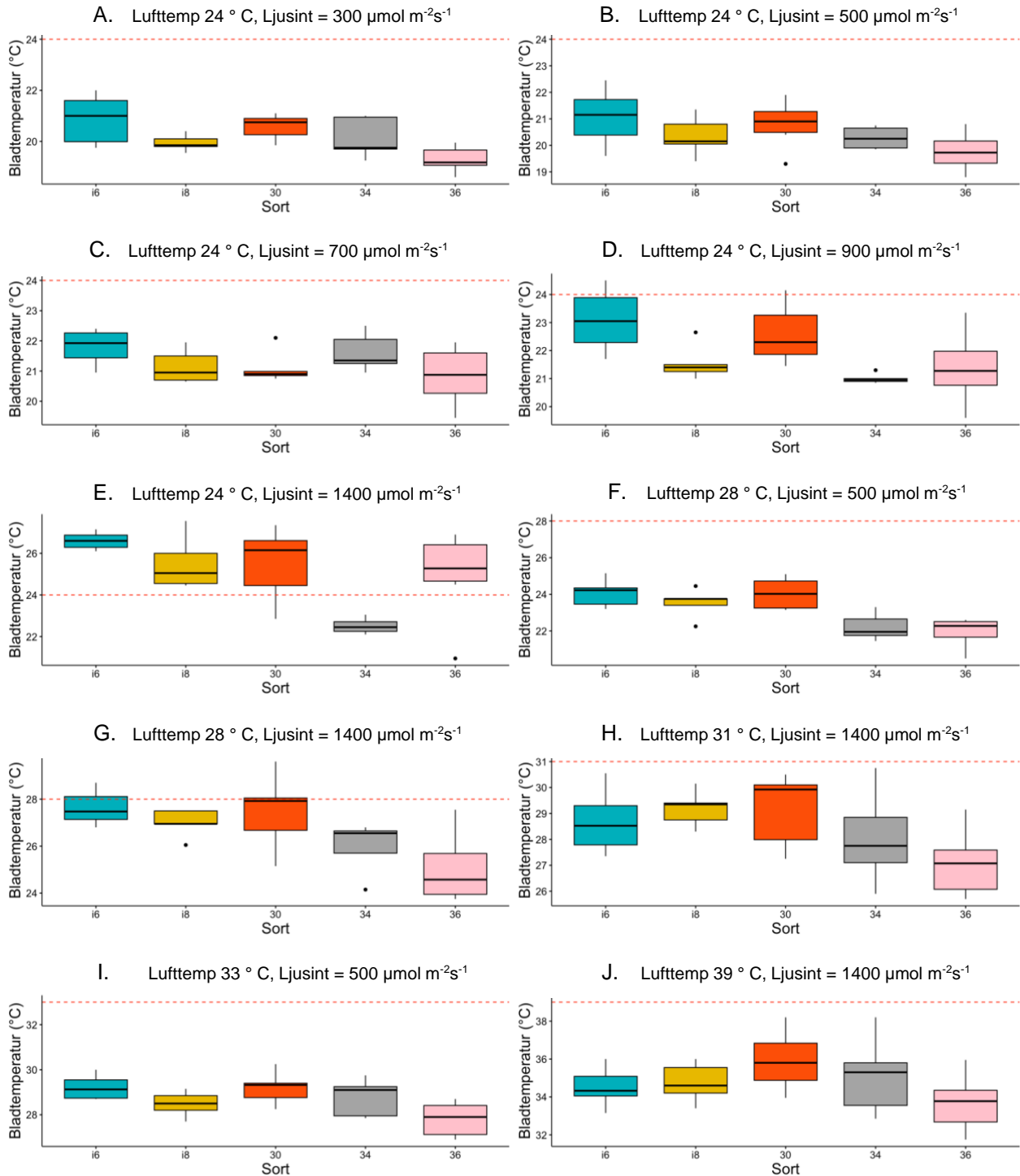
3.2 Labbdata

Även i labb var bladtemperaturerna generellt lägre än lufttemperaturen. I genomsnitt var nedkylningen $-3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ med en variation mellan $-7,5$ och $+3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ för alla behandlingar tillsammans. En ökad nedkylning av bladen med ökad lufttemperatur noterades. Studien visade en signifikant skillnad ($F_{3,81} = 72.06$, $p < 0.001$) mellan de behandlingar i olika lufttemperaturer som uppmättes i $1400\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-2}$ ljusintensitet (figur 2A). Mätningarna som skulle representera $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ lufttemperatur förkastades då temperaturen i rummet visade variationer mellan $33,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $36,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Studien visade också att nedkylningen minskade med ökad ljusintensitet mellan de olika ljusbehandlingarna (figur 2B). För kategorierna i ljusintensitet användes ett ungefärligt värde för ljus i bladnivå vid varje ljusbehandling. Ljusintensiteten inom varje behandling varierar dock från blad till blad beroende på plantans läge och bladets vinkel i förhållande till ljuskällan. Nedkylningen som uppmättes vid fem olika ljusstyrkor i $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ lufttemperatur visade signifikanta skillnader ($F_{2,47} = 131.4$, $p < 0,001$). I labb mättes också ljusintensiteten i bladets vinkel för att få en mer detaljerad bild av hur mycket ljus som träffar det enskilda, uppmätta bladet. Här visade testerna ingen signifikant korrelation mellan ljusintensiteten i vinkel med bladet och bladtemperaturen inom de enskilda behandlingarna. Skillnader i nedkylning mellan de olika bönsorterna var signifikanta i sex av tio tester (figur 3), där 36 var den sort som oftast kylde bladen mest, förutom vid höga ljusintensiteter i $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ lufttemperatur då 34 kylde mer. I6 var den sort som oftast hade minst nedkylning förutom i de högre lufttemperaturerna då den kylde bladen mer.



Figur 2. (A) visar nedkylning av bladen vid fyra olika lufttemperaturer. Här visade resultaten en signifikant skillnad ($p < 0,001$) mellan de olika värmebehandlingarna. Alla behandlingar utfördes vid en ljusintensitet på $1400\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

(B) visar nedkylningen vid fem olika ljusintensiteter. Här visade resultaten en signifikant skillnad ($p < 0,001$) mellan de olika ljusbehandlingarna. Alla behandlingar utfördes vid en lufttemperatur på $24\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figur 3. Bladtemperaturer för de fem testade bönsorterna vid tio olika testuppsättningar (A-J) i labb. Den röda streckade linjen visar lufttemperaturen för den enskilda behandlingen. Avståndet till linjen visar hur omfattande nedkylningen var (i behandling (E), uppvärmningen). Behandling (A), (D), (E), (F), (G) och (I) visar signifikanta skillnader mellan bönsorterna ($p < 0,05$) medan behandling (B), (C), (H) och (J) var osignifikanta ($p > 0,05$). Notera att värdena på y-axeln skiljer sig mellan de olika diagrammen.

4 Diskussion

4.1 Nedkylning av blad

Resultatet visar att nedkylning är en viktig mekanism för att undvika överhettning hos vanlig böna. Både i fält och i labb visar experimenten att bladtemperaturen generellt är lägre än lufttemperaturen och att nedkylningen blir mer omfattande vid högre lufttemperaturer.

4.2 Ökade lufttemperaturer

I både fält och labbstudien visar resultaten att nedkylningen av bladen ökar med ökade lufttemperaturer. En anledning till detta är att VPD (vapour pressure deficit) ökar med ökade lufttemperaturer. Detta beror på att luften kan ta upp mer fukt vid högre lufttemperatur. I och med detta ökar också transpirationen från bladen och bladen blir svalare (Sage et al., 2008). En annan faktor som kan ha påverkat den ökade nedkylningen är stomatakonduktans. Konduktansen regleras av bland annat temperatur. I en modell för bladtemperatur (Campbell och Norman, 1998) som baserades på bland annat faktorerna bladbredd, vind, ljusintensitet, luftfuktighet, VPD, lufttemperatur och konduktans visades att resultaten som uppnåddes i studien kan förklaras av ökad stomatakonduktans.

Vid behandlingen i den högsta lufttemperaturen (39 °C) var den genomsnittliga nedkylningen fortfarande hög (-4,2 °C) och plantorna såg visuellt friska ut. Enligt Sage et al. (2008) sjunker den fotosyntetiska aktiviteten för C3 växter generellt vid en bladtemperatur på 35 °C då Rubiscos funktion minskar. I den varmaste behandlingen med den högsta ljusintensiteten, var 23 av 56 observerade bladtemperaturer över 35 °C.

4.3 Ökade ljusintensiteter

Resultaten visade att nedkylningen minskade med ökad ljusintensitet i de fem olika behandlingarna som utfördes i låg lufttemperatur. Ökningen i ljus tillför mer värmeenergi till bladen men resultaten visar inga tecken på ökad konduktans. Behandling E (Figur 4) visar att fyra av fem sorter inte kylde ner bladen vid låg lufttemperatur och hög ljusintensitet.

Studien fann ingen korrelation mellan bladtemperatur och ljusintensitet i bladets vinkel inom de enskilda behandlingarna. Detta är i linje med Deva et al. (2020) som visar att skillnader i nedkylning inte beror på skillnader i bladvinkel. Detta resultat är önskat i denna studie då det visar att skillnader i ljus som beror på bladvinklar och plantornas olika placering i förhållande till belysningen inte påverkar experimentet signifikant.

4.4 De olika sorterna

Från fältdata visades inga signifikanta skillnader mellan bönsorterna. 2022 var variationerna väldigt stora. Detta kan bero på att mätningarna var tagna under flera dagar vilket gör att andra faktorer har större möjlighet att påverka bladtemperaturerna än om de var mätta under kortare tid. 2023 var variationerna mindre och man kan se vissa trender för de olika sorterna men i stället var replikaten alltför få. I labbet visar en knapp majoritet av resultaten en signifikant skillnad mellan de olika sorterna vilket är ett något osäkert resultat att dra slutsatser från men jag har ändå tittat på trenderna. Bönsort 36, som var den sort som generellt hade störst nedkylning i labbstudien kylde sig genomsnittligt i fält med en nedkylning på -1,6 °C år 2022 och -4,6 °C år 2023. Sort 36 har ett mesoamerikanskt ursprung.

Vid ranking av de olika bönsorterna visades att 36 kylde bladen mest åtta av tio gånger och att i6 kylde bladen minst sju av tio gånger. Här visades också att de gånger som sort 36 inte kylde

mest var i behandlingar med låg lufttemperatur och hög ljusintensitet och att de gånger i6 inte kylde minst var under de högsta lufttemperaturerna.

4.5 Bladmorfologins inverkan

Resultaten visade ingen korrelation mellan bladbredd och bladtemperatur inom de olika behandlingarna. Studier på bladstorlekens inverkan vid nedkylning har väldigt spridda resultat. I modellen för bladtemperaturer gavs väldigt små skillnader i bladtemperatur för de uppmätta bladbredderna i studien. I modellen krävdes ganska stora skillnader i bredd för att få någon betydande skillnad i bladtemperatur. Detta skulle kunna innebära att det finns en korrelation men att det krävs större skillnad i storlek för att detta ska visas.

4.6 Slutsats

Studien visar att hos vanlig böna är bladen oftast flera grader kallare än lufttemperaturen och att nedkylningen är mer omfattande vid högre temperaturer. Den ökade kylningen vid högre temperaturer beror troligen på ökad VPD och ökad stomatakonduktans. Detta visar hur viktigt det är med transpirationell nedkylning för att undvika värmerelaterade skador vid höga temperaturer. Nedkylningen minskade med ökad ljusintensitet. Här tillförs värmeenergi men konduktansen ökade inte och därför blir bladen varmare. Studien visar inte entydiga resultat för skillnader mellan bönsorterna och därför behövs flera studier för vidare slutsatser. Man kan dock se tydliga trender där en sort oftast kyler mest och en annan oftast kyler minst. Man kan också se att flera faktorer spelar in för hur mycket bladen kyls. Detta är viktigt att ta hänsyn till vid förädlingsarbete så att man får bönor som klarar förhållandena i de specifika områdena de är avsedda för. Bönor med bra förmåga till transpirationell nedkylning kräver tillgång på vatten och detta kan innebära att vissa värmetåliga sorter är känsliga för torra.

I vidare forskning rekommenderas att stomatakonduktans inkluderas för att bekräfta att den är proportionerlig till den kylning i bladtemperatur som visades. Eftersom värme och torra ofta förekommer tillsammans är vidare forskning om hur avvägningen mellan nedkylning och vattenhållning av vikt. Här kan man också titta efter en samevolution för värme- och torktolerans där djupare rotsystem kan utvecklas för att möjliggöra fortsatt transpiration.

Tackord

Ett stort tack till min handledare Mats Andersson för hjälp i planering och utförande av mina labbstudier. Jag vill också tacka Karin Johansson för tillgång till data från utförda fältstudier i Rwanda och för den tid och energi du lagt ner på att hjälpa mig med statistiska analyser. Jag uppskattar ert stöd och era värdefulla råd.

Referenslista

Araújo, S. S., Beebe, S., Crespi, M., Delbreil, B., González, E. M., Gruber, V., ... Patto, M. C. V. (2014). Abiotic Stress Responses in Legumes: Strategies Used to Cope with Environmental Challenges. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34(1-3), 237-280.

<https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1080/07352689.2014.898450>

Campbell, G. S., & Norman, J. M. (1998). *An introduction to Environmental Biophysics*, 2a uppl., Springer New York

<https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1626-1>

Deva, C. R., Urban, M. O., Challinor, A. J., Falloon, P., & Svitáková, L. (2020). Enhanced Leaf Cooling Is a Pathway to Heat Tolerance in Common Bean. *Front. Plant Sci.*, 11:19.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00019>

Doughty, C. E., & Goulden, M. L. (2008). Are tropical forests near a high temperature threshold? *J. Geophys. Res.*, 113, G00B07.

<https://doi.org/10.1029/2007JG000632>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). FAOSTAT, Crops and livestock products data.

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>

Fischer, R.A., Rees, D., Sayre, K.D., Lu, Z.-M., Condon, A.G., & Saavedra, A.L. (1998). Wheat Yield Progress Associated with Higher Stomatal Conductance and Photosynthetic Rate, and Cooler Canopies. *Crop Science*, 38: 1467-1475.

<https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800060011x>

Gross, Y., & Kigel, J. (1994). Differential sensitivity to high temperature of stages in the reproductive development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field crops research*, 36, 201-212.

[https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)90112-0](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)90112-0)

Michaletz, S. T., Weiser, M. D., McDowell, N. G., Zhou, J., Kaspari, M., Helliker, B. R., & Enquist, B. J. (2016). The energetic and carbon economic origins of leaf thermoregulation. *Nature plants*, 2, Article number 16129.

<https://doi.org/10.1038/NPLANTS.2016.129>

Pinto, R. S., & Reynolds, M. P. (2015). Common genetic basis for canopy temperature depression under heat and drought stress associated with optimized root distribution in bread wheat. *Theor. Appl. Genet.*, 128, 575-585.

<https://doi.org/10.1007/s00122-015-2453-9>

Porch, T. G., & Hall, A. E. (2013). Heat Tolerance. In: Kole, C. (eds) *Genomics and Breeding for Climate-Resilient Crops*. Springer, Berlin, Heidelberg.

https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1007/978-3-642-37048-9_4

Porch, T. G., & Jahn, M. (2001). Effects of high temperature stress on microsporogenesis in heat sensitive and heat tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris*. *Plant, Cell & Environment*, 24, 723-731.

<https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00716.x>

Rainey, K. M., & Griffiths, P. D. (2005). Inheritance of Heat Tolerance during Reproductive Development in Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130(5), 700-706.

<https://doi.org/10.21273/JASHS.130.5.700>

Rwanda: State of Environment and Outlook Report 2015 Rwanda Environment Management Authority P.O. Box 7436 Kigali, Rwanda.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5148.6328>

Sage, R. F., Way, D. A., Kubien, D. S. (2008). Rubisco, Rubisco activase, and global climate change. *Journal of Experimental Botany*, 59(7), 1581–1595.

<https://doi.org/10.1093/jxb/ern053>

Salisbury, F. B., & Spomer, G. G. (1964). Leaf temperatures of alpine plants in the field. *Planta*, 60, 497-505

<https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1007/BF01894807>

Singh, S. P. (2001). Broadening the genetic base of common bean cultivars: A review. *Crop science*, 4, 1659-1675.

<https://doi.org/10.2135/cropsci2001.1659>

Smith, W. K. (1978). Temperatures of Desert Plants: Another Perspective on the Adaptability of Leaf Size. *Science*, 201(4356), 614-616.

<https://doi.org/10.1126/science.201.4356.614>

Traub, J., Porch, T., Naeem, M., Urrea, C. A., Austic, G., Kelly, J. D., & Loescher, W. (2018). Screening for Heat Tolerance in *Phaseolus* ssp. Using Multiple Methods. *Crop Sci.*, 58, 2459-2469.

<https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0275>

Uebersax, M. A., Cichy, K. A., Gomez, F. E., Porch, T. G., Heitholt, J., Osorno, J. M., Kamfwa, K., Snapp, S. S., & Bales, S. (2023). Dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security-A review. *Legume Science*, 5(1), e155.

<https://doi.org/10.1002/leg3.155>

Weaver, M. L., Timm, H., Silbernagel, M. J., & Burke, D. W. (1985). Pollen Staining and High-temperature Tolerance of Bean. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 110(6), 797-799.

<https://doi.org/10.21273/JASHS.110.6.797>

Willet, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., & Jonell, M. (2019). Food in the Anthropocene: The EAT-lancet commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*, 393, 447-492.

[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)

Williams, J. W., Jackson, S. T., & Kutzbach, J. E. (2007). Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 104(14), 5738-5742.

<https://doi.org/10.1073/pnas.0606292104>

Bilaga 1.

GU ID	Accession	Type of line	Genepool	RAB ID	Release name	Pedigree	Origin
2	G20737	Landrace	Andean	Improved 1	ISAR CB 103	Gasilida (Landrace)	Local collection
3	G20849B	Landrace	Mesoamerican	Improved 2	ISAR CB 107	MAC 44	CIAT
5	G20785	Landrace	Mesoamerican	Improved 3	ISAR CB 1046	MAC 9	CIAT
6	G20898	Landrace	Andean	Improved 4	RAB CB 122	RWV 2872	Rwanda
7	G20760	Landrace	Andean	Improved 5	RAB CB 123	RWV 3316	RAB
8	G21718	Landrace	Andean	Improved 6	RWIBARURA	RWIBARURA	
10	G20782	Landrace	Mesoamerican	Improved 7	RW CB 186	RWV 2850 A-2B	
13	G20796	Landrace	Andean	Improved 8	ISAR CB 102	RWV 1129	ISAR
15	G20736	Landrace	Mesoamerican	Improved 9	ISAR CB 104	CAB 2	CIAT
16	G20734	Landrace	Mesoamerican	Improved 10	RAB CB 121	RWV 3006	RAB
18	G20973	Landrace	Andean	Improved 11	RAB CB 124	RWV 3317	RAB
20	G20833	Landrace	Mesoamerican	Improved 12	RAB CB 128	RWV 2887	RAB
21	G20749	Landrace	Mesoamerican				
24	G20799A	Landrace	Andean				
26	G20830	Landrace	Mesoamerican				
30	G20801	Landrace	Andean				
34	G20874	Landrace	Andean				
36	G20758	Landrace	Mesoamerican				