



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 60 stp

Fakultet for biovitenskap, Institutt for plantevitenskap (IPV)

Dyrking av bondebønne (*Vicia faba* L. cv Witkiem major) som grønnsak under ulike temperaturregimer i kontrollert klima

Production of Faba bean (*Vicia faba* L. cv Witkiem major) as a vegetable under different temperature regimes in controlled environment

Anders Bakke

Plantevitenskap

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på mitt femårige utdanningsløp i plantevitenskap ved fakultetet for biovitenskap, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Oppgaven er skrevet som del av forskningsprosjektet Virkemidler for Omstilling av Matsystemet (VOM), ledet av Cicero senter for klimaforskning.

Jeg vil rette en stor takk til min hovedveileder Sissel Torre for at jeg fikk delta i VOM-prosjektet og for gode råd og tett oppfølging fra start til slutt. Jeg har lært veldig mye av denne prosessen og alle samtalene vi har hatt underveis. Takk til medveileder Anne-Berit Wold for viktige innspill i innspurten av skrivinga og medveileder Anne Kjersti Uhlen for råd om næringsanalyser. Tusen takk til Ida Kristin Hagen for uvurderlig hjelp med absolutt alt underveis i forsøket på SKP. Takk også til Gry Skjeseth og Silje Roksti for all hjelp med vanning, høsting og registrering. Takk til Louise Bauer-Nilsen ved statistikkhjelpen på NMBUs skrivesenter for hjelp med dataanalyser. Takk til Kari Grønnerød for innsats på fruktlaben og Shirin Mohamadi for litteraturtips.

En ekstra stor takk til min samboer Mari Seilskjær for inspirasjon, støtte, regi, korrektur og store mengder kjærlighet. Og sist, men ikke minst takk til vår datter Signe som sørget for at jeg gjorde andre ting enn å jobbe med oppgaven døgnet rundt og i tillegg er en viktig drivkraft for mitt engasjement for en framtid med et velfungerende matsystem.

Oslo, 12. mai 2022

Anders Bakke

Sammendrag

Det er en uttalt målsetting fra faglig og politisk hold å øke grønnsaksproduksjonen i Norge særlig begrunnet i hensynet til klima. En viktig del av reduksjoner i klimagassutslipp og tilpasning til klimaendringer må gjøres gjennom endringer i matproduksjon internasjonalt.

Norsk produksjon av kjernebelgvekster som grønnsak har blitt viet lite oppmerksomhet. Grunnleggende utfordringer for proteinvekstproduksjon i Norge er arealmangel og kort vekstsesong. Produksjon i regulert klima av den næringsrike kjernebelgveksten bondebønne (*Vicia faba* L.) til grønnsaksbruk kan være et bidrag til å øke norsk selvforsyning av proteinvekster til mat.

Formålet med forsøket var å undersøke effekten av to forskjellige temperaturregimer (konstant temperatur (20/20°C) og høy dag-/lav natt-temperatur (23/14°C)) innenfor et gjennomsnittlig optimumstemperaturområde for blomstring på bondebønneplanters fysiologi, fenologi og avlingskvalitet, med tanke på å produsere bønner som fryst- eller friskkonsumgrønnsak. Forsøket ble gjennomført i fytotron ved Senter for klimaregulert planteforskning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås.

Resultatene viste at døgnlig gjennomsnittstemperatur i optimumsområde for blomstring hos bondebønner fremskyndet utviklingstid sammenlignet med ved dyrking på friland. Fenologiske hendelser som blomstring, belgfilling og frøutvikling fant sted ved samme tidspunkt i begge temperaturregimer og det ble registrert få forskjeller på plantenes fysiologiske utvikling. Plantene nådde blomstringstid 32 dager (620 døgngader) etter spiring. De tidligste frøene var ferdig utviklet mellom 57 og 67 dager (1151-1030 døgngader) etter spiring. Det ble registrert forskjeller på noen avlingskomponenter, med høyere frøvekt for planter dyrket ved 20/20°C og høyere antall frø per belg og per plante for planter dyrket ved 23/14°C. Det ble ikke registrert forskjeller mellom temperaturregimer på innhold av proteiner, løselige karbohydrater, stivelse eller totale fenoler, men det ble registrert forskjeller på mengde innholdsstoffer mellom tidlig og sein høsting innenfor samme temperaturregime.

Dyrking av bondebønner i kontrollert klima har potensial, men det er behov for optimalisering av dyrkingssystem. Spesielt gjelder dette kontroll med relativ luftfuktighet og riktig tilførsel av vann og næring. Det er behov for sortsforsøk for å finne best egnede sorter til kommersiell dyrking som grønnsak både med hensyn på avlingsmengde og -kvalitet.

Abstract

There is a pronounced political and professional aim to increase the Norwegian vegetable production particularly due to climate change concerns. An important part of climate gas emission reductions and climate mitigation must be done through changes in international food production systems.

Norwegian production of grain legumes as vegetables has garnered little attention. Basic challenges with protein crop production in Norway is the limited availability of arable land and short growing seasons. Controlled environment production of the nutritious grain legume faba bean (*Vicia faba* L.) for vegetable use may contribute to increasing the Norwegian degree of self-sufficiency of protein grains for food.

The aim of this experiment was to investigate the effect of two different temperature regimes (constant temperature (20/20°C) and high day/low night temperature (23/14°C)) within an average optimum temperature range for flowering induction in faba beans on physiological development, phenological events and crop quality, with the production of faba bean as fresh or frozen vegetables as the main objective. The experiment was conducted at the Center for Plant Research in Controlled Climate at the Norwegian University of Life Sciences, Ås.

The results showed that a 24 h. temperature average within the optimum range for flower induction increased developmental rates compared to open field production. Phenological events like anthesis, pod filling and seed development took place at the same time in both temperature regimes and few differences in plant physiological development were observed. The plants reached anthesis 32 days (620 degree days) after emergence. The earliest seeds were fully developed between 57 and 67 days (1151 – 1030 degree days) after emergence. Differences between temperature regimes were observed in yield components, where plants grown at 20/20°C had higher seed weights and plants grown at 23/14°C had higher no. of seeds per pod and per plant. There were no differences between temperature regimes in terms of total protein, soluble carbohydrates, starch or total phenolic content, but differences in total content of these substances was observed between harvest dates within the same temperature regime.

Production of faba beans in a controlled environment has potential, but optimizing the production system is necessary. Especially in terms of controlling relative humidity, irrigation and fertilizer inputs. Cultivar trials to find the best candidate for commercial production of faba beans as a vegetable both in terms of yield and seed crop quality is needed.

Innholdsfortegnelse

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
ABSTRACT	5
FORKORTELSER	7
1.0	8
INNLEDNING	8
2.0 TEORI	11
2.1 BONDEBØNNE/ÅKERBØNNE (<i>VICIA FABA L.</i>)	11
2.2 HISTORIKK, BRUK OG DYRKINGSOMFANG	13
2.3 UTFORDRINGER MED DYRKING AV BONDEBØNNER.....	14
2.4 NÆRINGSSTOFFER, FORDELAKTIGE STOFFER OG ANTINÆRINGSSTOFFER.....	16
2.5 DYRKING I KONTROLLERT KLIMA.....	19
3.0 FORMÅL	23
4.0 MATERIELL OG METODE	24
4.1 FORSØKSDESIGN, MATERIELL OG TEMPERATURREGIMER	24
4.1.1 <i>Plantemateriale</i>	24
4.1.2 <i>Forsøksdesign</i>	24
4.2 UTVIKLINGSFYSIOLOGI, FENOLOGI	28
4.3 RELATIV VEKSTHASTIGHET	30
4.4 AVLINGSKVALITET	31
4.4.1 <i>Avlingskomponenter</i>	31
4.4.2 <i>Analyse av utvalgte innholdsstoffer</i>	32
4.5 DATAANALYSE.....	33
5.0 RESULTATER	34
5.1 UTVIKLINGSFYSIOLOGI, FENOLOGI	34
5.1.1 <i>Fenologiske observasjoner</i>	34
5.1.2 <i>Plantefysiologiske målinger og observasjoner</i>	34
5.1.3 <i>Næringsstatus blader og vekstmedium, rotutvikling, nodulering</i>	38
5.2 RELATIV VEKSTHASTIGHET	39
5.3 AVLING OG KVALITET	39
5.3.1 <i>Avlingskomponenter: Avlingsmengde, frøvekt, belgvekt</i>	39
5.3.2 <i>Totalt protein, stivelse, løselige karbohydrater, totale fenoler og antioksidantkapasitet</i>	41
5.4 AVVIK, MANGELSYMPTOMER, SKADEGJØRERE	43
6.0 DISKUSJON	45
6.1 EFFEKTER AV TEMPERATUR PÅ VEKST OG UTVIKLING.....	45
6.2 BRUK AV KONTROLLERT KLIMA TIL BONDEBØNNEPRODUKSJON	47
6.2.1 <i>Høstetidspunkt og avlingskvalitet ved dyrking i kontrollert klima</i>	48
6.2.2 <i>Utfordringer med klimaregulering i forsøket</i>	49
6.2.3 <i>Muligheter og barrierer ved produksjon av bondebønner i kontrollert klima</i>	51
7.0 KONKLUSJON	55
8.0 KILDER	56
9.0 VEDLEGG	66

Forkortelser

0 DIF: 0 differanse

BNF: Biologisk nitrogen-fiksering

Ca: Kalsium

Cu: Kopper

DT: Dagtemperatur

EAA: Essensielle aminosyrer (Essential amino acids)

Fe: Jern

FRAP: Ferric reducing antioxidant power

G6PD: glukose-6-fosfat-dehydrogenase

GA: Giberellin

GAE: Gallic acid equivalents

kPA: KiloPascal

LAR: Bladarealforhold (Leaf area ratio)

L-dopa: L-3,4-dihydroxyphenylalanine

Mn: Mangan

Mg: Magnesium

mS: milliSiemens

N: Nitrogen

NAR: Netto assimilasjonshastighet/rate (Net assimilation rate)

NEG DIF: Negativ differanse

NH_4^+ : Ammonium

NT: Natt-temperatur

ORF: Oligosakkarider i raffinose-familien

P: Fosfor

POS DIF: Positiv differanse

RGR: relativ vekstrate (Relative growth rate)

RuBisCo: Ribulose-1,5-bisfosfat-karboksylase-oksygenase

S-holdig: svovelholdig

V/c: Vicin og Convicin

VOM: Virkemidler for Omstilling av Matsystemet

VPD: Vandamptrykkdeficit (vapor pressure deficit)

W: watt

Zn: Sink

1.0 Innledning

Å øke produksjonen av grønnsaker i Norge er en uttalt målsetting fra både faglig og politisk hold (Grøntutvalget, 2020; Norsk Landbruksrådgivning, 2020; Prop. 120 S(2018-2019)). Det er begrunnet i hensynet til både helse, miljø og særlig klima. Flere rapporter har pekt på at en vridning over til større andel frukt og grønt i kostholdet vil gi reduserte klimagassutslipp (Gonera et al., 2021; Machovina et al., 2015; Mittenzwei et al., 2020; Multari et al., 2015).

FNs klimapanel (IPCC) lanserte i 2021 og 2022 sin sjette hovedrapport som konkluderer med at umiddelbare og drastiske tiltak må til for å nå målene i Parisavtalen og at kuttene i klimagassutslipp må tas i alle sektorer (Miljødirektoratet, 2022). En viktig del av utslippsreduksjoner og tilpasning til klimaendringer må gjøres gjennom endringer i matproduksjon internasjonalt for å redusere både utslipp fra sektoren og risiko for ustabile produksjonssystemer og matmangel (Pörtner et al., 2022). De siste årenes internasjonale kriser, med pandemi, krig, storpolitisk uro og fare for brutte forsyningslinjer, har ytterligere forsterket og synliggjort behovet for matsikkerhet og selvforsyning, også i vår del av verden (Ursin, 2022).

Virkemidler for Omstilling av Matsystemet (VOM) er et tverrfaglig forskningsprosjekt ledet av CICERO senter for klimaforskning som skal utforske hvordan den norske matsektoren kan endres i en mer bærekraftig retning med reduserte klimagassutslipp (Cicero, 2021). Denne masteroppgaven er del av dette forskningsprosjektet. Et av hovedmålene for prosjektet, og bakgrunnen for denne masteroppgaven, er å undersøke mulighetene for å øke norsk grønnsaksproduksjon gjennom utvidelse av sesong eller introduksjon av nye grønnsaker.

Proteinvekster, spesifikt de som betegnes som kjernebelgvekster, har fått økt oppmerksomhet de siste årene, blant annet gjennom prosjekter som FoodProFuture, hvor forskning knyttet til produksjon av åkerbønner og erter har hatt en sentral plass (FoodProFuture, 2022). Det er økt interesse for kjernebelgvekster til menneskemat, først og fremst til produksjon av foredlede proteinprodukter, som kjøtterstatninger eller lignende (Gonera & Milford, 2018). Også i Norge er interessen for bønner og linser i frisk eller tørr form økende i befolkningen. Det reflekteres gjennom at importen av bønner alene økte med 57 % i perioden 2011 til 2016 (Mittenzwei et al., 2017). Så langt har imidlertid norsk produksjon av kjernebelgvekster som grønnsak blitt viet mindre oppmerksomhet.

Grunnleggende utfordringer for proteinvekstproduksjon i Norge er arealmangel og kort vekstsesong (Abrahamsen et al., 2019; Stabbetorp, 2021). Sesongen begrenses av lave temperaturer, lite dagslys og mye nedbør gjennom store deler av året (Landbruk.no, 2018). De

få kjernebelgvekstene som lar seg dyrke i Norge er vekster som krever de beste agronomiske forholdene vi har å by på og som derfor potensielt kommer i konflikt med dagens kornproduksjon (Abrahamsen et al., 2019).

Dyrking i kontrollert klima kan være en mulig løsning på utfordringene knyttet til areal og klimaforhold. Slike dyrkingssystemer trenger ikke være tilknyttet naturgrunnet. På grunn av både optimalisering av vekstforhold og kortere reisevei fra produsent til forbruker kan de sikre forhold for god veksthastighet og en bedre kvalitet relativt til importerte versjoner av samme produkt (Kvitvær et al., 2017; Mittenzwei et al., 2017; Sannan, 2022). Slik produksjon krever et bedre kunnskapsgrunnlag om hvordan utvalgte kjernebelgvekster reagerer under forskjellige kontrollerte klimaforhold.

Bruk av kontrollert klima har flere utfordringer, avhengig av dyrkingssystem, særlig knyttet til høyt energiforbruk, klimagassutslipp og kostnader (Grøntutvalget, 2020; Milford et al., 2021; Sannan, 2022). Av den grunn bør forsøk med kjernebelgvekster i et slikt dyrkingssystem fra et tidlig tidspunkt inkludere strategier for energiøkonomisering.

For å kompensere for kostnadene ved en ressurskrevende produksjonsmetode vil det også være nødvendig å oppnå tilfredsstillende inntekt for avlingen, noe som kan være krevende i norsk grønnsaksproduksjon i dag. Proteinvekster er i liten grad beskyttet i dagens tollvernordninger, og det er begrenset handlingsrom for å øke prisene (Mittenzwei et al., 2017; Tolletaten, 2022). Selv om produksjonsverdien fra grøntsektoren (som omfatter frukt, grønnsaker, blomster og potet) tilsvarer 12-17 % av de totale produksjonsinntektene i norsk jordbruk, er denne sektoren ikke høyt prioritert i de årlige jordbruksforhandlingene, og støtteordningene til denne sektoren utgjør bare 2-3 % av totale støtteordninger som utbetales over jordbruksavtalen (Grøntutvalget, 2020). Produsentene er avhengige av mottaksgarantier fra grossist for å sikre omsetning for avlingen, noe som resulterer i at produsenter med få unntak velger å dyrke det som etterspørres av grossistene og at terskelen for utprøving av nye produkter blir høy (Grøntutvalget, 2020).

Mange av de nevnte utfordringene lar seg ikke løse på produsentnivå, men bør heller ikke stå i veien for å undersøke potensialet i dyrking av nye produkter i forskjellige dyrkingssystemer. Utfordringene er verdt å omtale for å sette temaet for oppgaven inn i en større sammenheng, og vise hvordan den har relevans for de overordna spørsmålene VOM undersøker, nemlig hvordan det norske matsystemet kan og bør legges om.

Bondebønner er næringsrike kjernebelgvekster som over de siste tjue årene har blitt godt kjent i norsk planteproduksjon under navnet åkerbønner (Korsæth & Roer, 2016; Øverland, 2021). Planta har mange tusen års historie som matplante (Duc, 1997). Norsk produksjon av

bondebønner til frisk eller fryst grønnsak i regulert klima kan potensielt være et bidrag til å øke norsk selvforsyning av proteinvekster til mat – både ved å utvide sesong gjennom å manipulere veksttid og å utvide bruk av en kjent planteart til et nytt produktsegment. For å kunne oppnå det er det nødvendig å undersøke hvorvidt det er mulig å dyrke bondebønne i regulert klima, og hvilke klimaregimer som kan bidra til god vekst og avling.

2.0 Teori

2.1 Bondebønne/Åkerbønne (*Vicia faba* L.)

Bondebønne (*Vicia faba* L.), som også går under navn som bønnevikke, åkerbønne og hestebønne, er en kjernebelgvekst tilhørende vikkeslekta i erteblomstfamilien (Sunding, 2021). I denne oppgaven omtales planta hovedsakelig som bondebønne, som er en av navnene som benyttes ved dyrking til grønnsaksbruk (OFG, 2022). Tilgjengelig litteratur viser at åkerbønne er det mest utbredte navnet i norsk faglitteratur om planta. Dette navnet benyttes om sorter som er medium- eller småfrøede og dyrkes til dyrefôr og som forgrøde/i vekstskifte med korn eller andre kulturplanter (Abrahamsen et al., 2019; Korsæth & Roer, 2016; Stabbetorp, 2021; Tolletaten, 2022; Øverland, 2021). Navnet åkerbønner vil derfor også benyttes i denne oppgaven i tilfeller hvor dagens mer utbredte produksjon til dyrefôrbruk omtales.

Planta har opprett, grov stengel, er ugreinert og 30-200 cm høy. Hovedrota er en pålerot med siderøtter. Bladplasseringen er spredt, og bladene består av 2 til 6 småblader uten klatretråd. Planta kan danne sideskudd ved basis av hovedstengel, men dette er sortsavhengig. Blomstene sitter i klase, vanligvis med 2-9 blomster per nodium og har 5-bladet krone, typisk for erteblomstfamilien, med fane, kjøl og vingekronblader som kan være hvite eller forskjellige grader av brun eller lilla, og med eller uten brun eller sort flekk på vingekronbladene. Belgene er vanligvis fra 8-30 cm lange med langsgående søm og kan inneholde 1-6 frø. Frøene er fra 0,5-2 cm brede og bønneformede. Det kan være stor variasjon i frøfarge avhengig av sort. (Duc et al., 2015; Mossberg & Stenberg, 2003)

Planta trives best på godt strukturert leirjord med pH 6-8 (Murphy-Bokern et al., 2017; Øverland, 2021). I følge Øverland (2021) utsettes bondebønner raskt for tørkestress på tørkesvak jord på grunn av siderøttens begrensede rotoverflate. Tørkestress på kritiske tidspunkter i plantas utvikling kan ha negativ effekt på avlingsutvikling, men tilstrekkelig med vann på kritiske tidspunkter kan også under noen vekstforhold fremme vegetativ vekst over generativ vekst (Grashoff, 1990a; Grashoff, 1990b). Dette skyldes i følge Grashoff (1990a) at strekningsvekst er det første som påvirkes ved mildt tørkestress på grunn av lavere turgor i cellene, som igjen medfører redusert slukstyrke for det vegetative, skuddapikale meristem, og potensielt økt slukstyrke for generative plantedeler lenger ned på planta relativt til vegetativt skuddapikalt meristem.

Bondebønner har udestimert vekst som vil si at vegetativ vekst fortsetter etter at generativ fase har begynt (Duc, 1997), og de er enten dagnøytrale eller langdagsplanter avhengig av sort (Stoddard, 1993). Bondebønner trives i kjølig klima og frøplantene kan

tolerere korte perioder med frost ned mot -10°C , avhengig av sort, men blomstene er ikke frosttolerante (Murphy-Bokern et al., 2017). Plantenes nedvisning (engelsk: senescence) starter når frøene er modne. Tidspunktet for nedvisning er vanskelig å forutsi siden det kan være stor variasjon i modningsgrad fra eldste til yngste belger (Patrick & Stoddard, 2010).

Sorter av *V.faba* systematiseres for kommersiell bruk etter størrelse på frøene i kategoriene var. minor, var. equina og var. major, som betegner henholdsvis små (0,2-0,5 g), medium (0,5-1g) og store frø (>1 g), men denne inndelingen har ingen botanisk betydning (Duc et al., 2015; Murphy-Bokern et al., 2017). Til grønnsaksbruk er det sorter tilhørende major som er mest interessante. Equina og minor er vanligst til bruk som dyrefôr, men equina dyrkes også som tørre frø til mat i deler av verden (Duc et al., 2015).

Belgvekster er kjent for evnen til å danne symbiose med nitrogenfikserende bakterier (Raven et al., 2013), i tilfellet bondebønner med bakteriearten *Rhizobium leguminosarium viceae* (Øverland, 2021). Symbiosen oppstår ved at planterøttene skiller ut flavonoider som tiltrekker bakteriene og gjennom flere steg dannes det noder på planterøttene hvor bakterier fikserer atmosfærisk N, også kjent som biologisk N-fiksering (BNF). Bakteriene omdanner N_2 via NH_4^+ til organiske N-former som planta kan utnytte i bytte mot fotosynteseprodukter (Raven et al., 2013). Symbiosen er energikrevende for planta og oppstår derfor mest ved behov på grunn av lav tilgang på utnyttbar N i rotsonen/jorda. Hvis nyttbar N er tilgjengelig i rotsonen kan planta undertrykke prosessene som leder til noduldannelse (Buchanan et al., 2015). Muligheten for BNF betyr at bondebønner kan klare seg med lite eller ingen tilførsel av N-holdig gjødsel. I rotasjon med korn er det vanlig at belgvekstavlingen ikke gjødsles i det hele tatt, men det er vist at «start-gjødsling» med begrenset mengde N ved såing kan ha positiv effekt siden etablering av BNF kan ta noen uker (Amalfitano et al., 2018; GRDC, 2018; Youseif et al., 2017). BNF er avhengig av at riktig bakterieart er tilstede i jorda. I norske forsøk har inokulering av såvare med rhizobium på forhånd ikke vist effekt på plantas nodulering og N-fikseringsevne, fysiologiske utvikling eller avling (Sørheim, 2021; Øverland, 2021), selv om dette gjerne er anbefalt praksis i noen land (Etemadi et al., 2019; Youseif et al., 2017).

En annen symbiont hos bondebønner som forekommer hos de fleste karplantearter, er mykorrhiza (Duc, 1997) eller «sopprot». Dette er en symbiose hvor mykorrhizasopp i jorda trenger inn i planterotceller (endomykorrhiza). Sopphyfene strekker seg utenfor rotsonen med flere centimeter og gir planta potensielt tilgang på mer vann og næringsstoffer, spesielt P, men også mikronæringsstoffer som Zn, Mn og Cu. Som for N-fikseringen foregår denne overføringen av næringsstoffer og vann i bytte mot produkter fra planta som soppen har behov for. I dette tilfellet fotosynteseprodukter og vitaminer (Raven et al., 2013).

2.2 Historikk, bruk og dyrkingsomfang

Bondebønner er blant de tidligst kultiverte plantene man kjenner til med spor tilbake til neolittisk tid (6-8.000 år før vår tidsregning) med antatt opphav i Midtøsten. Planta dyrkes hovedsakelig for frøavlingen og er en viktig matplante spesielt rundt Middelhavet, i Midtøsten, Nord-Afrika og deler av Asia (Duc, 1997; Duc et al., 2015). I Norge er det funnet botaniske spor etter bondebønner som stammer fra 1100- og 1200-tallet og man kjenner til at bønnene ble dyrket allerede i vikingtiden (Lund, 2020).

Som matplante har bondebønner et bredt spekter av bruksmåter med utgangspunkt både i tørkede og friske frø. Velkjente retter er for eksempel falafel og ful medames fra det egyptiske kjøkken (Pasqualone et al., 2020), som vi også finner varianter av i flere land i Midtøsten og Afrika.

Frøene er næringsrike med et høyt innhold av proteiner, karbohydrater, kostfiber, antioksidanter og mineraler (Dhull et al., 2021). Som grønnsak er det kun selve frøet som brukes. Frøskallet er rikt på stivelse, fiber og fenoler og kan spises, men fjernes oftest før bruk (Çalışkantürk Karataş et al., 2017). Fullt utvokste belger er stive grunnet høyt fiberinnhold, kan være dekket med hår og er lite anvendelige som mat, men har potensial som dyrefôr. Dette er en foreløpig lite utnyttet ressurs (Lid & Lid, 2005; Mossberg & Stenberg, 2003) (Valente et al., 2018). Unge, umodne belger og blader er mineralrike og har potensial som både dyrefôr og mat (Duc et al., 2015; Etemadi et al., 2018; Etemadi et al., 2019).

Bondebønner er en av få kjernebelgvekster med toleranse for kjølig klima og som derfor kan dyrkes som proteinavling i Norden (Peltonen-Sainio et al., 2013). Under navnet åkerbønner er planta ved siden av erter (*Pisum sativum* L.), eneste kjernebelgvekst med utbredelse av betydning i kommersiell dyrking i Norge i dag. Samlet ble det i 2018 dyrket erter og åkerbønner på ca 44.000 daa (Abrahamsen et al., 2019). Det finnes ikke tall for produksjonsarealet av åkerbønner alene, men såfrøsalget i 2020 tilsa at det den sesongen ble dyrket åkerbønner på omtrent 30.000 daa (Stabbetorp, 2021). På friland kan de sortene bondebønner/åkerbønner vi har tilgjengelig i dag dyrkes i områdene med lengst vekstsesong. Dette vil si jordbruksarealene rundt Oslofjorden, som er våre viktigste kornområder (Abrahamsen et al., 2019; Stabbetorp, 2021).

I Norge som i andre utviklede land brukes avlingen hovedsakelig til kraftfôr (Duc et al., 2015; Tufte & Inderhaug, 2022). Åkerbønner er en god forgrødevekst på grunn av sine N-fikserende og jordforbedrende egenskaper, og bidrar til unngåelse av jordbårne

følgesjukdommer og skadegjørere ved ensidig dyrking av andre kulturvekster. Kornavlinger har vist seg å nyte godt av åkerbønne som forgrøde, med rapporterte avlingsøkinger på 20 % (Abrahamsen et al., 2016; Abrahamsen et al., 2019; Øverland, 2021). Norge var i 2020 verdens nest største importør av tørkede bondebønner/åkerbønner, mens Egypt var største importør, Kina største produsent og Australia største eksportør (Tabell 1).

Tabell 1: Verdens topp fem produsenter, eksportører og importører av tørket bondebønne i 2020 (FAO, 2022). Data for friske bønner er ikke tilgjengelig siden produksjonen er liten (Duc et al., 2015)

	Land	Mengde (tonn)
Produksjon		
	Kina	1.723 598
	Etiopia	1.070 637
	Storbritannia	554 020
	Australia	313 000
	Tyskland	235 800
Eksport		
	Australia	427 017
	Storbritannia	139 405
	Litauen	136 443
	Latvia	100 452
	Egypt	61 388
Import		
	Egypt	250 092
	Norge	89 002
	Danmark	47 002
	Saudi Arabia	37 809
	Nederland	33 444

2.3 Utfordringer med dyrking av bondebønner

Bondebønner er kjent for utfordringer med avlingsujevnhet og dette er et av fokusområdene for forskning og foredling av bondebønner internasjonalt (Flores et al., 2013; Lake et al., 2019; Li & Yang, 2014). Blomstringstid er en viktig fenologisk hendelse å kunne forutsi i planlegging av så- og høstetidspunkt da klimaforhold i den generative fasen er kritisk for videre utvikling av avlingen (Iannucci et al., 2008). Krav om et spesifikt antall døgngrader er viktigste faktor for å nå blomstring, med et generelt optimumstemperaturområde for blomstring på 20-25 °C (Patrick & Stoddard, 2010). Selv med toleranse for lave temperaturer blir temperaturkravet hovedutfordringen ved dyrking av bondebønner i Norge på grunn av lang vegetativ veksttid og sen blomstring og belgutvikling (Abrahamsen et al., 2019; Stabbetorp, 2021).

I forsøk i nord-europeisk og nordisk klima har de best tilpassede sortene vist seg å ha et temperaturkrav for blomstring på minimum 650 døgngrader med en basetemperatur på 0°C (Bodner et al., 2018), mens det i forsøk med mer varmekjære sorter i varmere klima (Sør-

Europa) ble funnet temperaturkrav på over 1000 døgngrader for å nå blomstring med basetemperaturer på 1,7-2,5°C (Iannucci et al., 2008).

Abiotiske stressfaktorer som for lite tilgang på lys og for mye eller for lite tilgang på vann kan også påvirke utviklingshastighet frem til blomstring selv om temperaturkravet for blomstring oppfylles (Lizarazo et al., 2017). I perioden fra blomstring til belgutvikling er disse abiotiske stressfaktorene helt avgjørende for avlingens utvikling og størrelse (Bodner et al., 2018). Lake et al. (2019) viste at bondebønner har en lengre periode enn korn og raps målt i døgngrader hvor de er sensitive for abiotisk stress på en måte som kan påvirke avlingsstørrelse. Videre fant samme studie at stress påført før blomstring påvirker antall belger mens stress påført etter blomstring påvirker både antall belger og antall frø per belg, og at et redusert antall belger i noen tilfeller ble kompensert med økning i frøstørrelse.

Patrick og Stoddard (2010) påpeker at et ofte påvist negativt forhold mellom antall frø og frøstørrelse hos kjernebelgvekster kan skyldes at tidspunkt for bestemmelse av celleantall i embryo og frøantall i belg overlapper. Redusert fotosyntese i denne kritiske fasen kan medføre både reduksjon i frøstørrelse og abortering av frø.

En annen kjent utfordring for bondebønner som bidrar til problemer med å forutsi avlingsstørrelse er utbredt abortering av tilsynelatende friske blomster, som i følge Patrick og Stoddard (2010) er sammensatt av de tre hovedårsakene fertilisering, ressurstilgjengelighet og overproduksjon av blomster. Bondebønner har et blandet fertilitetssystem ved at de både er selvfertiliserende og drar nytte av pollinatorer. Forsøk med pollinatorer ved dyrking av bondebønner har vist en økning i avling på fra 17 til 65 % med en jevnere distribusjon av belger på plantene sammenlignet med dyrking uten pollinatorer (Cunningham & Le Feuvre, 2013; Kyllönen, 2018). Overproduksjon av blomster er en konkurransestrategi for å tiltrekke flest mulig pollinatorer. Om det ikke finnes tilstrekkelig med pollinatorer og selvfertiliseringen feiler vil ubefruktede blomster falle av. Skyggeeffekter og tørkestress er eksempler på ressurstilgjengelighetsårsaker til blomsterabstisjon. Patrick og Stoddard (2010) peker også på intern ressurskonkurranse i planta mellom vegetative og generative plantedeler som en utfordring, og denne konkurransen kan reduseres ved å kutte skuddapikalt meristem på riktig tidspunkt for å begrense videre vegetativ vekst.

Anbefalinger for plantetetthet på friland varierer mye og avhenger av sort og lokalitet i tillegg til mål om sikring av avlingsmengde i tørre sesonger og optimal tetthet for å unngå legde (GRDC, 2017a; Øverland, 2021). I nordlige strøk ligger anbefalinger på fra 45 til 80 planter per m² (Øverland, 2021). I tunnelforsøk med bondebønner til grønnsaksproduksjon konkluderte

Cavusoglu og Azdemir (2019) at en høy tetthet på 67 planter per m² ga best avling per areal ved dyrking i passivt kontrollert klima.

De Cillis et al. (2019) påpeker at lav plantetetthet er en fordel ved manuell høsting av bondebønner og selv om avling per areal går ned med en lavere plantetetthet, går avling per plante opp, som kan kompensere noe for nedgangen per areal.

Profesjonelle dyrkingsguider beskriver mekanisk høsting av fullstendig modnede, dehydrerte åkerbønner (vanninnhold 10-15 %) på friland (Øverland, 2021). I følge Karkanis et al. (2018) kan bondebønneavlinger til friskkonsum høstes både mekanisk og manuelt så snart belgene er fylt og før uttørkingen begynner, men under produksjonsforhold med små avlinger er det vanligst å høste manuelt i flere omganger i løpet av innhøstingsperioden.

Bondebønner har en rekke kjente skadegjørere ved frilandsdyrking. De mest utbredte i dyrking i Norge er sjokoladeflekk (*Botrytis fabae*) og bønnebladflekk (*Ascochyta fabae*). Det er også kjent med angrep av bønnebladskimmel (*Peronospora viciae*) og i Sverige av *Phytophthora pici*. Jordbårne sjukdommer er en viktig årsak til at bondebønner bør inngå i vekstskifte med 6-7 års opphold mellom dyrking på samme skifte. Ved smitte av *Phytophthora* bør det være 8 års opphold mellom dyrking på samme skifte. Av skadedyr er det ertesnutebille (*Sitona lineatus*), betebladlus (*Aphis fabae*) og ertebladlus (*Acyrtosiphon pisum*) som er mest fremtredende i Norge. Bladlusartene kan i tillegg til å gjøre direkte skade på plantene være virusvektorer. (Hofsvang & Trandem, 2022; Klingen, 2010; Schjøll & Klingen, 2010; Øverland, 2021)

2.4 Næringsstoffer, fordelaktige stoffer og antinæringsstoffer

Løselige karbohydrater i bondebønner er hovedsakelig raffinose, stacchyose og verbascose som er oligosakkarider i raffinose-familien (ORF). Dette er sukkerarter som kan føre til flatulens og irritasjon i fordøyelsessystemet og derfor ikke regnes som fordelaktige i kostholdet (Labba et al., 2021; Vidal-Valverde et al., 1998). Samtidig regnes ORF som prebiotiske og kan ha fordelaktige effekter for menneskehelse (Labba et al., 2021; Ofuya, 2005).

Kostfiber er fiber som vårt fordøyelsessystem ikke klarer å bryte ned, men som ender opp som energikilde for bakteriefloraen i tykktarmen. Kostfiber har mange fordelaktige effekter for fordøyelsessystemet og kan ha positiv effekt på blodtrykk, blodsukker og flere kreftformer (Labba et al., 2021). Innholdet av kostfiber i bondebønner kan variere fra 15 til 30 % og består for det meste av hemicellulose, med høyest konsentrasjon i frøskallet (Dhull et al., 2021; Vidal-Valverde et al., 1998).

Bondebønner er stivelsesrike da dette er hovedformen for lagring av energi i frøene. Mesteparten av stivelsen er resistent eller tungtfordøyelig. Stivelsesinnholdet kan variere fra 22 til 50 % av frøenes tørrstoff (Dhull et al., 2021; Murphy-Bokern et al., 2017). Resistent stivelse tas ikke opp fordøyelsessystemet, men passerer til tykktarmen hvor den benyttes som energikilde for bakteriefloraen i tykktarmen og har dermed tilsvarende effekter som kostfiber (Universitetet i Oslo, 2018).

Proteininnhold i bondebønnefrø er høyt, ofte dobbelt så høyt som i korn (Multari et al., 2015), men kan variere mye, fra 17 til 40 % av tørrstoff, avhengig av sort. Det er ikke uvanlig med et proteininnhold på rundt 30 % av tørrstoff (Duc et al., 2015; Warsame et al., 2018). Proteinet det finnes mest av er lagringsproteinet globulin (inntil 78 %), som igjen består av legumin og vicilin (Multari et al., 2015). Øvrige viktige proteiner er i følge Multari et al albumin, prolamin og glutelin. Frøene er en god kilde til aminosyrer, med blant andre et høyt innhold av den essensielle aminosyren (EAA) lysin, men med lavt innhold av S-holdige EAA som metionin, cystin og tryptofan (Labba et al., 2021). Bondebønner er dermed ikke fullverdig proteinkilde i menneskelig kosthold, men må suppleres med inntak av animalske eller andre vegetabiliske proteinkilder som kan komplementere aminosyresammensetningen. Korn er en god vegetabilisk kilde til S-holdige aminosyrer (Labba et al., 2021). Det typiske, nord-europeiske kostholdet er fortsatt basert på animalske kilder til mineraler og essensielle aminosyrer (Labba et al., 2021).

I produksjon av bondebønner til grønnsak er mål om å øke innhold og tilgjengelighet av Zn og Fe viktig i foredlingsarbeidet siden mineralmangel er en viktig årsak til feilernæring på verdensbasis (Etemadi et al., 2019).

Aminosyren L-3,4-dihydroxyphenylalanine (L-Dopa) er forløper til neurotransmitteren dopamin. Syntetisk fremstilt L-Dopa brukes i behandling av Parkinsons sykdom, men høye produksjonskostnader og flere uheldige bivirkninger har ført til at inntak av matvarer med naturlig forekomst av L-Dopa er anbefalt for folk med denne lidelsen. Dette stoffet er identifisert i høy konsentrasjon i unge plantedeler av bondebønner. Mengden varierer avhengig av sort og vekstforhold. Konsentrasjonen kan være veldig høy i unge blader (<8 %) og unge belger (<6,5 %), og lavest i modne, tørre frø (<0,06 %). L-Dopa ser ikke ut til å tåle varmebehandling. (Duan et al., 2021; Etemadi et al., 2019; Multari et al., 2015)

Antinæringsstoffer er en betegnelse på bioaktive stoffer som finnes i planter og kan virke begrensende på tilgjengelighet av andre viktige næringsstoffer i mat- eller fôrplanter, for eksempel gjennom binding av mineraler som Fe, Zn og Cu i chelater. Samtidig kan flere antinæringsstoffer også ha positive og helsebringende effekter som del av et variert kosthold

(Petroski & Minich, 2020). Eksempler på viktige antinæringsstoffer i bondebønner er fytat/fytinsyre, tanniner, vicin og convicin (Crépon et al., 2010; Labba et al., 2021).

Fytat er et salt som dannes fra fytinsyre og har funksjon som fosforlager i planter. Fosforet tilgjengeliggjøres for planta gjennom enzymatisk nedbrytning ved frøspiring (Aarnes, 2011a). Inntil 60 % av fosforet i bondebønnefrø kan være bundet i fytat og dermed være utilgjengelig når frøene brukes til fôr eller mat. Fytinsyre reduserer også tilgjengeligheten av flere mineraler (Vidal-Valverde et al., 1998).

Fenoler er en kategori av organiske forbindelser som består av minst en aromatisk ringstruktur med en eller flere hydroksylgrupper. Fenoler med flere aromatiske ringer og mer komplekse strukturer betegnes som polyfenoler (Crozier et al., 2007). Disse stoffene har et bredt spekter av roller i planter. Mest fremtredende er rollene i forskjellige stressresponser, men de er også medvirkende i andre viktige oppgaver som tiltrekning av pollinatorer (Šamec et al., 2021). Polyfenolene er lokalisert flere steder i bondebønneplanta med høyest konsentrasjon i frøbladene, og umodne frø har en høyere konsentrasjon av slike fytokjemiske forbindelser og høyere antioksidativ aktivitet enn modne frø (Turco et al., 2016). Totalt fenolinnhold i bondebønnefrø kan variere mye. Det er rapportert innhold i frøene på 1,4-5 mg GAE/g (Labba et al., 2021) mens både frøskall og belger er rapportert å ha et høyere innhold av fenoler, fra 4,8 til 13 mg GAE/g i belger (Valente et al., 2018) og 21,5 mg GAE/g i frøskallet (Çalışkantürk Karataş et al., 2017).

Tanniner er hovedtypen av polyfenoler i bondebønner. Det finnes sorter som er frie for eller har et lavt innhold av tanniner. Dette kan sees på blomstene der tanninfrie blomster er ensfargede, mens tanninholdige planter har et svart eller brunt merke på vingekronbladene (Duc et al., 2015; Øverland, 2021). I frøene er tanninene for det meste konsentrert i frøskallet (Multari et al., 2015). Innholdet av tanniner og andre polyfenoler er viktig å kjenne til fordi de kan påvirke fordøyelighet hos en del enmagede dyr og mineraltilgjengelighet for mennesker. En positiv side ved høyt polyfenolinnhold er mulige antioksidative effekter. Det finnes sorter på markedet med lavt tannininnhold, men tanninrike sorter er likevel mest utbredt i dyrking i Europa i dag (Crépon et al., 2010; Labba et al., 2021).

Vicin og convicin (v/c) er pyrimidin-glykosider som kan medføre akutt hemolyse hos personer som er genetisk disponert for det. Folk med denne X-kromosomnedarvede glukose-6-fosfat-dehydrogenase-mangelen (G6PD) lider av en sykdom som kalles *favisme*. Siden G6PD-mangel er x-kromosom-bundet, er sykdommen mest utbredt hos menn. Forekomst av kvinner som er homozygote for G6PD-mangel er sjeldent. Varmebehandling og tørking av bønnefrøene kan inaktivere enzymet som omdanner v/c til sine toksiske former. Risiko er dermed størst ved

konsum av rå, friske eller fryste frø. Konsentrasjonen av v/c er også langt høyere i små, umodne frø. Ca. 4,9 % av verdens befolkning har denne mutasjonen og den er opprinnelig utbredt rundt Middelhavet, i Midtøsten, Nord-Afrika og andre områder som er spesielt utsatt for malaria. G6PD-mangel har vist seg å være knyttet til å redusere alvorlighetsgraden av sykdomsforløpet ved malaria. Tilfeldigvis har bondebønner vært en viktig del av kostholdet i mange av disse områdene. På grunn av utbredt migrasjon er folk med denne mangelen nå spredt over hele verden. Det er normalt at folk med denne mangelen ikke kjenner til at de har den før de blir diagnostisert etter tilfelle av akutt hemolyse. Det finnes metoder for å selektere for lavt innhold av v/c i bondebønner gjennom genetiske markører. (Crépon et al., 2010; Khazaei et al., 2019; Labba et al., 2021)

Rå bondebønne brukes i liten grad som mat. Det er vanlig å forbehandle frøene før bruk (Vidal-Valverde et al., 1998). Slik prosessering av bondebønner før konsum kan øke fordøyeligheten. Tradisjonelt er avskalling, bløtlegging, koking og spiring utbredte metoder når frøene brukes som grønnsak. Disse metodene er enkle å utføre og kan i varierende grad ha positiv effekt på innhold av antinæringsstoffer, stivelse, sukkersammensetning, og generell tilgjengelighet av viktige næringsstoffer, men de kan også ha noe negativ effekt på ønsket næringsinnhold (Dhull et al., 2021).

Prosessering av bondebønner til melproduksjon inkluderer ekstrusjon, som er en vanlig metode i industriell sammenheng og som har lite negativ effekt på ønskede næringsstoffer, mens risting er vanlig metode for å lage mel i husholdninger. Risting kan medføre reduksjon av både antinæringsstoff- og næringsstoffinnhold (Dhull et al., 2021).

2.5 Dyrking i kontrollert klima

Å dyrke i kontrollert klima vil si å bruke en form for midlertidig eller permanent dekke over en avling for å danne et mikroklima som kan forbedre plantenes produktivitet. Dette kan være fra enkle strukturer som plasttuneller over avlinger enten i potter eller i jord på friland for å passivt kontrollere noen klimaforhold, til permanente veksthus med avanserte, aktive klimakontrollsystemer hvor avlingen er fullstendig adskilt fra naturgrunnet (Stanghellini et al., 2019).

Klimafaktorer man ønsker å kontrollere kan være temperatur, lys, luftfuktighet, luftsirkulasjon og CO₂-nivåer, mens vann- og næringstilførsel også kan kontrolleres strengere i et mer lukket miljø. Å bruke avanserte klimakontrollsystemer krever riktig kompetanse for å

unngå unødig eller feil ressursbruk som kan bidra til å fjerne fordelene ved et kontrollert klima (Bævre & Gislerød, 1999).

Temperatur er den faktoren som har størst innflytelse på en plantes utviklingshastighet og kan ha innflytelse på planters bladdanning, morfologi og avlingskvalitet. Optimumstemperaturer for en plante avhenger av planteart, men også av plantas utviklingsstadium. I temperaturer som ligger under en plantes optimumsområde for å nå et visst utviklingsstadium kan man se en lineær sammenheng mellom endring i temperatur og endring i utviklingshastighet. Kjennskap til optimumstemperatur for at en plante skal nå et bestemt utviklingssteg gjør døgngradberegning til et lett anvendelig verktøy for å forutsi når dette utviklingssteget vil finne sted (Bævre & Gislerød, 1999; Stanghellini et al., 2019).

Døgngrader er et begrep som brukes for å beskrive en kombinasjon av temperatur og tid og defineres vanligvis som summen av gjennomsnittstemperaturer per døgn for en periode, hvor for eksempel 1 døgngrad tilsvarer 1°C per døgn (Halleraker & Mamen, 2017; Harstveit & Bjørndalen, 2021).

Avhengig av produksjonssystem er planteproduksjon i kontrollert klima ressurs- og energikrevende. Energikonsumet er hovedsakelig knyttet til oppvarming og belysning (Lund et al., 2006). Veksthusbransjen er tjent med å benytte seg av energibesparende strategier, både for å være i tråd med dagens fokus på klima- og miljøhensyn, men også ved kostnadsbesparelsene man kan oppnå ved bruke mindre energi (Mortensen & Gislerød, 2018). En strategi for energibesparelse er å tillate mer dynamiske temperaturregimer (Körner et al., 2007). I forsøk har mange veksthusplanters vekst og utviklingshastighet vist seg å respondere på gjennomsnittstemperatur over tid fremfor temperaturvariasjoner gjennom dagen (Mortensen & Gislerød, 2018). Å tillate høye temperaturer på dagtid gjennom soloppvarming og redusert bruk av ventilasjon, og lavere temperaturer på natten når temperaturene er lavere ute og differansen mellom ute- og innetemperatur blir stor, kan redusere energiforbruket betraktelig samtidig som gjennomsnittlig temperatur kan opprettholdes. Bruk av energigardiner om natten for å konservere overskuddsvarme fra solinnstrålingen er også et viktig tiltak i en slik strategi (Blanchard & Runkle, 2011; Körner & Challa, 2003). Per 1°C redusert oppvarming spares omlag 10% energi (Körner et al., 2007). At temperatur følger solinnstrålingen gir en mer effektiv fotosyntese for mange planteslag så sant temperatur- og/eller lys-stress unngås (Liu & Heins, 1997). En strategi med redusert ventilasjon vil bidra til å redusere CO₂-forbruket i tilfeller hvor veksthuset suppleres med ekstra CO₂. Det vil samtidig opprettholde høye CO₂-nivåer i veksthuset som igjen vil bidra til økt fotosyntetisk aktivitet (Lund, 2005; Ottosen et al., 2005). Økt fotorespirasjon ved høye temperaturer er en velkjent effekt som reduserer den

fotosyntetiske effektiviteten. Dette skyldes at løseligheten av CO₂ i luft relativt til O₂ reduseres ved stigende temperatur, som igjen reduserer enzymet RuBisCOs affinitet for CO₂ over O₂ som substrat (Buchanan et al., 2015; Raven et al., 2013). En høyere konsentrasjon av CO₂ i veksthuset vil redusere denne effekten (Urban et al., 2001).

En utfordring med stor differanse i temperatur mellom dag og natt kan være økt relativ luftfuktighet (RF) og duggfall i perioder med lav temperatur (Bævre & Gislerød, 1999). Kondensering på plantene kan medføre soppinfeksjoner som gråskimmel (Stanghellini et al., 2019). Dette må derfor holdes under kontroll og man bør påse at eventuell kondens kun forekommer på andre materialer i veksthuset enn plantene (Lund et al., 2006; Lund, 2005). Det kreves både sofistikert klimakontrollutstyr og kompetanse for å utnytte det fulle potensialet i et dynamisk kontrollert temperaturregime, og en forenklet versjon av strategien er å fastsette statiske, forskjellige dag- og natt-temperaturer i en DIF-strategi (forkortelse av det engelske DIFFERENCE), slik at man oppnår det som betegnes som en POS DIF (Blanchard & Runkle, 2011). Blanchard og Runkle (2011) understreker at både dynamisk temperaturkontroll og DIF-strategier fordrer at plantearten responderer som ønsket på behandlingen. DIF-forsøk er eksperimentdesign med kontrollert forskjell i dag- og natt-temperatur (DT og NT), for å studere termoperiodisk effekt på planters fysiologi og morfologi, og er et konsept som ble introdusert av Erwin et al. (1991) som et verktøy for å kontrollere plantehøyde. I DIF-forsøk skiller det mellom 0 DIF, som vil si lik temperatur hele døgnet, NEG DIF som betyr lav DT ($DT-NT < 0$) og POS DIF som betyr lav NT ($DT-NT > 0$). Dette er nå en velutprøvd metode for å kontrollere vekst i produksjon av blomster og potteplanter (Heins & Erwin, 1993). Plantehormonet giberellin (GA) har blant annet innflytelse på strekningsvekst og plantehøyde. Det er for mange plantearter påvist at DIF-behandlinger påvirker konsentrasjonen av de fysiologisk aktive typene GA. For eksempel har erteplanter dyrket under POS DIF høyere konsentrasjon av bioaktivt GA₁ enn erteplanter dyrket under NEG DIF (Bævre & Gislerød, 1999; Stavang et al., 2007; Stavang et al., 2010). Forsøk har vist at aktivt GA inaktiveres under NEG DIF og resulterer i korte, kompakte planter sammenlignet med planter dyrket ved POS DIF hvor plantene ofte er høyere på grunn av lengre internodier (Stavang et al., 2007).

Effekter av DIF-behandling avhenger av planteartens temperatursensitivitet. Det er vist at strekningsveksteffekten av POS DIF reduseres eller uteblir i agurk om NT er for lav (Lund et al., 2006). I norske forsøk med tomat har lav NT (ned til 10°C) og høy DT (opp mot 40°C) vist seg å ikke ha negative effekter på avling (Hückstädt et al., 2013).

Varmestress er en av de abiotiske stressfaktorene som har størst sannsynlighet for å hemme vekst i bondebønner (Murphy-Bokern et al., 2017) og det er derfor nødvendig å kjenne til hvor

høy DT kan være uten å gi negative effekter ved en POS DIF-strategi med optimal, døgnlig gjennomsnittstemperatur for blomstring som overordnede mål. Bishop et al. (2016) rapporterer varmestressresponser ved 28-32 °C under blomsterutvikling og blomstringstid, med negativ effekt på pollenspiring og avling hos bondebønner.

Dyrking i kontrollert klima vil kunne gi andre utfordringer med skadegjørere enn på friland. I veksthus er systemet mer lukket, består oftest kun av et fåtall plantearter, med ingen naturlige fiender og klimatiske forhold som kan være veldig gunstige for en del skadegjørere (Heggen & Toppe, 2005). Soppsjukdommer er i følge Pszczółkowska et al. (2020) nøkkelskadegjørere som påvirker avlingen til bondebønner. Ut fra liste over skadegjørere for bønner i plantevernleksikonet til NIBIO kan ertemjöldogg (*Erysiphe pisi*), gråskimmel (*Botrytis cinerea*) og tidligere nevnte bønnebladskimmel (*P. viciae*) være skadegjørere som kan få gode forutsetninger for oppformering i veksthus (Hermansen et al., 2011; Sundheim & Brodal, 2013).

Gråskimmel er verdens viktigste veksthuskadegjører på et stort spenn av kulturplanter og trives spesielt godt i kjølige temperaturer (9-16°C) og høy RF (93-100 %). Gråskimmel angriper enten ungt, skadet vev eller aldrende plantemateriale, som f.eks klorotiske blader eller visne blomster. Det er derfor viktig å fjerne slikt materiale fra veksthuset fortløpende. Mjöldoggsopper er vertsspesifikke og trives i høy RF og med tørre forhold. Bladskimmel har best forutsetninger på fuktige blader og overlever og spres med luft via dødt plantemateriale. (Schumann & D'Arcy, 2010)

I forarbeidet til denne oppgaven ble det funnet lite dokumentasjon på forsøk med bondebønner i kontrollert klima med hensyn på å undersøke dette som potensielle dyrkingssystem for veksten. Amalfitano et al. (2018) argumenterer for at det er muligheter for å fremskynde utvikling og høsting i kontrollert klima og at dette kan være spesielt interessant for økologisk dyrking hvor man har mulighet for å oppnå høyere produktpriser siden dyrking i kontrollert klima er mer ressurskrevende enn på friland. Cavusoglu og Azdemir (2019) påpeker også at bruk av kontrollert klima kan forlenge sesongen for bondebønner som fersk grønnsak i sine forsøk hvor de studerte effekten av plantetetthet på bondebønneavlinger i veksthus. Både i Nederland og Belgia er det nylig avsluttede eller pågående forsøk med kjernebelgvekster i henholdsvis vertikale dyrkingssystemer (Graamans, 2022) og kalde veksthus (Baeyens, 2022) for å undersøke potensialet for dyrking av proteinavlinger i kontrollert klima.

3.0 Formål

Formålet med dette forsøket var å undersøke effekten av forskjellige temperaturregimer innenfor et gjennomsnittlig optimumstemperaturområde for blomstring på bondebønneplanters fysiologi, fenologi og avlingskvalitet, med tanke på å produsere bønner som fryst- eller friskkonsumgrønnsak i Norge.

Det ble stilt tre forskningsspørsmål:

- Hvordan vil dyrking ved en døgnlig gjennomsnittstemperatur tilsvarende plantas optimumstemperaturområde for blomstring slå ut på plantenes utviklingshastighet og avlingskvalitet?
- Oppstår det forskjeller i plantenes utvikling og avlingens størrelse ved dyrking i konstant temperatur (0 DIF) og dyrking med temperaturvariasjon mellom dag og natt (POS DIF)?
- Gir forsøket en indikasjon på hvilket potensial det finnes i kommersiell dyrking av bondebønner i kontrollert klima?

4.0 Materiell og metode

4.1 Forsøksdesign, materiell og temperaturregimer

4.1.1 Plantemateriale

Plantematerialet som ble brukt var bondebønneplanter (*V. faba* L.) av sorten Witkiem major. Dette er en sort som frøfirmaet LOG anbefaler til hagebruk i Norge fordi den egner seg både til friskkonsum og frysing. Sorten har en god toleranse for norske klimaforhold og regnes som en tidlig sort med relativt kort forventet utviklingstid (60-80 vekstdager). Den kan dermed sås på friland i april-mai og være høstklar som grønnsak i løpet av sommeren. Anbefalt gjennomsnittlig spiretemperatur er over 12°C. (Eri, 2022)

4.1.2 Forsøksdesign

Forsøket ble satt opp som et randomisert forsøksdesign med to plantegrupper som hver gjennomgikk en av to temperaturbehandlinger. For best mulig kontroll over dyrkingsklima ble forsøket gjennomført i separate fytotronrom på Senter for klimaregulert planteforskning (SKP) ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU) i Ås.

Bondebønnefrø ble sådd den 04.08.21 i totalt 13 24-potters systembrett med 0,33 liters pottar, hvor ett frø ble sådd i midten av 312 pottar og ett ekstra frø ble sådd i ytterkanten av 60 av pottene for å sikre nok planter. Sådybde var 1-2 cm. Spiringen begynte etter 3 dager (07.08.21) med en spireprosent på tilnærmet 100 %. Plantene ble pottet om til 3 liters pottar, med en plante per potte sju dager etter spiring (14.08.21).

Det ble dyrket i et blandet vekstmedium fra Tjerbo Torvfabrikk, bestående av 86% Sphagnumtorv, 10% sand og 4% granulert leire med pH 5,5-6,5 og elektrisk ledningsevne (EC) på 25 mS m⁻¹ ved produksjonstidspunkt (www.tjerbo.no).

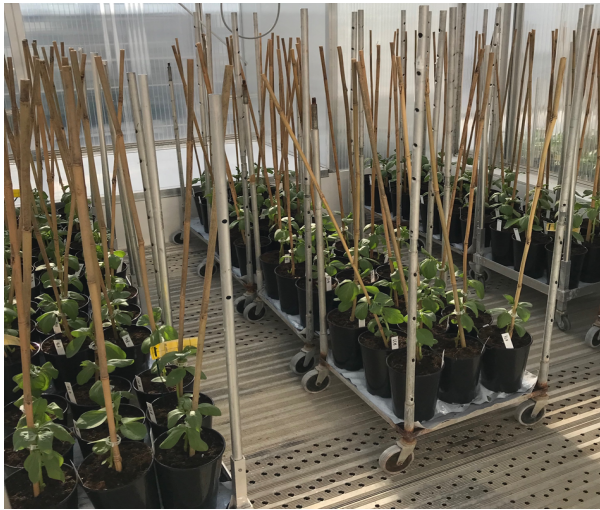
Såing, spiring, etablering og ompotting fant sted i samme veksthusrom for alle plantene. Dette rommet holdt dagtemperatur på 20°C og natttemperatur på 15°C.

Forsøkets dag 1 ble bestemt å være 20.08.21, da alle planter hadde minimum 4 ekte blad.

216 tilfeldig utvalgte planter ble nummerert og plantehøyde og antall blader ble målt før de ble fordelt på traller og flyttet til to fytotronrom med forskjellige temperaturregimer.

Forsøksdesignet besto av 12 stykker 50x50 cm traller med 9 planter per tralle, totalt 108 planter per temperaturregime ved oppstart i fytotronen. Behandlingsrommene målte 8m² gulvflate. Trallene var plassert på tre rader bestående av 4 traller per rad med cirka 60 cm avstand mellom tralleradene (Figur 1).

Siden hver tralle hadde en flate på 0,25m² målte hver rad med traller ca. 1 m² og forsøket begynte dermed med en plantetetthet på 36 planter per m². Tilfeldige utvalg av planter fra hver av de to temperaturregimene ble videre fulgt opp i tre delforsøk.



Figur 1: Oppsett av traller og planter i fytotron ved forsøksstart (20.08.21). Trallene var plassert på tre rader bestående av 4 traller per rad med cirka 60 cm avstand mellom tralleradene. Hver tralle hadde en flate på 0,25m² Hver rad med traller hadde derfor en flate på 1 m².

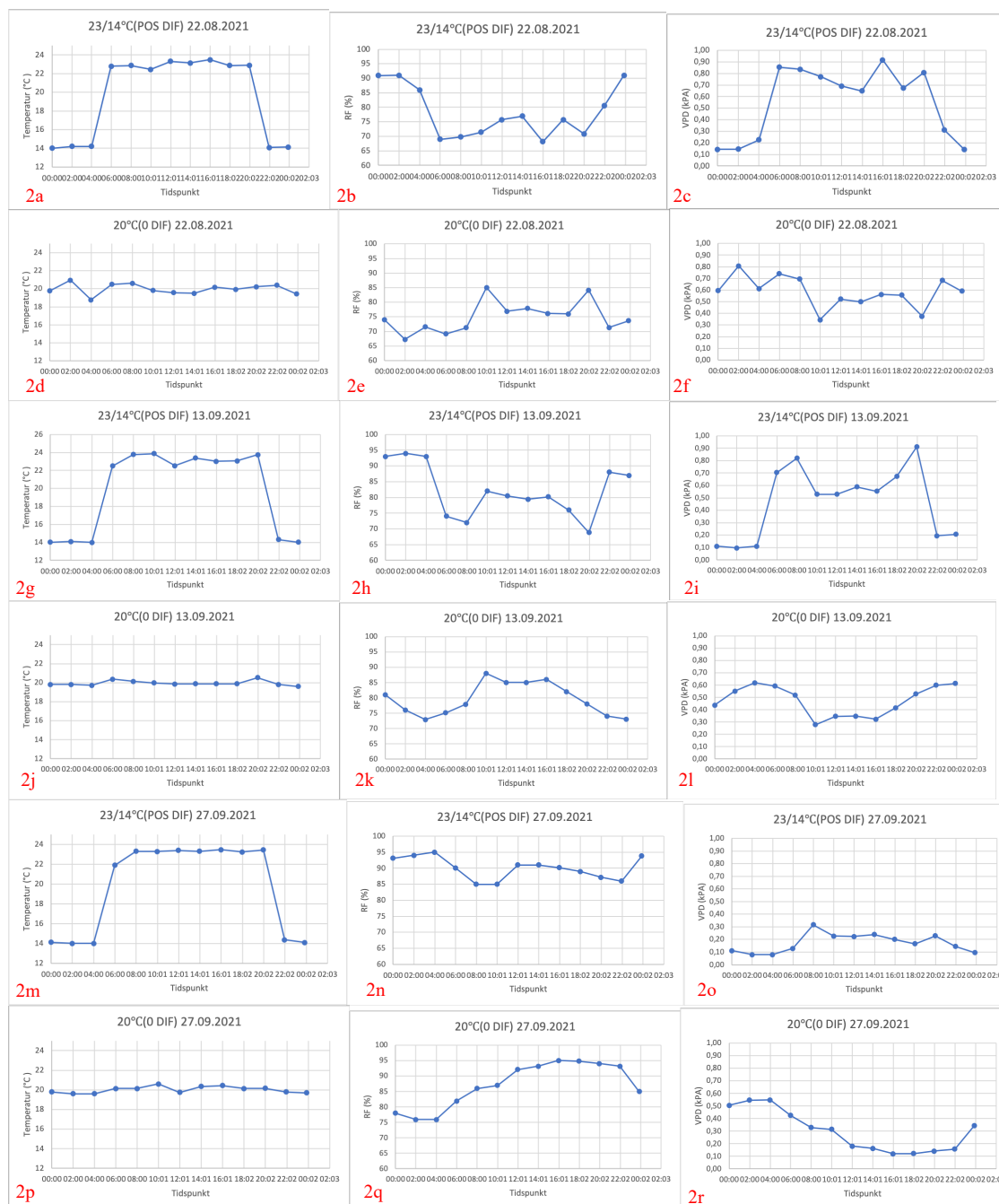
4.1.2.1 Temperaturregimer og klimadata

0 DIF-regimet blir heretter også omtalt som 20/20°C og POS DIF-regimet som 23/14°C. Tabell 2 viser de to temperaturregimene med innstilte og faktiske gjennomsnittlige klimadata for perioden 20.08.21 (forsøksstart) til 10.10.21. En feil ved loggingen i reguleringsystemet gjorde at data f.o.m 11.10.21 t.o.m. 02.11.21 (forsøksslutt) ikke ble registrert. Loggfiler over temperatur og relativ luftfuktighet (RF) ble brukt som grunnlag for å regne ut luftas vanndamptrykkdeficitt (VPD) og gjennomsnittsverdier for temperatur og RF. Der RF oppgir luftfuktighetsmetning i prosent relativt til en gitt temperatur, oppgir VPD differansen mellom faktisk vanndamptrykk i lufta (AVP) og mettet vanndamptrykk (SVP) ved en gitt temperatur. Dette kan gi en indikasjon på potensial for fortsatt transpirasjon ved denne temperaturen før det oppstår kondens (Stanghellini et al., 2019; Aarnes, 2019). **Feil! Hyperkoblingsreferansen er ugyldig.** Formler for å regne ut VPD ble hentet fra <https://pulsegrow.com/blogs/learn/vpd>.

Tabell 2: Oppsett av temperaturregimer i forsøket med innstilte og faktiske gjennomsnittlige klimadata for fytotronrommene. Faktiske data er gjennomsnitt for perioden 20.08-10.10.21. Gjennomsnittlig vanndamptrykkdeficitt (VPD) er kalkulert ut fra planlagte og faktiske gjennomsnittsverdier for temperatur og relativ luftfuktighet (RF).

	Dag-/natt- lengde (timer)natt -lengde (timer)	Innstilt dag/natt -temp. (°C)	Innstilt gj.sn. temp. (°C)	Faktisk gj.sn. Temp. (°C)	Innstilt gj.sn. RF (%)	Faktisk gj.sn. RF (%)	Innstilt gj.sn VPD (kPa)	Faktisk gj.sn VPD (kPa)
20/20°C	16/8	20/20	20	20,03	70	82,14	0,70	0,42
23/14°C	16/8	23/14	20	20,15	70	83,44	0,70	0,39

Figurene 2a-2r viser registrert temperatur, RF og VPD for tre utvalgte døgn i hver av de to behandlingsrommene i fytotronen. De utvalgte datoene var rett etter forsøksstart (22.08.21), samme uke som første registrering av synlig belg (13.09.21) og samme uke som første høsting (27.09.21). Datoene er valgt ut fordi det på disse dagene ikke foregikk målinger og miljøet derfor ikke var påvirket av bevegelse og åpne dører utover tidspunkter for vanning og stell.



Figur 2a-2r (fra toppen v-h): Hver rad med diagrammer viser fra venstre til høyre: temperaturutvikling, relativ luftfuktighet (RF) og vanndamptrykkdefisit (VPD) for et utvalgt døgn (kl. 00:00- 23:55) for en av temperaturregimene. Totalt tre utvalgte døgn . Datoene er 22.08.21, 13.09.21 og 27.09.21. Rad 1, 3, 5 er for planter dyrket ved 23/14°C . Rad 2, 4, 6 er for planter dyrket ved 20/20°C.

4.1.2.2 Lys

Beregning av naturlig lysmengde for forsøksperioden er basert på målt globalstråling hentet fra NIBIOs landbruksmeteorologiske værstasjon (LMT, lmt.nibio.no) i Ås (Tabell 3). Lyset i fytotronen besto av en kombinasjon av naturlig lys og tilleggsllys fra halogenlamper. Hvert rom hadde 9 halogenlamper med 400W pærer som avga kaldt, hvitt lys. Tilleggsllys ble skrudd på når innstrålingen ble målt til under 250 W/m^2 utenfor veksthuset i dagtidstimmene. Gjennomsnittlig PAR for tilleggsllys i behandlingsrommene var $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \pm 10 \%$.

Tabell 3: Total global stråling, total fotosyntetisk aktiv stråling (PAR) og total fotosyntetisk fotonflukstetthet (PPFD) i forskjellige intervaller av forsøksperioden, basert på gjennomsnittlige timesverdier for globalstråling hentet fra NIBIOs Landbruksmeteorologiske tjeneste (LMT, lmt.nibio.no) sin værstasjon i Ås.

Periode	Beskrivelse	Total globalstråling (W/m^2)	PAR* (W/m^2)	PPFD** ($\text{mol m}^{-2} \text{ periode}^{-1}$)
04-20.08.21	Etableringsfase	66350,8	31184,87	0,143
20.08-01.09.21	Forsøksstart til blomstring	51585,4	24245,13	0,111
01-29.09.21	Blomstring til 1. høsting	67856,2	31892,41	0,146
29.09-13.10.21	1.høsting til 2. høsting	14133,2	6642,6	0,030
13.10.-02.11.21	2. høsting til avslutning	20312,4	9456, 83	0,044

*PAR er omtrentlig kalkulert basert på antagelse om at denne utgjør ca 47% av globalstrålingen (Stanghellini et al., 2019).

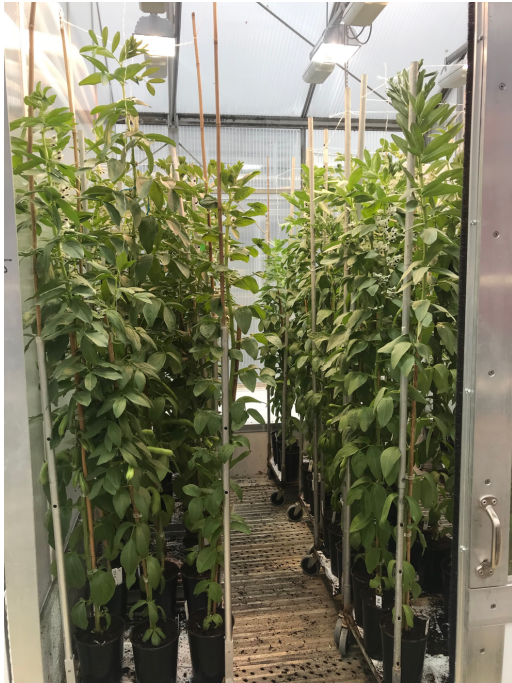
**PPFD tilsvarende PAR i W/m^2 konvertert til $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ periode}^{-1}$ ved å multiplisere med konverteringsfaktor 4,57 (Dye, 2004; Langhans & Tibbitts, 1997), videre omregnet fra μmol til mol .

4.1.2.3 Vanning, gjødsling og stell

Fra forsøksstart ble det vannet 2 ganger daglig. Næringsløsningen som ble brukt var en blanding av YaraTera KRISTALON INDIGO (9 - 5 - 25 + 4,2 Mg + mikronæringstoffer) og YaraTera CALCINIT (Yara Norge AS, u.å-a; Yara Norge AS, u.å-b) som holdt ledetall $1,5 \text{ mS m}^{-1}$ og ble gitt en gang i uken fra ompotting frem til dag 19. Etter dette ble næringsløsning gitt 3 ganger i uken frem til dag 26 og deretter en gang per dag frem til forsøkets slutt.

Sideskudd ble trimmet vekk fortløpende for å forhindre konkurranse med hovedstengel om næringsstoffer, vann og lys.

Dag 19 ble det fjernet 12 tilfeldig utvalgte planter fra hvert behandlingsrom, en plante fra hvert gjentak, for å øke lysinntrenging i plantebestandene. Sluttregistrering av ytterligere 12 planter per temperaturregime per dag i forbindelse med beregning av relativ veksthastighet ble gjort på dag 19 og dag 26. For å unngå stengelknekk på grunn av plantenes høyde og vekt ble plantene bundet opp med bambuspinner og hyssing etter dag 33 (Figur 3). For å stoppe videre vegetativ vekst ble plantene på dag 40 toppet ca. 10 cm nedenfor skuddapikalt meristem. Minst ett nodie under meristemet ble også fjernet. Sluttregistrering av 10 planter i hvert temperaturregime i forbindelse med avslutning av ukentlige utviklingsfysiologiske registreringer ble gjort på dag 54.



Figur 3: Oppbinding av planter for å unngå stengelknekk

4.2 Utviklingsfysiologi, fenologi

10 tilfeldig utvalgte planter i hvert temperaturregime ble merket og målt ukentlig, med 5-6 dagers mellomrom de 3 første ukene og med 7 dagers mellomrom øvrige uker. Målingene gikk over 40 dager fra 20.08 til 28.09. Sluttregistrering av de 10 plantene fra hvert temperaturregime ble gjort etter 54 dager.

Egenskapene som ble målt fra uke til uke var plantehøyde, antall blader, antall blomster, blomstring (antall åpne blomster) og antall belger per plante. Tidspunkt for første synlige blomsterstander, første belger og nodienummer for første blomst eller belg i tillegg til gjenkjennelige vekststadier ble også registrert. Vekststadie-beskrivelser og -koder (Vedlegg I) ble hentet fra en dyrkingsveileder utviklet av australske Grain Research & Development Coporation, GRDC (2017b).

Plantehøyde ble målt fra pottkant til skuddapikalt meristem. Bladantall ble telt fra eldste, ekte blad til yngste åpne blad hvor bladet var fullstendig utfoldet. I tillegg til faktisk plantehøyde og bladantall ble endring i plantehøyde og bladantall etter forsøksstart beregnet. Gjennomsnittlige internodiellengder ble regnet ut ved å dividere plantehøyde på bladantall.

Bestemmelse av når blomster skulle defineres som blomster for telling ble fastsatt spesifikt for dette forsøket og er ikke hentet fra GRDC. Blomsterstand og antall blomster ble telt fra eldste til yngste blomsterstand, der siste/yngste blomsterstand ble definert som en blomsterstand om standen ikke var omsluttet av dekkblader og var så åpen at det var mulig å

telle enkeltblomsterknopper i standen uten å skade blomster, og minst en blomsterknopp i standen var >1 cm fra basis til spiss (Figur 4a-4d).



Figur 4a-4d (v-h): Eksempler på utvikling av blomsterknopper fra v-h: En blomsterstand som er omsluttet av dekkblader hvor knoppene sitter tett sammen og dermed ikke telles (Figur 4a). Øvrige bilder viser knopper som telles som blomster, fra åpen blomsterstand med grønne knopper hvor minst en knopp er over 1cm fra basis til spiss (figur 4b), til mer utviklede blomsterknopper med synlige kronblader (figur 4c og 4d).

Blomstringstid på plantebestand-nivå ble fastsatt til første observasjon av minst en åpen blomst på minst 50% av plantene. Blomster ble registrert som blomstrende (Figur 5a) så lenge det var synlig åpning i kronbladene og frem til synlig frukt, fullstendig blomsternedvisning eller -absisjon. Belger ble registrert så snart de var synlige uansett størrelse (Figur 5b).



Figur 5a og 5b (v-h): Eksempler på flere nivåer av blomstrende blomster (figur 5a), fra nylig åpnet (oppe til venstre) til fullstendig åpen blomst (oppe i midten og nede til høyre). Figur 5b viser nye belger i flere størrelser. Man kan se at nedvisnede kronblader fortsatt henger på de fleste belgene.

Ved dag 40 ble plantehøyde målt før plantene ble toppet ca. 10 cm under skuddapikalt meristem for å stoppe videre vegetativ vekst.

Sluttregistrering av plantene innebar telling av antall blader, blomster og totalt antall belger per plante, måling av bladareal per plante og separate målinger av friskvekt og tørrvekt for stengel, blader og generativt materiale (blomster og belger med frø samlet).

Bladareal per plante ble målt med et LiCOR 3100 Area Meter.

Etter innveiling av friskvekt ble plantemateriale tørket i tørkeskap ved 60°C i minimum 7 dager før måling av tørrvekt.

pH- og ledetallsanalyse (EC) av vekstmedier, næringsanalyse av blader, samt visuell bedømmelse av rotutvikling ble også gjennomført i forbindelse med avslutning av det overordnede forsøket for å få et bilde av generell næringsstatus i plantebestandene. Ved dag 76 ble fem tilfeldig utvalgte planter fra hvert gjentak vannet til metning på morgenen kl. 08:00. Plantene ble deretter kuttet rett over basis kl. 11:00 og pottene ble så vannet med 200ml springvann og stående urørt i en time. Etter en time ble pottene vannet med 150 ml filtrert vann (RO-vann). Inntil 50 ml dryppvann fra hver potte ble deretter samlet opp i 50 ml Sarstedt plastrør med skrukork. Ledetallsanalyse ble utført med en håndholdt EC-måler (merke ukjent). pH-analyse ble utført med et Orion 420A+ pH-meter (Thermo Electron Corp.)

Visuell undersøkelse av rotutvikling ble til slutt gjort på de samme fem pottene.

50 gram tørket bladmateriale fra hvert temperaturregime ble veid, pakket og sendt til næringsanalyse hos Eurofins. Det ble ikke skilt mellom eldre og yngre blader.

4.3 Relativ veksthastighet

Relativ veksthastighet (RGR – relative growth rate) er et mål for endring i en plantes biomasse over tid, relativt til plantas egne biomasse. Dette kan være en god indikator for biomasseøkningens effektivitet. Måleenheten til RGR er $\text{g g}^{-1} \text{dag}^{-1}$ og denne finner man ved

$$\text{RGR} = \text{NAR} * \text{LAR}$$

hvor NAR er netto assimilasjonsrate, eller endring i bladtørrvekt ($\text{g m}^{-2} \text{dag}^{-1}$) og LAR er bladarealforhold, eller bladareal per enhet bladtørrvekt ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) (Aarnes, 2011b).

RGR-analyse baseres på vekt av separate plantedeler og bladareal ved forskjellige høstetidspunkter for planter som har vokst under samme forhold. I dette forsøket ble det valgt to høstetidspunkter (Hunt et al., 2002).

12 tilfeldig utvalgte planter per temperaturregime per tidspunkt ble tatt ut til sluttregistrering med 7 dagers intervall, på dag 19 og dag 26. Det ble gjort separate målinger av friskvekt og tørrvekt for blader, stengel og generativt materiale (blomster og frukt) per plante,

samt måling av bladareal per plante. Målingene ble gjennomført tilsvarende som i forsøk 1 (se kapittel 4.1).

RGR ble kalkulert med et Microsoft Excel-basert vekstanalyseverktøy som er utviklet spesifikt for plantevekstanalyse med to høstingstidspunkter (Hunt et al., 2002).

4.4 Avlingskvalitet

Avlingskomponenter som ble undersøkt var antall høstede belger, friskvekt og tørrvekt for høsteklare belger med frø per plante og antall frø per belg. I tillegg ble frisk- og tørrvekt for enkeltfrø og enkeltbelger registrert i en separat høsting.

Det ble også gjort analyser for innhold av totalt protein, stivelse, løselige karbohydrater, totale fenoler og antioksidantkapasitet i frø fra to høstetidspunkter.

4.4.1 Avlingskomponenter

4.4.1.1 Avling, friskvekt og tørrvekt for høsteklare belger med frø per plante

Det ble høstet belger fra tilfeldig utvalgte planter i hvert temperaturregime ved to tidspunkter; En tidlig høsting ble gjennomført dag 41 før belger og frø hadde nådd full størrelse, og en høsting ble gjennomført dag 55 når belger og frø ble bedømt til å være fullstendig utvokst, men før modning hadde begynt, så de fortsatt var beregnet som gode for friskkonsum.

Den tidlige høstingen ble utført da endelig størrelse på belger og frø for sorten var ukjent og ingen informasjon om dette forelå fra frøleverandør ved høstetidspunktet.

Ved første høsting ble det gjort et tilfeldig utvalg av 20 planter i hvert temperaturregime. Det ble bestemt at belgene måtte være rigide og saftspente (de måtte ikke gi etter ved å klemmes på), ha en blank overflate (de er matte i overflaten før de er saftspente) og være minimum 10-12 cm i lengde for å kunne høstes.

Ved andre høsting ble det høstet fra 10 av de 20 plantene i hvert temperaturregime som det tidligere hadde blitt høstet fra. Utover kriteriene ved første høsting måtte belger være over 12 cm lange og frø være tydelig mer utvokst enn ved første høsting for å høstes. Det ble gjort unntak fra størrelseskravet om belgene var korte, men virket ferdig utvokst fordi de inneholdt få frø eller av andre grunner var deformert.

Ved begge høstedatoer var det noen av plantene i utvalget som ikke hadde utviklet belger eller hvor belgene ikke passet til kriteriene for høsting. Ved tidlig høsting ble det høstet fra 80 % av utvalgte planter dyrket ved 20/20°C og 75 % av utvalgte planter dyrket ved 23/14°C. Ved sen høsting ble det høstet fra alle utvalgte planter dyrket ved 20/20°C og 80 % av utvalgte

planter dyrket ved 23/14°C. To planter i utvalget dyrket ved 23/14°C ble høstet på grunn av nedvisning ved andre høsting selv om belgene var kortere enn kriteriet for høsting.

Etter høstingene ble antall planter med høsteklar avling, antall høstede belger per plante, belglengde og antall friske frø og synlige, aborterte frø per belg registrert. Deretter ble friskvekt av belger med frø per plante veid samlet og tørket i tørkeskap på 60°C i 7 dager før veiing av tørrvekt av belger med frø per plante.

4.4.3.2 Friskvekt og tørrvekt for frø og tomme belger

For å beregne gjennomsnittlig vekt av friske frø og belger hver for seg ved en modningsgrad hvor frøene var på sitt største og fortsatt kunne benyttes til friskkonsum, ble det høstet 30 belger i hvert temperaturregime fra tilfeldig utvalgte planter på dag 61.

Etter høsting ble det registrert belglengde, belgvekt, antall friske frø per belg og per temperaturregime, frøvekt og antall synlige, aborterte frø per belg og per temperaturregime. Deretter ble belger og frø tørket i tørkeskap på 60°C i minimum 7 dager før veiing av tørrvekt.

4.4.2 Analyse av utvalgte innholdsstoffer

For å analysere innhold av totalt protein, stivelse, løselige karbohydrater, totale fenoler og antioksidantkapasitet ble det høstet belger fra tilfeldig utvalgte planter i hvert temperaturregime ved to tidspunkter; En tidlig høsting ble gjennomført dag 42 før belger og frø hadde nådd full størrelse, og en høsting ble gjennomført dag 56 når belger og frø ble bedømt til å være fullstendig utvokst, men før modning så de fortsatt var beregnet som gode for friskkonsum. Se kapittel 4.3.1 for beskrivelse av valg av høstetidspunkter og kriterier for høsting.

Etter høsting ble frø med ytterskall overført til 15 ml Sarstedt plastrør med skrukork, fryst i flytende nitrogen og lagret ved -80°C.

Et tilfeldig utvalg av det frysede materialet fra hvert temperaturregime ble frysetørret i en Telstar LyoQuest 55 Laboratory freeze dryer og sendt inn til analyse av totalt nitrogeninnhold og stivelse hos LabTek, kjemisk analyselab for husdyr og akvakultur ved NMBU, Ås. Resterende friskt, fryst materiale ble sendt inn til analyse av vannløselige karbohydrater utført av LabTek og analyse av totale fenoler og antioksidantkapasitet utført ved Fruktlaboratoriet NMBU, Ås.

Totalt protein ble beregnet basert på analyse av totalt N med Dumas-metoden (Jung et al., 2003) med konverteringsfaktor $\text{totalt N} * 6,25$ (Müller, 2017). Stivelsesinnhold etter sukkerekstraksjon ble bestemt med Total Starch Assay-prosedyre fra Megazyme

(https://www.megazyme.com/documents/Assay_Protocol/K-TSTA-100A_DATA.pdf) med en RX Daytona+ (Radox Laboratories Ltd, United Kingdom). Innhold av vannløselige karbohydrater (WSC) ble bestemt med et Megazyme, D-Fruktose/D-Glucose assay kit, K-FRUGL (https://www.megazyme.com/documents/Assay_Protocol/K-FRUGL_DATA.pdf) og avlest på et UV/VIS spektrofotometer (<https://www.nmbu.no/tjenester/laboratorietjenester/labtek/utstyr>). Analyse av totale fenoler ble utført med Folin-Ciocalteaus reagent (FCR) (Everette et al., 2010) og analyse av antioksidantaktivitet ble utført via Ferric Reducing Activity Power (FRAP) Assay (Benzie & Strain, 1996). Både totale fenoler og antioksidantaktivitet ble analysert med en Konelab 30i (Thermo Electron Corp. Vantaa, Finland).

4.5 Dataanalyse

Diagrammer og tabeller som viser gjennomsnittsverdier av registrerte plantedata fra forsøkene, f-tester av næringsanalyseresultater, samt RGR-analyse ble utført i Microsoft Excel for Mac (Versjon 16.16.27). Øvrig deskriptiv statistikk, enveis variansanalyse, og Student's eller Welch's t-tester med tilhørende diagrammer og tabeller ble utført i jamovi (The jamovi project (2021)) med supplerende t-tester og f-tester ble utført i RStudio (<https://www.rstudio.com/about/>) med hjelp fra Skrivesenteret på NMBU (<https://www.nmbu.no/student/skrive/statistikk-hjelp>). jamovi (versjon 2.2.1), ble lastet ned fra: <https://www.jamovi.org/>. jamovi er et gratis statistikkanalyse-program med åpen kildekode, som fungerer som interface for programmeringsspråket R (<https://www.r-project.org/about.html>). Der det var mulig ble statistiske analyser utført på komplette datasett. Ved ubalanse i datasettene på grunn av manglende data eller fordi planter ikke hadde målbare verdier (f. eks planter uten avling) ble dataene balansert til et likt antall observasjoner i hver gruppe med mindre dette ikke var hensiktsmessig. Observasjoner ble fjernet gjennom nummerering og bruk av nettbasert tilfeldig nummer-generator. Antagelser om normalfordeling ble gjort basert på kvantil-kvantil-plott og tetthetsplott. Test for antagelse om like varianser ble gjort via f-tester. Der variansen ble antatt å være ulik ble det benyttet Welch's t-test. Signifikansnivå for statistiske analyser ble satt til 5% ($p < 0,05$).

5.0 Resultater

5.1 Utviklingsfysiologi, fenologi

5.1.1 Fenologiske observasjoner

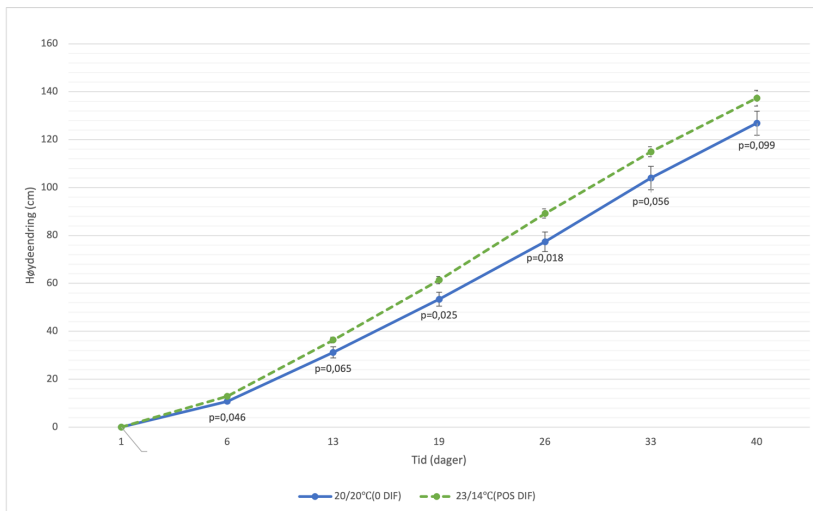
De viktigste fenologiske hendelsene fant sted til samme tidspunkt i begge temperaturregimer (Tabell 4).

Tabell 4: De viktigste fenologiske observasjonene fra forsøket start i fytotronen til modning. Vekststadietkoder er hentet fra en dyrkingsveileder utviklet av Grain Research & Development Corporation (Vedlegg 1)

Observasjon	Vekststadietkoder	Forsøksdag (dato)	Kommentar
4-5 åpne ekte blader (4-5. nodie)	104-105	1 (20.08.21)	Ved forsøket start, 16 dager etter såing, hadde alle planter 4-5 fullstendig åpne blader.
Første blomsterknopper/blomster	201 (203)	13 (01.09.21)	Første registrerte observasjon, men størrelsen på de største blomstene indikerte at de hadde vært synlig i 2-3 dager uten å bli registrert. Det ble også observert noen få åpne blomster i hver behandling, men så få at dette ikke ble registrert som blomstring for plantebestanden
Blomstringstid	203	19 (07.09.21)	Mer enn en åpen blomst på alle plantene i plantebestandene
Første belger	204	25 (13.09.21)	
Grønne belger fullstendig utviklet	205	33-40 (21-28.09.21)	Stort spenn i belgestørrelser, men mange så ut til å være ferdig utviklet (full størrelse). Ved høsting viste frøene seg å være umodne (fylte ikke hulrommet i belgene)
Belgfylling: frø fullstendig utviklet	207	54 (12.10.21)	Mange grønne frø i full størrelse (fylte hulrom i belg). Frø som ikke var ferdig utviklet på dette tidspunktet ville ikke bli ferdig utviklet før belgene nådde modning og plantene visnet ned.
Modning/nedvisning	209	60-75(18.10-02.11.21)	Dette stadiet markerte avslutning for forsøket

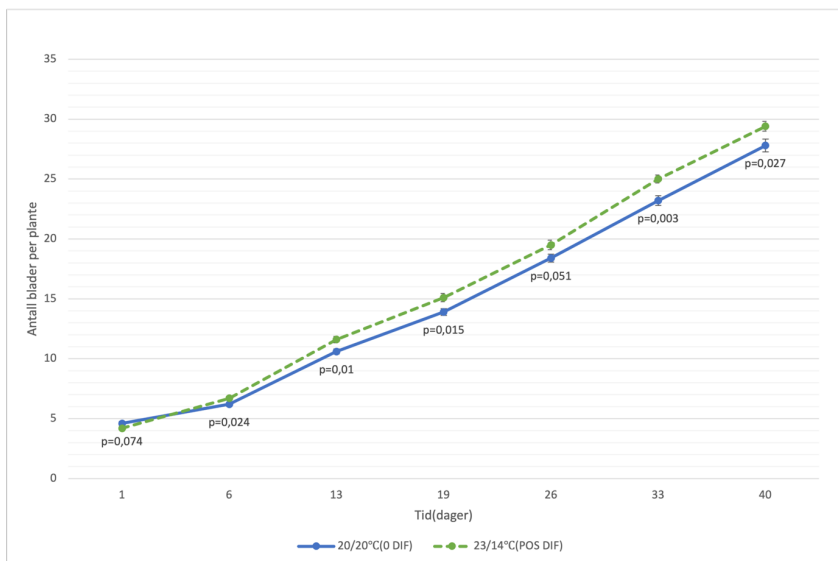
5.1.2 Plantefysiologiske målinger og observasjoner

Med unntak av plantehøyde og bladantall var det generelt små eller ingen forskjeller i utvikling mellom temperaturregimene. Planter dyrket ved 23/14°C var gjennomsnittlig høyere enn planter dyrket ved 20/20°C og det var statistisk signifikant forskjell i faktisk plantehøyde mellom temperaturregimene på dag 19, 26 og 33 ($p < 0.05$), men ikke ved siste høydemåling på dag 40. Det var statistisk signifikant forskjell mellom temperaturregimer i endring i plantehøyde etter forsøksstart på dag 6, 19 og 26 ($p < 0.05$), men ikke på dag 13, 33 og 40 (Figur 6).



Figur 6: Effekt av temperatur på endring i plantehøyde etter forsøksstart, vist som gjennomsnitt \pm standardfeilfelt av ukentlige målinger fra forsøkets dag 1 og frem til dag 40. Heltrukket linje for planter dyrket ved 20/20°C, stiplet linje for planter dyrket ved 23/14°C. P-verdier er hentet fra t-test med temperaturbehandling som faktor, $n=10$.

Bladdanningen var høyere for planter dyrket ved 23/14°C enn for planter dyrket ved 20/20°C, med statistisk signifikant forskjell mellom temperaturregimer i akkumulert bladantall per plante og antall nye blader per plante etter forsøksstart ved alle målinger fra og med dag 6 ($p<0.05$) bortsett fra ved dag 26 ($p=0,051$) (Figur 7).



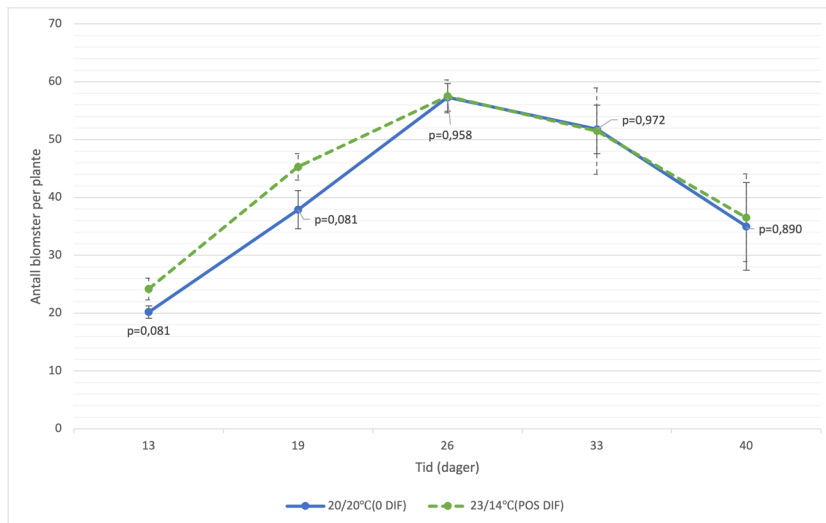
Figur 7: Effekt av temperatur på antall blader per plante, vist som gjennomsnitt \pm standardfeil for ukentlige tellinger fra forsøkets dag 1 og frem til dag 40. Heltrukket linje for planter dyrket ved 20/20°C og stiplet linje for planter dyrket ved 23/14°C. P-verdier er hentet fra t-test med temperaturbehandling som faktor, $n=10$.

Første åpne blomster ble registrert ved 5. nodie i begge behandlinger.

Antall blomster per plante økte i begge temperaturregimer fra første registrerte blomst på dag 13 og frem til dag 26, men antallet falt etter dette (Figur 8).

Antall åpne blomster hverken økte eller sank mellom dag 26 og dag 33 i begge temperaturregimer, men sank etter dag 33 (resultater ikke vist). Det var ingen statistisk

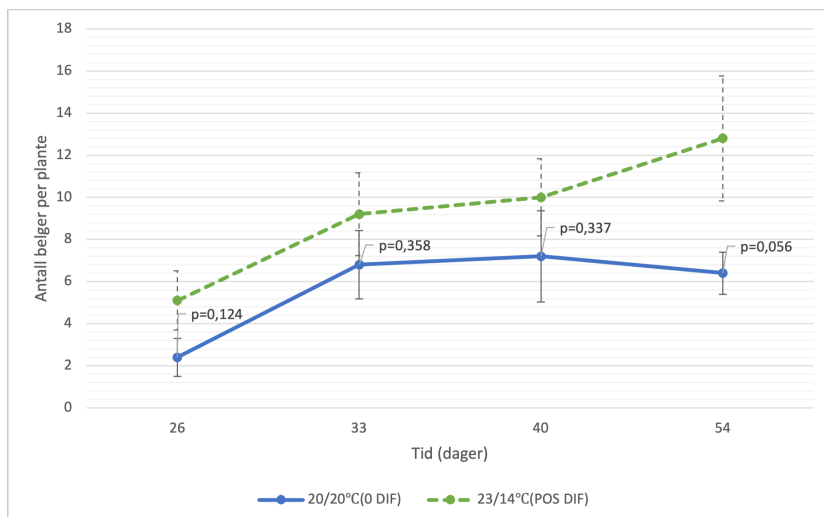
signifikant forskjell mellom temperaturregimer for antall blomster eller åpne blomster ved noen målinger.



Figur 8: Effekt av temperatur på blomsterantall per måletidspunkt vist som gjennomsnitt±standardfeil av ukentlige målinger fra forsøket dag 13 og frem til dag 40. Heltrukket linje for planter dyrket ved 20/20°C og stiplet linje for planter dyrket ved 23/14°C. P-verdier er hentet fra t-test med temperaturbehandling som faktor, n=10.

Gjennomsnittlig ble første belg registrert ved 6. nodium for planter dyrket ved 23/14°C og 8. nodium for planter dyrket ved 20/20°C, men det var ingen statistisk signifikant forskjell mellom temperaturregimene. To av plantene i utvalget dyrket ved 20/20°C utviklet belger mye senere og ved høyere nodienummer (12. og 20. nodium) enn de andre plantene..

Antall belger per plante viste tendens til forskjellig utvikling de siste ukene av forsøket, hvor antallet belger fortsatt var økende hos planter dyrket ved 23/14°C, men synkende hos planter dyrket ved 20/20°C etter dag 40 og frem til oppgjør av plantene på dag 54. Det var likevel ingen statistisk signifikant forskjell i antall belger mellom temperaturregimer, men p-verdien nærmet seg signifikansnivå på dag 54 ($p=0,056$) (Figur 9). Tidspunktene blomsterantall nådde en topp og deretter avtok (Figur 8) tilsvarer tidspunktene for første registrerte belger.

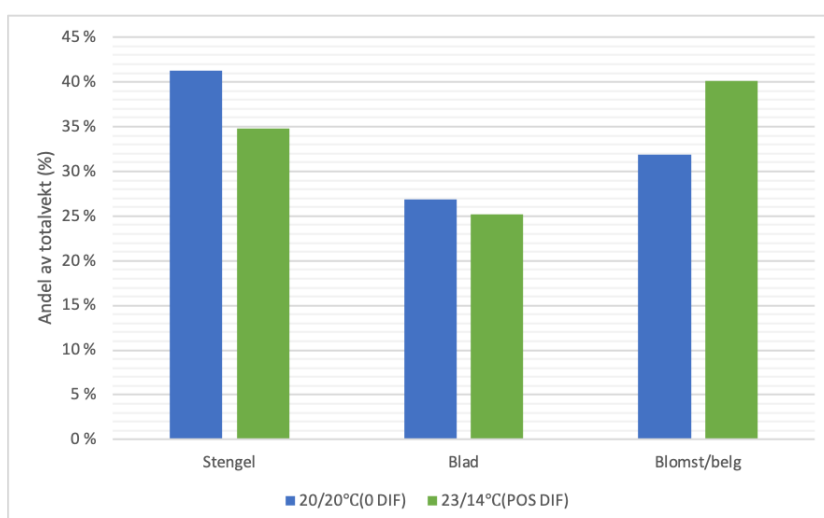


Figur 9: Effekt av temperatur på antall belger per plante vist som gjennomsnitt \pm standardfeil for ukentlige tellinger fra forsøkets dag 26 og frem til sluttregistrering på dag 54. Heltrukket linje for planter dyrket ved 20/20°C og stiplet linje for planter dyrket ved 23/14°C. P-verdier er hentet fra t-test med temperaturbehandling som faktor, $n=10$.

Det var ingen statistiske signifikante forskjeller i bladareal per plante eller bladareal per blad mellom planter dyrket ved 23/14°C og planter dyrket ved 20/20°C. Planter dyrket ved 20/20°C viste likevel en tendens til høyere bladareal.

Hverken samlet friskvekt og tørrvekt eller friskvekt og tørrvekt av enkeltstående plantedeler (stengler, blader og generativt materiale (blomster og belger) hver for seg) viste seg å være statistisk signifikant forskjellige mellom temperaturregimene.

Forskjell i allokering av tørrstoff til de tre forskjellige plantedelsegmentene viste tendens til at planter dyrket ved 23/14°C allokerte mer tørrstoff til generativt materiale enn for planter dyrket ved 20/20°C (Figur 10).



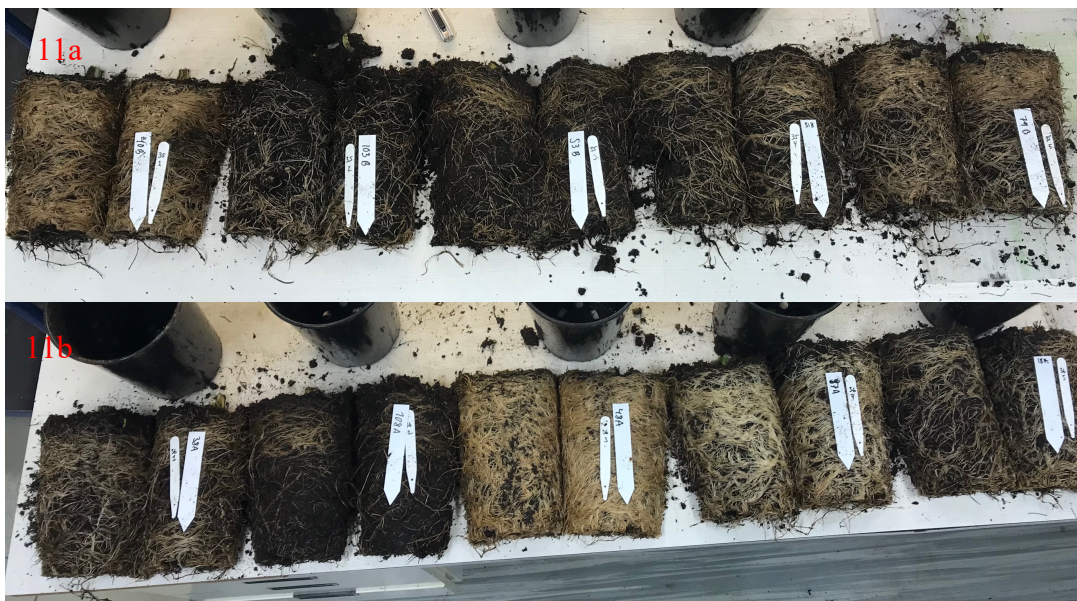
Figur 10: Effekt av temperatur på gjennomsnittlig, prosentvis fordeling av tørrvekt for plantedeler som andel av totalvekt. $n=10$.

5.1.3 Næringsstatus blader og vekstmedium, rotutvikling, nodulering.

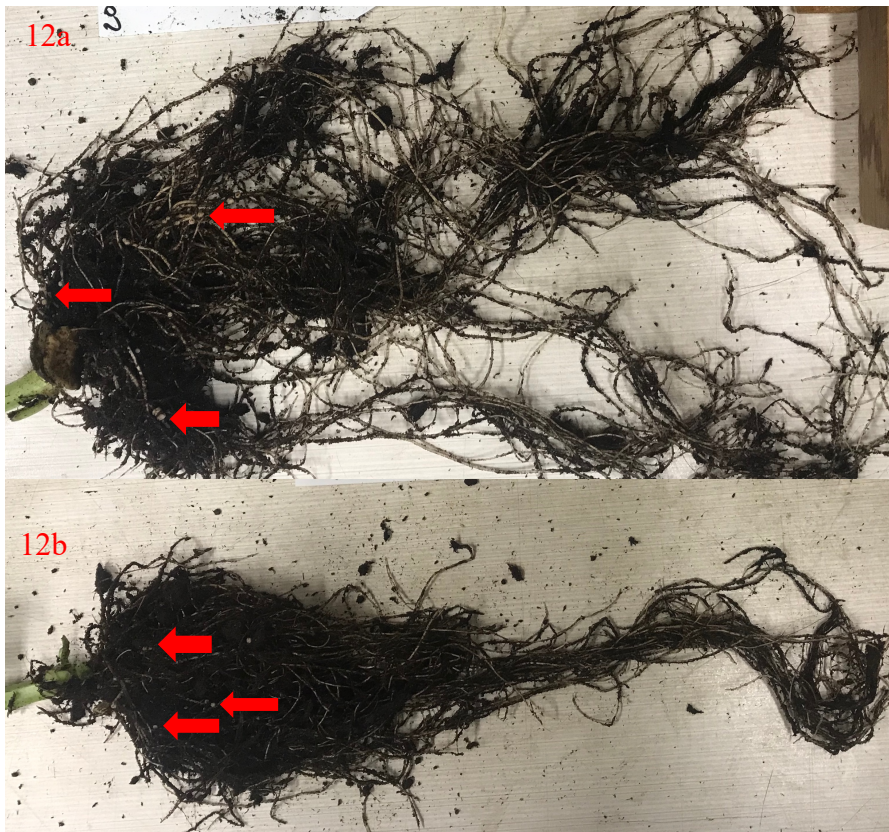
Næringsanalyse av blader etter avslutning av forsøket viste liten forskjell mellom temperaturregimene (Vedlegg II og III), og alle verdier var høyere enn kritisk nivå for næringsinnhold i blader ved blomstring (GRDC, 2018).

pH i vekstmediene var 6,5 i begge temperaturregimer ved avslutning av forsøket. Det var gjennomsnittlig lavere ledetall i vekstmediene som hadde stått i 23/14°C, men spredningen i ledetall var stor i begge temperaturregimer, fra 0,6 til 2,8 mS cm⁻¹ for vekstmedier ved 23/14°C og fra 1,8 til 3,2 mS cm⁻¹ for vekstmedier ved 20/20°C

Struktur på vekstmediet varierte innenfor temperaturregimene, fra fast struktur med god rotutvikling til dårligere, mer porøs struktur og tynnere røtter (Figur 11 a og b). Det ble registrert forekomst av noduler på røtter hos planter i begge temperaturregimer. Mengden noduler varierte, men de fleste undersøkte pottes hadde i det minste noen noduler i øverste halvdel av vekstmediet (Figur 12 a og b). Det ble ikke undersøkt om nodulene var aktive.



Figur 11 a og 11b(øverst til nederst): Det var stor variasjon i rotutvikling og vekstmediestruktur innenfor behandlingene ved forsøkets avslutning. 10a viser eksempler fra dyrking ved 20/20°C og 10b fra dyrking ved 23/14°C.



Figur 12a og 12b(øverst til nederst): Noduler på røttene av planter i begge temperaturregimer sees her som små, hvite klumper på røttene. De røde pilene markerer plassering til en eller flere noduler. Bildene er av røttene til yngre planter som ble tatt ut til delforsøk 2 ved dag 33. 12a er fra dyrking ved 23/14°C og 12b fra dyrking ved 20/20°C.

5.2 Relativ veksthastighet

Relative veksthastigheter ble beregnet til 0,088 g g⁻¹ dag⁻¹ for planter dyrket ved 23/14°C og 0,074 g g⁻¹ dag⁻¹ for planter dyrket ved 20/20°C. Selv om registrert forskjell mellom temperaturregimene var liten, var det tendens til høyere relativ veksthastighet for planter dyrket ved 23/14°C. For planter dyrket ved 20/20°C hadde to av de sluttregistrerte plantene ved andre høsting betydelig mindre bladareal enn andre planter i utvalget.

5.3 Avling og kvalitet

Det var gjennomgående stor spredning i resultatene innen begge temperaturregimer og få forskjeller av betydning for alle målinger bortsett fra for frøvekt og -størrelse.

5.3.1 Avlingskomponenter: Avlingsmengde, frøvekt, belgvekt

5.3.1.1 Friskvekt/tørrvekt for belg med frø per plante, avlingsmengde per plante

Det var ingen statistisk signifikante forskjeller mellom planter dyrket ved 23/14°C eller ved 20/20°C for de fleste målte verdier bortsett fra for antall høstede frø per plante ved både tidlig og sein høsting og frø per belg ved sein høsting (Tabell 5). Planter dyrket ved 23/14°C hadde

høyere antall frø enn planter dyrket ved 20/20°C. Ved sein høsting var det et stort antall frø i de høstede belgene i begge temperaturregimer som enten var synlig abortert (utvikling hadde stoppet på et tidlig tidspunkt og frøet var nekrotisk eller inntørket) eller underutviklede (friske, men små frø). Disse frøene er oppgitt som synlige, aborterte frø i tabell 5.

Tabell 5: Effekt av høstetidspunkt og temperatur på avlingsmengde og -vekt.

	Tidlig høsting (Dag 41)*			Sein høsting (Dag 55)**		
	20/20°C	23/14°C	p-verdi	20/20°C	23/14°C	p-verdi
Høstede belger/plante (stk)	4,13±0,58	5,20±0,59	p=0,208	3,5±0,8	4,38±0,6	p=0,379
Frø/ høstet belg (stk)	2,8±0,27	3,33±0,19	p=0,109	0,87±0,3	2,69±0,4	p=0,002
Høstede frø/plante (stk)	10,87±1,4	16,93±2,2	p=0,025	3,75±1,4	12,13±2,6	p=0,013
Friskvekt avling/plante (g)	59,35±8,3	71,15±11,2	p=0,404	83,17±16	99,9±12,4	p=0,428
Tørrvekt avling/plante (g)	6,71±0,75	7,77±1,03	p=0,414	12,71±2,2	16,04±1,8	p=0,258
Friskvekt per full belg (g)	15,06±1,2	12,86±0,9	p=0,161	23,66±2,7	23,07±1,3	p=0,847
Tørrvekt per full belg (g)	1,86±0,18	1,53±0,09	p=0,114	3,87±0,3	3,75±0,2	p=0,740
Synlige aborterte frø/plante (stk)	-	-	-	6,37±1,7	4,25±1,6	p=0,377

«Avling» brukes her om alle høstede belger med frø per plante. Verdier oppgitt som gjennomsnitt ± standardfeil. P-verdiene er hentet fra Student's t-test med behandling som faktor. n=15(*) for tidlig høsting og n=8(**) for sein høsting

Fra og med de seine høstingene (dag 55/56) ble det registrert klaser med 3 eller flere belger i toppen av flere planter i begge temperaturregimer (Figur 13a). Til motsetning utviklet det seg kun 1-3 belger per stand i blomsterstander lenger ned på plantene. Ved avslutning av det overordnede forsøket (dag 75) ble alle belger som satt igjen på gjenværende planter høstet og i samtlige belger som satt i klaser i toppen av plantene var alle frø synlig abortert (Figur 13b).



Figur 13a og b (v-h): Klaser med belger i toppen av plantene mot slutten av forsøket. Figur b viser synlig aborterte/underutviklede frø i fullt utvikste belger som ble høstet og kontrollert ved slutten av forsøket.

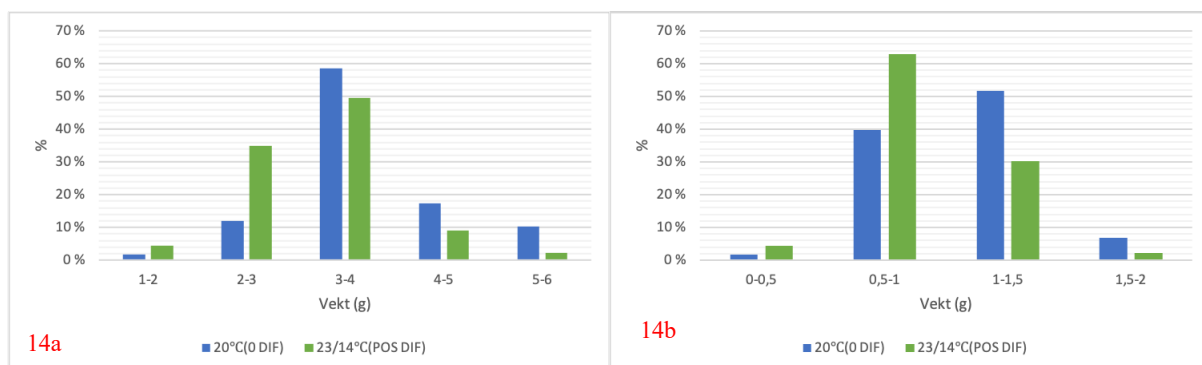
5.3.1.2 Friskvekt og tørrvekt for frø og belger

Det var små eller ingen forskjeller mellom temperaturregimer i belglengde og belgvekt. I begge temperaturregimer ble det registrert i gjennomsnitt 1 synlig abortert frø per belg ved høstingen på dag 61. Resultater ikke vist. Det ble funnet statistisk signifikant forskjell mellom temperaturregimene for antall friske frø per belg og frøvekt ($p < 0.05$), hvor planter dyrket ved 20/20°C hadde høyest frøvekt og planter dyrket ved 23/14°C hadde høyeste antall frø per belg (Tabell 6). Figur 14a og b viser frekvensanalyser av frisk og tørr frøvekt i temperaturregimene.

Tabell 6: Antall frø og frøvekt fra høsting av 30 belger per behandling på dag 61.

	20/20°C	23/14°C	p-verdi
Frø/belg (stk)*	1,93±0,225	2,97±0,260	p=0,004
Friskvekt frø (g)**	3,71±0,111	3,17±0,0769	p<0,0011
Tørrvekt frø (g)**	1,06±0,0383	0,909±0,0248	p=0,001

Verdier oppgitt som gjennomsnitt ± standardfeil. P-verdiene er hentet fra Student's t-tester med behandling som faktor. For antall frø(*) er $n = 30$, mens det for frøvekt (**) er $n = 58$ for planter dyrket ved 20/20°C og $n = 89$ for planter dyrket ved 23/14°C.

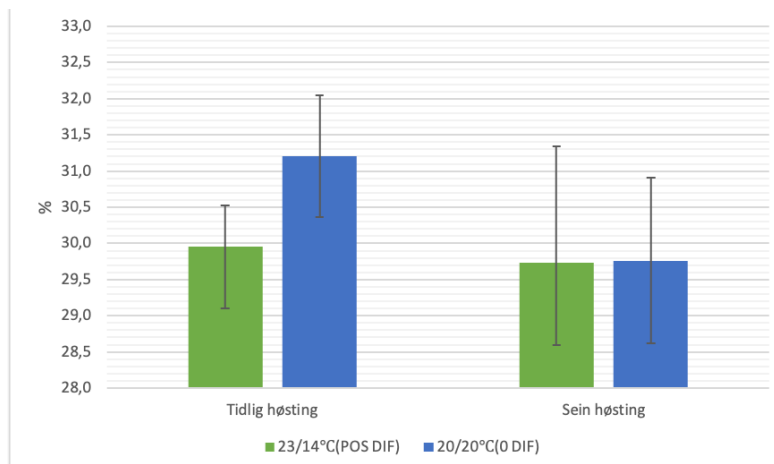


Figur 14a og b (v-h): Effekt av temperatur på frøvekt oppgitt som prosentandel av totalt antall høstede, friske frø fordelt på forskjellige vektgrupper. 14 a viser friskvekt og 14 b viser tørrvekt. $n = 58$ for frø høstet fra planter dyrket ved 20/20°C og $n = 89$ for frø høstet fra planter dyrket ved 23/14°C.

5.3.2 Totalt protein, stivelse, løselige karbohydrater, totale fenoler og antioksidantkapasitet.

Analysene av utvalgte innholdsstoffer i frø viste ingen statistisk signifikante forskjeller mellom temperaturregimene ved de to høstetidspunktene. I begge temperaturregimer var nivåer for totalt proteininnhold svakt synkende fra tidlig til sein høsting, men det var stor variasjon i målte verdier og nedgangen var ikke statistisk signifikant (Figur 15). Innhold av vannløselige karbohydrater var omtrent uforandret mellom høstedataene, mens nivåene for antioksidantkapasitet og totale fenoler hadde sunket og stivelsesinnholdet hadde økt ved sein høsting (Tabell 7 og 8). For bønner dyrket ved 23/14°C var det statistisk signifikante forskjeller mellom høstedataene for antioksidantkapasitet og totale fenoler. Dette gjaldt ikke for bønner dyrket ved 20/20°C selv om dataene fulgte samme tendens i begge temperaturregimer.

Økningen i stivelsesinnhold mellom høstetatoer var ikke statistisk signifikant i noen av temperaturregimene.



Figur 15: Effekt av temperatur og høstetidspunkt på totalt proteininnhold (%) i bondebønnefrø vist som gjennomsnittsverdier med standardfeilfelt. T-tester viste ingen statistisk signifikans hverken mellom temperaturregimer ved samme høstetidspunkt eller mellom høstetidspunkter innen samme temperaturregime, $n=5$.

Tabell 7: Effekt av høstetidspunkt (42 og 56 dager) og temperaturregime på innhold av stivelse og løselige karbohydrater.

	Stivelse (%)		p-verdi*	Vannløselige karbohydrater (%)		p-verdi*
	Dag 42	Dag 56		Dag 42	Dag 56	
20/20°C	11,6±0,84	15,6±2,25	p=0,151	3,08±0,17	3,06±0,13	p=0,929
23/14°C	10,2±0,54	17± 2,78	p=0,071	3,14±0,1	3,52±0,36	p=0,355
p-verdi**	p=0,229	p= 0,714				

Verdier oppgitt som gjennomsnitt ± standardfeil. P-verdiene er hentet fra Welch's t-tester. (*)=samme temperaturregime med høstetato som faktor og (**)= samme høstetato med temperaturregime som faktor. $n=5$

Tabell 8: Effekt av høstetidspunkt (42 og 56 dager) og temperatur på antioksidantkapasitet og totalt fenolinnhold i bondebønnefrø.

	Anti- oksidantkapasitet (FRAP: mmol/100 g)		p-verdi*	Totale fenoler (mg GAE/100g)		p-verdi*
	Dag 42	Dag 56		Dag 42	Dag 56	
20°C	5,1±0,86	3,26± 0,83 †	p=0,143†	533,54± 82,51	345,66± 74,24 †	p=0,127†
23/14°C	6,1±0,56	1.91±0,41	p<0.001	636,26± 50,64	223,97± 38,18	p<0.001
p-verdi**	p=0,354	p=0,246†		p= 0,320	p=0,240†	

Verdier oppgitt som gjennomsnitt ± standardfeil. P-verdiene er hentet fra Student's t-tester . (*)=samme temperaturregime med høstetato som faktor og (**)=samme høstetato med temperaturregime som faktor. Legg merke til forskjell mellom antall observasjoner (n) for noen gjennomsnittsverdier og p-verdier i tabellen. Når $n=4$ er verdiene markert †. For øvrige t-tester er $n=5$

5.4 Avvik, mangelsymptomer, skadegjørere

På dag 19 ble det registrert planter med mangelsymptomer på yngre blader i begge temperaturregimer, som viste seg som tuppnekrose på yngre blad og gjorde bladene avrundede og skjeformede, noen med innrullet bladkant (Figur 16 a og b). Symptomene var mer utbredt i plantebestandene dyrket ved 23/14°C. Ved dag 33 ble det registrert 6 planter dyrket ved 20/20°C og 23 planter dyrket ved 23/14°C med slike symptomer. Symptomene korresponderte med beskrivelse av symptomer ved Cu-mangel i bondebønneplanter (GRDC, 2018) .



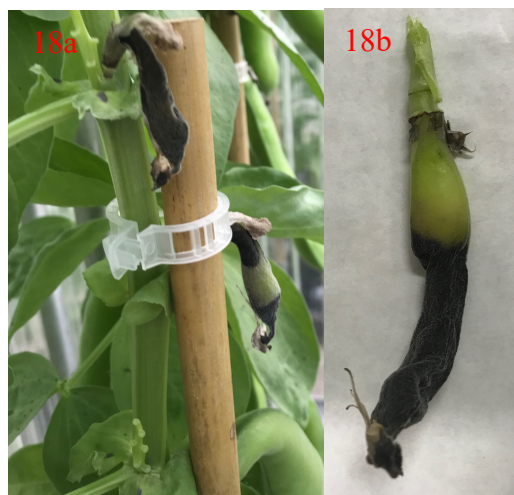
Figur 16 a og b: Tuppnekrose, avrundede/skålformede blader og innrullede bladkanter. Forekomst kun på yngre blader og på flest planter i 23/14°C(POS DIF).

Dag 33 ble det registrert klorotiske bladnerver på eldre blader på en del planter (Figur 16). Dette så ut til å være like utbredt i begge temperaturregimer og er et typisk symptom på N-mangel (GRDC, 2018).

Etterhvert som blomstene begynte å visne ble det registrert gråskimmel på flere belger. Infeksjonene så ut til å starte der visne blomsterdelene var i kontakt med belger (Figur 18a og b).



Figur 17: Klorotiske bladnerver på eldre blader.



Figur 18a-b: Belger angrepet av gråskimmel.

Skadedyr som ble identifisert i begge fytotronrom mellom blomstring og avslutning av forsøkene var hærmygg og trips. Det ble også observert skrape- eller gnagemerker som enten var mekanisk påført eller fra uidentifisert skadedyr (Figur 19a-c).



Figur 19a-c (v-h): Forskjellige eksempler på skrape- eller gnagemerker som enten stammet fra uidentifisert skadedyr eller er mekanisk påført skade. 19c viser et vindusgnag på oversiden av bladet, hvor epidermis på undersiden av bladet fortsatt sitter på (rød markering).

I ukene rundt de seine høstingene (dag 50-65) flere planter i begge temperaturregimer begynt å visne. Dette var mer utbredt i plantebestanden dyrket ved 23/14°C enn plantebestanden dyrket ved 20/20°C. Disse plantene ble fortløpende fjernet for å redusere mengden etylen i rommene og begrense videre nedvisning.

6.0 Diskusjon

6.1 Effekter av temperatur på vekst og utvikling

Tilnærmet lik utviklingshastighet og relativ veksthastighet i begge temperaturregimer bekreftet at gjennomsnittstemperatur per døgn har større betydning enn døgnlige temperaturfluktuasjoner. Viktige fenologiske hendelser slik som blomstringstid og belgfylling (Tabell 4) fant sted ved samme tidspunkt i begge temperaturregimer, som igjen bekrefter at gjennomsnittstemperatur per døgn har størst betydning for utviklingshastighet.

At planter dyrket ved lav NT var gjennomsnittlig høyere ved flere målinger (Figur 6) kan skyldes POS DIF-effekter hvor planter normal blir høyere sammenlignet med 0 DIF (Myster & Moe, 1995). Økt strekningsvekst kan også være en skyggeunngåelsesstrategi ved for tett plantebestand (Taiz et al., 2015), men lysforhold og plantetetthet var lik i begge temperaturregimer. GA-konsentrasjon ble ikke målt i forsøket.. Tidligere analyser utført med ert som modellvekst har vist at GA₁-nivået i stilk er høyere i planter dyrket ved POS DIF sammenlignet med 0 DIF og NEG DIF (Stavang et al., 2005). Det ble imidlertid ikke observert forskjell i internodiellengder mellom temperaturregimene (Kapittel 5.1.2), som ofte er årsaken til høyere planter ved økt konsentrasjon av aktivt GA (Myster & Moe, 1995). Derimot ble det observert forskjell i bladantall mellom temperaturregimer (Figur 7). Carvalho et al. (2002) beskriver at strekningsvekst etter påbegynt generativ vekstfase hos planter med determinert vekst styres av internodiellengde fordi nye nodier kun dannes i vegetativ vekstfase. Bondebønner har udestimert vekst (Duc, 1997) og rammes ikke av den samme begrensingen på bladdanning. McDonald og Paulsen (2004) diskuterer i undersøkelse av varmessstressreaksjoner hos belgvekster at blant annet bondebønners vekst kan påvirkes negativt av høy NT. Temperaturregimene kan altså ha hatt innvirkning på strekningsvekst gjennom påvirkning av bladdanningshastighet, hvor høy NT for planter dyrket ved 20/20°C kan ha slått negativt ut.

Det var høy forekomst av blomsterabortering i begge temperaturregimer. Dette er ikke uvanlig hos bondebønner, med ordinært 2-9 blomster per nodium, men med lavere belgutvikling per nodium. Bodner et al. (2018) rapporterte gjennomsnittlig 1,3 belger per nodium for var. major- sorter og 1,8 belger per nodier for var. minor i forsøk med nord-europeiske sorter.

Overproduksjon av blomster for å tiltrekke pollinatorer som igjen medfører blomsterabortering er en godt dokumentert konkurransestrategi for bondebønner (Patrick & Stoddard, 2010) mens abortering av ett eller flere frø per belg (Tabell 5) og overproduksjon av

frukter hvor alle frø aborteres (Figur 13a og 13b) antas å skyldes intern ressurskonkurrans (Patrick & Stoddard, 2010) og/eller abiotisk stress etter at blomstringen eller belgfyllingen begynte (Bodner et al., 2018; Lake et al., 2019). Siden plantene ble gjødslet jevnlig må en eventuell næringsmangel skyldes andre begrensende faktorer. Bondebønner er kjent for lav toleranse for tørkestress og høyere toleranse enn andre kjernebelgvekster for perioder med vannmetning (Murphy-Bokern et al., 2017). Det er likevel påvist at under noen forhold og på kritiske tidspunkt i plantas utvikling kan god tilgang på vann redusere generativ vekst i favør av vegetativ vekst, på grunn av kilde-sluk-styrkeforhold (Grashoff, 1990a). I forsøket ble plantene vannet to ganger daglig, men ujevn vanning kan ha medført korte perioder med enten tørkestress eller vannmetning som kan ha påvirket frøsettingen.

Topping av plantene for å redusere intern ressurskonkurrans mellom videre vegetativ vekst og generative plantedeler er en strategi som har vist seg å redusere blomsterabortering, men som også påvirker sammensetningen av plantehormoner i plantene (Patrick & Stoddard, 2010). Chapman et al. (1978) rapporterte at topping av bondebønneplanter hadde positiv effekt på blomsterabortering og belgutvikling, men at effekten avtok med avstanden blomsterstanden hadde fra skuddapikalt meristem slik at topping ikke hadde innflytelse ved eldre nodier hvor generativ fase hadde kommet lenger og antall frø per belg allerede var bestemt.

I forsøket ble plantene toppet på dag 40. Topping like etter blomstringstid og frem til belgutvikling (dag 19 til 25) som er den mest kritiske perioden for avlingens utvikling kunne potensielt hjulpet med frøsetting i belger i øverste halvdel av plantene, hvor det var dårlig frøutvikling. Topping på tidligere tidspunkt kan også være med på å forhindre stengelknekk hos topptunge planter. Det var en moderat forekomst av stengelknekk i de senere ukene i forsøket selv om plantene var bundet opp. Det har ikke blitt funnet kilder på om topping av bondebønneplanter er benyttet praksis i kommersiell dyrking av bondebønner til friskkonsum. I dyrkingsveileder for frilandsdyrking av bondebønner i Australia beskrives kjemisk topping (Crop-Topping) som en metode for å fremskynde nedvisning av planta og dehydrering av avlingen for produksjon av tørre frø (GRDC, 2017a).

De forskjellige temperaturregimene hadde effekt på frøvekt og antall frø per belg ved sein høsting (Tabell 5 og 6), der planter dyrket ved 20/20°C hadde færre frø per belg og høyere frøvekt enn planter dyrket ved 23/14°C. Frøene ble ikke veid ved tidlig høsting. Gjennomsnittlig frøantall per belg var ved tidlig høsting tilnærmet lik i begge temperaturregimer, men frøantall per plante var høyere for planter dyrket ved 23/14°C. Selv ved tidlig høsting var gjennomsnittlig antall frø per belg (ca. 3 per belg) lavere i begge temperaturregimer enn forespeilet fra frøleverandør (4-5 frø per belg (Eri, 2022)). Frøantallet

per belg var synkende fra tidlig til sein høsting for planter dyrket ved 20/20°C. Dette betyr at plantene i dette temperaturregimet må ha nedregulert antall frø per belg før frøsetting startet siden det ikke var statistisk signifikant forskjell mellom temperaturregimene i antall synlig aborterte frø. Synlig aborterte frø vil si embryoer som hadde begynt å utvikle seg og hvor utviklingen stoppet såpass seint at frøene var mulig å se. Det lavere antallet frø per belg for planter dyrket ved 20/20°C ble kompensert ved at mer assimilater ble allokert til gjenværende frø, som ble reflektert ved høyere gjennomsnittlig frøvekt ved sein høsting. Det er påvist negativt forhold mellom frøantall og frøvekt for bondebønner (Patrick & Stoddard, 2010). Selv med lavere frøvekt var frisk enkeltfrøvekt for bondebønner dyrket ved 23/14°C på 3,17 g ved sein høsting. Dette er en vekt som ligger innenfor et gjennomsnittsjikt av frøvekt for mange var. major-sorter av bondebønner (Etemadi et al., 2019; Labuda, 2012). Det kan konkluderes med at planter dyrket ved 23/14°C hadde bedre avlingsutvikling enn planter dyrket ved 20/20°C uten at det gikk utover kvaliteten på frøene. Analyse av innholdsstoffer i frø viste ingen forskjell mellom temperaturregimer (Figur 15, tabell 7 og 8)

6.2 Bruk av kontrollert klima til bondebønneproduksjon

Forsøket viste at det er potensial for å dyrke bondebønner i kontrollert klima, og at temperaturkontroll og spesielt døgnlig gjennomsnittstemperatur er medvirkende til å kontrollere utviklingshastighet og blomstringstid. Med døgnlig temperaturgjennomsnitt for begge temperaturregimer på 18,3°C (Kapittel 4.1.2) i etableringsfasen (fra spiring til forsøksstart) og 20,1°C (Tabell 2) i forsøksperioden (i fytotron) nådde plantene blomstringstid i løpet av 620 døgngader (basetemp 0°C), 32 dager etter spiring (675 døgngader og 35 dager etter såing). De tidligste belgene var ferdig utviklet 51 dager (749 døgngader) etter spiring og de tidligste frøene var ferdig utviklet mellom 57 og 67 dager (1151-1030 døgngader) etter spiring. Til sammenligning rapporterte Bodner et al. (2018) blomstringstid i løpet av gjennomsnittlig 650 døgngader, 47 dager etter spiring for forsøk med bondebønner av var. major-sorter i frilandsforsøk under nord-europeiske og nordiske klimaforhold. Fra frilandsforsøk med var. equina-sorten Vertigo på Ås i 2019 i forbindelse med forskningsprosjektet FoodProFuture, ble det rapportert om blomstring i løpet av 670 døgngader og 56 dager etter såing (Korsvoll, 2020). I samme forsøk på Ås ble første høsting gjennomført 89 dager etter såing (1200 døgngader), på et tidspunkt hvor frøenes vanninnhold var på et nivå som tilsvarte høsting av frø til friskkonsum. Dette indikerer at det er potensial for å redusere utviklingstid med flere uker ved dyrking i kontrollert klima.

6.2.1 Høstetidspunkt og avlingskvalitet ved dyrking i kontrollert klima

Det ble ikke funnet godt dokumenterte kilder for riktig valg av høstetidspunkt for bondebønner til friskkonsum og det forelå heller ingen informasjon fra frøleverandør om den valgte sorten vedrørende dette. Det første høstetidspunktet ble valgt basert på funn på nettsider etter søk på relevante søkeord og bortsett fra belglengde ble valg av høstetidspunkt basert på observasjon av belgenes utseende og saftspenhet fremfor direkte målbare verdier (Bäckmo, 2021; Oregon State University, 2010; University of California, u.å.). De Cillis et al. (2019) beskriver saftspente belger og velutviklede frø som høstekriterier for bondebønner til friskkonsum.

Ved de tidlige høstingene så belgene ferdig utviklede ut med hensyn på belgstørrelse og saftspenhet, men etter høsting ble det konkludert med at frøene ikke hadde nådd full størrelse. Fordelen med en tidlig høsting var mulighet for å kunne undersøke forskjeller i næringsinnhold mellom tidlig og sein høsting.

Det var stor varians i næringsanalysene, men gjennomsnittlig inneholdt frøene omkring 30 % protein ved begge høstetidspunkt i begge temperaturregimer (Figur 15). Dette er normal, gjennomsnittlig totalt proteininnhold for bondebønner (Warsame et al., 2018). Resultatet viser at det er mulig å produsere bondebønner med høyt proteininnhold ved dyrking i potter i veksthus. Totalt fenolinnhold (Tabell 8) var innenfor et område som tilsvarer tidligere rapporterte verdier (Johnson et al., 2021; Labba et al., 2021; Valente et al., 2018). Labba et al. (2021) påpeker at rapporterte verdier av totale fenoler varierer veldig mellom studier og det i mange tilfeller er funnet høyere verdier enn i dette forsøket. Amalfitano et al. (2018) fant i sammenligning av friland- og veksthusdyrkede bondebønner at bondebønner dyrket i kontrollert klima hadde høyere protein- og fiberinnhold, mens avlingen på friland hadde høyere innhold av polyfenoler. Videre fant de i samme studie at polyfenolinnholdet var synkende i begge dyrkingssystemer fra tidlig til sein høsting, som stemmer overens med resultater i forsøket. Abiotisk stressrespons tilskrives oftest antioksidantaktivitet (målt via FRAP assay) (Šamec et al., 2021) og det er i flere tilfeller funnet sterk korrelasjon mellom totalt fenolinnhold og antioksidantkapasitet (Siah et al., 2019; Turco et al., 2016). Korrelasjon mellom totalt fenolinnhold og FRAP-verdier ble ikke undersøkt i denne oppgaven, men FRAP-verdiene var også synkende fra tidlig til sein høsting (Tabell 8). Stivelseinnhold var økende fra tidlig til sein høsting (Tabell 7), men innhold ved sein høsting var langt lavere enn rapportert for modne, tørre frø (33.2-53.4 %) (Duc et al., 2015). Umodne frø har normalt et mye lavere innhold av stivelse enn modne frø (De Cillis et al., 2019; Dhull et al., 2021). Den store variansen i analysene av innholdsstoffer (Figur 15, tabell 7 og 8) skyldes sannsynligvis en kombinasjon

av få analysegjentak og at prøvene ikke var tilstrekkelig homogene. Frøene ble fryst med frøskallet på etter høsting og ved senere oppdeling av prøver ble varierende mengder av frø og frøskall med i hvert prøvegjentak. For eksempel finnes tanniner i høyere konsentrasjon i frøskallet enn selve frøet (Multari et al., 2015) og det er derfor sannsynlig at innhold av mer frøskall sammenlignet med andre prøver kan være årsaken til at noen prøvegjentak hadde mye høyere totalt fenolinnhold enn gjennomsnittet.

Systematisk kontroll av avlingsmengde utover å beskrive antall høstede belger per plante og antall frø per belg og per plante ved hver høsting ble ikke gjort (Tabell 5). At det ble høstet fra samme planter ved forskjellige tidspunkter hvor frøene hadde forskjellige modningsgrad, og frøvekt kun ble undersøkt for frø som nærmet seg modning (Tabell 6), gjør det vanskelig å konkludere når det gjelder avlingsmengde. Den tidlige høstingen kan ha påvirket frøsetting i belgene som ble høstet seint gjennom endringer i kilde-slukforhold.

Sammenligning med andre forsøk som er basert på en enkelt innhøsting ved full modning kan likevel gi en indikasjon på hva som kan forventes av gjennomsnittlig antall frø per belg. Bodner et al. (2018) rapporterte om gjennomsnittlig 2,9 frø per belg for bondebønner av var. major-sorter i frilandsforsøk under nord-europeiske og nordiske klimaforhold. Ved sammenligning med egne resultater for seint høstetidspunkt kan det konkluderes med noe svakere resultater for begge temperaturregimene enn rapportert i nevnte forsøk. Bondebønner dyrket ved 23/14°C nærmer seg likevel disse resultatene om man ser på både tidlig og sein høsting. Optimalisering av dyrkingsforhold under kontrollert klima bør kunne gi en mer tilfredsstillende avlingsmengde. Ved sammenligninger med andre forsøk må det tas forbehold om variasjon mellom sorter både i utviklingshastighet og forskjellige avlingskomponenter som frø per belg og frøvekt.

6.2.2 Utfordringer med klimaregulering i forsøket

Relativ luftfuktighet var høyere enn ønskelig i begge temperaturregimer (Tabell 2). Selv om gjennomsnittlig RF holdt omtrent samme nivå i begge forsøksrom var RF i rommet som holdt 23/14°C høyere på nattetid enn i rommet som holdt konstant temperatur. Figur 1a-1l viser at RF i rommet som holdt 23/14°C oftere lå mellom 90-95 % i perioder med lav temperatur. Dette tilsvarer en VPD på 0,2-0,1 kPA. Kontroll med luftfuktighet for å unngå duggfall ved raskt synkende temperatur når luftas evne til å holde på fuktighet reduseres er en viktig del av en temperaturstrategi med temperaturfluktuasjoner gjennom døgnet, blant annet for å forhindre gode vekstforhold for en del skadegjørere (Stanghellini et al., 2019).

Selv om gråskimmelangrep ble observert i begge temperaturregimer, var flere belger dyrket ved 23/14°C angrepet enn ved dyrking i konstant temperatur. Høy luftfuktighet (VPD < 0,2 kPA) påvirker plantetranspirasjon. Flere næringsstoffer er kjent for å følge transpirasjonsstrømmen og det er for flere plantearter dokumentert redusert opptak av Ca som blant annet er medvirkende faktor til griffelrøte i tomat og bladrandskade i salat (Bævre & Gislerød, 1999; Stanghellini et al., 2019). Å kontrollere luftfuktighet basert på VPD fremfor RF kan bidra til å stabilisere klimaforholdene i veksthuset. VPD er relatert til vanndampstrykket i lufta og er uavhengig av temperatur (Wollaeger & Runkle, 2016), som betyr at en innstilt verdi av VPD vil være den samme uansett faktisk temperatur, mens en innstilt verdi av RF vil endre opplevd luftfuktighet i følge med faktisk temperatur.

I fytotronrommene sørget et kraftig ventilasjonsanlegg for konstant luftbevegelse. Selv om dette var medvirkende til å opprettholde innstilt, gjennomsnittlig lufttemperatur, ble temperaturen målt i sensorboks plassert ca. 1-1,5 meter over gulvet, mens plantene var plassert på lave traller som var hevet få centimeter over gulvet. Det ble i løpet av forsøket diskutert om den kraftige ventilasjonen kunne føre til lavere temperatur i rotsonen, men dette ble ikke målt eller kontrollert. Suboptimale temperaturer i rotsonen kan påvirke rotvekst og vann- og næringsopptak (Lambers et al., 2008). I motsetning til for soyabønner er det lite publisert forskning på virkning av forskjellige rotsonetemperaturer på bondebønner, men det er påvist at lave rotsonetemperaturer på under 15°C kan påvirke nodulering og mykorrhiza-dannelse negativt (Kluga et al., 2018). Jordtemperatur for bondebønnesorten som ble brukt i forsøket helst skal helst være over 12°C for frøspiring (Eri, 2022).

Stor forskjell i ledetall mellom vekstmediene innenfor samme temperaturregime kan ha sammenheng med den observerte, store variasjonen i mediestruktur, plantenes varierende rotutvikling (Figur 11a og 11 b) og observerte næringsmangelsymptomer. Målingene ble gjort veldig sent i forsøket og skadede og dårlig utviklede røtter eller rotstress kan ha lekket salter ut i vekstmediet i prøvene med høye ledetall (Radoglou et al., 2007).

Cu-mangelsymptomer (Kapittel 5.4, figur 16a og b) var som beskrevet de mest fremtredende næringsmangelsymptomene, med høyest forekomst hos planter dyrket ved 23/14°C og første observasjoner samtidig som blomstringen begynte. Cu er et mineral som er lite bevegelig i jord og spesielt ved høy pH er det knyttet i stabile, komplekse, organiske forbindelser og lite plantetilgjengelig. Best plantetilgjengelighet av mineralet er ved pH 5-6. Torvrik jord er utsatt for lav Cu-tilgjengelighet. Cu har flere viktige roller i planter på grunn av evnen til å skifte valens og sin nevnte rolle i stabile, organiske forbindelser. Viktig å nevne er mineralets store innflytelse på pollenutviklingen. Mangel kan gi sterilt pollen. Cu er et lite mobilt stoff i planter

som reflekteres i at mangelsymptomer opptrer på yngre blader (Aasen, 1986). At det ikke ble funnet bevis for næringsmangler i bladanalysene kan ha sammenheng med at det ikke ble skilt mellom yngre og eldre blader i prøvene som ble sendt til analyse. Dette kan maskere en del mangler. Eksempelvis vil det kunne se ut som Cu-nivåer er akseptable fordi Cu er akkumulert i de eldre bladene i prøven. Cu kan ha vært lite mobilt i jorda siden målt pH i vekstmediene lå på 6,5 og Cu er plantetilgjengelig ved pH 5-6 (Aasen, 1986). Observerte klorose på eldre blader (Figur 17) fra dag 19 (21.09.2021) kan være tegn på bladenes naturlige aldringsprosess og begynnende nedvisning fremfor et næringsmangelsymptom (Taiz et al., 2015). Med fremskyndet utviklingshastighet i kontrollert klima er det naturlig at disse prosessene også begynner raskere enn ved dyrking på friland. Optimalisering av vann og næringstilgang, i tillegg til pottestørrelse og dyrkingsmedium er dermed også et viktig aspekt ved dyrking av bondebønner i kontrollert klima og bør undersøkes videre.

6.2.3 Muligheter og barrierer ved produksjon av bondebønner i kontrollert klima

Dyrking av bondebønner på friland gir i tillegg til omsettbare avlinger en rekke andre gevinster som kan beskrives som økologiske tjenester, hvor de mest åpenbare er tilførsel av N til jorda gjennom BNF, forbedring av jordstruktur på grunn av plantas rotarkitektur, brudd på sykdomssykluser for plantesjukdommer som følger ensidig dyrking av en spesifikk kulturvekst og tiltrekning av pollinatorer som bidrar til økt biodiversitet (Köpke & Nemecek, 2010).

Med unntak av noen former for dyrking i tunnel eller tilsvarende dyrkingssystem som foregår direkte i jorda mister man de økologiske gevinstene ved dyrking i kontrollert klima. I veksthusdyrking vil det være behov for tilføring av innsatsmidler man ikke benytter utendørs, som oppvarming, lys og i noen tilfeller CO₂, som bidrar til å gjøre produksjonen mer kostnadskreven. Energikostnadene i veksthusproduksjon utgjør 25-40 % av totale kostnader (Grøntutvalget, 2020). Fortsatt er mye av energibruken i veksthusproduksjon basert på fossilt brensel og utgjør i dag ca. 1,2 % av landbrukets totale CO₂-utslipp. Næringen har en ambisiøs klimastrategi hvor CO₂-utslipp ble redusert med 31 % mellom 2010 og 2020 og mål for det kommende tiåret er tilnærmet null klimagassutslipp innen 2030 (Norsk Gartnerforbund, 2020). Grøntsektoren har også et mål om å øke norsk produksjon av grønnsaker og blomster med 50 % innen 2035 (Grøntutvalget, 2020). Det er flere barrierer for å nå disse målene som for eksempel manglende tollvern for de fleste grønnsaker og utstrakt konkurranse med importerte jordbruksvarer (Mittenzwei et al., 2017). Utfordringene som møtes krever innovative løsninger for å rettferdiggjøre introduksjon av nye produkter som på sikt kan være medvirkende til å vri situasjonen for norsk grønnsaksproduksjon i en mer positiv retning. I de avsluttende avsnittene

diskuteres muligheter basert på observasjoner gjort i løpet av forsøket og noen tankeeksperimentet om løsninger tilknyttet produksjon av bondebønner som grønnsak.

Observerte nodulering på planterøtter i begge temperaturregimer (Figur 12 a og b) kan bety at det også ved dyrking i potter i veksthus er muligheter for at plantene kan oppnå BNF med valg av riktig vekstmedium og eventuell inokulering av såvare med rhizobium på forhånd. Det kan ha vært spor av rhizobium på såfrøene som er årsaken til de observerte nodulene. At det er mulig å etablere N-fikserende planter i veksthus kan ha betydning for hvilken gjødseltype som velges og dermed også klimagassutslipp knyttet til mineralgjødselproduksjon. I forsøkene ble det brukt en komplett næringsløsning med N. Over tid har N-gjødsling en negativ effekt på BNF. Det er dermed naturlig å anta at nodulene som ble observert ikke var aktive gjennom hele forsøket. N-gjødsling i tidlig fase er ikke et problem for nodulering siden plantene har godt av ekstra næringstilførsel før BNF er etablert.

Umodne bondebønnefrø som ikke har nådd full størrelse inneholder mindre stivelse, mer fenoler og omtrent samme mengde proteiner målt som prosent av tørrstoff. De unge frøene har et tynt og mykt frøskall med lavere stivelsesinnhold og skallet er dermed mulig å spise. Dyrking og høsting av unge, umodne frø med høy antioksidantkapasitet kan markedsføres som en «superfood» eller «funksjonell mat». «Superfood» er et populært begrep som beskriver matvarer som er veldig næringsrike og inneholder bioaktive stoffer som kan være fordelaktige for helsen. Eksempelvis antioksidanter og kostfiber. En del typer grønnsaker, frukt, bær og korn markedsføres under denne betegnelsen. Det finnes ingen klar definisjon på begrepet «superfood» (Proestos, 2018) og det er internasjonalt fritt frem for å definere noe som en «superfood» (UC Davis, 2021).

Et mer avgrenset begrep er «funksjonell mat» som beskriver matvarer som i prosessert eller naturlig tilstand inneholder bestemte stoffer som har kjente funksjoner i kroppen knyttet til immunsystemet eller bedring av helse (Proestos, 2018). Høyt innhold av L-Dopa i unge bondebønneplanters belger og blader er et argument for å bruke den sistnevnte definisjonen. Blader og belger ble ikke analysert i dette forsøket, men unge blader og belger har høyere konsentrasjoner enn frøene av blant annet flere mineraler og kan benyttes som mat selv om dette ikke er utbredt i dag (Etemadi et al., 2018; Etemadi et al., 2019).

Å benytte mer enn bare frøene ved høsting av unge planter vil gi avlingen økt verdi. Høsting av umodne frø åpner for kortere veksttid og mulighet for gjentatte avlinger i løpet av en sesong ved dyrking i kontrollert klima. Markedsføring under begreper som «superfood» eller «funksjonell mat» vil kunne bidra til å hente ut høyere priser i markedet. Sortsprøving av bondebønner til grønnsaksbruk vil måtte fokusere på et så lavt innhold av v/c som mulig. Ved

høsting av unge frø vil utvelgelse av sorter med lave nivåer av v/c være ekstra viktig siden konsentrasjon av v/c er høyere i frø ved lav modningsgrad.

Tiden det tar å preparere friske frø for bruk som grønnsak kan være en viktig barriere for konsumenter i Norge, hvor man bruker mindre tid enn mange andre europeiske land på matlaging og har en forventning til rask og enkel tilgang til ferdigpreparerte råvarer og matprodukter (Saue, 2020; Vaage, 2005; Vaage, 2012). Her kan post-høste-behandling og produktforedling spille en viktig rolle for å øke interessen for bondebønner i Norge, for eksempel gjennom dyrking til konserver. I frysedisker i norske butikker er det i dag ikke uvanlig med bønneblandinger med fryste, rå bønner av forskjellige slag. Fryste, rå soyabønner som et snacksprodukt har også blitt vanlig å se i butikkene. Dette er eksempler på noen produkter hvor norskproduserte bondebønner enten kunne vært inkludert eller introdusert som en utfordrer.

Småplanteproduksjon av bondebønneplanter er en uutforsket mulighet. Forkortelse av vegetativ vekstfase gjennom spiring og etablering av småplanter i kontrollert klima før utplanting på friland vil kunne gi forkortet veksttid og tidligere høsting (Høgetveit, 2022). Dette er antagelig mest aktuelt i småskala grønnsaksproduksjon siden utplanting i bondebønne- og åkerbønneproduksjon på store arealer vil være for arbeidskrevende. Plantenes utviklingstrinn og utplantingstidspunkt vil ha mye å si siden jordtemperatur må være innenfor riktig område, selv om frøplanter av bondebønner har vist seg å tolerere lave temperaturer, avhengig av sort.

Der et dyrkingssystem som involverer avansert klimakontroll kan være for kostnads-krevende for bondebønneproduksjon når det kommer til energiforbruk er det mulig å se på potensial i enklere systemer og passiv klimakontroll for å bruke noen av fordelene ved kontroll over temperatur som har blitt fremhevet i denne oppgaven. Dyrking i tunnel krever innledningsvis en del investeringer, men kan øke gjennomsnittstemperatur i dyrkingssystemet og dermed plantenes utviklingshastighet uten tilsvarende energibruk som i avanserte veksthus (Døving et al., 2011; Gerovac et al., 2015). Om plantene er plantet direkte i jorda kan man samtidig dra nytte av nevnte økologiske tjenester bondebønner kan bidra med. Det er også mulig å bruke tunneler til dyrking av planter i separat dyrkingsmedium med kontroll over vann- og næringstilførsel. En slik strategi bidrar blant annet til å unngå utfordringer med jordbårne sykdommer. Dette er en type dyrkingssystem som begynner å bli utbredt i jordbær dyrking i dag (Dybdal, 2022). Tunneldyrking forenkler muligheten for å aktivt bruke pollinatorer, som vil ha en positiv innvirkning på både avlingsavkastning (Cunningham & Le Feuvre, 2013; Kyllönen, 2018) og biodiversitet i nærmiljøet (Köpke & Nemecek, 2010; Suso et al., 2016).

En form for kostnadskontroll ved dyrking i kontrollert klima er å redusere behovet for tilleggslys gjennom riktig valg av dyrkingsperiode. Det er dokumentert at fotoperioder på over 12 timer i kombinasjon med riktig temperatur har best effekt på bondebønners utviklingshastighet (Iannucci et al., 2008). Dyrking bør derfor legges til månedene med minst 12 timer dagslys. For østlandsområdet er dette fra midten av mars til slutten av september (18.3-25.9) (timeanddate.no, 2022). Med bakgrunn i registrert veksttid i forsøket (se første avsnitt i kapittel 6.2) kan man oppnå drøye 2 vekstsykluser på denne tiden med riktig sortvalg.

I forsøket var det stor varians i alle målte verdier, både for planteutvikling og avling. Avlingsjevnheter er et kjent problem for bondebønner (Flores et al., 2013; Lake et al., 2019; Li & Yang, 2014). Per i dag foregår det ikke sortsutvikling for grønnsaker i Norge (Grøntutvalget, 2020), men sortsforsøk tilsvarende arbeid som gjøres for frilandsyrking av åkerbønner (Abrahamsen et al., 2018; Bodner et al., 2018) bør muliggjøre å finne sorter som kan gi mer forutsigbar avlingsutvikling for dyrking av bondebønner til grønnsaksbruk i kontrollert klima. I sortsforsøk er det også viktig å selektere for høyest mulig innhold av ønskede næringsstoffer og lavest mulig innhold av stoffer som kan ha ugunstige effekter på helsa, spesielt v/c. Det bør også være en balansegang når det kommer til innhold av fenoler i sortsutvelgelse, siden disse på tross av helsefremmende egenskaper tilknyttet antioksidanteffekter kan virke hemmende på tilgjengeligheten til mineraler som Fe og Zn (Labba et al., 2021).

Om det er interesse for produksjon av bondebønner i den typen dyrkingssystemer som er diskutert i denne oppgaven vil det være behov videre forsøksarbeid for å optimalisere bruken av kontrollert klima og det er naturlig å se for seg at dette gjøres i kombinasjon med sortsforsøk.

7.0 Konklusjon

I denne oppgaven ble det undersøkt om døgnlig gjennomsnittstemperatur og temperaturfluktuasjoner i løpet av døgnet har effekt på bondebønneplanters utviklingshastighet og avling ved dyrking i regulert klima. Resultatene indikerer at en døgnlig gjennomsnittstemperatur tilsvarende bondebønners optimumtemperatur for å nå blomstring reduserer veksttiden og fremskynder viktige fenologiske hendelser sammenlignet med ved dyrking på friland. Videre ble det registrert at forskjell mellom konstant temperatur gjennom døgnet og variasjon mellom høy dagtemperatur og lav natt-temperatur ga betydelig utslag på avlingens utvikling. Det ble registrert forskjell mellom temperaturregimene i frøstørrelse og frøantall per belg og per plante, hvor planter dyrket ved 20/20°C hadde høyest frøvekt og planter dyrket ved 23/14°C hadde høyeste antall frø per belg. De to temperaturregimene viste ellers lite forskjeller når det kom til plantenes fysiologiske utvikling.

Dyrking av bondebønner i kontrollert klima har potensial, men det er behov for optimalisering av dyrkingssystem. Spesielt gjelder dette kontroll med relativ luftfuktighet og riktig tilførsel av vann og næring. Det er behov for sortsforsøk for å finne best egnede sorter til kommersiell dyrking som grønnsak til frisk/fryst konsum, både med hensyn på avlingsmengde og -kvalitet.

Høye produksjonskostnader, konkurranse med importerte grønnsaker og økonomisk begrensede muligheter for innovasjon i grøntsektoren er viktige barrierer for dyrking i kontrollert klima. Tap av bondebønnes økologiske tjenester ved dyrking i kontrollert klima er et argument for å undersøke muligheter for tunneldyrking på friland som en middevei.

Forsøket viste at det er behov for mer kunnskap i Norge både om bruk av bondebønner som grønnsak, og bruk av kontrollert klima i dyrkingssystem for bondebønner med mål om å redusere veksttid sammenlignet med ved dyrking på friland.

8.0 Kilder

- Abrahamsen, U., Brodal, G. & Waalen, W. (2016). Virkning av ulike forgrøder på neste års avling av hvete. *Jord-og Plantekultur 2016. Forsøk i korn, olje-og proteinvekster, engfrøavl og potet 2015*, 2 (1): 106-111.
- Abrahamsen, U., Waalen, W. & Uhlen, A. K. (2018). Sortsforsøk i erter og åkerbønne. *Jord-og Plantekultur 2018. Forsøk i korn, olje-og proteinvekster, engfrøavl og potet 2017*: 159-166.
- Abrahamsen, U., Uhlen, A. K., Waalen, W. & Stabbetorp, H. (2019). Muligheter for økt proteinproduksjon på kornarealene. *Jord-og Plantekultur 2019. Forsøk i korn, olje-og proteinvekster, engfrøavl og potet 2018*: 160-169.
- Amalfitano, C., Agrelli, D., Borrelli, C., Cuciniello, A., Morano, G. & Caruso, G. (2018). Production system effects on growth, pod yield and seed quality of organic faba bean in southern Italy. *Folia Horticulturae*, 30 (2): 375-385. doi: 10.2478/fhort-2018-0033.
- Baeyens, J. (2022). *Chain-wide initiative for plant-based protein in cold greenhouses in Flanders*: Flanders Research Institute for Agriculture, Fisheries and Food(ILVO). Tilgjengelig fra: <https://ilvo.vlaanderen.be/en/research-projects/ketenbreed-initiatief-voor-plantaardig-eiwit-uit-vlaamse-koude-serres> (lest 18.04.22).
- Benzie, I. F. & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239 (1): 70-76. doi: <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- Bishop, J., Potts, S. G. & Jones, H. E. (2016). Susceptibility of Faba Bean (*Vicia faba* L.) to Heat Stress During Floral Development and Anthesis. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202 (6): 508-517. doi: <https://doi.org/10.1111/jac.12172>.
- Blanchard, M. G. & Runkle, E. S. (2011). The Influence of Day and Night Temperature Fluctuations on Growth and Flowering of Annual Bedding Plants and Greenhouse Heating Cost Predictions. *HortScience horts*, 46 (4): 599-603. doi: 10.21273/hortsci.46.4.599.
- Bodner, G., Kronberga, A., Lepse, L., Olle, M., Vågen, I. M., Rabante, L., Fernández, J. A., Ntatsi, G., Balliu, A. & Rewald, B. (2018). Trait identification of faba bean ideotypes for Northern European environments. *European Journal of Agronomy*, 96: 1-12. doi: 10.1016/j.eja.2018.02.008.
- Buchanan, B. B., Gruissem, W. & Jones, R. L. (2015). I: *Biochemistry and molecular biology of plants*, s. 1283. Chichester: John Wiley & sons Ltd.
- Bäckmo, S. (2021). *Harvesting fava beans*: Sara Bäckmo Vegetables & Flowers. Tilgjengelig fra: <https://www.sarabackmo.com/harvesting-fava-beans/> (lest 27.04.2022).
- Bævre, O. A. & Gislerød, H. R. (1999). Plantedyrking i regulert klima. I, s. 70-77, 148-150: Landbruksforlaget.
- Çalışkantürk Karataş, S., Günay, D. & Sayar, S. (2017). In vitro evaluation of whole faba bean and its seed coat as a potential source of functional food components. *Food Chemistry*, 230: 182-188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.037>.
- Carvalho, S., Heuvelink, E., Cascais, R. & Van Kooten, O. (2002). Effect of day and night temperature on internode and stem length in chrysanthemum: is everything explained by DIF? *Annals of Botany*, 90 (1): 111-118. doi: 10.1093/aob/mcf154.
- Cavusoglu, A. & Azdemir, F. (2019). Growth and Yield Responses of *Vicia faba* L. Grown at Different Planting Densities under Greenhouse Condition for Vegetable Purpose. *Biological Forum*, 2 (11): 130-135.
- Chapman, G. P., Guest, H. L. & Peat, W. E. (1978). Top-removal in single stem plants of *Vicia faba* L. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*, 89 (2): 119-127. doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-328X\(78\)80052-X](https://doi.org/10.1016/S0044-328X(78)80052-X).

- Cicero. (2021). *VOM – Virkemidler for Omstilling av Matsystemet*. Tilgjengelig fra: <https://cicero.oslo.no/no/posts/prosjekter/vom-insentiver-til-virkemidler-for-omstilling-av-matsystemet> (lest 02.05.2022).
- Crépon, K., Marget, P., Peyronnet, C., Carrouée, B., Arese, P. & Duc, G. (2010). Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research*, 115 (3): 329-339. doi: 10.1016/j.fcr.2009.09.016.
- Crozier, A., Jaganath, I. & Clifford, M. (2007). Phenols, Polyphenols and Tannins: An Overview. I: *Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet*, s. 1-24.
- Cunningham, S. A. & Le Feuvre, D. (2013). Significant yield benefits from honeybee pollination of faba bean (*Vicia faba*) assessed at field scale. *Field Crops Research*, 149: 269-275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.05.019>.
- De Cillis, F., Leoni, B., Massaro, M., Renna, M. & Santamaria, P. (2019). Yield and Quality of Faba Bean (*Vicia faba* L. var. major) Genotypes as a Vegetable for Fresh Consumption: A Comparison between Italian Landraces and Commercial Varieties. *Agriculture*, 9 (12): 253.
- Dhull, S. B., Kidwai, M. K., Noor, R., Chawla, P. & Rose, P. K. (2021). A review of nutritional profile and processing of faba bean (*Vicia faba* L.). *Legume Science*, n/a (e129): 13. doi: <https://doi.org/10.1002/leg3.129>.
- Duan, S., Kwon, S. J., Lim, Y. J., Gil, C. S., Jin, C. & Eom, S. H. (2021). L-3,4-dihydroxyphenylalanine Accumulation in Faba Bean (*Vicia faba* L.) Tissues during Different Growth Stages. *Agronomy*, 11 (3): 502. doi: 10.3390/agronomy11030502.
- Duc, G. (1997). Faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research*, Volume 53 (Issues 1–3): Pages 99-109. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00025-7).
- Duc, G., Aleksić, J. M., Marget, P., Mikic, A., Paull, J., Redden, R. J., Sass, O., Stoddard, F. L., Vandenberg, A. & Vishnyakova, M. (2015). Faba bean. I: *Grain legumes*, s. 141-178.
- Dybdal, S. E. (2022). *Tenker nytt om norsk jordbærdyrking*: NIBIO. Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/nyheter/tenker-nytt-om-norsk-jordbaerdyrking> (lest 05.05.2022).
- Dye, D. G. (2004). Spectral composition and quanta-to-energy ratio of diffuse photosynthetically active radiation under diverse cloud conditions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109 (D10). doi: <https://doi.org/10.1029/2003JD004251>.
- Døving, A., Nes, A., Hopperstad, O. & Myhre, S. (2011). *Plasttunnelar for dyrking av økologiske bær*. Bioforsk Tema: Bioforsk (NIBIO). Tilgjengelig fra: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2442429/Bioforsk-TEMA-2011-06-01.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (lest 05.05.2022).
- Eri, R. (2022). *Spørsmål om Vicia Faba - Witkiem Major - til masteroppgave på NMBU* (17.01.2022).
- Erwin, J. E., Heins, R. D. & Moe, R. (1991). Temperature and Photoperiod Effects on Fuchsia × hybrida Morphology. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116 (6): 955-960. doi: 10.21273/jashs.116.6.955.
- Etemadi, F., Barker, A., Hashemi, M., Zandvakili, O. & Park, Y. (2018). Nutrient Accumulation in Faba Bean Varieties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49 (16): 1-10. doi: 10.1080/00103624.2018.1495729.
- Etemadi, F., Hashemi, M., Barker, A. V., Zandvakili, O. R. & Liu, X. (2019). Agronomy, Nutritional Value, and Medicinal Application of Faba Bean (*Vicia faba* L.). *Horticultural Plant Journal*, 5 (4): 170-182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2019.04.004>.

- Everette, J. D., Bryant, Q. M., Green, A. M., Abbey, Y. A., Wangila, G. W. & Walker, R. B. (2010). Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin-Ciocalteu reagent. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(14) (8139–8144): 1-14. doi: <https://doi.org/10.1021/jf100593>.
- FAO. (2022). *Crops and livestock products*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>: FAO (Food & Agriculture Organization). Tilgjengelig fra: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- Flores, F., Hýbl, M., Knudsen, J., Marget, P., Muel, F., Nadal, S., Narits, L., Raffiot, B., O, S., Solís, I., et al. (2013). Adaptation of spring faba bean types across European climates. *Field Crops Research*, 145: 1-9. doi: 10.1016/j.fcr.2013.01.022.
- FoodProFuture. (2022). *The project: FoodProFuture*. Tilgjengelig fra: <https://foodprofuture.no/the-project/> (lest 04.05.2022).
- Gerovac, J. R., Lopez, R. G. & Mattson, N. S. (2015). High tunnel versus climate-controlled greenhouse: Transplant time and production environment impact growth and morphology of cold-tolerant bedding plants. *HortScience*, 50 (6): 830-838. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.6.830>.
- Gonera, A. & Milford, A. B. (2018). *The plant protein trend in Norway-Market overview and future perspectives*. Nofima rapportserie. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/2567317>.
- Gonera, A., Svanes, E., Bugge, A. B., Hatlebakk, M. M., Prexl, K.-M. & Ueland, Ø. (2021). Moving Consumers along the Innovation Adoption Curve: A New Approach to Accelerate the Shift toward a More Sustainable Diet. *Sustainability*, 13 (8): 4477.
- Grashoff, C. (1990a). Effect of pattern of water supply on *Vicia faba* L. 1. Dry matter partitioning and yield variability. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 38 (1): 21-44. doi: <https://doi.org/10.18174/njas.v38i1.16608>.
- Grashoff, C. (1990b). Effect of pattern of water supply on *Vicia faba* L. 2. Pod retention and filling, and dry matter partitioning, production and water use. *Netherlands Journal of agricultural science*, 38 (2): 131-143. doi: <https://doi.org/10.18174/njas.v38i2.16600>.
- GRDC. (2017a). *GRDC Grow Notes Northern, Faba Beans*: Grain Research & Development Corporation (lest 11.05.2022).
- GRDC. (2017b). *GRDC GrowNotes Western. Faba bean Section 4: Plant Growth and physiology*: Grains Research & Development Corporation, Western. Tilgjengelig fra: <https://grdc.com.au/GrowNotesFababeansWest> (lest 11.05.2022).
- GRDC. (2018). *GRDC Grownotes Southern. Faba bean. Section 6. Nutrition and fertiliser*: Grains Research & Development Corporation. Tilgjengelig fra: <https://grdc.com.au/resources-and-publications/grownotes/crop-agronomy/faba-bean-southern-region-grownotes/GrowNote-Faba-South-6-Nutrition-Fertiliser.pdf> (lest 11.05.2022).
- Grøntutvalget. (2020). *Grøntsektoren mot 2035: Rådgivende utvalg for innovasjon vekst og økt norskandel i grøntsektoren*. Tilgjengelig fra: <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/filarkiv/rapporter/Gr%C3%B8ntsektoren%20mot%202035.pdf> (lest 16.03.2021).
- Graamans, L. (2022). *Protein-rich crops: Growing soybean in vertical farms*: Wageningen University & Research. Tilgjengelig fra: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Research-Institutes/plant-research/greenhouse-horticulture/show-greenhouse/Protein-rich-crops-Growing-soybean-in-vertical-farms.htm> (lest 18.04.22).
- Halleraker, J. H. & Mamen, J. (2017). vekstgradtall. I: *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/vekstgradtall> (lest 27.04.2022).
- Harstveit, K. & Bjørndalen, E. (2021). graddag. I: *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/graddag> (lest 27.04.2022).

- Heggen, H. & Toppe, B. (2005). Planter i veksthus, prydplanter. I: *Integrert bekjempelse*, s. 5-7: Landbruksforlaget, Oslo.
- Heins, R. & Erwin, J. (1993). A short history of DIF: Using temperature to control plant height. *Production*, 11: 81.
- Hermansen, A., Stensvand, A. & Bøvre, J. (2011). Gråskimmel. I: *Planterleksikonet*: NIBIO. Tilgjengelig fra: <https://www.planterleksikonet.no/l/oppslag/466/> (lest 25.04.2022).
- Hofsvang, T. & Trandem, N. (2022). Betenladlus. I: *Planterleksikonet*: NIBIO. Tilgjengelig fra: <https://www.planterleksikonet.no/l/oppslag/814/> (lest 25.04.2022).
- Hunt, R., Causton, D., Shipley, B. & Askew, A. (2002). A Modern Tool for Classical Plant Growth Analysis. *Annals of botany*, 90 (4): 485-488. doi: 10.1093/aob/mcf214.
- Hückstädt, A., Suthaparan, A., Mortensen, L. & Gislerød, H. (2013). The Effect of Low Night and High Day Temperatures on Photosynthesis in Tomato. *American Journal of Plant Sciences*, 4: 2323-2331. doi: 10.4236/ajps.2013.412288.
- Høgetveit, L.-A. (2022). *Oppal av grønnsaksplanter*. viken.nlr.no: Norsk Landbruksrådgivning Viken. Tilgjengelig fra: <https://viken.nlr.no/fagartikler/gronnsaker/oppal/viken/oppal-av-gronnsaksplanter> (lest 04.05.2022).
- Iannucci, A., Terribile, M. R. & Martiniello, P. (2008). Effects of temperature and photoperiod on flowering time of forage legumes in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 106 (2): 156-162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.11.005>.
- Johnson, J. B., Skylas, D. J., Mani, J. S., Xiang, J., Walsh, K. B. & Naiker, M. (2021). Phenolic Profiles of Ten Australian Faba Bean Varieties. *Molecules*, 26 (15): 4642. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules26154642>.
- Jung, S., Rickert, D. A., Deak, N. A., Aldin, E. D., Recknor, J., Johnson, L. A. & Murphy, P. A. (2003). Comparison of kjeldahl and dumas methods for determining protein contents of soybean products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80 (12): 1169. doi: 10.1007/s11746-003-0837-3.
- Karkanis, A., Ntatsi, G., Lepse, L., Fernández, J. A., Vågen, I. M., Rewald, B., Alsiņa, I., Kronberga, A., Balliu, A., Olle, M., et al. (2018). Faba Bean Cultivation – Revealing Novel Managing Practices for More Sustainable and Competitive European Cropping Systems. *Frontiers in Plant Science*, 9 (1115). doi: 10.3389/fpls.2018.01115.
- Khazaei, H., Purves, R. W., Hughes, J., Link, W., O'Sullivan, D. M., Schulman, A. H., Björnsdotter, E., Geu-Flores, F., Nadzieja, M. & Andersen, S. U. (2019). Eliminating vicine and convicine, the main anti-nutritional factors restricting faba bean usage. *Trends in Food Science & Technology*, 91: 549-556. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.051>.
- Klingen, I. (2010). Ertebladlus. I: *Planterleksikonet*: NIBIO. Tilgjengelig fra: <https://www.planterleksikonet.no/l/oppslag/859/> (lest 25.04.2021).
- Kluga, A., Dubova, L. & Alsiņa, I. (2018). Germination and growth of primary roots of inoculated bean (*Vicia Faba*) seeds under different temperatures. *Agronomy Research*, 16: 243-253. doi: 10.15159/AR.18.024.
- Korsvoll, K. K. (2020). *Starch and protein accumulation during seed development of field grown faba beans (Vicia faba L. cv. Vertigo) in Norway*. Master thesis. Plant Science (IPV). Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/2660628> (lest 05.01.2022).
- Korsæth, A. & Roer, A.-G. (2016). *Livsløpsanalyse (LCA) av dyrking av erter og åkerbønner i Norge*. NIBIO Rapport;2(117) 2016. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/2428966> (lest 11.05.2022).

- Kvitvær, A., Verheul, M. & Leeuwen, G. v. (2017). *Muligheter til dyrking av eksotiske veksthusgrønnsaker i Norge*. NIBIO RAPPORT;3(145) 2017. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/2490628> (lest 01.05.2022).
- Kyllönen, T. (2018). *Effects of pollination on pod distribution in faba bean (Vicia faba L.)*. Master thesis. Department of Agricultural Sciences. Helsinki: University of Helsinki. Tilgjengelig fra: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/236089>.
- Köpke, U. & Nemecek, T. (2010). Ecological services of faba bean. *Field Crops Research*, 115 (3): 217-233. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.012>.
- Körner, O. & Challa, H. (2003). Design for an improved temperature integration concept in greenhouse cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 39: 39-59. doi: 10.1016/S0168-1699(03)00006-1.
- Körner, O., Aaslyng, J. M., Andreassen, A. U. & Holst, N. (2007). Microclimate Prediction for Dynamic Greenhouse Climate Control. *HortScience* 42 (2): 272-279. doi: 10.21273/hortsci.42.2.272.
- Labba, I.-C. M., Frøkiær, H. & Sandberg, A.-S. (2021). Nutritional and antinutritional composition of fava bean (*Vicia faba L.*, var. minor) cultivars. *Food Research International*, 140 (110038): 1-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110038>.
- Labuda, H. (2012). Flowering and characteristics of useful traits of some faba bean (*Vicia faba L.* var. major Harz) cultivars and breeding lines. *Acta Agrobotanica*, 65 (4). doi: 10.5586/aa.2012.031.
- Lake, L., Godoy-Kutchartt, D. E., Calderini, D. F., Verrell, A. & Sadras, V. O. (2019). Yield determination and the critical period of faba bean (*Vicia faba L.*). *Field Crops Research*, 241: 107575. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107575>.
- Lambers, H., Chapin, F. S. & Pons, T. L. (2008). Plant physiological ecology. I, s. 225, 343, 346. New York: Springer Science + Business Media LLC.
- Landbruk.no. (2018). *Derfor er det viktig å utvikle plantesorter tilpasset norske forhold*. Tilgjengelig fra: <https://www.landbruk.no/baerekraft/derfor-viktig-a-utvikle-plantesorter-tilpasset-norske-forhold/> (lest 03.05.2022).
- Langhans, R. W. & Tibbitts, T. (1997). *Plant growth chamber handbook*. I: Langhans, R. W. & Tibbitts, T. (red.): Iowa Agricultural and Home Economics Experiment Station. Tilgjengelig fra: <https://www.controlledenvironments.org/growth-chamber-handbook/> (lest 24.04.2022).
- Li, X. & Yang, Y. (2014). A novel perspective on seed yield of broad bean (*Vicia faba L.*): differences resulting from pod characteristics. *Scientific Reports*, 4 (1): 6859. doi: 10.1038/srep06859.
- Lid, J. & Lid, D. T. (2005). *V. faba L.* - bønnevikke. I: *Norsk Flora*, s. 509. Oslo: Det Norske Samlaget.
- Liu, B. & Heins, R. (1997). IS PLANT QUALITY RELATED TO THE RATIO OF RADIANT ENERGY TO THERMAL ENERGY? *Acta Horticulturae*, 435 (16): 171-182. doi: 10.17660/ActaHortic.1997.435.16.
- Lizarazo, C. I., Isotalo, J., Lindfors, A. V. & Stoddard, F. L. (2017). Progress towards flowering of faba bean (*Vicia faba L.*) is more than photothermal. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203 (5): 385-396. doi: <https://doi.org/10.1111/jac.12200>.
- Lund, G. K. (2020). *Belgfrukter*. Mat i middelalderen: Kulturhistorisk museum, Universitetet i Oslo. Tilgjengelig fra: <https://www.khm.uio.no/blogg/mat/belgfrukter.html> (lest 09.02.2022).
- Lund, J., Andreassen, A., Ottosen, C.-O. & Aaslyng, J. (2006). Effect of a Dynamic Climate on Energy Consumption and Production of *Hibiscus rosa-sinensis L.* in Greenhouses. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, 41. doi: 10.21273/HORTSCI.41.2.384.

- Lund, S. (2005). *IntelliGrow - Et dynamisk væksthushklime sparer energi*: Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet. Tilgjengelig fra: <https://science.ku.dk/oplev-science/gymnasiet/undervisningsmaterialer/online-artikler/politik-oekonomi-og-ulande/samlemappe/intelligrow/> (lest 21.04.2022).
- Machovina, B., Feeley, K. J. & Ripple, W. J. (2015). Biodiversity conservation: The key is reducing meat consumption. *Science of The Total Environment*, 536: 419-431. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.022>.
- McDonald, G. K. & Paulsen, G. M. (2004). High temperature effects on photosynthesis and water relations of grain legumes. *Plant and Soil*, 196: 47-58. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1004249200050>.
- Milford, A. B., Verheul, M., Sivertsen, T. & Kaufmann, L. (2021). *Klimagassreduksjon i veksthusnæringen i Rogaland: Muligheter, barrierer og tiltak*. NIBIO-rapport;7(147) 2021: NIBIO. Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/2767082> (lest 05.04.2022).
- Miljødirektoratet. (2022). *FNs klimapanel med kraftfull rapport om klimaløsninger*: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: FNs klimapanel med kraftfull rapport om klimaløsninger (lest 04.05.2022).
- Mittenzwei, K., Milford, A. B. & Grønlund, A. (2017). *Status og potensial for økt produksjon og forbruk av vegetabiliske matvarer i Norge*. Notat, Norsk institutt for bioøkonomi: NIBIO. Tilgjengelig fra: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2451799> (lest 02.05.2022).
- Mittenzwei, K., Walland, F., Milford, A. B. & Grønlund, A. (2020). *Klimakur 2030. Overgang fra rødt kjøtt til vegetabilsk og fisk*: NIBIO. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/2638457> (lest 02.05.2022).
- Mortensen, L. M. & Gislerød, H. (2018). Night temperature drop affects the diurnal photosynthetic rhythm of *Kalanchoe blossfeldiana*. *Eur.J.Hortic.Sci.*, 83 (3): 160-165. doi: 10.17660/eJHS.2018/83.3.5.
- Mossberg, B. & Stenberg, L. (2003). Erteblomstfamilien - Bønnevikke. I: *Gyldendals store nordiske flora*, s. 330, 347. Oslo: Gyldendal A/S.
- Multari, S., Stewart, D. & Russell, W. R. (2015). Potential of Fava Bean as Future Protein Supply to Partially Replace Meat Intake in the Human Diet. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14 (5): 511-522. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12146>.
- Murphy-Bokern, D., Stoddard, F. & Watson, C. (2017). *Legumes in cropping systems*: CAB International. Tilgjengelig fra: <https://www.cabi.org/cabebooks/FullTextPDF/2017/20173152105.pdf>.
- Müller, J. (2017). *Dumas or Kjeldahl for reference analysis? Comparison and considerations for Nitrogen/Protein analysis in food and feed*: Foss. Tilgjengelig fra: www.fossanalytics.com.
- Myster, J. & Moe, R. (1995). Effect of diurnal temperature alternations on plant morphology in some greenhouse crops—a mini review. *Scientia Horticulturae*, 62 (4): 205-215. doi: [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(95\)00783-P](https://doi.org/10.1016/0304-4238(95)00783-P).
- Norsk Gartnerforbund. (2020). *NGFs Energi- og klimastrategi 2021-2030*: Norsk Gartnerforbund. Tilgjengelig fra: <https://gartnerforbundet.no/wp-content/uploads/2020/11/NGFs-Energi-og-klimastrategi-2021-2030.pdf> (lest 04.05.2022).
- Norsk Landbruksrådgivning. (2020). *Sortsprøving og -utvikling av grønnsaker*: Landbruksdirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/filarkiv/rapporter/prosjektresultater/jordbruk/NLR%202020%20Sortspr%C3%B8ving%20og%20utvikling%20av%20gr%C3%B8nnsaker.pdf> (lest 05.05.2022).

- OFG. (2022). *Bondebønne*: Opplysningskontoret for Frukt og Grønt. Tilgjengelig fra: <https://frukt.no/ravarer/gronnsaker/erter-og-bonner/bondebonner/> (lest 19.04.22).
- Ofuya, Z. (2005). Review Article -The Role of Pulses in Human Nutrition: A Review. *J. Appl. Sci. Environ. Mgt.*, 9 (3): 99-104.
- Oregon State University. (2010). *Beans, Fava*: Oregon State University, Oregon Vegetables. Tilgjengelig fra: <https://horticulture.oregonstate.edu/oregon-vegetables/beans-fava> (lest 27.04.2022).
- Ottosen, C.-O., Rosenqvist, E., Aaslyng, J. & Jakobsen, L. (2005). Dynamic Climate Control in Combination with Average Temperature Control Saves Energy in Ornamentals. *Acta Horticulturae*, 691. doi: 10.17660/ActaHortic.2005.691.14.
- Pasqualone, A., Abdallah, A. & Summo, C. (2020). Symbolic meaning and use of broad beans in traditional foods of the Mediterranean Basin and the Middle East. *Journal of Ethnic Foods*, 7 (1): 39. doi: 10.1186/s42779-020-00073-1.
- Patrick, J. & Stoddard, F. (2010). Physiology of flowering and grain filling in faba bean. *Field Crops Research*, 115 (3): 234-242. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.06.005>.
- Peltonen-Sainio, P., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Voutilainen, L., Niemi, J., Valaja, J., Jauhainen, L. & Hakala, K. (2013). Potential and realities of enhancing rapeseed-and grain legume-based protein production in a northern climate. *The Journal of Agricultural Science*, 151 (3): 303-321. doi: <https://doi.org/10.1017/S002185961200038X>.
- Petroski, W. & Minich, D. M. (2020). Is There Such a Thing as "Anti-Nutrients"? A Narrative Review of Perceived Problematic Plant Compounds. *Nutrients*, 12 (10): 2929. doi: 10.3390/nu12102929.
- Proestos, C. (2018). Superfoods: Recent Data on their Role in the Prevention of Diseases. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 6: 576-593. doi: 10.12944/CRNFSJ.6.3.02.
- Prop. 120 S(2018-2019). *Endringer i statsbudsjettet 2019 under Landbruks- og matdepartementet (Jordbruksoppgjøret 2019)*. Oslo: Landbruks- og matdepartementet. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/prop.-120-s-20182019/id2646134/> (lest 03.05.2022).
- Pszczołkowska, A., Okorski, A., Fordoński, G., Kotecki, A., Kozak, M. & Dzienis, G. (2020). Effect of Weather Conditions on Yield and Health Status of Faba Bean Seeds in Poland. *Agronomy*, 10 (1): 48. doi: 10.3390/agronomy10010048.
- Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., et al. (2022). *IPCC 2022, Summary for Policymakers*. Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., et al. (red.). In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 40*: Cambridge University Press.
- Radoglou, K., Cabral, R., Repo, T., Hasanagas, N., Sutinen, M.-L. & Waisel, Y. (2007). Appraisal of root leakage as a method for estimation of root viability. *Plant Biosystems*, 141 (3): 443-459. doi: 10.1080/11263500701626143.
- Raven, P. H., Evert, R. F. & Eichhorn, S. E. (2013). I: *Biology of plants*, s. 135-140, 312, 693-697. New York: W. H. Freeman and Company Publishers.
- Šamec, D., Karalija, E., Šola, I., Vujčić Bok, V. & Salopek-Sondi, B. (2021). The Role of Polyphenols in Abiotic Stress Response: The Influence of Molecular Structure. *Plants*, 10 (1): 118. doi: <https://doi.org/10.3390/plants10010118>.
- Sannan, S. (2022). *Strømkrise og matkrise: Kan veksthus bidra til økt selvforsyning i Norge?* #SINTEFblogg: SINTEF. Tilgjengelig fra: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy->

- [nb/stromkrise-og-matkrise-kan-veksthus-bidra-til-okt-selvforsyning-i-norge/](#) (lest 04.05.2022).
- Saue, O. A. (2020). Nordmenn har aldri kjøpt flere ferdigretter. Nå setter Fjordland salgsrekorder. *E24*. Tilgjengelig fra: <https://e24.no/naeringsliv/i/OneAKo/nordmenn-har-aldri-kjoept-flere-ferdigretter-naa-setter-fjordland-salgsrekorder> (lest 01.05.2022).
- Schjøll, A. F. & Klinge, I. (2010). Ertesnutebille. I: *Plantevernleksikonet*: NIBIO. Tilgjengelig fra: <https://www.plantevernleksikonet.no/1/oppslag/99/> (lest 25.04.2022).
- Schumann, G. L. & D'Arcy, C. J. (2010). I: *Essential plant pathology*, s. 146, 147, 150, 244. St. Paul: American Phytopathological Society Press.
- Siah, S. D., Agboola, S., Wood, J., Konczak, I. & Blanchard, C. (2019). A Comparison Study of Phenolic Contents and in Vitro Antioxidant Activities of Australian Grown Faba Beans (*Vicia faba* L.) Varying in Seed Coat Colours as Affected by Extraction Solvents. *American Journal of Analytical Chemistry*, 10: 227-245. doi: 10.4236/ajac.2019.106018.
- Stabbetorp, H. (2021). *Jord-og plantekultur 2021 Forsøk i korn, olje-og belgvekster, engfrøavl og potet 2020*. NIBIO-bok;7(1) 2021: NIBIO. Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/2740694> (lest 11.05.2022).
- Stanghellini, C., Oosfer, B. & Heuvelink, E. (2019). I: *Greenhouse horticulture: technology for optimal crop production*, s. 55-73, 75-98, 127, 155. Wageningen: Wageningen Academic Publishers.
- Stavang, J., Lindgård, B., Erntsen, A., Lid, S., Moe, R. & Olsen, J. (2005). Thermoperiodic stem elongation involves transcriptional regulation of GA deactivation in pea. *Plant physiology*, 138: 2344-53. doi: 10.1104/pp.105.063149.
- Stavang, J. A., Junttila, O., Moe, R. & Olsen, J. E. (2007). Differential temperature regulation of GA metabolism in light and darkness in pea. *Journal of Experimental Botany*, 58 (11): 3061-3069. doi: 10.1093/jxb/erm163.
- Stavang, J. A., Pettersen, R. I., Wendell, M., Solhaug, K. A., Junttila, O., Moe, R. & Olsen, J. E. (2010). Thermoperiodic growth control by gibberellin does not involve changes in photosynthetic or respiratory capacities in pea. *Journal of experimental botany*, 61 (4): 1015-1029. doi: 10.1093/jxb/erp366.
- Stoddard, F. (1993). Termination of flowering in 'indeterminate' faba beans (*Vicia faba*). *The Journal of Agricultural Science*, 120: 79-87. doi: 10.1017/S0021859600073627.
- Sundheim, L. & Brodal, G. (2013). Ertemjældogg. I: *Plantevernleksikonet*: NIBIO. Tilgjengelig fra: <https://www.plantevernleksikonet.no/1/oppslag/455/> (lest 25.04.2022).
- Sunding, P. (2021). *Hestebønne*. Store norske leksikon: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/hesteb%C3%B8nne> (lest 04.04.2022).
- Suso, M. J., Bebeli, P. J., Christmann, S., Mateus, C., Negri, V., P. d. C., A., M. A., Torricelli, R. & Veloso, M. M. (2016). Enhancing Legume Ecosystem Services through an Understanding of Plant–Pollinator Interplay. *Frontiers in Plant Science*, 7. doi: 10.3389/fpls.2016.00333.
- Sørheim, G. A. R. (2021). *Tidlig plante-og nodulutvikling og biologisk nitrogenfiksering hos åkerbønne (Vicia faba L. cv. Vertigo) dyrket i Norge*. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/2771576> (lest 10.04.2022).
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M. & Murphy, A. (2015). I: *Plant physiology and development*, s. 540-542, 666-681. New York: Sinauer Associates Incorporated.
- timeanddate.no. (2022). *Oslo, Norge - Soloppgang, solnedgang og dagens lengde*. Tilgjengelig fra: <https://www.timeanddate.no/astronomi/sol/norge/oslo> (lest 04.05.2022).

- Tolletaten. (2022). *Tolltariffen, avsnitt II: Vegetabiliske produkter, kapittel 7: Grønnsaker, røtter og knoller, spiselige.* Tilgjengelig fra: <https://tolltariffen.toll.no/tolltariff/chapters/7?language=no> (lest 02.05.2022).
- Tufte, T. & Inderhaug, M. H. (2022). *Meir norske proteinvekstar til før og mat? - Moglegheiter, flaskehalsar og tiltak i verdikjeda.* Rapport 1 - 2022: AgriAnalyse. Tilgjengelig fra: <https://www.agrianalyse.no/publikasjoner/meir-norske-proteinvekstar-til-for-og-mat-article1345-856.html> (lest 05.05.2022).
- Turco, I., Ferretti, G. & Bacchetti, T. (2016). Review of the health benefits of Faba bean (*Vicia faba* L.) polyphenols. *Journal of food and nutrition research*, 55 (4): 283-293.
- UC Davis. (2021). *What makes superfood so super:* University of California, Davis. Tilgjengelig fra: <https://www.ucdavis.edu/food/what-makes-superfood-so-super> (lest 27.04.2022).
- Universitetet i Oslo. (2018). Stivelsesgelatinisering. I: *Botanisk- og plantefysiologisk leksikon:* Institutt for biovitenskap, Universitetet i Oslo. Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/s/stivelsegelatinisering.html> (lest 19.04.2022).
- University of California. (u.å.). *Fava Beans.* I: Gardeners, U. M. (red.): University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Tilgjengelig fra: <https://mgsantaclara.ucanr.edu/garden-help/vegetables/fava-beans/> (lest 27.04.2022).
- Urban, L., Barthélémy, L., Bearez, P. & Pyrrha, P. (2001). Effect of Elevated CO₂ on Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence of Rose Plants Grown at High Temperature and High Photosynthetic Photon Flux Density. *Photosynthetica*, 39 (2): 275-281. doi: 10.1023/a:1013753208917.
- Ursin, L. (2022). *Ekspertintervjuet: – Krigen viser hvor sårbart matsystemet er. <2°C: Energi og Klima.* Tilgjengelig fra: <https://energiogklima.no/to-grader/ekspertintervju/ekspertintervjuet-ukraina-krigen-viser-hvor-sarbart-matsystemet-er/> (lest 04.05.2022).
- Valente, I. M., Maia, M. R. G., Malushi, N., Oliveira, H. M., Papa, L., Rodrigues, J. A., Fonseca, A. J. M. & Cabrita, A. R. J. (2018). Profiling of phenolic compounds and antioxidant properties of European varieties and cultivars of *Vicia faba* L. pods. *Phytochemistry*, 152: 223-229. doi: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.05.011>.
- Vidal-Valverde, C., Frias, J., Sotomayor, C., Diaz-Pollan, C., Fernandez, M. & Urbano, G. (1998). Nutrients and antinutritional factors in faba beans as affected by processing. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*, 207 (2): 140-145. doi: 10.1007/s002170050308.
- Vaage, O. F. (2005). Nordmenn bruker minst tid på husholdsarbeid og måltider: tidsbruk i europeiske land. *Samfunnspeilet*, 19 (1): 2-8.
- Vaage, O. F. (2012). *Mer fritid - på bekostning av husarbeid:* Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/kultur-og-fritid/artikler-og-publikasjoner/mer-fritid-paa-bekostning-av-husarbeid> (lest 01.05.2022).
- Warsame, A. O., O'Sullivan, D. M. & Tosi, P. (2018). Seed storage proteins of faba bean (*Vicia faba* L): Current status and prospects for genetic improvemen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66 (48): 12617-12626. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b04992>.
- Wollaeger, H. & Runkle, E. S. (2016). VPD vs Relative Humidity. *inside Grower*: 28-29.
- Yara Norge AS. (u.å-a). *YaraTera CALCINIT.* Tilgjengelig fra: <https://www.yara.no/gjoedsel/produkter/yaratera/yaratera-calcinit/> (lest 04.05.2022).
- Yara Norge AS. (u.å-b). *YaraTera KRISTALON INDIGO.* Tilgjengelig fra: <https://www.yara.no/gjoedsel/produkter/yaratera/yaratera-kristalon-indigo/> (lest 04.05.2022).

- Youseif, S. H., Abd El-Megeed, F. H. & Saleh, S. A. (2017). Improvement of Faba Bean Yield Using Rhizobium/Agrobacterium Inoculant in Low-Fertility Sandy Soil. *Agronomy*, 7 (1): 2. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy7010002>.
- Øverland, J. I. (2021). *Dyrkingsveiledning for åkerbønner*. Dyrkingsveileder: Norsk Landbruksrådgivning Viken. Tilgjengelig fra: <https://viken.nlr.no/fagartikler/olje-og-proteinvekster/viken/dyrkingsveiledning-for-akerbonner> (lest 05.01.2022).
- Aarnes, H. (2011a). Fytat. I: *Botanisk- og plantefysiologisk leksikon*: Institutt for biovitenskap, Universitetet i Oslo. Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/f/fytat.html> (lest 19.04.22).
- Aarnes, H. (2011b). Vekst. I: *Botanisk- og plantefysiologisk leksikon*: Institutt for biovitenskap, Universitetet i Oslo. Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/v/vekst.html> (lest 29.01.22).
- Aarnes, H. (2019). Vann og vandamptrykk. I: *Botanisk- og plantefysiologisk leksikon*: Institutt for biovitenskap, Universitetet i Oslo. Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/v/vann-og-vandamptrykk.html> (lest 03.04.22).
- Aasen, I. (1986). Koppar. I: *Mangelsjukdomar og andre ernæringsforstyrningar hos kulturplanter: årsaker-symptom-rådgerder*, s. 56-61. Oslo: Landbruksforlaget.

9.0 VEDLEGG

VEDLEGG I: Relevante utviklingsfaser og vekststadier for bondebønner

VEDLEGG II: Analyseresultater fra næringsanalyse av blader for planter dyrket ved 20/20°C

VEDLEGG III: Analyseresultater fra næringsanalyse av blader for planter dyrket ved 23/14°C

Relevante utviklingsfaser og vekststadier for bondebønner hentet fra GRDC (GRDC, 2017b)

Utviklingsfase	Vekststadie	Beskrivelse
00: Spiring og fremvekst	000 Tørt frø	
	004 fremvekst	Spire bryter gjennom jordoverflaten
	006 første blad foldet ut	
10: Vegetativ fase	101 Første nodie	Første blad fullstendig utfoldet med ett småbladpar
	104 Fjerde nodie	Fjerde blad fullstendig utfoldet med mer enn ett småbladpar
	10X Xnodie	X blad fullstendig utfoldet med mer enn ett småbladpar
	1(N)N Siste registrerte nodie	N antall nodier med fullstendig utfoldede blad på hovedstengel
20: Reproduktiv/generativ fase	201 Synlige blomsterknopper	Første knopper synlige, grønne
	203 Første åpne blomster	Første åpne blomster i første blomsterstand/blomsterklase
	204 Belgutvikling	Første belger synlige på første fruktbare nodie
	205 Grønne belger fullstendig utviklet	Små, umodne frø inni belgen
	207 Belgfylling	Grønne frø i full størrelse, fyller belgens hulrom. Fortsatt umodne frø – egnet som frisk/fryst grønnsak
	209 Modning	Frø og belg bøyelige, belg begynner å skifte farge til svart, begynner å modne. Uegnet som frisk/fryst grønnsak.

Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet
 Attn: Sissel Torre
 Universitetstunet 3
 Postboks 5003
 1432 ÅS

AR-21-NF-011390-01



EUNOMO4-00052795

Analyseperiode: 22.11.2021-30.11.2021
 Referanse: Prosjekt: VOM Prosjekt
 nr:45520100

Merknader prøveserie:

Prosjekt: VOM Prosjekt nr:45520100

Prøvenr.:	542-2021-11220016	Prøvetakingsdato :	07.09.2021
Prøvetype:	Planter	Mottaksdato:	22.11.2021
Prøvemerkning:	35B	Rapporteringsdato:	30.11.2021
Plantenavn:	Vicia Faba		
Plantedel:	Blad		
Vekststadium:	000:Normtall ikke bestilt--		

Analyse	Norm tall	Resultat	Enhet	Evaluering av næringsinnhold				
				Mangel	Lavt	Normal	Høyt	Overskudd
Total nitrogen		4.35	% TS					
Fosfor (P)		0.63	% TS					
Kalium (K)		3.9	% TS					
Magnesium (Mg)		0.39	% TS					
Kalsium (Ca)		1.6	% TS					
Svovel (S)		0.31	% TS					
Kobber (Cu)		6.6	mg/kg tv					
Mangan (Mn)		160	mg/kg tv					
Bor (B)		29	mg/kg tv					
Sink (Zn)		56	mg/kg tv					
Molybden (Mo)		5.5	mg/kg tv					
Jern (Fe)		180	mg/kg tv					

Brukte forkortelser: TS = tv = Tørrstoff

Metode:

N: Elementanalyse, Kjeldahl, SFS-EN-ISO 5983-2:2009
 P, K, Mg, Ca, S, Cu, Mn, Zn, B, Mo, Fe: HNO₃-mikrobølge ekstraksjon, analyse ved ICP-OES, SFS-EN 15510:2017 mod.
 TS: SFS-EN 13040:2008 (tørking ved 105 °C)

Merk:

Testresultatene viser kun analyse av innsendte prøvemateriale. Normtall er hentet fra "Ernährungstörungen bei Kulturpflanzen" av Werner Bergmann dersom ikke annet er oppgitt.

Denne rapporten er kun godkjent med gyldig signatur og kan kun publiseres videre uforandret og i sin helhet.
 Endringer eller uttak av resultater fra rapporten krever godkjenning av EUROFINS i hvert enkelt tilfelle.
 Våre generelle betingelser gjelder hvis annet ikke er avtalt. Generelle betingelser sendes ved forespørsel.

Utførende laboratorium/ Underleverandør:

- a)* Eurofins Viljavuupalvelu (Mikkeli), PL 500, FI-50101, Mikkeli
 a) Eurofins Viljavuupalvelu (Mikkeli), PL 500, FI-50101, Mikkeli SFS EN ISO/IEC 17025:2017 FINAS T096,

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet
 <: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1, <50 e.l. betyr 'ikke påvist'.

For mikrobiologiske analyser oppgis konfidensintervallet. Ytterligere opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.
 Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Kopi til:

Anders Bakke (anders.bakke@nmbu.no)

Moss 30.11.2021



Maria Soledad Armero Rodriguez

ASM/ Kundeveileder

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet
<: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1,<50 e.l. betyr 'ikke påvist'.

For mikrobiologiske analyser oppgis konfidensintervallet. Ytterligere opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.
Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet
 Attn: Sissel Torre
 Universitetstunet 3
 Postboks 5003
 1432 ÅS

AR-21-NF-011391-01

EUNOMO4-00052795

 Analyseperiode: 22.11.2021-30.11.2021
 Referanse: Prosjekt: VOM Prosjekt
 nr:45520100

Merknader prøveserie:

Prosjekt: VOM Prosjekt nr:45520100

Prøvenr.:	542-2021-11220017	Prøvetakingsdato :	07.09.2021
Prøvetype:	Planter	Mottaksdato:	22.11.2021
Prøvemerkning:	36A	Rapporteringsdato:	30.11.2021
Plantenavn:	Vicia Faba		
Plantedel:	Blad		
Vekststadium:	000:Normtall ikke bestilt--		

Analyse	Norm tall	Resultat	Enhet	Evaluering av næringsinnhold				
				Mangel	Lavt	Normal	Høyt	Overskudd
Total nitrogen		5.4	% TS					
Fosfor (P)		0.51	% TS					
Kalium (K)		4	% TS					
Magnesium (Mg)		0.39	% TS					
Kalsium (Ca)		1.4	% TS					
Svovel (S)		0.28	% TS					
Kobber (Cu)		7.2	mg/kg tv					
Mangan (Mn)		150	mg/kg tv					
Bor (B)		26	mg/kg tv					
Sink (Zn)		59	mg/kg tv					
Molybden (Mo)		5.2	mg/kg tv					
Jern (Fe)		180	mg/kg tv					

Brukte forkortelser: TS = tv = Tørrstoff

Metode:

N: Elementanalyse, Kjeldahl, SFS-EN-ISO 5983-2:2009

 P, K, Mg, Ca, S, Cu, Mn, Zn, B, Mo, Fe: HNO₃-mikrobølge ekstraksjon, analyse ved ICP-OES, SFS-EN 15510:2017 mod.

TS: SFS-EN 13040:2008 (tørking ved 105 °C)

Merk:

Testresultatene viser kun analyse av innsendte prøvemateriale. Normtall er hentet fra "Ernährungstörungen bei Kulturpflanzen" av Werner Bergmann dersom ikke annet er oppgitt.

Denne rapporten er kun godkjent med gyldig signatur og kan kun publiseres videre uforandret og i sin helhet.

Endringer eller uttak av resultater fra rapporten krever godkjenning av EUROFINS i hvert enkelt tilfelle.

Våre generelle betingelser gjelder hvis annet ikke er avtalt. Generelle betingelser sendes ved forespørsel.

Utførende laboratorium/ Underleverandør:

a)* Eurofins Viljavuusalvelu (Mikkeli), PL 500, FI-50101, Mikkeli

a) Eurofins Viljavuusalvelu (Mikkeli), PL 500, FI-50101, Mikkeli SFS EN ISO/IEC 17025:2017 FINAS T096,

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen

LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet

<: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1, <50 e.l. betyr 'ikke påvist'.

For mikrobiologiske analyser oppgis konfidensintervallet. Ytterligere opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Kopi til:

Anders Bakke (anders.bakke@nmbu.no)

Moss 30.11.2021-----
Maria Soledad Armero Rodriguez

ASM/ Kundeveileder

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet
<: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1,<50 e.l. betyr 'ikke påvist'.

For mikrobiologiske analyser oppgis konfidensintervallet. Ytterligere opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.
Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway