



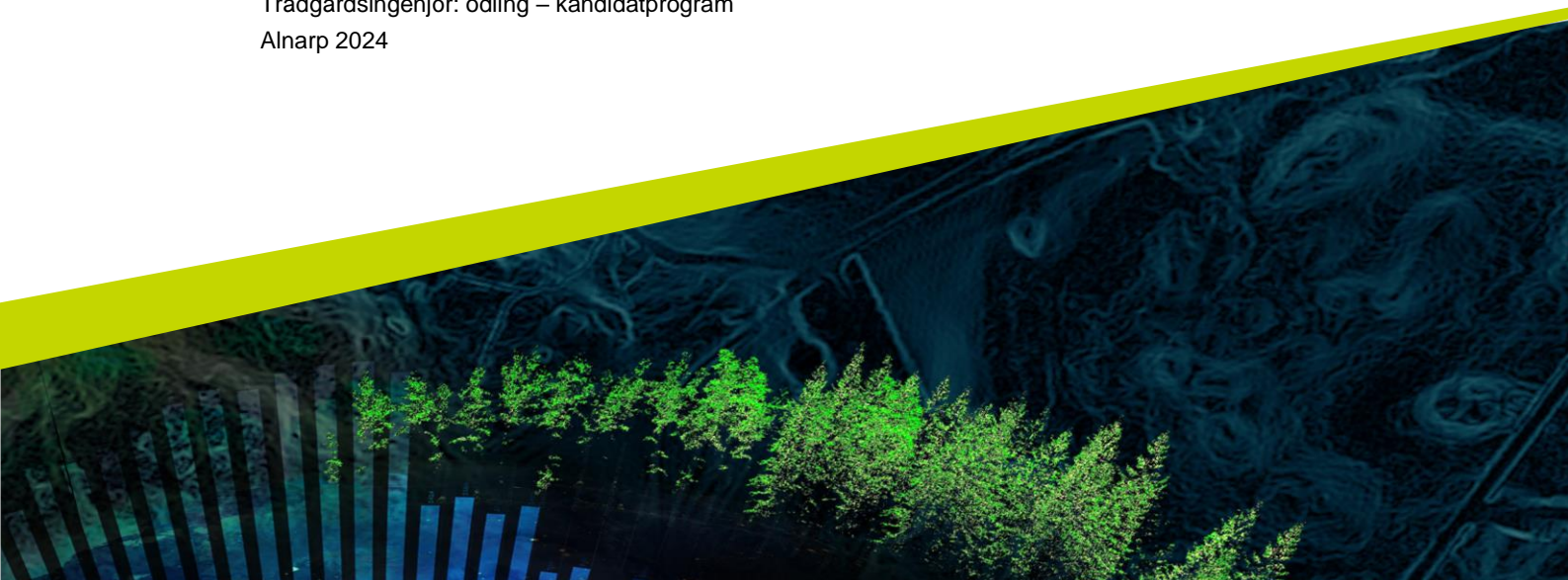
Optimering av näringsinnehåll i mikrogrönsaker

– Teknologiska framsteg inom vertikal odling och växtfabriker

Optimizing nutrient content in Microgreens - Technological advances in vertical farming and plant factories

Carl Jeppsson Brundin

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för landskapsarkitektur,
trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för Biosystem och teknologi
Trädgårdsingenjör: odling – kandidatprogram
Alnarp 2024



Optimering av näringsinnehåll i mikrogrönsaker – Teknologiska framsteg inom vertikal odling och växtfabriker

Optimizing Nutrient Content in Microgreens. Technological Advances in Vertical Farming and Plant Factories

Carl Jeppsson Brundin

Handledare: Anna Karin Rosberg, SLU, institutionen för Biosystem och teknologi
Examinator: Karl-Johan Bergstrand, SLU, institutionen för Biosystem och teknologi.

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i Trädgårdsvetenskap, G2E
Kurskod: EX0844
Program/utbildning: Trädgårdsingenjör: odling – kandidatprogram
Kursansvarig inst.: Institutionen för Biosystem och teknologi
Utgivningsort: Alnarp
Utgivningsår: 2024
Omslagsbild: SLU

Nyckelord: biostimulanter, funktionella livsmedel, karotenoider, mikrogrönsaker, polyfenoler, vertikal odling, växtfabriker.

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsarkitektur,
Trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för Biosystem och teknologi

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

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

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

Sammanfattning

I en värld med en växande befolkning och med klimatförändringar står lantbruket inför utmaningen att säkerställa hållbar matförsörjning och hantera folkhälsoproblem kopplade till näringsbrister. Funktionella livsmedel, som mikrogrönsaker, erbjuder en innovativ lösning genom sitt höga näringsinnehåll och potential att förebygga sjukdomar. Växtfabriker med klimatkontrollerade miljöer möjliggör året-runt-odling och optimerar produktionen av näringsämnen och bioaktiva föreningar, samtidigt som de minskar land- och vattenanvändning jämfört med traditionellt jordbruk. Studier visar att ljusspektrum, ljusintensitet, fotoperiod och näringslösningar kan påverka näringsinnehållet i mikrogrönsaker. Specifikt kan blått- och UV-ljus, liksom användningen av biostimulanter, förbättra tillväxt, näringsinnehåll och öka fenolnivåerna. Trots lovande resultat varierar effekterna beroende på växtart och odlingsförhållanden. Framtida forskning bör fokusera på anpassningar för olika växtarter och odlingsförhållanden för att säkerställa hållbar och näringsrik matproduktion.

Nyckelord: biostimulanter, funktionella livsmedel, karotenoider, mikrogrönsaker, polyfenoler, vertikal odling, växtfabriker.

Abstract

In a world with a growing population and climate change, agriculture faces the challenge of ensuring a sustainable food supply while addressing public health issues related to nutrient deficiencies. Functional foods, such as microgreens, offer an innovative solution due to their high nutrient content and potential for disease prevention. Plant factories with climate-controlled environments enable year-round cultivation and optimize the production of nutrients and bioactive compounds, while reducing land and water use compared to traditional farming. Studies show that light spectrum, light intensity, photoperiod, and nutrient solutions can affect the nutrient content of microgreens. Specifically, blue and UV light, as well as the use of biostimulants, can improve growth, nutrient profiles, and increase phenol levels. Despite promising results, effects vary depending on plant species and growing conditions. Future research should focus on adaptations for different plant species and growing conditions to ensure sustainable and nutritious food production.

Keywords: biostimulants, carotenoids, functional foods, microgreens, plant factories, polyphenols, vertical farming.

Innehållsförteckning

Figurförteckning	9
Förkortningar	10
1. Inledning	11
2. Syfte	12
2.1. Frågeställningar.....	12
3. Bakgrund	13
3.1. Dieten & folkhälsan.....	13
3.2. Teknik.....	14
3.2.1. Belysning.....	15
3.2.2. Bevattning.....	16
3.2.3. Biostimulanter.....	17
3.3. Reaktiva syreföreningar.....	17
3.3.1. Polyfenoler.....	18
3.3.2. Karotenoider.....	18
4. Metod och material	20
4.1. Sökmotorer.....	20
4.2. Sökord.....	20
4.3. Avgränsningar.....	20
5. Resultat	21
5.1. Belysning.....	21
5.1.1. Ljusspektra.....	21
5.1.2. Ljusintensitet & Fotoperiod.....	21
5.2. Bevattning.....	22
5.3. Biostimulanter.....	23
5.4. Sammanfattande tabell av resultaten.....	25
6. Diskussion	29
6.1. Belysning.....	29
6.2. Bevattning.....	30
6.3. Biostimulanter.....	30

6.4. Övriga iakttagelser.....	31
7. Slutsatser	32
Referenser.....	33
Tack	39

Figurförteckning

Figur 1. Möjliga klimatstyrningsfaktorer.....	15
Figur 2. DWC-system (Aqua Mechanical 2016) (CC BY 2.0).	16
Figur 3. NFT-system (Keres 2018) (CC0 1.0).....	16

Förkortningar

DWC	Deep Water Culture (djupvattenkultur)
LED	Light Emitting Diode (ljusemitterande diod)
NFT	Nutrient Film Technique (näringfilms teknik)
PAL	Phenylalanine Ammonia Lyase (fenylalanin-ammoniak-lyas)
PFAL	Plant Factory with Artificial Lighting (växtfabrik med artificiell belysning)
ROS	Reactive Oxygen Species (reaktiva syreföreningar)
UV	Ultraviolet

1. Inledning

I en värld där befolkningen förväntas nå 10 miljarder år 2050, står lantbruket inför den dubbla utmaningen att säkra en hållbar matförsörjning och hantera klimatförändringarnas negativa effekter på odling (Koevoets et al. 2016). Samtidigt förvärras folkhälsan av näringsbrister kopplade till ohälsosamma matvanor (Gropper 2023). Mot denna bakgrund framträder funktionella livsmedel som en nyckelkomponent i strävan efter att främja hälsa och förebygga sjukdomar. Bland dessa funktionella livsmedel sticker mikrogrönsaker ut som en lovande kategori, kända för sina höga nivåer av näringsämnen och bioaktiva föreningar och erbjuder en innovativ lösning för nutida lantbruksutmaningar (Xiao et al. 2012; Brazaityté et al. 2015a).

En viktig del av framtidens lantbruksinnovationer är utvecklingen av växtfabriker som möjliggör klimatkontrollerad odling. Dessa högteknologiska miljöer tillåter en noggrann kontroll av ljus, temperatur och luftfuktighet, vilket optimerar växttillväxt och kan förbättra bildandet av vitala näringsämnen och bioaktiva föreningar i mikrogrönsaker (Kozai & Niu 2020). Genom att använda avancerade LED-belysningssystem kan producenter specifikt anpassa ljusspektrum och intensitet för att främja bildandet av antioxidanter som polyfenoler och karotenoider, vilka är avgörande för både växters och människors hälsa (Rouphael et al. 2018; Kiokias et al. 2016). Dessutom stödjer växtfabriker en året-runt-produktion, vilket bryter beroendet av säsongsmässiga väderförhållanden och globala klimatvariationer. Växtfabriker reducerar också markanvändningen och vattenförbrukningen jämfört med traditionellt jordbruk, vilket gör dem till en hållbar lösning för framtida matproduktion (Debangshi 2021). Forskning visar att mikrogrönsaker odlade under kontrollerade förhållanden innehåller högre nivåer av näringsämnen, vilket understryker växtfabrikernas potential att bidra till en näringsrik kost och bekämpa näringsrelaterade sjukdomar (Flores et al. 2024).

Med tekniska framsteg och en ökad förståelse för växtbiologi, fortsätter potentialen hos växtfabriker att expandera, vilket möjliggör nya innovationer för att möta både dagens och morgondagens utmaningar inom livsmedelsproduktion och folkhälsa.

2. Syfte

Syftet med denna litteraturstudie är att utforska hur tekniska framsteg inom området för vertikal odling och växtfabriker kan öka innehållet av funktionella ämnen, främst fenol- och karotenoidinnehållet i mikrogrönsaker. Genom att undersöka effekterna av olika parametrar inom klimatstyrning på mikrogrönsakernas näringsprofil, söker det här arbetet att identifiera specifika tekniker som förstärker mikrogrönsakers hälsofrämjande egenskaper. Denna forskning är relevant inte bara för att förbättra folkhälsan genom mer näringsrika matalternativ utan också för att ta itu med de ekonomiska utmaningarna som är förknippade med vertikal odling.

2.1. Frågeställningar

1. Hur kan odlingsteknik öka innehållet av funktionella ämnen, med fokus på polyfenoler eller fenoler och karotenoider hos mikrogrönsaker?
2. Finns det gemensamma tekniker för olika växtarter som förhöjer fenol- eller karotenoidnivåerna?

3. Bakgrund

En huvudutmaning för dagens lantbruk är att säkra matförsörjning för en växande världsbefolkning, som beräknas uppgå till 10 miljarder människor år 2050. Samtidigt måste grönsaksproducenter hantera de mindre gynnsamma förhållanden för odling som orsakas av betydande klimatförändringar (Koevoets et al. 2016). Risken att drabbas av kroniska sjukdomar förvärras av näringsbristerna i den moderna västerländska kosten och ohälsosamma matvanor (Gropper 2023). Mot denna bakgrund framträder funktionella livsmedel, livsmedel som har hälsofrämjande eller sjukdomsförebyggande egenskaper utöver deras grundläggande näringsvärde, en nyckelkomponent för att ta itu med dessa hälsoutmaningar. Dessa livsmedel, bland vilka mikrogrönsaker representerar en lovande och ny kategori, har potential att revolutionera vårt matintag genom att erbjuda koncentrerade källor av vitala näringsämnen och bioaktiva föreningar.

Mikrogrönsaker, unga grönsaksblad som skördas innan deras första riktiga blad utvecklas, innehåller högre koncentrationer av vitaminer, mineraler och bioaktiva föreningar jämfört med deras mogna motsvarigheter. Deras höga näringsvärde, tillsammans med deras estetik och smakkvaliteter, klassificerar dem som funktionella livsmedel (Xiao et al. 2012; Brazaityté et al. 2015a). Dessa mikrogrönsaker har visat sig vara fördelaktiga för att förebygga degenerativa sjukdomar på grund av deras höga nivåer av pigment, polyfenoler och antioxidanter.

3.1. Dieten & folkhälsan

Dagens livsmedelskonsumtion är en stor orsak till ohälsa i Sverige (Folkhälsomyndigheten 2024). År 2019 var de främsta riskfaktorerna kopplade till matvanor överkonsumtion av energi, lågt intag av fullkorn och baljväxter, samt högt intag av rött kött, charkprodukter och salt. Detta ökar risken för sjukdomar som fetma, diabetes typ 2, hjärt-kärlsjukdomar, stroke, olika cancerformer, demens och depression. I Sverige lever över 2 miljoner personer med hjärt- och

kärlsjukdomar (Hjärt-Lungfoden uå). Varje år dör cirka 30 000 svenskar av dessa sjukdomar, vilket gör dem till den vanligaste dödsorsaken i landet. Många som får stroke, hjärtinfarkt eller plötsligt hjärtstopp är mellan 20 och 69 år, vilket betyder att en betydande del av de drabbade är i arbetsför ålder.

Sveriges nuvarande livsmedelskonsumtion är inte hållbar för miljön och klimatet (Folkhälsomyndigheten 2024). Den behöver anpassas för att bättre ta hänsyn till miljöpåverkan, både nationellt och globalt. Det är viktigt att konsumtionen täcker befolkningens behov samtidigt som den uppfyller miljömål och generationsmål. Livsmedelsproduktion och konsumtion påverkar varandra ömsesidigt, med största miljöpåverkan i produktionsprocesserna. En hållbar konsumtion skulle innebära minskad konsumtion av kött och animaliska produkter till förmån för mer växtbaserad mat.

3.2. Teknik

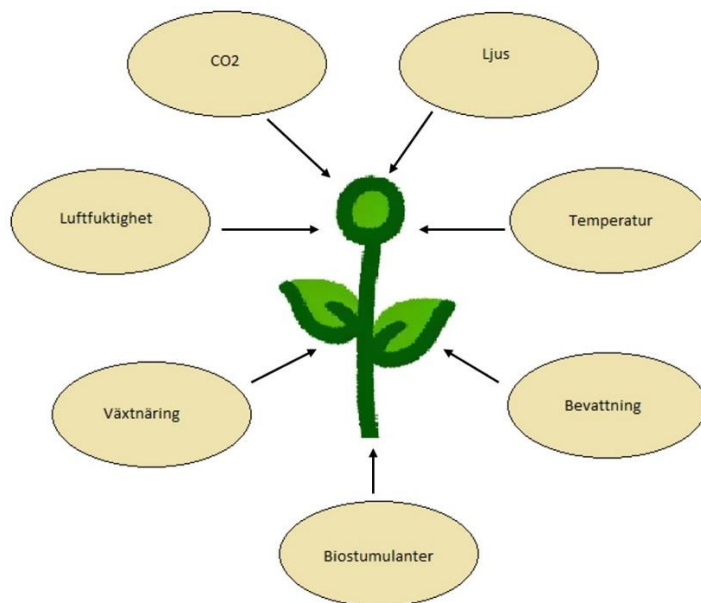
Livsmedelsförsörjning är ett globalt problem som kräver innovativa lösningar för att möta den ökande efterfrågan på färska och hälsofrämjande livsmedel i urbana områden (Kozai & Niu 2020). Denna efterfråga har lett till en ökning av stadsodling, särskilt genom användning av växtfabriker och vertikal odling (Kozai & Niu 2020). Växtfabriker med artificiell belysning (PFAL, plant factory with artificial lighting) erbjuder en effektiv metod för att producera högkvalitativ mat med minimal resursanvändning och miljöpåverkan.

En stor fördel med växtfabriker är deras betydligt högre produktivitet jämfört med traditionellt jordbruk (Kozai & Niu 2020). PFALs kan producera cirka 100 gånger mer än öppna fält och 15 gånger mer än växthus. Detta uppnås genom odling på höjden snarare än bredden tillsammans med noggrann klimatkontroll vilket optimerar resursanvändningen och minimerar resursutnyttjandet. Markanvändningen i växtfabriker är också mycket effektivare; de kräver bara cirka 1 % av den markyta som behövs för öppna fält och 10 % av den som behövs för växthus för att producera samma mängd grönsaker.

Växtfabriker möjliggör året-runt-odling av mikrogrönsaker, oberoende av yttre miljöförhållanden (Kozai & Niu 2020). Genom att kontrollera ljus, temperatur, koldioxidhalt, bevattning, luftfuktighet, näringstillförsel och applicering av biostimulanter i ett slutet system är det möjligt att påverka fotosyntesen för optimal avkastning (se figur 1). Denna precisa kontroll av miljöfaktorer gör det möjligt att producera mat av hög kvalitet kontinuerligt.

Trots höga initiala kostnader för att bygga en växtfabrik kan den höga produktiviteten och effektiviteten göra dem ekonomiskt hållbara på lång sikt (Kozai & Niu 2020). Avancerad teknik kan minska energikostnader och automatisering kan effektivisera produktionen vilket minskar arbetskostnader. Dessutom erbjuder växtfabriker möjlighet till lokal livsmedelsproduktion vilket minskar transportkostnader och koldioxidutsläpp och främjar lokal ekonomisk tillväxt genom skapandet av arbetstillfällen.

Växtfabriker kan integreras med andra biologiska system för att ytterligare minska avfall och effektivt använda resurser (Kozai & Niu 2020). Behovet av vattenbesparande odlingssystem ökar i områden med färskvattenbrist och PFALs erbjuder en lösning genom att kräva mycket mindre vatten än traditionella odlingsmetoder. I följande avsnitt och studien som helhet kommer fokus vara belysning, bevattning och biostimulanter.



Figur 1. Möjliga klimatstyrningsfaktorer.

3.2.1. Belysning

Växtfabriker, där odling sker ”lager på lager” under artificiellt ljus, står inför utmaningen att balansera hög produktion med energieffektivitet och kostnadseffektivitet, där LED-belysning är en betydande driftskostnad (Kozai 2018). Tekniska framsteg, såsom förbättrade belysningssystem och klimatkontrollstrategier, spelar en avgörande roll för att övervinna dessa utmaningar. Användningen av LED-teknologi erbjuder möjligheter att exakt kontrollera ljusintensitet och spektralkvalitet, vilket är kritiskt för att främja

fotosyntes och optimera tillväxt samt för att öka biosyntesen av sekundära metaboliter i växter (Rouphael et al. 2018). Dessa tekniker tillåter inte bara ett högre näringsinnehåll i de odlade mikrogrönsakerna utan också en mer hållbar och energieffektiv produktion. Tillväxt och skördeutbyte för mikrogrönsaker är sortberoende och de reagerar olika beroende på ljuskvalitet (Bantis 2021; Flores et al. 2024). Enligt Lu & Shimamura (2018) bör den spektrala distributionen för odling i växtfabriker vara 5–30 % blått ljus och 70–95 % rött ljus eller ett jämnt fördelat vitt ljus för optimal tillväxt. Fotoperiod mellan 10–18 timmar och för mikrogrönsaker en ljusintensitet $<100 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ rekommenderas för att hålla elkostnaderna nere.

3.2.2. Bevattning

Odling i vertikala system görs i form av hydroponiska system. I hydroponiska system ersätts jord med ett substrat och en näringslösning tillförs direkt till växterna, vilket tillgodoser dem nödvändiga näringsämnen för tillväxt (Debangshi 2021). Det finns flera olika metoder för att odla hydroponiskt, exempelvis substratodling, näringsfilms teknik (NFT, nutrient film technique, se figur 1) eller djupvattenkultur (DWC, deep water culture, se figur 2). Detta gör det möjligt att precist kontrollera tillförseln av växtnäringsämnen samt tillväxtfrämjande medel, vilket i sin tur kan påverka nivåerna av bioaktiva ämnen i slutprodukten (Borgognone et al. 2016; Lucini et al. 2016).



Figur 3. NFT-system (Keres 2018) ([CC0 1.0](#)).



Figur 2. DWC-system (Aqua Mechanical 2016) ([CC BY 2.0](#)).

3.2.3. Biostimulanter

Biostimulanter är ämnen eller mikroorganismer som appliceras på växter för att förbättra deras näringsmässiga effektivitet, stresstolerans eller grödans kvalitetsegenskaper, utan att nödvändigtvis tillföra näringsämnen (Kauffman et al. 2007). Denna breda kategori inkluderar både naturliga och syntetiska föreningar samt olika mikroorganismer. De primära typerna av biostimulanter som identifierats är huminsubstanser, som är naturliga komponenter i markens organiska material, såsom humus- och fulvosyror, vilka förbättrar växttillväxt genom interaktion med jorden och förbättrad näringsupptagning (du Jardin 2012). De kan användas på olika sätt, bland annat genom att direkt appliceras på jorden, sprutas på växternas blad eller tillförs i samband med bevattning. Hydrolyserade proteiner, härledda från växt- och djurrester, påverkar näringsupptaget och visar även antioxidantegenskaper (Calvo et al. 2014). Extrakt från exempelvis sjögräs innehåller tillväxtfrämjande hormoner, näringsämnen och andra bioaktiva föreningar (Craigie 2011). Chitosan och andra biopolymerer, som härstammar från kitin, används för deras effekter på växters stressrespons och sjukdomsresistens (El Hadrami et al. 2010). Oorganiska föreningar inkluderar element som kisel och selen som kan förstärka växters stressrespons och tillväxt (Pilon-Smits et al. 2009). Fördelaktiga mikroorganismer inkluderar svampar och bakterier som etablerar symbiotiska relationer med växter för att förbättra näringsabsorption och stresstolerans (Berg et al. 2014). Dessa biostimulanter fungerar genom olika verkningsmekanismer, inklusive mobilisering av näringsämnen, modulering av tillväxtregulatorer för växter, förstärkning av stressresistens och förbättring av växt-mikrobinteraktioner. Att studera en enskild molekyl i en biostimulant kan ge opålitliga resultat på grund av att olika ämnen verkar tillsammans inom växten (Bulgari et al. 2015). De mekanismer som aktiveras av biostimulanter är svåra att identifiera och är fortfarande ett område som det forskars kring (Guinan et al. 2013). I stället bör biostimulanter klassificeras utifrån den fysiologiska responsen hos växten snarare än utifrån deras sammansättning. De är distinkt skilda från gödningsmedel och bekämpningsmedel och är en del av en växande sektor som drivs av strävan efter hållbart jordbruk. Trots deras varierande tillämpningar och fördelar är den regulatoriska statusen för biostimulanter komplex (du Jardin 2015).

3.3. Reaktiva syreföreningar

Reaktiva syreföreningar (ROS, reactive oxygen species), som innefattar bland annat väteperoxid (H_2O_2), superoxidradikal ($O_2^{\bullet-}$), hydroxylradikal (OH^{\bullet}) och singlettsyre (1O_2), genereras kontinuerligt i växtcellernas olika organeller som

kloroplaster, mitokondrier och peroxisomer (Halliwell 2006). ROS kan orsaka omfattande skador på proteiner, DNA och lipider, vilket påverkar cellens normala funktioner (Apel & Hirt 2004). Antioxidantmekanismen i växter som utsätts för stressfaktorer innefattar både enzymatiska och icke-enzymatiska komponenter. Bland de viktigaste icke-enzymatiska antioxidanterna finns bland annat karotenoider och fenoler, vilka spelar en stor roll i att skydda celler mot oxidativ stress genom att neutralisera ROS och upprätthålla redoxbalansen (Gill & Tuteja 2010). Vid normala förhållanden orsakar ROS inga skador eftersom de neutraliseras av olika antioxidantmekanismer (Foyer & Noctor 2005). Redoxbalansen mellan ROS-generering och ROS-borttagning kan dock rubbas av olika stressfaktorer, däribland hög strålning (Miller et al. 2010).

3.3.1. Polyfenoler

Polyfenoler representerar en klass av sekundära metaboliter som är utbredda i växtriket, med över 8000 identifierade strukturer såsom fenolsyror, flavonoider och tanniner (Dai & Mumper 2010). Dessa föreningar, som förekommer i riklig mängd i bland annat frukter och drycker som rödvin och te, är avgörande för växternas försvarsmekanismer mot ultraviolett strålning och patogena angrepp, samt bidrar till livsmedlens smak, färg och antioxidativa egenskaper (Beckman 2000; Scalbert et al. 2005). Forskning har understrukit vikten av polyfenoler för människors hälsa, särskilt deras roll i att förebygga cancer samt hjärt- och kärlsjukdomar, genom deras förmåga att neutralisera fria radikaler (Arts & Hollman 2005; Graf et al. 2005). Denna insikt bygger på epidemiologiska studier som visar att en kost rik på dessa växtbaserade föreningar kan erbjuda ett visst skydd mot utvecklingen av flera allvarliga sjukdomar. Till exempel kan betalainer (en typ av fenol) som finns i rödbetsskott eliminera fria radikaler, därigenom minskas risken för cancer och hjärt-kärlsjukdomar (Gengatharan et al. 2015; Rocchetti et al. 2020). En studie av Gutierrez-Grijalva et al. (2016) påvisade positiva hälsoeffekter av 650 mg polyfenoler per dag. En annan studie pekar på ett intag inom ett spann mellan 500-1500 mg/dag (Scalbert & Williamson 2000). Jämförelsevis innehåller jordgubbar 235 mg polyfenoler per 100 gram, äpple 136 mg / 100 g och spenat 119 mg / 100 g (Gotter 2017).

3.3.2. Karotenoider

Karotenoider är en mångsidig grupp naturliga pigment som finns i växt- och djurriket, kända inte bara för sina livfulla färger utan också för sina betydande hälsofördelar (Kiokias et al. 2016). Dessa föreningar, som inte kan syntetiseras av människor och måste erhållas genom kosten, är avgörande för att förebygga en rad sjukdomar och upprätthålla god hälsa (Rao & Rao 2007). Karotenoider som β -

karoten, lykopen och lutein är särskilt kända för sina antioxidantegenskaper, som skyddar celler från skador orsakade av fria radikaler. Detta är avgörande för att minska risken för kroniska sjukdomar inklusive vissa cancerformer, hjärt-kärlsjukdomar och åldersrelaterade degenerativa tillstånd.

4. Metod och material

4.1. Sökmotorer

Detta arbete är en litteraturöversikt om tekniska framsteg som förändrar näringsinnehållet hos mikrogrönsaker. För att hitta relevant information inom ämnet har databaserna Google scholar, Google, Web of science och Scopus använts.

4.2. Sökord

Phenols, polyphenols, carotenoids, nutrient deficiency, nutrient abundance, microgreens, light quality, light spectra, light intensity, biostimulants, functional foods, hydroponic, vertical farming, increased, decreased, nutrients, secondary metabolites.

4.3. Avgränsningar

Funktionell mat som grupp innehåller många olika ämnen. På grund av begränsningar i arbetets storlek, har informationssökandet begränsats till fenol- och karotenoidgrupperna eftersom de har stor inverkan på hälsan. Även klimatstyrningsfaktorer som temperatur och luftfuktighet tas inte upp i den här studien på grund av att studier på ämnet var knapphändiga. Endast artiklar som berör mikrogrönsaker har undersökts.

5. Resultat

5.1. Belysning

5.1.1. Ljusspektra

Flera vetenskapliga studier har adresserat hur ljusbehandling påverkar mikrogrönsaker, med specifikt fokus på relationen mellan kortvågsbelysning och förhöjda nivåer av polyfenoler och fenoler. En betydande studie av Truzzi et al. (2021) undersökte hur olika ljusförhållanden påverkade ackumuleringen av sekundära metaboliter i olika typer av mikrogrönsaker. Resultaten visade att mikrogrönsaker belysta med LED-lampor, särskilt vid toppar i de blåa spektra, uppvisade markant högre halter av polyfenoler jämfört med de som belystes med fluorescerande ljus. Denna observation var tydligast hos rädisan 'Red Rambo' (*Raphanus sativus*). Liknande resultat rapporterades av Lee et al. (2023), där det noterades att blått ljus vid 450 nm signifikant ökade fenolnivåerna av kålskott (*Brassica oleracea*). Denna studie fann däremot att de högsta nivåerna av karotenoider uppnåddes under vitt ljus. Vidare utforskade Zhang et al. (2019) effekterna av olika ljusvåglängder på sojabönskott och fann att ultraviolett ljus var mest effektivt för att höja fenolhalten, tätt följt av blått ljus.

5.1.2. Ljusintensitet & Fotoperiod

Liu et al. (2022) utförde en omfattande studie där de undersökte effekterna av både ljusintensitet och fotoperioder på två olika typer av kål (*Brassica oleracea*) och kinesisk kål (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*). De testade ljusintensiteter på 30, 50, 70 och 90 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ under belysning med röd/grön/blå LED för att mäta inverkan på polyfenol- och karotenoidnivåerna, samt växters färskvikt. För kinesisk kål observerades en signifikant ökning i totalt polyfenolinnehåll när ljusintensiteten ökades från 30 till 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ och från 70 till 90 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Detta gällde även för karotenoidnivåerna, där signifikanta ökningar noterades för intensiteter över 70 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Den optimala färskvikten för både kinesisk kål och huvudkål

uppnåddes vid ljusintensiteter mellan 50 och 70 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Studien undersökte även fem olika fotoperioder—12, 14, 16, 18, och 20 timmar. För huvudkål ledde en 16-timmars fotoperiod till signifikant högre polyfenolnivåer jämfört med de andra testade perioderna. Däremot visade resultaten ingen signifikant skillnad i polyfenolnivåer mellan de olika fotoperioderna för kinesisk kål. Kumar et al. (2023) fann också att längre ljusperioder ökade polyfenolhalterna. Specifikt visade deras studie att två av tre baljväxtsorter utsatta för en 22-timmars fotoperiod i stället för 16-timmar hade de högsta nivåerna av polyfenoler.

Brazaityté et al. (2015a) resultat visade i stället på att en ökad intensitet av kompletterande UV-A ljus (ultraviolett ljus, 315–400 nm) bidrar till ett ökat fenol-innehåll. I deras forskning undersöktes tre olika arter av mikrogrönsaker, basilika (*Ocimum basilicum*), rödbeta (*Beta vulgaris*), och pak choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*). I deras försök ingick två olika ljusintensiteter samt tre olika våglängder. Deras forskningsresultat indikerade att kompletterande ultraviolett strålning (366 nm, 390 nm och 402 nm) effekt på fenolinnehållet i mikrogrönsaker var beroende av både art och ljusintensitet. Specifikt observerades en signifikant ökning av det totala fenolinnehållet vid högre UV-A-intensitet, dock varierade denna ökning mellan olika arter. Basilika och pak choi visade signifikanta ökningar av polyfenolnivåer när de belystes med UV-A (366 nm), medan rödbeta visade tydligare ökningar av polyfenoler vid högre intensitetsnivåer av 390 och särskilt 402 nm UV-A. För basilika var ökningen av polyfenoler vid 366 nm märkbar endast vid högre intensitet (12,4 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), och det fanns också en effekt vid högre intensitet för 390 nm och 402 nm, även om inga signifikanta ökningar noterades vid den lägre intensiteten (6,2 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). För rödbeta observerades ingen signifikant effekt på polyfenoler vid en lägre intensitet (366 nm) men en ökning skedde vid högre intensitet, och en ännu starkare effekt noterades vid 402 nm. Pak choi uppvisade signifikanta ökningar av polyfenoler vid både lägre och högre intensitetsnivåer under 366 nm.

I ett försök av Hernández-Adasme et al. (2023) undersökte författarna fotoperiod och intensitet hos mikrogrönsaker av rödbeta. De upptäckte ingen signifikant skillnad av fenolinnehållet när ljusintensiteten var 120, 160 eller 220 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Däremot uppträdde en betydande ökning av det totala fenolinnehållet (46 %) när fotoperioden ökade från 12 till 16 timmar.

5.2. Bevattning

Vattenkvaliteten och näringsämnesbalansen i odlingsmedierna har också visat sig påverka mikrogrönsakers tillväxt och biokemiska egenskaper. El-Nakhel et al.

(2021) utförde en studie där rucola (*Diplotaxis tenuifolia*), kål (*Brassica oleracea* var. *capitata*) och brysselkål odlades antingen med destillerat vatten eller en kvartsstyrka Hoagland näringslösning. Det framkom att odlingsförhållanden utan näringsämnen, såsom de med endast destillerat vatten, hade en betydande påverkan på färskvikt och biokemisk sammansättning. Exempelvis uppvisade rucola, endast bevattnad med destillerat vatten minskad tillväxt men en ökning i sekundära metaboliter såsom karotenoider (lutein och β -karoten). Resultaten för polyfenoler och andra fenoliska föreningar var dock blandade, där vissa fenoliska syror och totala polyfenolnivåer ökade i rucola odlad utan näringslösning, vilket inte observerades för övriga kålsorter.

I motsats till detta fann Petropoulos et al. (2021) att en gradvis ökning av näringslösningens tillförsel (0, 5, 10 och 20 dagars behandling) under kontrollerade förhållanden med Hoagland-lösning ledde till stegvis ökade nivåer av polyfenoler i spenatsorten 'Palco'. Färskvikten ökade linjärt med antalet dagar med näringslösning. Under 20 dagars behandling med näringslösning uppnådde spenaten de högsta polyfenolnivåerna (8021 μg per 100 g färskvikt jämfört med kontrollgruppen 6323 μg per 100 g färskvikt), även om dessa inte var statistiskt skilda från 10-dagars behandlingen (7528 μg per 100 g färskvikt). Detta indikerar att en ökad näringsmängd upp till en viss punkt kan förbättra fenolinnehållet, men ytterligare öknings ger inte nödvändigtvis proportionella förbättringar.

5.3. Biostimulanter

I en rapport av Ciriello et al. (2024) undersöktes effekten av biostimulanter på fenolinnehållet i två typer av mikrogrönsaker: Japansk spenat (*Brassica rapa* var. *perviridis*) och mibuna (*Brassica rapa* var. *japonica*). Studien använde tre primingmedel (besprutades): ett kommersiellt proteinhydrolysat utvunnit ur baljväxter (A250), ett nytt proteinhydrolysat med ursprung från jordnötter (H250) och hydropriming med vatten (H_2O). Dessa jämfördes med en obehandlad kontroll. Resultaten visade att behandling med biostimulanter, särskilt med det nya hydrolysatet från jordnötter (H250), signifikant ökade fenolinnehållet i båda typerna av mikrogrönsaker. Specifikt ökade H250-behandlingen den totala koncentrationen av fenolinnehållet i både komatsuna och mibuna. Studien drog slutsatsen att växtbaserade biostimulanter som används som primingmedel kunde förbättra antioxidantkapaciteten, näringsinnehållet och nivåerna av fenolföreningar i mikrogrönsaker.

I en liknande studie av Toscano et al. (2023) undersöktes effekterna av olika biostimulanter hos mikrogrönsaker av majrova och rädisa. Biostimulanterna in-

kluderade TRAINER® (Bio-1), AQUAMIN® (Bio-2) och ett bladextrakt från moringa (*Moringa oleifera*) (Bio-3), destillerat vatten var kontroll. Dessa biostimulanter varierar i sin sammansättning och ursprung, Bio-1 och Bio-2 baserade på hydrolyserade (nedbrutna) proteiner av baljväxter. Resultaten visade en signifikant ökning av det totala fenolinnehållet i rädisa, med en ökning på 19 % jämfört med kontrollen, vilket indikerar en främjande effekt av biostimulanterna på fenolhalterna i dessa mikrogrönsaker. Betydande stimulans av antioxidantaktiviteten noterades också med Bio-1 i majrova och med Bio-2 och Bio-3 i rädisa. När det gäller karotenoiderna noterades en positiv effekt av Bio-3 på karotenoidhalten i rädisa, med en ökning på 35 % jämfört med kontrollen. Studiens författare tillskriver ökningen av fenoler och karotenoider främst till de bioaktiva föreningarna som finns i biostimulanterna. Författarna menar att dessa föreningar sannolikt stimulerar växtens metaboliska processer, vilket förbättrar syntesen av dessa antioxidanter. Till exempel innehåller moringaextraktet olika tillväxtfrämjande växthormoner och näringsämnen som kan bidra till ökad metabolisk aktivitet och följaktligen högre antioxidantinnehåll.

5.4. Sammanfattande tabell av resultaten

Tabell 1. Resultat i undersökta studier. Beskrivning, icke signifikant (NS, eng. not significant), IU (inga uppgifter), signifikant ökning gentemot kontroll i storleksordning (+, ++ och +++), signifikant minskning gentemot kontroll i storleksordning (-, --, ---).

Faktor	Art	Behandling	Kontroll	Färskvikt	Polyfenoler	Karotenoider	Referens
Ljusspektra	Ärta (<i>Pisum sativum</i>)	LED med våglängdstopp 450–475 nm	Fluorescerande belysning, vitt ljus	NS	+	---	Truzzi et al. (2021)
	Rädisa (<i>Raphanus sativus</i>)			NS	+	+	
	Rädisa 'Red Rambo' (<i>Raphanus sativus</i>)			NS	++	++	
	Sojaböna (<i>Glycine max</i>)			NS	+	-	
	Senapskål (<i>Eruca vesicaria ssp. sativa</i>)			NS	+	NS	
	Grönkål (<i>Brassica oleracea var. acephala</i>)	LED Blått ljus (450 nm)	LED Vitt ljus (450–660 nm)	IU	+	-	Lee et al. (2023)
	Sojaböna 'Dongnong 690' (<i>Glycine max</i>)	LED UV-A (380 nm)	LED Vitt ljus	-	++	IU	Zhang et al. (2019)
	LED Blått ljus (450 nm)	NS		+	IU		
Fotoperiod	Kål 'Huafeng Zhonggan 11' (<i>Brassica oleracea</i>)	Fotoperiod (14 timmar)	Fotoperiod (12 timmar)	+	NS	++	Liu et al. (2022)
		Fotoperiod (16 timmar)		NS	+	++	
		Fotoperiod (18 timmar)		NS	NS	+	
		Fotoperiod (20 timmar)		+	-	+	

Fotoperiod	Kinesisk kål 'Sijicutai' (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>alboglabra</i>)	Fotoperiod (14 timmar)	Fotoperiod (12 timmar)	++	NS	+	Liu et al. (2022)
		Fotoperiod (16 timmar)		+	NS	++	
		Fotoperiod (18 timmar)		---	NS	+	
		Fotoperiod (20 timmar)		--	NS	++	
	Rödbeta (<i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>vulgaris</i>)	Fotoperiod (16 timmar)		-	+	IU	
Ljusintensitet	Kål 'Huafeng Zhonggan 11' (<i>Brassica oleracea</i>)	R/G/B-LED 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	R/G/B-LED 30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	++	+	+	Liu et al. (2022)
		R/G/B-LED 70 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		+	+	+	
		R/G/B-LED 90 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		-	+	+	
	Kinesisk kål 'Sijicutai' (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>alboglabra</i>)	R/G/B-LED 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		+	+	NS	
		R/G/B-LED 70 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		++	+	+	
		R/G/B-LED 90 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		NS	++	+	

Ljusintensitet	Basilika 'Sweet Genovese' (<i>Ocimum basilicum</i>)	+ 366 nm 12.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	Blå/röd LED 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	NS	+	IU	Brazaitytė et al. (2015a)
		+ 390 nm 12.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		NS	+	IU	
		+ 402 nm 12.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		NS	+	IU	
	Rödbeta 'Bulls Blood' (<i>Beta vulgaris</i>)	+ 366 nm 12.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		NS	NS	IU	
		+ 390 nm 12.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		NS	-	IU	
		+ 402 nm 12.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		NS	+	IU	
	Röd pak choi 'Rubi' (<i>Brassica rapa var. chinensis</i>)	+ 366 nm 12.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		NS	+	IU	
		+ 390 nm 12.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		NS	NS	IU	
		+ 402 nm 12.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		NS	NS	IU	

Bevatning	Italiensk rucola 'Wild Rocket Napoli' (<i>Diplotaxis tenuifolia</i>)	1/4 Hoagland Näringslösning	Destillerat vat- ten	+	+	--	El-Nakhel et al. (2021)
	Kål 'Copenhagen' (<i>Brassica oleracea var. capitata</i>)			+	NS	+	
	Brysselkål 'Mezzo Nano' (<i>Brassica oleracea var. gemmifera</i>)			+	NS	+	
	Spenat 'Palco' (<i>Spinacia oleracea</i>)	Näringslösning 5 dagar	Näringslösning 0 dagar	+	+	NS	Petropoulos et al. (2021)
Näringslösning 10 dagar		++		++	+		
Näringslösning 20 dagar		+++		++	++		
Biostimulanter	Komatsuna (<i>Brassica rapa var. perviridis</i>)	Proteinhydrolysat (ursp. baljväxter)	Ingen behand- ling	NS	+	+	Cirello et al. (2024)
		Proteinhydrolysat (ursp. baljväxter)		NS	+	+	
	Mibuna (<i>Brassica rapa var. japonica</i>)	Proteinhydrolysat (ursp. jordnötter)		NS	++	-	
		Proteinhydrolysat (ursp. jordnötter)		NS	+++	-	
	Majrova (<i>Brassica rapa ssp. oleifera</i>)	TRAINER® (ursp. Baljväxter)	Destillerat vat- ten	NS	+	NS	Toscano et al. (2023)
		AQUAMIN® (ursp. Baljväxter)		-	+	NS	
		Extrakt av <i>Moringa oleifera</i>		NS	NS	NS	
	Rädisa (<i>Raphanus sativus</i>)	TRAINER® (ursp. Baljväxter)		+++	+	+	
		AQUAMIN® (ursp. Baljväxter)		++	++	+	
		Extrakt av <i>Moringa oleifera</i>		++	++	++	

6. Diskussion

Resultaten från denna litteraturstudie belyser hur tekniska framsteg inom vertikal odling och växtfabriker kan påverka näringsinnehållet i mikrogrönsaker, med särskilt fokus på polyfenoler och karotenoider. Övergripande visar studierna att odlingsförhållanden, såsom ljusspektrum, ljusintensitet, fotoperiod och näringslösningar, kan påverka näringsinnehållet hos mikrogrönsaker betydligt. Dock är effekterna inte enhetliga och varierar beroende på växtart och specifika odlingsparametrar.

6.1. Belysning

Ljusspektrum och ljusintensitet är kritiska faktorer som påverkar bildandet av näringsämnen i mikrogrönsaker. Belysning i det blå spektrumet och tillskottsbelysning av UV-ljus har visat sig främja fenolproduktionen i flera växtarter, men responsen kan variera. Effekterna av blått ljus och UV-A ljus kan förklaras med att det triggar skyddsmekanismer i växten mot reaktiva syreföreningar, vilket genererar fler sekundära metaboliter (Landi et al. 2020). Att det skiljer sig mellan arter och sorter kan också förklaras med att bladfärgen gör att ljuset filtreras vilket i sin tur leder till att olika ämnen bildas. Även fotoperiodens längd och ljusintensitet spelar en avgörande roll för näringsinnehållet. Liu et al. (2022) fann att längre fotoperioder och högre ljusintensiteter generellt ökade nivåerna av både polyfenoler och karotenoider, men dessa effekter var artspecifika. En av de viktigaste vägarna för syntesen av polyfenoler är fenylpropanoidvägen, som initieras av enzymet fenylalanin-ammoniak-lyas (PAL, phenylalanine ammonia-lyase) (Naing & Kim 2018). När växter utsätts för ljusstress aktiveras PAL och andra enzymer i fenylpropanoidvägen, vilket leder till ökad produktion av polyfenoler.

6.2. Bevattning

Bevattning och näringslösningar har också en betydande inverkan. Studier av El-Nakhel et al. (2021) och Petropoulos et al. (2021) visade att näringstillförselns mängd och frekvens kan påverka mikrogrönsakernas biokemiska sammansättning. Ökad näringstillförsel ledde till högre nivåer av polyfenoler i spenat, medan rucola visade en ökning av karotenoider vid minskad näringstillförsel. Det skulle kunna vara den mänskliga faktorn som bidragit till att rucola sticker ut från de andra testade växtarterna. En ökad tillförsel av växtnäring resulterar generellt sett i en högre koncentration av polyfenoler och karotenoider, vilket inte är oväntat. Det skulle kunna vara så att om växter har bättre tillgång till mineralämnen får de en högre tillgång till de resurser som krävs för att producera sekundära metaboliter. Fler oberoende studier behövs för att kunna dra någon slutsats om att minskad näringstillförsel bidrar till minskade karoteonidnivåer.

6.3. Biostimulanter

Biostimulanter har effekt endast om de tränger in i vävnaden hos växten. Detta är viktigt att ha i åtanke när det kommer till jämförande studier eftersom olika arter kan ha varierande genomtränglighet för biostimulanter. Absorptionsförmågan kan bero på yttre faktorer som exempelvis temperatur och luftfuktighet (Pecha et al. 2012). Bladets epidermis kan utgöra en barriär för biostimulantens upptag och den kemiska strukturen hos bioaktiva föreningar kan vara ett hinder för deras inträngning i bladets inre delar. Exempelvis kan vaxer och polymererna kutin och kutan på bladets ytskikt vara hindrande faktorer för biostimulanter att tränga igenom (Schreiber 2005). Tjockleken på epidermis och mängden vax är artspecifika och dessa skillnader kan direkt påverka biostimulantens effektivitet.

Denna variation i genomtränglighet kan vara en anledning till att effekterna av biostimulanter varierar mellan olika arter, som observerats av Ciriello et al. (2024) och Toscano et al. (2023). Biostimulanternas förmåga att tränga igenom bladvävnaderna är ännu inte fullständigt klarlagt. Enligt Kunicki et al. (2010) är faktorer som dos och tidpunkt för applicering såväl som miljöfaktorer också viktiga att ha i beaktande och får effekten av biostimulanter att variera mellan arter och även mellan sorter av samma art. Denna variation förhindrar oftast generaliserande användning mellan olika arter.

En annan teori till ökningen av polyfenoler hos rädisa kan vara att komplexa mekanismer påverkas av växthormoner och abiotiska faktorer (Zagoskina et al. 2023). Detta leder i sin tur till aktivering av gener som styr både strukturella och regula-

toriska enzymer vilka har effekt på ackumuleringen av sekundära metaboliter. Dessa mekanismer kan ytterligare bidra till de artspecifika skillnaderna i hur biostimulanter påverkar näringsinnehållet i växter. Biostimulanter verkar dessutom i låga koncentrationer (Zhang & Schmidt 1999). Det skulle kunna innebära att små skillnader i applicering kan leda till variationer i resultaten.

Sammantaget visar forskningen att både interna faktorer, såsom växtens genetiska uppsättning och bladets anatomiska struktur, och externa faktorer, såsom miljöförhållanden och biostimulantens kemiska egenskaper, spelar avgörande roller för biostimulantens effektivitet.

6.4. Övriga iakttagelser

Över lag ska det påpekas att forskningen på styrningen av näringsinnehållet i mikrogrönsaker är ett relativt nytt område och antalet relevanta studier är begränsat. Detta innebär att resultaten måste tolkas med försiktighet och det finns ett behov av mer omfattande och detaljerade studier för att bekräfta de initiala fynden. Många av de studier som granskats har använt olika växtarter, odlingsbetingelser och mätmetoder, vilket kan påverka jämförbarheten och generaliserbarheten av resultaten.

Framtida forskning bör fokusera på långsiktiga studier för att säkerställa ekonomisk hållbarhet och effektivitet i större skala. Hur andra abiotiska faktorer påverkar näringsinnehållet, som exempelvis temperatur, vattenbrist och luftfuktighet bör också undersökas för att se hur olika faktorer påverkar varandra. Ett nära samarbete mellan växtförädlare, producenter och forskare kan gynna utvecklingen av sorter, optimerade för vertikal odling och förbättrat näringsinnehåll. Detta samarbete kan bidra till att maximera de näringsmässiga fördelarna och säkerställa praktisk tillämpning av tekniska framsteg inom vertikal odling.

Sammanfattningsvis, medan de tekniska framstegen inom vertikal odling erbjuder stora möjligheter att förbättra näringsinnehållet i mikrogrönsaker, kräver variationen i resultaten att odlingsteknikerna anpassas noggrant efter specifika växtarter och odlingsförhållanden.

7. Slutsatser

- Effekten av ljusspektrum och ljusintensitet på bildandet av antioxidanter i mikrogrönsaker är beroende av växtart.
- Längre fotoperioder och högre ljusintensiteter tenderar att öka nivåerna av polyfenoler och karotenoider, men effekterna varierar mellan olika växtarter.
- Näringslösningar och deras tillförselmängd kan påverka mikrogrönsakernas tillväxt och näringsinnehåll med specifika effekter beroende på växtart.
- Biostimulanter, såsom proteinhydrolysat och moringaextrakt, kan öka näringsinnehållet i mikrogrönsaker, men resultaten är varierande beroende på typ av biostimulant och växtart.

Referenser

- Apel, K. & Hirt, H. (2004). REACTIVE OXYGEN SPECIES: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55(Volume 55, 2004), 373-399. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>
- Arts, I.C.W. & Hollman, P.C.H. (2005). Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies², 3. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 317S-325S. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.317S>
- Aqua Mechanical. (2016). Root Of Hydroponic Vegetables. [fotografi]. <https://www.flickr.com/photos/aquamech-utah/24443777644> (CC BY 2.0) [2024-05-28]
- Bantis, F. (2021). Light Spectrum Differentially Affects the Yield and Phytochemical Content of Microgreen Vegetables in a Plant Factory. *Plants*, 10(10), 2182. <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/10/2182>
- Beckman, C.H. (2000). Phenolic-storing cells: keys to programmed cell death and periderm formation in wilt disease resistance and in general defence responses in plants? *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 57(3), 101-110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/pmpp.2000.0287>
- Berg, G., Grube, M., Schloter, M. & Smalla, K. (2014). Unraveling the plant microbiome: looking back and future perspectives. *Frontiers in microbiology*, 5, 71409.
- Borgognone, D., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Lucini, L. & Colla, G. (2016). Changes in Biomass, Mineral Composition, and Quality of Cardoon in Response to NO₃:Cl⁻ Ratio and Nitrate Deprivation from the Nutrient Solution. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00978>
- Brazaitytė, A., Sakalauskiėnė, S., Samuolienė, G., Jankauskiėnė, J., Viršilė, A., Novičkovas, A., Sirtautas, R., Miliauskienė, J., Vaštakaitė, V., Dabašinskas, L. & Duchovskis, P. (2015a). The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in Brassicaceae microgreens. *Food Chemistry*, 173, 600-606. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.077>
- Brazaitytė, A., Viršilė, A., Jankauskiėnė, J., Sakalauskiėnė, S., Samuolienė, G., Sirtautas, R., Novičkovas, A., Dabašinskas, L., Miliauskienė, J., Vaštakaitė, V., Bagdonavičienė, A. & Duchovskis, P. (2015b). Effect of supplemental UV-A irradiation in solid-state lighting on the growth and phytochemical content of microgreens. *International Agrophysics*, 29(1), 13-22. <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0004>

- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P. & Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>
- Calvo, P., Nelson, L. & Kloepper, J.W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1), 3-41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Ciriello, M., Campana, E., Kyriacou, M.C., El-Nakhel, C., Graziani, G., Cardarelli, M., Colla, G., De Pascale, S. & Roupael, Y. (2024). Plant-derived biostimulant as priming agents enhanced antioxidant and nutritive properties in brassicaceous microgreens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13416>
- Craigie, J.S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 371-393. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>
- Dai, J. & Mumper, R.J. (2010). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352. <https://www.mdpi.com/1420-3049/15/10/7313>
- Debangshi, U. (2021). Hydroponics -An Overview. 5, 110-114. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5552644>
- du Jardin, P. (2012). *The science of plants biostimulants: a bibliographic analysis*. EU.
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- El-Nakhel, C., Pannico, A., Graziani, G., Kyriacou, M.C., Gaspari, A., Ritieni, A., De Pascale, S. & Roupael, Y. (2021). Nutrient Supplementation Configures the Bioactive Profile and Production Characteristics of Three Brassica L. Microgreens Species Grown in Peat-Based Media. *Agronomy*, 11(2), 346. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/2/346>
- El Hadrami, A., Adam, L.R., El Hadrami, I. & Daayf, F. (2010). Chitosan in Plant Protection. *Marine Drugs*, 8(4), 968-987. <https://www.mdpi.com/1660-3397/8/4/968>
- Flores, M., Hernández-Adasme, C., Guevara, M.J. & Escalona, V.H. (2024). Effect of different light intensities on agronomic characteristics and antioxidant compounds of Brassicaceae microgreens in a vertical farm system. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1349423>
- Foyer, C.H. & Noctor, G. (2005). Redox Homeostasis and Antioxidant Signaling: A Metabolic Interface between Stress Perception and Physiological Responses. *The Plant Cell*, 17(7), 1866-1875. <https://doi.org/10.1105/tpc.105.033589>
- Gengatharan, A., Dykes, G.A. & Choo, W.S. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 645-649. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.052>
- Gill, S.S. & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and*

- Biochemistry*, 48(12), 909-930.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Gotter, A. (2017). *Top Foods with Polyphenols*.
<https://www.healthline.com/health/polyphenols-foods> [2024-05-21]
- Graf, B.A., Milbury, P.E. & Blumberg, J.B. (2005). Flavonols, Flavones, Flavanones, and Human Health: Epidemiological Evidence. *Journal of Medicinal Food*, 8(3), 281-290. <https://doi.org/10.1089/jmf.2005.8.281>
- Gropper, S.S. (2023). The Role of Nutrition in Chronic Disease. *Nutrients*, 15(3).
<https://doi.org/10.3390/nu15030664>
- Gutierrez-Grijalva, E.P., Ambriz-Pere, D.L., Leyva-Lopez, N., Castillo-Lopez, R.I. & Heiedia, J.B. (2016). Review: dietary phenolic compounds, health benefits and bioaccessibility. *Arch Latinoam Nutr*, 66(2), 87-100.
- Halliwell, B. (2006). Reactive Species and Antioxidants. Redox Biology Is a Fundamental Theme of Aerobic Life. *Plant Physiology*, 141(2), 312-322.
<https://doi.org/10.1104/pp.106.077073>
- Hernández-Adasme, C., Palma-Dias, R. & Escalona, V.H. (2023). The Effect of Light Intensity and Photoperiod on the Yield and Antioxidant Activity of Beet Microgreens Produced in an Indoor System. *Horticulturae*, 9(4), 493.
<https://www.mdpi.com/2311-7524/9/4/493>
- Hjärt-Lungfonden (uå). *2 miljoner är drabbade av hjärt-kärlsjukdom*.
<https://www.hjart-lungfonden.se/sjukdomar/hjartsjukdomar/> [2024-05-28]
- Kauffman, G.L., Kneivel, D.P. & Watschke, T.L. (2007). Effects of a Biostimulant on the Heat Tolerance Associated with Photosynthetic Capacity, Membrane Thermostability, and Polyphenol Production of Perennial Ryegrass. *Crop Science*, 47(1), 261-267.
<https://doi.org/https://doi.org/10.2135/cropsci2006.03.0171>
- Keres, P. (2018) 20180927-FPAC-PJK-1076_TONED. [fotografi].
<https://www.flickr.com/photos/usdagov/43174645670> (CC0 1.0) [2024-05-28]
- Kiokias, S., Proestos, C. & Varzakas, T. (2016). A Review of the Structure, Biosynthesis, Absorption of Carotenoids-Analysis and Properties of their Common Natural Extracts. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 4, 2227. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.4.Special-Issue1.03>
- Koevoets, I.T., Venema, J.H., Elzenga, J.T.M. & Testerink, C. (2016). Frontiers | Roots Withstanding their Environment: Exploiting Root System Architecture Responses to Abiotic Stress to Improve Crop Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01335>
- Kozai, T. (2018). Designing a Cultivation System Module (CSM) Considering the Cost Performance: A Step Toward Smart PFALs. I: Kozai, T. red.) *Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms*. Springer Singapore. 57-80. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1065-2_5
- Kozai, T. & Niu, G. (2020). Chapter 2 - Role of the plant factory with artificial lighting (PFAL) in urban areas. I: Kozai, T., Niu, G. & Takagaki, M. red.) *Plant Factory (Second Edition)*. Academic Press. 7-34.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00002-9>
- Kumar, A., Singh, N., Kaur, A. & Joshi, R. (2023). Sneak-peek into the chlorophyll content, antioxidant activity, targeted and non-targeted UHPLC-QTOF

- LC/MS metabolomic fingerprints of pulse microgreens grown under different photoperiod regimes. *Food Bioscience*, 52, 102506. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102506>
- Kunicki, E., Grabowska, A., Sekara, A. & Wojciechowska, R. (2010). The effect of cultivar type, time of cultivation, and biostimulant treatment on the yield of spinach (L.). *Folia Horticulturae*, 22(2), 9-13.
- Landi, M., Zivcak, M., Sytar, O., Brestic, M. & Allakhverdiev, S.I. (2020). Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1861(2), 148131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2019.148131>
- Lee, S., Park, C.H., Kim, J.K., Ahn, K., Kwon, H., Kim, J.K., Park, S.U. & Yeo, H.J. (2023/09). LED Lights Influenced Phytochemical Contents and Biological Activities in Kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) Microgreens. *Antioxidants*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/antiox12091686>
- Liu, K., Gao, M., Jiang, H., Ou, S., Li, X., He, R., Li, Y. & Liu, H. (2022). Light Intensity and Photoperiod Affect Growth and Nutritional Quality of Brassica Microgreens. *Molecules*, 27(3), 883. <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/3/883>
- Folkhälsomyndigheten. (2024). *En hållbar och hälsosam livsmedelskonsumtion*. Folkhälsomyndigheten. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/587bca1720974b9a99b5f056d6241c78/hallbar-halsosam-livsmedelkonsumtion-aterrapportering.pdf> [2024-05-28]
- Lu, N. & Shimamura, S. (2018). Protocols, Issues and Potential Improvements of Current Cultivation Systems. I: Kozai, T. red.) *Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms*. Springer Singapore. 31-49. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1065-2_3
- Lucini, L., Borgognone, D., Roupael, Y., Cardarelli, M., Bernardi, J. & Colla, G. (2016). Mild Potassium Chloride Stress Alters the Mineral Composition, Hormone Network, and Phenolic Profile in Artichoke Leaves. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00948>
- Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S. & Mittler, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment*, 33(4), 453-467. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x>
- Naing, A.H. & Kim, C.K. (2018). Roles of R2R3-MYB transcription factors in transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in horticultural plants. *Plant Molecular Biology*, 98(1), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11103-018-0771-4>
- Pecha, J., Fürst, T., Kolomazník, K., Friebrová, V. & Svoboda, P. (2012). Protein biostimulant foliar uptake modeling: The impact of climatic conditions. *AIChE Journal*, 58(7), 2010-2019. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aic.12739>
- Petropoulos, S.A., El-Nakhel, C., Graziani, G., Kyriacou, M.C. & Roupael, Y. (2021). The Effects of Nutrient Solution Feeding Regime on Yield, Mineral

- Profile, and Phytochemical Composition of Spinach Microgreens. *Horticulturae*, 7(7), 162. <https://www.mdpi.com/2311-7524/7/7/162>
- Pilon-Smits, E.A.H., Quinn, C.F., Tapken, W., Malagoli, M. & Schiavon, M. (2009). Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 267-274. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.009>
- Rao, A.V. & Rao, L.G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55(3), 207-216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.012>
- Rocchetti, G., Tomas, M., Zhang, L., Zengin, G., Lucini, L. & Capanoglu, E. (2020). Red beet (*Beta vulgaris*) and amaranth (*Amaranthus* sp.) microgreens: Effect of storage and in vitro gastrointestinal digestion on the untargeted metabolomic profile. *Food Chemistry*, 332, 127415. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127415>
- Rouphael, Y., Kyriacou, M.C., Petropoulos, S.A., De Pascale, S. & Colla, G. (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae*, 234, 275-289. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.033>
- Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C. & Jiménez, L. (2005). Dietary Polyphenols and the Prevention of Diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(4), 287-306. <https://doi.org/10.1080/1040869059096>
- Scalbert, A. & Williamson, G. (2000). Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J Nutr*, 130(8S Suppl), 2073s-85s. <https://doi.org/10.1093/jn/130.8.2073S>
- Schreiber, L. (2005). Polar Paths of Diffusion across Plant Cuticles: New Evidence for an Old Hypothesis. *Annals of Botany*, 95(7), 1069-1073. <https://doi.org/10.1093/aob/mci122>
- Toscano, S., Romano, D. & Patanè, C. (2023). Effect of Application of Biostimulants on the Biomass, Nitrate, Pigments, and Antioxidants Content in Radish and Turnip Microgreens. *Agronomy*, 13(1), 145. <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/1/145>
- Truzzi, F., Whittaker, A., Roncuzzi, C., Saltari, A., Levesque, M.P. & Dinelli, G. (2021). Microgreens: Functional Food with Antiproliferative Cancer Properties Influenced by Light. *Foods*, 10(8), 1690. <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/8/1690>
- Xiao, Z., Lester, G.E., Luo, Y. & Wang, Q. (2012). Assessment of Vitamin and Carotenoid Concentrations of Emerging Food Products: Edible Microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(31). <https://doi.org/10.1021/jf300459b>
- Zagoskina, N.V., Zubova, M.Y., Nechaeva, T.L., Kazantseva, V.V., Goncharuk, E.A., Katanskaya, V.M., Baranova, E.N. & Aksenova, M.A. (2023). Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review). *Int J Mol Sci*, 24(18). <https://doi.org/10.3390/ijms241813874>
- Zhang, X., Bian, Z., Li, S., Chen, X. & Lu, C. (2019). Comparative Analysis of Phenolic Compound Profiles, Antioxidant Capacities, and Expressions of

Phenolic Biosynthesis-Related Genes in Soybean Microgreens Grown under Different Light Spectra. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(49), 13577-13588. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b05594>

Zhang, X. & Schmidt, R. (1999). Biostimulating turfgrasses. *Grounds maintenance*.

Tack

Stort tack till min handledare Anna Karin som varit behjälplig i alla lägen!