



Biostimulanter i dansk, økologisk planteavl

Forfatter(e): Jon Aagaard Enni
Innovationscenter for Økologisk Landbrug

I Innovationscenter for Økologisk Landbrug ser vi blandt landmænd og konsulenter en stigende interesse for biostimulanter til planter. Biostimulanter er en bred og heterogen gruppe af produkter, som har til formål at stimulere planternes vækst, modstandsdygtighed, næringsstofudnyttelse og/eller høstprodukternes kvalitet.

Nærværende rapport søger at give et overblik over de forskellige, tilgængelige typer af biostimulanter, deres anvendelse og virkningsmekanismer, samt hvorvidt de påståede, gavnlige virkninger er dokumenteret videnskabeligt. Generelt ses en tendens til, at biostimulanter har størst virkning under suboptimale dyrkningsforhold, dvs. når planterne mangler vand og/eller næringsstoffer eller er udsat for andre former for stress. Derfor vurderes det, at under danske dyrkningsforhold vil biostimulanter være mest relevante at bruge til eksempelvis at mindske udbyttenedgangen ved reduceret N-tildeling, tørke eller hård frost.

Rapporten er udarbejdet i projektet *Ny og opdateret viden til økologiske landmænd*

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Indhold

Biostimulanter i dansk, økologisk planteavl.....	1
Definition	3
Betingelser for anvendelse i økologisk produktion	3
Praktiske tildelingsmetoder	4
Tildeling til jord/rødder	4
Tildeling til overjordiske plantedele	4
Ikke-mikrobielle biostimulanter	5
Tangekstrakter	5
Virkningsmekanismer	5
Øvrige planteekstrakter	5
Uorganiske forbindelser (simple elementer)	6
Huminstoffer (humic substances)	6
Proteinhydrolysater og andre N-holdige forbindelser	6
Virkningsmekanismer	6
Chitosan og andre biopolymerer.....	7
Mikrobielle biostimulanter (også kaldet <i>biofertilizers</i>).....	8
Gavnige svampe	8
Arbuskulær mykorrhizadannende svampe (AMF)	8
Trichoderma	9
Gavnige bakterier	10
Endofytiske bakterier.....	10
Fosforopløsende mikrober (PSM)	10
Fritlevende N-fikserende bakterier	10
Udvalgte biostimulantprodukter på det danske marked	11
Referencer	11

Definition

I EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS FORORDNING (EU) 2019/1009 af 5. juni 2019 (EU-gødningsforordningen) lyder EU's definition på biostimulanter:

"En biostimulant til planter er et EU-gødningsprodukt, hvis funktion er at stimulere planterens næringsstofprocesser uafhængigt af produktets næringsstofindhold med det ene formål at forbedre et eller flere af følgende kendetegn ved planten eller planterhizosfæren:

- a) næringsstofudnyttelse*
- b) tolerance over for abiotisk stress*
- c) kvalitetsegenskaber, eller*
- d) tilgængelighed af afgrænsede næringsstoffer i jorden eller rhizosfæren."*

(Europa-Parlamentet og Rådet For Den Europæiske Union, 2019)

Forordningen deler endvidere biostimulanter i to overordnede kategorier:

- A) Mikrobielle biostimulanter til planter, og
- B) Ikkemikrobielle biostimulanter til planter

Forsøg med visse biostimulerende substanser viser en tendens til øget tolerance over for biotisk stress (sygdomme), men hvis dette er formålet med et givent produkt, defineres det juridisk som plan-
tebeskyttelsesmiddel, og er dermed underlagt en anden (og strengere) forordning.

Betingelser for anvendelse i økologisk produktion

Biostimulanter skal som udgangspunkt leve op til de samme krav som gødningsprodukter. Konkret betyder det, at biostimulantprodukter til brug i økologisk produktion ikke må indeholde eller være produceret ved hjælp af GMO eller GMO-holdige materialer. Herudover må biostimulanter (lige som gødningsmidler til økologisk brug) med få undtagelser ikke indeholde uorganiske næringsstoffer (se Økologivejledningens Bilag 2 for en detaljeret oversigt over tilladte, ikke-økologiske gødningsmidler).

Praktiske tildelingsmetoder

Biostimulanter kan tildeles på mange forskellige måder, herunder *frøcoating*, *topdressing*, *foliar applikation* og udvanding.

Tildeling til jord/rødder

Frøcoating er bejdsning af udsæden med en eller flere biostimulanter. Denne metode anvendes, når formålet med tildelingen er at påvirke processer i rhizosfæren (rodzonen) og/eller at gøre visse næringsstoffer mere biotilgængelige for rodoptag. Frøcoating kan foretages med mikrobielle inokulanter, som koloniserer rhizosfæren og/eller med ikke-mikrobielle biostimulanter såsom huminstoffer eller andre organiske forbindelser.

Topdressing er en metode, hvor biostimulanterne tildeles direkte på jordoverfladen omkring planten. Dette kan gøres ved at blande biostimulanterne i kompost eller jord og bringe blandingen ud med møgspreader, eller ved at bringe et granuleret biostimulantprodukt ud med gødningsspreder. Topdressing er ofte ikke særligt effektivt, og der må påregnes en del spild ved brug af denne metode. Til gengæld er det skånsomt og kræver ikke jordbearbejdning, hvilket kan være en fordel, fx hvis biostimulanter skal bringes ud i en allerede etableret afgrøde.

Udvanding er en metode, hvor biostimulanterne sættes til vandet, der anvendes til at vande planterne. Dette kan gøres ved at tilsætte biostimulanterne direkte til vandkilden eller ved at installere en doseringsenhed, der tilsætter stofferne til vandet, mens det pumpes ud til planterne.

Tildeling til overjordiske plantedele

Foliar applikation (bladgødsning) er en metode, hvor biostimulanterne fortyndes i vand (efter producentens anvisninger) og sprøjtes direkte på plantens blade. Foliar applikation virker hurtigt, da planten kan absorbere de virksomme forbindelser gennem sine blade og derfor ikke skal vente på, at stofferne trænger ned i jorden og derefter optages af rødderne. For at få mest muligt ud af foliar applikation kræves der indsigt i sprøjteteknik, herunder dysestørrelse, tryk, behov for sprede/klæbemidler, samt timing af tildelingen.

Ikke-mikrobielle biostimulanter

Tangekstrakter

Tangekstrakt (*seaweed extract (SWE)*), nogle gange kaldet tangkoncentrat (*seaweed concentrate (SWC)*), er en fællesbetegnelse for produkter bestående af biokemiske forbindelser ekstraheret fra tang. SWE findes i flydende- eller pulverform, og fortyndes i vand til lave koncentrationer (typisk 0,1-2%) inden brug [1]. Udgangsmaterialet er primært brune og grønne tangarter – men i sjældne tilfælde også røde. I Nordeuropa forhandles primært ekstrakter af den brune *Ascophyllum Nodosum* (herefter ANE), på dansk tidligere *Grisetang*, som er en af de hyppigst forekommende arter på den nordlige halvkugle. Tangekstrakter kan tildeles med alle ovenfor beskrevne tildelingsmetoder, men i markafgrøder er foliar applikation umiddelbart mest anvendt.

Aktive forbindelser: Alginater, betainer, fucose-holdige polymerer, plantevæksthormoner (auxiner, cytokininer, giberelliner)

Virkningsmekanismer

Gødningsværdi

De positive effekter af SWE blev oprindeligt tilskrevet SWE's gødningsværdi [2]. Flydende SWE'ers evne til at holde spormetaller (Cu, Co, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo og B) i opløselig form har været kendt i hvert fald siden 1950'erne [2]. Derfor er det heller ikke ualmindeligt, at producenter af SWE beriger deres produkter med ekstra mikronæringsstoffer, som chelateres af polyuronider (fx alginater og fucoidan) i tangen, og derved bliver mere plantetilgængelige [2] [3].

Dog har anvendelsen af SWE i bladgødsning i lave doser, og de observerede effekter på plantevæksten, fået forskerne til at se i andre retninger, når virkningsmekanismerne for ren SWE skal forklares. Der findes givetvis en effekt af de chelaterede metaller, men hvis ikke SWE'en beriges med udefrakommende mikronæringsstoffer, er koncentrationerne af de enkelte næringsstoffer for lave til at kunne forklare ret meget af den biostimulerende effekt [2].

Hormonelle virkninger

Fylogener har i mange år arbejdet ud fra tesen, at de positive effekter af tangekstrakt på planters vækst til dels skyldtes ekstrakternes indhold af plantehormoner, såsom auxin og cytokinin [4] [5]. Det er imidlertid indtil videre ikke lykkedes at bekræfte denne tese på det molekylære niveau, og nyere studier peger på, at indholdet af plantehormoner i ANE'er er for lavt til at udløse en planterespons, i hvert fald i de koncentrationer der normalt anvendes til bladgødsning [6] [5]. Derfor ligger hovedfokus nu, når det drejer sig om at afdække virkningsmekanismerne i brugen af tangekstrakter i det hele taget (ikke kun ANE), på at undersøge ekstrakternes påvirkning af planternes genudtryk.

Regulering af genudtryk

En række studier har undersøgt ANE's påvirkning på planters genudtryk under forskellige vækstbetingelser, såsom begrænset næringsstofftilgængelighed og angreb af svampesygdomme. Resultaterne af en mængde af denne type studier er behandlet i de Saeger et al. 2020 [6]. Der berettes om regulering af udtryk for gener, der koder for næringsstoffoptag, næringsstoffassimilering, abiotisk stressrespons, herunder frosttolerance, og biotisk stressrespons [6].

Øvrige planteekstrakter

Botanicals (planteekstrakter) er forbindelser, som er ekstraherede fra planter, og som bruges i fødevarer, medicin, kosmetikprodukter og plantebeskyttelsesmidler. Deres (plante-)biostimulerende effekter er endnu dårligt beskrevne, selvom et større metastudie - Li et al. 2022 [7] - konkluderede, at

planteekstrakter var den kategori af ikke-mikrobielle biostimulanter, som gav den største udbyttefremgang (gennemsnitligt +26,6%±3,5%-point) i de i undersøgelsen inkluderede studier.

Uorganiske forbindelser (simple elementer)

Visse grundstoffer, som gavner plantevækst og måske er essentielle for specifikke taxa, men som ikke kræves af alle planter, kaldes ikke-essentielle næringsstoffer eller gavnlige grundstoffer (*beneficial elements*). De gavnlige virkninger kan fx være styrkelse af cellevægge (Si), øget modstandsdygtighed over for patogener (Se) eller øget tolerance over for osmotisk stress (Na) [8].

Der findes fem hovedsagelige, gavnlige grundstoffer: Al, Co, Na, Se og Si. Den videnskabelige litteratur beretter om mange mulige, positive effekter, som påvirker plantevækst, kvaliteten af planteprodukter og tolerance over for abiotisk stress. Disse effekter inkluderer styrkelse af cellevægge, osmoregulering, termisk regulering via refleksion af stråling, enzymaktivitet via kofaktorer, planteernæring via interaktion med andre næringsstoffer under optag og mobilisering, beskyttelse via antioxidanter, interaktioner med symbionter, respons mod patogener og herbivorer, beskyttelse mod tungmetaltoxicitet, samt plantehormonsyntese og -signallering [8].

Der mangler viden om disse grundstoffers biostimulerende virkninger, udover deres gødnings- og fungicidvirkninger.

Huminstoffer (humic substances)

Huminstoffer er organiske forbindelser der findes i jorden og andre naturlige miljøer. De dannes gennem nedbrydningen af døde plante- og dyrerester og indeholder en række næringsstoffer, der kan være gavnlige for planterne. Herudover ses chelatering af svært tilgængelige mikronæringsstoffer med øget plantetilgængelighed til følge [8]. Desuden beretter den videnskabelige litteratur om øget optag af næringsstoffer pga. øget CEC, samt øget tilgængelighed af P pga. interaktion med calciumfosfat. HS påvirker også hormoner, men virkningsmekanismerne er uklare.

Aktive forbindelser: Humussyrer, fulvussyrer

Proteinhydrolysater og andre N-holdige forbindelser

Biomasse i form af restprodukter fra fødevarerindustrien indeholder sekundære metabolitter, som kan bruges til at producere proteinhydrolysater gennem hydrolyse af råmaterialer, enten af vegetabilsk eller animalsk oprindelse.

Proteinhydrolysater har vist sig at fremme plantens primære og sekundære metabolisme [5]. Andre plantevækstfremmende egenskaber ved disse biostimulanter omfatter højere næringsstofoptagelse på grund af stigning i opløselighed og mobilitet af mikronæringsstoffer, stigning i densitet, længde og antal af laterale rødder, såvel som øget enzymaktivitet [5]. I jorden øger proteinhydrolysater den mikrobielle biomasse, og aktivitet, respiration i jorden og jordfertilitet generelt [8].

Animalske hydrolyserede proteiner må ikke bruges på de spiselige dele af planter i økologisk dyrkning (EU-fordordning 354/2014), selvom der ikke er rapporteret geno-, øko- eller fytoxicitet.

Aktive forbindelser: Aminosyrer, peptider, betainer, polyaminer, og non-protein-aminosyrer

Virkningsmekanismer

Stimulerer N- og C-metabolisme, og regulerer optag af N, medieret af centrale enzymer, som er involveret i N-assimilationsprocessen, og gennem regulering af tre enzymer, som indgår i den tricarboliske syrecyklus (citratsyntase, isocitratdehydrogenase og malatdehydrogenase) [8]. Chelaterings effekter

påvist hos visse aminosyrer, hvilket muligvis beskytter planterne mod tungmetaller og øger tilgængeligheden af mikronæringsstoffer. Antioxidant-effekter af fx glycin-betain og prolin [8].

Chitosan og andre biopolymerer

Chitosan er en deacetyleret form af biopolymeren chitin. Chitin er et polysakkarid, som findes i fx svampes cellevægge og insekters exoskeletter. Chitosan-oligomerers fysiologiske effekter beror på deres evne til at binde forskellige cellekomponenter, herunder DNA, plasmamembran- og cellevæg-konstituenten. Nogle af de vigtigste effekter af at chitosan bindes til mere eller mindre specifikke celle-receptorer er akkumulering af brintoverilte og Ca^{2+} -lækage ind i cellen. Disse forbindelser spiller centrale roller i planters stressrespons og udviklings(/vækst-) regulering. Udviklingen af præparater til anvendelse i landbruget har fokuseret på beskyttelse mod patogene svampe, men det ser ud til, at der også kan forventes øget tolerance over for abiotisk stress og forbedrede kvalitetsparametre relateret til primær og sekundær metabolisme. Lukning af stomata kan induceres af chitosan via ABA-afhængige signalveje [8]. Der mangler i høj grad dokumentation for biostimulantvirkningen af chitosan og andre biopolymerer i markafgrøder.

Mikrobielle biostimulanter (også kaldet *biofertilizers*)

Gavnige svampe

Endofytiske svampe eksisterer i et forhold til planter, som kaldes et mutualisme-parasitisme-kontinuum. Med gavnlige svampe menes både arbuskulær mykorrhiza-dannende svampe (AMF) og andre endofytiske svampe, fx *Trichoderma* ssp. (Ascomycota) og *Sebacinales*, som adskiller sig fra AMF ved at de kan gennemføre (i hvert fald en del af) deres livscyklus uden en planteværter, men som stadig kan kolonisere planterødder og overføre næringsstoffer til deres værter, gennem mekanismer som endnu er dårligt beskrevne. Gavnlige, endofytiske svampe kan have positiv indflydelse på næringsstofoptag og tolerance over for abiotisk stress. Fordelen ved endofytiske svampe, som ikke tilhører gruppen AMF, er, at de er nemmere at opformere og håndtere som inokulanter.

Arbuskulær mykorrhizadannende svampe (AMF)

Svampe som i symbiose med planters rødder danner mykorrhiza kaldes i daglig tale mykorrhizasvampe (og i mykologien *arbuskelsvampe*). Der skelnes mellem typer af svampe, der danner ekto-mykorrhiza, som populært sagt er mykorrhiza, der dannes uden for planteværtens rod, og den mere almindelige endomykorrhiza – eller arbuskulær mykorrhiza – som er mykorrhiza, der penetrerer planteværtens rødder, hvor der dannes såkaldte arbuskler. Hvor ekto-mykorrhiza kun dannes af ca. 2% af verdens plantearter (primært de træagtige), dannes endomykorrhiza af op mod 80% af verdens plantearter, herunder størstedelen af landbrugets væsentligste kulturplanter. Svampe som danner arbuskulær (endo-)mykorrhiza (AM) benævnes normalt AMF (arbuscular mycorrhizal fungi) i den videnskabelige litteratur.

Det er almindeligt kendt, at AM eksisterer på et mutualisme-parasitisme-spektrum, men at symbiosen i de fleste tilfælde er mutualistisk, altså gavnlig for både svamp og plante. Man kan sige at svampens hyfer forlænger plantens rødder, og fordi hyferne er mange gange tyndere end planterødder, kan svamp og plante sammen afsøge en langt større del af jordvolumen end planten kan alene. Svampehyferne kan transportere vand og næringsstoffer (primært P) ind i arbusklerne, hvor de bliver tilgængelige for planten, som til gengæld "betaler" svampen med fotosynteseprodukter – især sukkerstoffer, men også lipider – som svampen ikke selv kan syntetisere.

Forekomst og diversitet af AMF er langt større i naturlige biotoper end i landbrugsjord. Dette hænger sammen med, at centrale dele af almindelig landbrugspraksis påvirker svampe negativt. Pløjning og anden dyb jordbearbejdning, gødsning med høje niveauer af P og N, samt opretholdelse af monokultur på dyrkningsfladen har negative konsekvenser for mængde og diversitet af AMF i landbrugsjord.

I årtier har podekulturer (også kaldet *inokulanter*) med AMF været anvendt i væksthuse- og pottekulturer med god effekt. Eksempelvis er positive effekter på udbytte og kvalitet af drivhustomater ganske veldokumenterede. Bl. a. derfor har der i de sidste 10-15 år været stor interesse for at undersøge, om AMF-podekulturer virker under markforhold.

Anvendelsesmetoder

Podekulturer med AMF fås typisk i pulverform, og præparaterne indeholder ofte en blanding af AMF og andre gavnlige svampe og bakterier, hvilket vanskeliggør videnskabelig undersøgelse af de enkelte organismers effekt. Rene AMF-præparater findes dog. Til anvendelse i væksthuse- og pottekulturer blandes pulveret i dyrkningsmediet eller opløses i vand, som enten påføres frø inden spiring eller anvendes som *root drench*, altså en opløsning som småplanters rødder dyppes i i forbindelse med oppotning eller udplantning.

I markkulturer foretages enten en *bejdsning* af udsæden med præparaterne i vandig opløsning, eller præparaterne bringes ud på jorden via vandingsvand.

Effekt i markforsøg

Det er i sagens natur vanskeligt at undersøge effekten af tilsætning af mikroorganismer i markforsøg, idet mængden af variable, som påvirker dyrkningsresultatet, er enorm: Vejr (nedbør, vind), jordbundsforhold (struktur, tekstur, pH, redoxforhold, luftskifte, dræningsforhold, varierende næringsstoffilgængelighed), temperaturekstremer, mikroklima, sygdoms- og skadedyrstryk, ukrudt, forfrugt, såbedstilberedning, gødskning og etablering af afgrøden er bare nogle af de parametre som kan påvirke resultaterne i markforsøg betragteligt.

Hertil kommer at markjord generelt i forvejen indeholder titusindvis af mikrobielle arter, hvilket yderligere komplicerer afprøvningen af tilsætning af enkeltorganismer.

Et meget tydeligt eksempel herpå er Duell et al. [9], som i et vækstkammerforsøg undersøgte effekten af 6 forskellige, kommercielt tilgængelige AMF-inokulanter på 9 flerårige (7 hjemmehørende og to invasive) græsmarksplantearters vækst i jord fra fersk eng. Undersøgelsen viste ingen tegn på positive effekter af inokulation af hjemmehørende arter. Tværtimod hæmmede flere af produkterne de hjemmehørende arters vækst og stimulerede de invasive arters vækst. Derudover indeholdt to af produkterne så høje koncentrationer af P eller N, at de konsekvent mindskede rodkoloniseringen med AMF set i forhold til kontrolledene uden inokulation. Undersøgelsens resultater understreger vigtigheden af at afdække forekomsten af hjemmehørende AMF-arter i dyrkningsjorden, før der investeres tid og penge i AMF-inokulanter til brug i markkulturer.

Når markforsøg med AMF-inokulation giver positive resultater er de typisk foretaget under suboptimale dyrkningsforhold – altså i egne af verden, hvor udbytte generelt ligger under, hvad de er i Danmark.

I det hele taget er det usikkert, om kommercielle AMF-inokulanter overhovedet har nogen effekt ved brug i markkulturer. I en kritisk litteraturgennemgang påpeger Hart et al. [10] med henvisning til fire store metaanalyser, at resultaterne fra studier af AMF-inokulation er inkonsistente. De påpeger for eksempel, at der ses en tendens i litteraturen til, at studier, der viser en positiv effekt af AMF-inokulation på plantevækst i markforsøg, sjældent måler udbytte, reproduktivt output eller andre meningsfulde indikatorer på forbedret planteavl [10]. De anfører desuden, at de fleste forsøg med inokulation på markniveau er foretaget på meget udpinte jorde med ekstremt lavt naturligt inokulum-potentiale [10]. Én af tekstens helt centrale pointer er, at de fleste landbrugsjorder allerede har veletablerede, hjemmehørende AMF-samfund [11], samt at specialfremstillede inokulanter med organismer fra nærliggende økosystemer har vist sig mere effektive end kommercielle, standardiserede inokulanter i genopretningsprojekter [12]. Derfor anses det for risikabelt at introducere AMF-arter, som er fremmede for det givne økosystem. Bekymringen går på, at kommercielle inokulanter i bedste fald i mange tilfælde er overflødige, og i værste fald kan obstruere den naturlige mykorrhizadannelse, eller endda introducere invasive arter, som kan forstyrre økosystemets mikrobielle balance [10].

Trichoderma

Trichoderma spp. er en slægt af svampe, som er til stede i alle jorde. Der er indtil videre identificeret 375 arter af Trichoderma – heriblandt almindelig husmug (*Trichoderma Longibrachiatum*), som er en gren, der omfatter 21 arter på verdensplan. Trichoderma er som udgangspunkt saprofytter (nedbrydere af dødt, organisk materiale), men mange arter kan klassificeres som opportunistiske, avirulente plantesymbionter, hvilket betyder, at de kan indgå i mutualistiske, endofytiske forhold med planter. Adskillige arter af Trichoderma har biostimulerende og plantebeskyttende effekter, som indtil videre primært er undersøgt i laboratorieforsøg. De biostimulerende effekter tæller forbedret

næringsstofoptag og beskyttelse mod abiotisk stress, og de plantebeskyttende effekter omfatter mykoparasitisme, antibiosis og generel konkurrence med patogene svampe om plads og næring. Videnskabelige studier har vist en signifikant effekt mod sygdomme som fusarium i korn (*Fusarium graminearum*) og kartoffelskimmel (*Alternaria Solani*). Som for de fleste andre mikrobielle biostimulanter gælder det, at der mangler dyrkningsforsøg under markforhold, før det er muligt at sige noget generelt om den faktiske effekt af podekulturer med Trichoderma.

Gavnige bakterier

Endofytiske bakterier

Lige som for endofytiske svampe eksisterer endofytiske bakterier i et mutualisme-parasitisme-kontinuum med deres planteværter. De som biostimulanter klart mest anvendte bakterielle endosymbionter er de forskellige *Rhizobium*- og *Bradyrhizobium*-typer til podning af udsæd af bælgplanter.

Fosforopløsende mikrober (PSM)

Hovedparten af naturligt forekommende fosfor i jord er "hårdt" bundet i forbindelser (enten organiske eller uorganiske), som gør det utilgængeligt for planter. De biologiske værktøjer til at bryde disse molekylære bånd er enzymer, som i jorden produceres af bakterier, svampe og arkæer. De fire vigtigste enzymer i denne proces er *sur fosfatase*, *basisk fosfatase*, *fyttase* og *glukosedehydrogenase*. I verdens hidtil største og mest omfattende vidensyntese identificerede Li et al. [13] 2286 bakteriestammer, 398 svampestammer og 20 arkæerstammer der producerer én eller flere af de omtalte enzymer. Ud af de i alt 2704 identificerede stammer udpegede Li et al. 9 forskellige slægter som signifikante PSM-slægter: *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Lactococcus*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, *Aspergillus* og *Penicillium*.

Effekter

Førnævnte syntese analyserede resultaterne af i alt 724 eksperimenter med tilsætning af PSM i plantekulturer. Li et al. påpeger, at der blandt de studier, som undersøgte effektiviteten på udbytte i markafgrøder ved tilsætning af PSM, kun var statistisk signifikante, positive resultater i 5 ud af 95 forsøg [13]. Dette står i skærende kontrast til de studier, der var baseret på laboratorieforsøg, hvor op mod 80% af de 629 forsøg rapporterede positive resultater. Dette forhold viser med stor tydelighed, at resultater af laboratorieforsøg dårligt lader sig oversætte til resultater i marken. Li et al. anfører, at der primært ses udbyttestigninger ved høj pH (gns. 7,32 og derover), samt ved generel lav plantetilgængelighed af P (gns. 6,16 mg/kg) (Ibid.). Li et al. bemærker, at dette er forventeligt, idet forsuring af den omgivende jord er en væsentlig del af PSM'ernes virkningsmekanisme, samt at et fosfortal <1 (6,16 mg/kg = fosfortal 0,6) er ekstremt lavt, hvorfor en jord med så lavt fosforindhold må anses for værende decideret uegnet til planteavl uden tilførsel af store mængder P. Dermed vurderes det, at podning med PSM i dansk planteavl ikke umiddelbart er relevant, muligvis undtaget på særligt udpinte jorder eller jorder med meget høje reaktionstal.

Fritlevende N-fikserende bakterier

Der findes adskillige fritlevende bakterier, som kan fikserer kvælstof fra luften. De bedst beskrevne er *Azotobacter sp.* og *Azospirillum sp.* Disse bakteriearter anvendes hyppigt i inokulumprodukter i udlandet, og alene i Sydamerika er der registreret over 100 produkter, der indeholder *Azospirillum sp.* [14]. Udover deres evne til N-fiksering kan disse organismer hjælpe planters vækst på en række andre måder: Fosforopløsning, stimulering af produktionen af plantevæksthormoner, antagonisme over for patogener og forbedret vand- og næringsstofoptag er bare nogle af de studerede effekter [15]. Tilsyneladende har disse bakterier endnu ikke rigtig fundet vej ind i produkter på det danske marked, men med den stigende interesse for biostimulanter i Danmark er det nok bare et spørgsmål om tid.

Udvalgte biostimulantprodukter på det danske marked

BlueN (Corteva) - *Methylobacterium symboticum* (N-fikserende, endofytisk bakterie)

<https://www.corteva.dk/produkter/biologicals/BlueN.html>

Quantis (Syngenta) – restprodukt fra gærproduktion, indeholdende bl.a. aminosyrer, kulhydrater og plantenæringsstoffer. Mod abiotisk stress i kartofler.

<https://www.syngenta.dk/biologiske-midler/biostimulant/quantis>

YaraVita Optitrac og Biotryg (Yara) – Tangekstrakt (*A. Nodosum*) + Zn og B

<https://www.yara.dk/godning/lasestof/artikler2/yara-biostimulanter/>

Seaquest (DLF) – Tangekstrakt (*A. Nodosum*)

<https://www.dlf.dk/plaenegraes-goedning/goedning/find-din-goedning/prodana/goedning/seaquest-801ad1061>

Quaterna (SOBAC) – kompleks af 28.000 forskellige mikroorganismer frembragt ved kompostering af organisk materiale

<https://green-passion.dk/samarbejdspartnere/>

Terra Biosa (Biosa) - mælkesyrebakterier

<https://www.biosa.dk/terra-biosa>

TourTurf Myco Plant & Turf Activator - organisk gødning med humusstoffer, tang, mykorrhiza-svampe og gavnlige bakterier.

<https://tourturf.dk/vare/myco-plant-turf-activator/>

Referencer

- [1] W. A. Stirk and J. Van Staden, "SEAWEED PRODUCTS AS BIOSTIMULANTS IN AGRICULTURE," *South African Journal of Botany*, 2006.
- [2] J. S. Craigie, "Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture," *Journal of Applied Phycology*, pp. 371-393, 29 juli 2011.
- [3] W. R. U. S. S. e. a. Khan, "Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development," *Journal of Plant Growth Regulation*, p. 386–399, 12 maj 2009.
- [4] I. J. Crouch and J. van Staden, "Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products," *Plant Growth Regulation*, pp. 21-29, 5 august 1993.
- [5] M. Baltazar, S. Correia, K. Guinan, N. Sujeeth, R. Bragança and B. Gonçalves, "Recent Advances in the Molecular Effects of Biostimulants in Plants: An Overview," *Biomolecules*, p. artikel 1096, 2021.
- [6] J. De Saeger, S. Van Praet and D. Vereecke, "Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants," *Journal of Applied Phycology*, pp. 573-597, 2020.

- [7] m. J. Li, T. Van Gerrewey and D. Geelen, "A Meta-Analysis of Biostimulant Yield Effectiveness in Field Trials," *Frontiers in Plant Science*, p. Artikel 836702, 2022.
- [8] P. du Jardin, "Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation," *Scientia Horticulturae*, pp. 3-14, september 2015.
- [9] E. B. Duell, A. B. Cobb and G. W. T. Wilson, "Effects of Commercial Arbuscular Mycorrhizal Inoculants on Plant Productivity and Intra-Radical Colonization in Native Grassland: Unintentional De-Coupling of a Symbiosis?," *Plants*, p. artikel 2276, 31 august 2022.
- [10] M. M. Hart, P. M. Antunes, V. B. Chaudhary and L. K. Abbott, "Fungal inoculants in the field: Is the reward greater than the risk?," *Functional Ecology*, pp. 1-10, 10 August 2017.
- [11] F. Oehl, E. Laczko, A. Bogenrieder, K. Stahr and R. Bösch, "Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities," *Soil Biology & Biochemistry*, pp. 724-738, 14 januar 2010.
- [12] M. R. Maltz and K. K. Treseder, "Sources of inocula influence mycorrhizal colonization of plants in restoration projects: a meta-analysis," *Restoration Ecology*, 1 juni 2015.
- [13] J.-t. Li, J.-l. Lu, H.-y. Wang, Z. Fang, X.-j. Wang, S.-w. Feng, Z. Wang, T. Yuan, S.-c. Zhang, S.-n. Ou, X.-d. Yang, Z.-h. Wu, X.-d. Du, L.-y. Tang, B. Liao, W.-s. Shu, P. Jia and J.-L. Liang, "A comprehensive synthesis unveils the mysteries of phosphate-solubilizing microbes," *Biological Reviews*, pp. 2771-2793, 21 juli 2021.
- [14] G. Fusco, R. Nicastro, Y. Roupheal and P. Carillo, "The Effects of the Microbial Biostimulants Approved by EU Regulation 2019/1009 on Yield and Quality of Vegetable Crops.," *Foods*, 2022.
- [15] F. C. A. L. G. e. a. Cassán, "Everything you must know about Azospirillum and its impact on agriculture and beyond.," *Biology and Fertility of Soils*, p. 461–479, april 2020.
- [16] F. Zhang, Y. Huo, A. B. Cobb, G. Luo, J. Zhou, G. Yang, G. W. T. Wilson and Y. Zhang, "Trichoderma Biofertilizer Links to Altered Soil Chemistry, Altered Microbial Communities, and Improved Grassland Biomass," *Frontiers in Microbiology*, 30 april 2018.
- [17] M. H. Ryan and J. H. Graham, "Little evidence that farmers should consider abundance or diversity of arbuscular mycorrhizal fungi when managing crops," *New Phytologist*, pp. 1092-1107, 30 maj 2018.
- [18] S. Silletti, E. Di Stasio, M. Van Oosten, V. Ventorino, O. Pepe, M. Napolitano, R. Marra, S. Woo, V. Cirillo and A. Maggio, "Biostimulant Activity of Azotobacter chroococcum and Trichoderma harzianum in Durum Wheat under Water and Nitrogen Deficiency," *Agronomy*, p. artikel 380, 20 februar 2021.
- [19] P. Shukla, K. Shotton, E. Norman, W. Neily, A. Critchley and B. Prithiviraj, "Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes," *AoB Plants*, 11 oktober 2017.