

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Vliv aplikace biostimulátoru růstu na tvorbu sušiny a poměr root:shoot slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.)

Diplomová práce

Autor práce: Jakub Chválovský

Obor studia: Rostlinná produkce

Vedoucí práce: doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv aplikace biostimulátoru růstu na tvorbu sušiny a poměr root:shoot slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.)" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 03. 07. 2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Františkovi Hniličkovi, Ph.D. za ochotu, pomoc při získávání informací, cenné rady a připomínky i odborné vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu po celou dobu studia a v neposlední řadě i kolegům ze společnosti Poděbradská blata, a.s., zejména pak řediteli Ing. Janu Klepalovi a hlavní agronomce paní Martině Martinové za odbornou i všeobecnou pomoc v rámci mého studia.

Vliv aplikace biostimulátoru růstu na tvorbu sušiny a poměr root:shoot slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.)

Souhrn

Slunečnice roční je třetí nejpěstovanější olejnína světa, která je díky svému kvalitnímu oleji pěstována téměř všude, i v méně příhodných oblastech, které bývají ohroženy různými stresovými faktory. Vzhledem k technologickým změnám v pěstování rostlin, měnícím se klimatickým podmínkám, přísnější legislativě a vyšší preferenci přírodních potravin bez chemických složek, se v současné době v zemědělské praxi stále více používají různé přírodní biostimulační látky, které stimulují růst rostlin a v mnoha případech zvyšují jejich odolnost právě vůči stresorům. Proto je cílem diplomové práce stanovit a zhodnotit vliv aplikace biostimulátoru růstu na vybrané morfologické vlastnosti a výnos rostlin slunečnice roční.

Rostliny slunečnice roční odrůdy NK Brio byly pěstovány v polních podmínkách na pokusném pozemku v části města Poděbrady ve Velkém Zboží, ležící v okrese Nymburk. Zeměpisné souřadnice pozemku jsou 50,167342° sš 15,108705° vd, parcela je označena číslem 2001/7 a obhospodařuje jí zemědělská společnost Poděbradská blata, a.s. U rostlin byl sledován vliv aplikace biostimulátoru růstu Amalgerol Premium na velikost kořenového systému, hmotnost sušiny kořene a nadzemní biomasy, poměr root:shoot a výnos. Rostliny byly po vzejití rozděleny do tří variant: kontrolní varianta, varianta ošetřena celou dávkou přípravku a varianta ošetřená dvakrát poloviční dávkou přípravku. Kontrolní rostliny nebyly ošetřeny účinnou látkou. Rostliny ve variantě V1 byly ošetřeny celou dávkou přípravku 4 l/ha v růstové fázi BBCH 18 a varianta V2 zahrnovala aplikaci poloviční dávky 2 l/ha na rostliny v růstové fázi BBCH 15 a BBCH 20. V průběhu pokusu se uskutečnilo celkem šest měření (před aplikací přípravku, ve vývojových fázích BBCH 15, 20, 50, 65 a při sklizni).

Bylo zjištěno, že genotyp slunečnice roční NK Brio reagoval na aplikaci biostimulátoru růstu zvětšením kořenové biomasy, zvýšením hmotnosti sušiny a poměru root:shoot a vyšším výnosem nažek. Většina získaných výsledků nebyla statisticky prokázána, i přesto však byly mezi variantami patrné rozdíly. Průměrná délka kořenového systému činila u rostlin ošetřených přípravkem 14,47 cm, což byl o 4,08 % delší kořenový systém, než byl zjištěn u neošetřených rostlin. Aplikace biostimulátoru růstu v dávce 4 l/ha zvýšila suchou hmotnost o 28,3 % u kořenů, respektive o 11,11 % u nadzemní biomasy oproti kontrolním rostlinám. Rostliny ošetřené dělenou dávkou stimulatoru dvakrát 2 l/ha měly hmotnost sušiny v porovnání s celkovou dávkou přípravku o 18,38 % nižší u kořenové biomasy, popřípadě o 9,13 % u nadzemních orgánů rostliny. Poměr root:shoot se vlivem aplikace dělené dávky přípravku zvýšil oproti kontrolním rostlinám o 7,69 %. V případě aplikace celé dávky to bylo zvýšení o 14,29 % vůči neošetřeným rostlinám. Nejvyšší výnos nažek byl dosažen při aplikaci plné dávky biostimulátoru, což byl o 6,34 % vyšší výnos než u kontrolních rostlin, respektive o 1 % než při aplikaci dělené dávky přípravku. Na základě získaných výsledků lze konstatovat, že aplikace celkové dávky biostimulátoru růstu Amalgerol Premium ve vývojové fázi BBCH 18 dosahovala ve všech testovaných parametrech vyšších hodnot ve srovnání s dělenou

dávkou přípravku, která byla aplikována v růstové fázi BBCH 15 a ve fázi BBCH 20 a vůči neošetřeným kontrolním rostlinám.

Klíčová slova: slunečnice roční, biostimulátor, root:shoot, sušina, výnos

Influence of biostimulator application on dry matter formation and root:shoot ratio by sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants

Summary

The sunflower year-long is global the third most grown oil plant. Thanks to its high quality oil, it is grown almost anywhere also in less comfortable condition areas offended with various stress factors. In agriculture we use more and more biostimulating substances not only stimulating the plants growth but also defending the plants against stress factors. The use of biostimulators is demanded in coincidence with technological changes in plants growing, climate changing, stricter legislative and preferences of natural to chemical ingredients. The target of this diploma thesis is to set and evaluate the effect after using the biostimulating growth substance to specific morphological characteristics and yield of the sunflower year-long.

The plants of sunflower year-long, the sort of NK Brio were grown on an experimental part in field conditions in Poděbrady, town area Velké Zboží, district of Nymburk. Geographical coordinates 50.167342° of north width 15.108705° east length, field number 2001/7 managed by an agricultural company Poděbradská blata, a.s. Plants were monitored after application of a growth biostimulator Amalgerol Premium, monitoring focused on root system size, the weight of root dry matter and above-ground biomass, root:shoot ratio and yield. After plants germinated, they were divided into three variations: control variant, variation with application of whole ration of the substance and variation with double application of half ration of the substance. The plants, variation to compare and check, were not treated with the effective substance. The plants in V1 were treated with a whole ration of the substance 4l/ha in BBCH 18 and the plants V2 were treated twice with half ration of the substance 2l/ha in 2 phases BBCH 15 and BBCH 20. During the experiment, six measuring's were done (before the substance application, in development phases BBCH 15, 20, 50, 65 and during the harvesting).

It was found out that the sunflower year-long NK Brio gene-type, after application of the biostimulator, extended root biomass, increased root dry matter weight and the root:shoot ratio and higher yield of achenes. Most the acquired results were not statistically proved, anyway among the variations there were differences. An average length of the root system at the plants treated with biostimulator substance was 14.47cm, which is about 4.08% longer root system than at non-treated plants. Application of biostimulating substance of ration 4l/ha increased dry weight of 28.3% of roots, of 11.11% of above-level biomass comparing to plants in variation to compare. The plants treated with double ration of 2l/ha of the substance - the dry matter root mass weight was about 18.38% lower and above-level plant of about 9.13% lower comparing to the plants the whole ration of the substance was applied. The root:shoot ratio thanks to application of divided amount of the substance increased about 7.69% comparing to the plants in variation to compare. In case of the application of the whole portion of the substance we recognized increase of 14.29% comparing to the plants to compare. The highest yield of achenes was achieved after application of the full portion of biostimulator. It was about 6.34% higher

yield than at the plants to compare, and higher about 1% comparing to application of dividend portion of the substance. Based on the achieved results it can be declared that the application of whole portion of the growth biostimulator substance Amalgerol Premium in the phase BBCH 18 in all tested parameters reached higher figures comparing to application of the half portion of the same substance, which was applied in the phases BBCH 15 and BBCH 20 and towards the plants to compare.

Keywords: sunflower, biostimulator, root:shoot, dry matter, yield

Obsah

1	Úvod	1
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	2
3	Literární rešerše.....	3
3.1	Botanická charakteristika slunečnice roční	3
3.2	Historie pěstování slunečnice roční	6
3.3	Současnost pěstování slunečnice roční	8
3.3.1	Požadavky slunečnice roční na prostředí	11
3.4	Tvorba sušiny u rostlin	12
3.5	Poměr root:shoot.....	13
3.5.1	Vliv ontogeneze na poměr root:shoot.....	14
3.5.2	Vliv hlavních podmínek prostředí na poměr root:shoot	14
3.6	Stresové faktory	15
3.7	Biostimulátory růstu	19
3.7.1	Definice a klasifikace biostimulátorů růstu	20
3.7.2	Právní předpisy a právní rámec	20
3.7.3	Nejčastěji uváděné kategorie a zdroje rostlinných biostimulátorů	21
3.7.4	Způsob aplikace biostimulátorů růstu.....	25
3.7.5	Vliv hlavních kategorií rostlinných biostimulátorů na rostliny	25
3.7.6	Společné rysy biostimulátorů růstu.....	31
4	Metodika	32
4.1	Pokusný rostlinný materiál	32
4.2	Použité přípravky	33
4.3	Charakteristika stanoviště	33
4.3.1	Geografické informace a charakteristika regionu	34
4.3.2	Charakteristika půdy	34
4.3.3	Průběh počasí v roce 2019.....	37
4.4	Založení pokusu.....	38
4.5	Měření sledovaných charakteristik	40
4.5.1	Stanovení velikosti kořenového systému.....	40
4.5.2	Stanovení hmotnosti sušiny	40
4.5.3	Stanovení poměru root:shoot.....	40
4.5.4	Stanovení výnosu.....	40
4.6	Vyhodnocení výsledků	41
5	Výsledky.....	42
5.1	Velikost kořenového systému.....	42
5.2	Hmotnost sušiny kořenové biomasy	44
5.3	Hmotnost sušiny nadzemní biomasy	46

5.4	Poměr root:shoot.....	47
5.5	Výnos	49
6	Diskuze	51
6.1	Velikost kořenového systému	51
6.2	Hmotnost sušiny kořenové biomasy	52
6.3	Hmotnost sušiny nadzemní biomasy	53
6.4	Poměr root:shoot.....	53
6.5	Výnos	54
7	Závěr.....	56
8	Literatura.....	58

1 Úvod

Pěstování slunečnice má dlouhodobou historii, za její původní domovinu jsou považovány oblasti severní Ameriky, kde byla pěstována americkými indiány. Do Evropy pronikla přibližně v 16. století, nejprve do Španělska a odtamtud byla rozšířena do dalších evropských zemí. Na našem území se slunečnice začala pěstovat v druhé polovině 19. století. Slunečnice patří mezi tři nejpěstovanější olejninu na světě, přičemž největšími producenty jsou Ukrajina, Rusko a Argentina. V současné době se v České republice pěstuje asi 11 825 ha slunečnice.

Rozdělení biomasy root:shoot je jedním z mechanismů, kterým se rostliny vyrovnávají s omezeními, která jsou stanovená zdroji v životním prostředí a mohou nakonec ovlivnit rychlost růstu rostlin. Rostliny ukládají vyšší podíl biomasy do nadzemních orgánů v prostředích bohatém na živiny, kde bývá silnější nadzemní konkurence o světlo, naopak v podmínkách chudých na živiny, ve kterých převládá podzemní konkurence, přiděluje více biomasy kořenům. Poměr je předurčen druhově, geneticky a rozdělení biomasy u dospělých rostlin se vyvíjí v závislosti na mnoha faktorech. Vlivem některých stresových faktorů se může poměr root:shoot silně snížit.

Moderní rostlinná výroba musí reagovat na rostoucí poptávku po potravinách, krmivech a zdrojích rostlinného původu zejména z důvodu rychle rostoucí populace na světě. Výnos je negativně ovlivněn různými nepříznivými podmínkami prostředí (stresovými faktory), i přesto, že se využívají nejmodernější technologie pěstování rostlin, mohou tyto faktory v závislosti na plodině snížit produktivitu o více než 50 %. Dále s narůstajícím vyčerpáváním zdrojů, zhoršením ekosystémů, stále více se zpřísnující legislativou ze strany EU a vyššími požadavky na potraviny bez škodlivých chemických přísad, bude nutné do budoucna zvýšit používání udržitelnějších metod v zemědělských produkčních systémech. Slibným nástrojem k růstu udržitelnosti zemědělské produkce je používání ekologických produktů (biostimulací) ve formě směsí látek nebo mikroorganismů, které jsou schopné zvýšit účinnost využití živin a snášenlivost rostlin vůči abiotickým a biotickým stresorům a zároveň jsou šetrné k životnímu prostředí.

Biostimulanty jsou přírodní, nechemické látky, které mohou zvýšit výnos plodin působením na jejich metabolismus. Tyto látky jsou schopné ovlivnit růst a architekturu kořenů a mohou mít přímý nebo nepřímý účinek na rostliny. Mohou změnit biologické, biochemické a fyzikální vlastnosti půdy a zvýšit výkonnost rostlin, na které působí stresové faktory a dokáží také ovlivnit celkový transkripční profil úpravou rostlinného metabolomu. Povaha stimulatorů je různorodá, proto není možné navrhnout jeden společný způsob účinku pro všechny biostimulanty. Biostimulátory růstu lze používat ve všech fázích zemědělské produkce, tím pádem podporují růst a vývoj rostlin v průběhu celého jejího životního cyklu. Biostimulanty je možné aplikovat ve formě půdních přípravků, nebo je lze aplikovat přímo na listy rostliny.

Prozatím není dána žádná právní ani regulační definice rostlinných biostimulátorů kdekoli na světě a neexistuje žádný podrobný seznam látek, na které by se tento pojem vztahoval. V rámci EU se zatím připravuje nové nařízení o hnojivech, které přesně stanoví definici biostimulantu. Přesto existují některé uznávané kategorie látek, které jsou uznávány za zdroje biostimulací, jako např. huminové látky, bílkovinné hydrolyzáty, extrakty z mořských řas nebo různé mikroorganismy a bakterie.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

V zemědělské praxi se v současnosti stále více uplatňují látky, které stimulují rostliny a v řadě případů také zvyšují odolnost rostlin vůči stresorům. Velmi často tyto biostimulátory obsahují lignohumáty, éterické oleje, fytohormony, extrakty mořských řas apod. Vzhledem ke změnám v technologiích pěstování polních plodin a také ve vztahu ke změnám klimatu má využití těchto přípravků své uplatnění nejenom v konvenčním, ale také v ekologickém zemědělství. Po aplikaci biostimulátoru dochází u rostlin ke zvýšení plochy kořenů, počtu kořenů, zefektivnění příjmu a vedení vody, změny metabolismu apod.

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem byly navrženy následující cíle práce:

1. Stanovit a vyhodnotit vliv přípravku Amalgerol Premium jako látky ovlivňující kořenový systém rostlin slunečnice.
2. Monitorovat vliv aplikace biostimulátoru růstu na tvorbu sušiny slunečnice.
3. Určit vliv biostimulátoru růstu na poměr root:shoot u rostlin slunečnice.
4. Sledovat vliv aplikace přípravku na výnos nažek slunečnice.

Na základě navržených cílů byly stanoveny vědecké hypotézy diplomové práce:

1. Ovlivňuje aplikace testované látky velikost kořene, tvorbu sušiny, poměr root:shoot a výnos nažek u rostlin slunečnice?
2. Existují rozdíly v termínu aplikace přípravku Amalgerol Premium na velikost kořenového systému, tvorbu sušiny, poměr root:shoot a výnos slunečnice?
3. Existují rozdíly v množství aplikované látky na velikost kořene, tvorbu sušiny, poměr root:shoot a výnos slunečnice?

Vzhledem k měnícím se klimatickým podmínkám se musejí rostliny často vypořádat s různými stresovými faktory, které mají značný vliv na jejich produkci. Dále z důvodu nepříznivého vlivu chemických a minerálních přípravků na ochranu rostlin na životní prostředí dochází v rámci Evropské unie ke stále většímu omezování a zakazování používání těchto přípravků. Z těchto důvodů bude ještě více nutné využívat přírodní stimulační přípravky (biostimulátory růstu) a pozvolna jimi nahrazovat přípravky chemické. Tato práce se zabývá studiem vlivu biostimulátoru na růst a vývoj rostlin slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.).

3 Literární rešerše

3.1 Botanická charakteristika slunečnice roční

Botanický název slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.) pochází z řeckých slov helios - slunce, anthos - květina a annuus - roční. Slunečnice roční je v botanickém systému zařazena do oddělení krytosemenné rostliny (*Magnoliophyta*), třídy vyšší dvouděložné rostliny (*Rosopsida*) a řádu (*Asterales*) hvězdicotvaré (Judd & Olmstead 2004). Dále je řazena dle například Takhtajan (2009) do podčeledi *Asteroideae*, čeledi *Asteraceae*, řádu *Asterales*, nadřádu *Asteranae*, podtřídy *Asteridae* a rodu *Helianthus* (Slavík & Štěpánková 2004). Salunkhe et al. (1992) uvádí, že rod *Helianthus* představuje více než 260 druhů, ze kterých je nejčetnější jednoletý kulturní rod *Helianthus annuus* L. a vytrvalý rod *Helianthus tuberosus* L. (slunečnice topinambur).

Slunečnice roční, viz obr. 1, je jednoletá rostlina, která dorůstá průměrné výšky 1 - 2,5 m. Při nevyhovujících podmínkách pěstování, např. při suchém počasí, mohou rostliny dosahovat výšky pouze 0,5 m. Naopak při vhodných podmínkách je schopná dorůst až do výšky 4 metrů (Kováčik 2000).



Obr. 1: Slunečnice roční (BBCH 65 - plný květ), zdroj:

http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%22ca662b7ef5fa0d7a2057817ea903e56f%22#ior|met:ca662b7ef5fa0d7a2057817ea903e56f|kap1:plodiny|kap:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c261c6e

Kořenová soustava slunečnice je dosti mohutná a je rozvětvená po celém profilu ornice, což umožňuje rostlině získat vodu nebo živiny i z hlubších vrstev půdy. Rostlina je díky tomu schopná lépe odolávat různým stresovým faktorům, zejména pak stresu z nedostatku vody (Kirschner & Šída 2004). Hlavní kořen je silný a má kulovitý tvar, u běžných odrůd se udává, že dosahuje do hloubky 2 - 3 m. Slunečnice vytváří velké množství jemných postranních kořínků, z nichž je převážná část uložena v orniční vrstvě (Slavík & Štěpánková 2004).

Baranyk et al. (2010) uvádí, že kořenová soustava slunečnice dosahuje největší hustoty ve 20 - 30 cm. Poměr hmotnosti kořenového systému a hmotnosti nadzemní biomasy je přibližně 1,3 : 10 (Pagés et al. 2004). Kořeny slunečnice tvoří značné množství kořenových exudátů, což způsobuje půdní vyčerpání (Kováčik 2000). Pagés et al. (2004) dodávají, že z tohoto důvodu je dobré v rámci osevního postupu zařazovat slunečnici na stejný pozemek s odstupem osmi let.

Lodyha slunečnice má mohutný vzrůst, je nepravidelně ochlupená a intenzivně olistěná. Z velké části má bylinný charakter vyplněný houbovitou dřevinou, jen u báze může povrchově dřevnatět (Baranyk et al. 2010). Kirschner & Šída (2004) uvádějí, že délka lodyhy slunečnice se mění podle typu odrůdy. Olejné typy mají délku lodyhy od 0,5 m do 2 m, u okrasných a silážních typů slunečnic může délka dosahovat až 4 m. Podle Slavíka & Štěpánkové (2004) se tloušťka lodyhy pohybuje v rozmezí 3 - 7 cm. V průběhu prodlužovacího růstu má lodyha vzpřímenou polohu. Poté co rostlina přechází do fáze kvetení, se začíná lodyha v horní části postupně ohýbat, což je označováno jako překlopení úboru. Tato okolnost má vliv na ztrátu nažek při mechanizované sklizni a do značné míry omezí škody na úboru způsobené ptactvem nebo houbovými chorobami (Baranyk et al. 2010). Kováčik (2000) uvádí, že u dnešních odrůd se úhel překlopení úboru pohybuje mezi 90 - 180°.

Listy jsou střídavého charakteru (v postavení 2/5), kromě nejspodnějších listů, které bývají vstřícné. Všechny listy jsou dlouze řapíkaté bez palistů. Čepel je srdčité vejčité až trojúhelníkovitá, špičatá a má nepravidelně pilovitý okraj (Kirschner & Šída 2004). Slavík & Štěpánková (2004) uvádí, že list slunečnice je asi 10 - 30 cm široký, 15 - 25 cm dlouhý a je pokrytý drsně štětinatými chloupky. Listová plocha dosahuje největší pokryvnosti listoví (LAI) okolo 70 - 90 dní od vyklíčení. Celková pokryvnost listové plochy může dosáhnout velikosti až 7 000 cm². Málek et al. (2014) dodávají, že rychlé dosažení konečné velikosti listů a udržení jejich fotosyntetické aktivity alespoň 40 dní, je důležité z hlediska obsahu oleje v nažkách. U pěstovaných odrůd se počet listů na rostlině pohybuje mezi 20 - 30 listy, s tím, že u pozdnějších odrůd je počet listů vyšší než u raných odrůd (Baranyk et al. 2010).

Kováčik (2000) udává, že pro lodyhu a listy slunečnice je charakteristický takzvaný heliotropismus, tedy schopnost rostlin obracet se směrem ke slunci. Dále dodává, že heliotropismus se projevuje jen u mladých listů, což má zejména význam pro vyšší účinnost fotosyntézy. Na počátku kvetení pak tento pohyb lodyh a listů ustává a rozkvetlé úbory jsou definitivně natočeny ve směru, ze kterého vychází slunce. Baranyk et al. (2010) uvádí, že u raných odrůd je to na jihovýchod a u pozdních na východ. Dále se pak v porostu mohou vyskytovat jedinci, kteří takto nereagují.

Květy slunečnice jsou uspořádány do úboru, který v průměru dosahuje velikosti 5 - 75 cm podle typu hybridu, technologie pěstování a pěstebních podmínek. Po obvodu květenství se nacházejí střechovitě uspořádané zelené listeny zákrovu (Slavík & Štěpánková 2004). Podle Kováčika (2000) bývají na jedné rostlině 1 - 4 květy a při plně zapojeném porostu slunečnice dosahují velikosti 15 - 25 cm. Lůžko úboru může mít rozmanitý tvar, bývá okrouhlé, ploché, nebo v různém stupni vypouklé či vyduté, vzácněji esovitě. Typickou vlastností slunečnice je, že vytváří dva druhy květů. Po obvodu vytváří žluté zbarvené jazykové sterilní květy, které mají za úkol přilákat opylující hmyz. Počet těchto květů na úboru je okolo 30 - 70. Ve středu úboru se nacházejí fertilní oboupohlavní trubkovité květy, které jsou velmi početné a jejich počet se odhaduje na 500 až 8000. Všechny květy vyrůstají v úžlabí trojzubého bezbarvého listenu (plevky), která je odděluje od ostatních květů a udržuje je na úboru

(Baranyk et al. 2010). Málek et al. (2014) uvádí, že slunečnice je převážně cizosprašná rostlina a je zřetelně hmyzosnubná.

Plodem slunečnice je jednosemenná, nepukavá nažka. Nažka je obvejcovitého tvaru s klínovitou bází, na obou pólech zaoblená. Délka nažky bývá okolo 7 - 25 mm, šířka kolem 4 - 13 mm a tloušťka 2 - 2,5 mm, průměrná hmotnost nažky je mezi 0,04 - 0,2 g (Kirschner & Šída 2004). Nažku tvoří přilnavé kožovité oplodí (perikarp), které nejčastěji bývá černé, šedé nebo bílé barvy a vlastní olejnaté semeno, uložené pod oplodím (Kováčik 2000). Podle Málka et al. (2014) mají odrůdy pěstované na olej podíl oplodí (slupky) asi 20 % hmotnosti nažky, naproti tomu u odrůd pěstovaných pro přímý konzum a krmné účely tvoří slupka zhruba 40 % hmotnosti nažky. Baranyk et al. (2010) dodávají, že olejnaté semeno tvoří asi 70 - 90 % vnitřního prostoru plodu. Hmotnost tisíce nažek u hybridů pěstovaných u nás bývá od 40 do 90 gramů. Nažky jsou nejlépe vyvinuté v periférii úboru, naopak nejhůře vyvinuté bývají ve středu úboru. O jejich vzájemném poměru rozhodují vláhové podmínky stanoviště, zásobování rostliny živinami, dále pak opylovací poměry a genotyp rostliny (Kováčik 2000). Málek et al. (2014) uvádí, že po 10 - 12 dnech po opylení začíná probíhat intenzivní tvorba jádra a samotné dozrávání nastává zhruba 35 - 45 dnů po konci kvetení. Slunečnicová semena u slunečnice olejného typu, který u nás převažuje, obsahují asi 35 - 45 % tuků, 16 - 20 % dusíkatých látek, 24 % hrubé vlákniny. Dále obsah bezdusíkatých látek výtažkových (BNLV) je nižší, přibližně 7 - 10 % a obsah minerálních látek tvoří asi 2 - 3 %, z nichž je nejvíce zastoupen fosfor, draslík a hořčík (Tichá & Vyzínová 2006).

Slunečnici roční (*Helianthus annuus* L.) podle Slavíka & Štěpánkové (2004) rozdělujeme do několika forem:

1. Semenné formy (olejný typ, cukrářský typ)

- Olejný typ je celosvětově nejrozšířenější a využívá se na lisování kvalitního slunečnicového oleje. Má středně velké nažky s tenkou slupkou a vysoký obsah oleje. Kováčik (2000) uvádí, že tento typ semene obsahuje až 70 % oleje, 20 - 30 % bílkovin a 6 - 11 % cukrů. Olejný typ slunečnice se podle Cerkala et al. (2011) dále dělí na tři podtypy:
 - Linolový podtyp má vysoký obsah kyseliny linolové (57 - 70 %) a nižší obsah kyseliny olejové (18 - 35 %).
 - NuSun (středně olejný) podtyp obsahující 15 - 35 % kyseliny linolové a 55 - 75 % kyseliny olejové.
 - Vysokoolejný podtyp obsahuje 5 % kyseliny linolové a až 82 % kyseliny olejové.
- Cukrářský typ je méně rozšířený a oproti olejnému typu má větší nažky, které mají silnější slupku. Charakteristickým znakem je, že obsahuje více bílkovin (až 38 %) a cukrů (až 11 %), ale obsah oleje je nižší (okolo 32 - 38 %).

2. Silážní formy slunečnice měly význam spíše v dřívějších dobách, kdy se používaly jako krmivo pro hospodářská zvířata. V současnosti není v naší oblasti tento typ využíván vůbec, protože má nízkou stravitelnost siláže a skot ji nerad přijímá. (Málek et al. 2014).

3. Okrasné formy (ornamentální typ, plnokvětý typ).

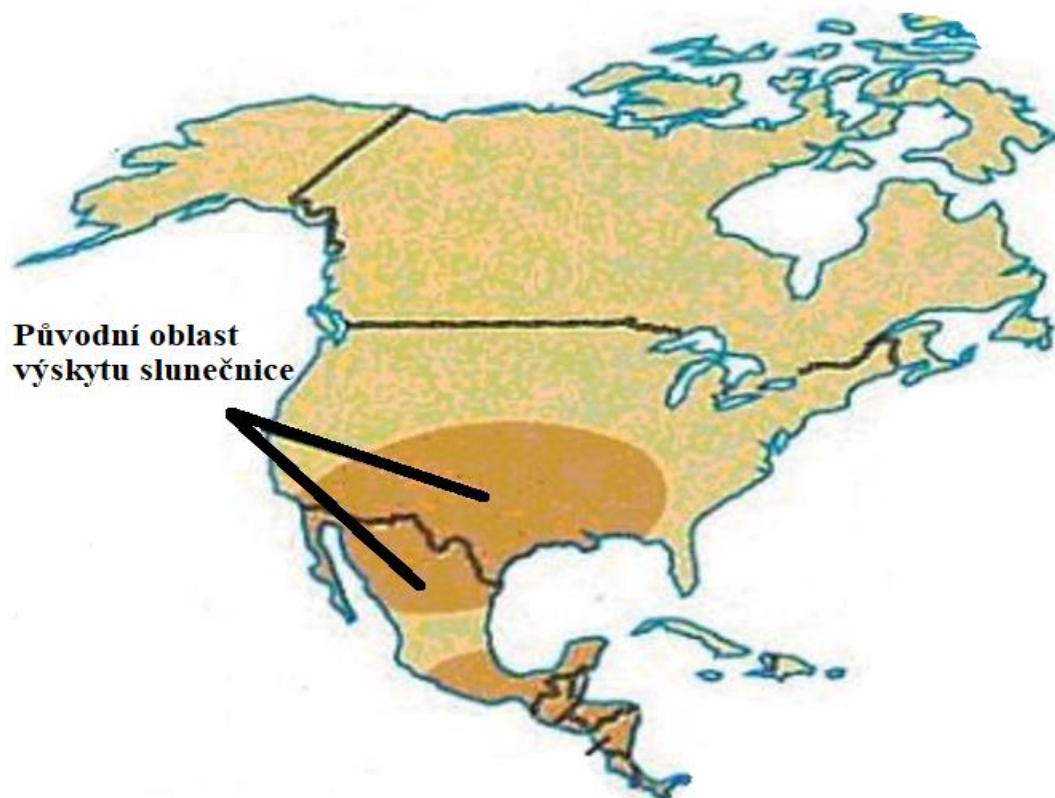
3.2 Historie pěstování slunečnice roční

Pěstování slunečnice má složitou a dlouhou historii. Začalo v severní Americe, pokračovalo přes Evropu, aby se ke konci 19. století vrátilo zpět do Ameriky (Zukalová et al. 2009).

První záznamy o slunečnici roční je možné nalézt už v době 3000 let před naším letopočtem, přičemž za její původní domovinu jsou považovány tropické a subtropické oblasti severní Ameriky (Lentz et al. 2001). Podle Kováčika (2000) se jednalo o oblast severního Mexika a Nebrasky, viz obr. 2, kde byla slunečnice pěstována americkými indiány, kteří ji používali jako potravinu, stavební materiál, nebo ji využívali v medicíně a při rituálech. Protože sklizeň slunečnice byla speciální operací a jakákoliv změna ve velikosti semen byla vidět, bylo logické, že rostliny s největšími semeny byly ponechány pro výsadbu v následující sezóně (Radanović et al. 2018). Lentz et al. (2001) dodávají, že první domestikované pozůstatky slunečnice roční se našly v lokalitách San Andres a Tabasco v Mexiku. Z nálezů slunečnicových pozůstatků v těchto lokalitách, je možné považovat Mexiko za místo, kde byla slunečnice poprvé domestikována.

Odhaduje se, že kulturní rostlina slunečnice roční tak jak jí známe dnes, vznikla podle všeho mezidruhovou hybridizací planých forem *Helianthus annuus* L. a blízkce příbuzného druhu *Helianthus petiolaris* (Kováčik 2000). Burke et al. (2002) dodávají, že dnešní kultivovaná slunečnice byla pravděpodobně vytvořena hromadným výběrem z volné přírody *Helianthus annuus*, který má malá semena a rozvětvenou stopku. Kulturní a planá slunečnice zobrazená na obr. 3 vykazuje řadu morfologických rozdílů, které vycházejí z původní domestikace. Například pro planou slunečnici je charakteristická vysoce rozvětvená růstová forma s četnými malými kvetoucími úbory a relativně malými semeny, které se uvolňují po zrání. Kultivovaná slunečnice naproti tomu není vůbec rozvětvená a produkuje pouze jedno velké květenství s relativně velkými semeny, které zůstávají na rostlině až do sklizně (Burke et al. 2005).

Do Evropy pronikla slunečnice v 16. století díky španělské expedici do Mexika, ze které při svém návratu přivezli vzorky (Zukalová et al. 2009). Putt (1997) dodává, že slunečnice byla zavedena do Evropy v roce 1510, nejprve do Španělska a odtud byla rozšířena do Francie, Anglie, Německa a dalších evropských zemí. Dále uvádí, že po více než dvě staletí byla slunečnice v Evropě pěstována výhradně jako okrasná plodina. Slunečnice byla poprvé vyseta jako polní plodina ve Francii a Německu. V roce 1716 byl v Anglii udělen patent na lisování oleje ze semene slunečnice za studena. V 18. století se pak slunečnice díky Petru Velikému dostala do Ruské říše, kde se snadno přizpůsobila místním podmínkám (Potměšilová 2010). Putt (1997) dodává, že se v roce 1830 právě v Rusku začala poprvé slunečnice pěstovat jako olejná plodina a její popularita stále více rostla. Potměšilová (2010) uvádí, že ke konci 19. století pěstovali ruští farmáři slunečnici na více než 810 tis. hektarech. V roce 1860 se začaly v Rusku šlechtit nové odrůdy slunečnice za účelem zvýšení produktivity olejnatých semen. Obsah oleje byl vylepšen modifikovanou metodou opakovaného výběru (metoda rezerv semen) a toto šlechtění vedlo ke zvýšení olejnatosti semen z původních 28 % na téměř 50 % (Jocić et al. 2015). Zukalová et al. (2009) dodávají, že takto vyšlechtěná ruská slunečnice se díky imigrantům vrací opět do Ameriky, kde v roce 1926 vzniká první závod na výrobu oleje.



Obr. 2: Původní výskyt slunečnice, zdroj:
<<https://twitter.com/calestous/status/719181411203198976>>

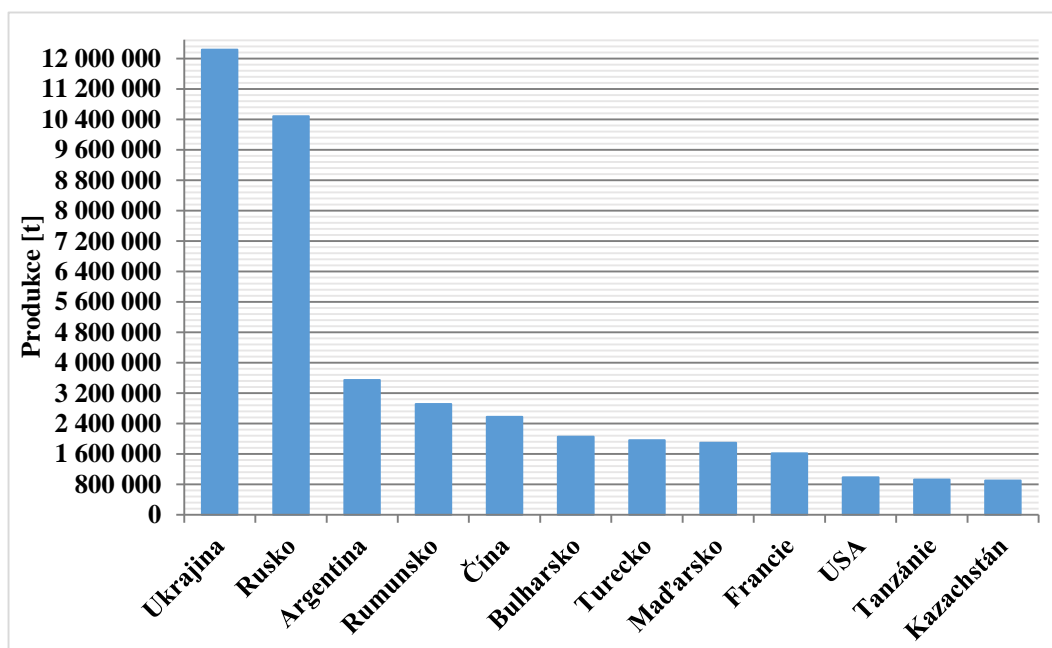


Obr. 3: Planá forma slunečnice - vlevo a
kulturní forma slunečnice - vpravo (Radanović et al. 2018)

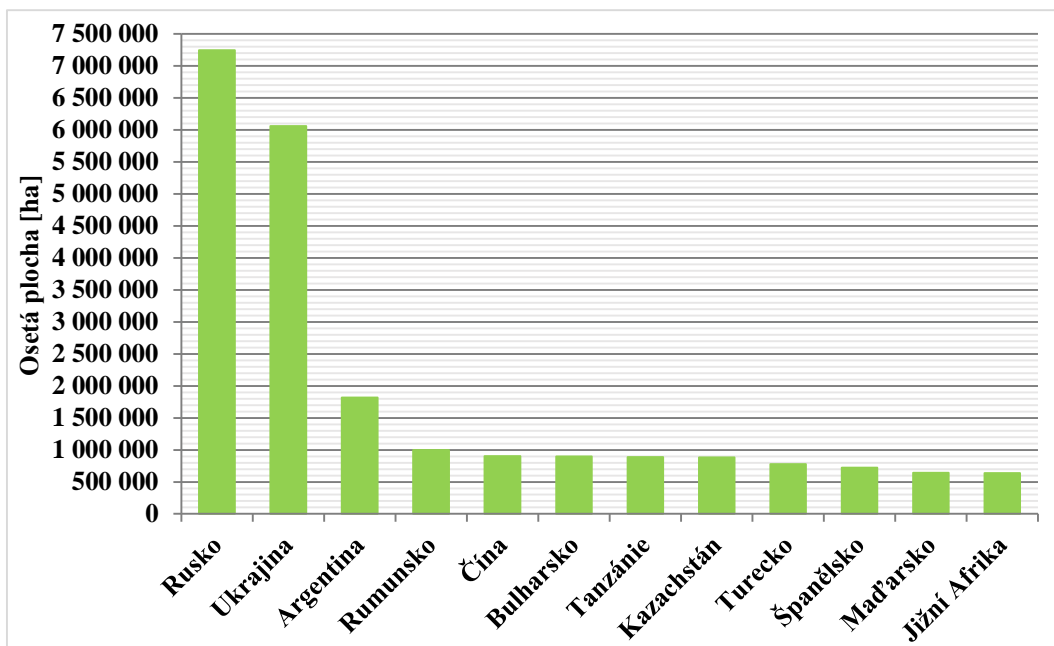
Na našem území se začala slunečnice roční pěstovat kolem roku 1870. Dlouhou dobu se tu však pěstovala jako okrasná plodina nebo meziplodina (Málek et al. 2014). Kováčik (2000) dodává, že důvodem tohoto pěstování byla neznalost technologie pěstování slunečnice, ale také pěstování odrůd, které nebyly vhodné pro naše půdní a klimatické podmínky. Autor dále uvádí, že o zavedení slunečnice jako polní plodiny u nás, se zasloužil Václav Rosam, který v roce 1920 provedl první pokusy s introdukovanými odrůdami slunečnice dovezenými z USA. Ve své publikaci o slunečnici napsal: „V průběhu 9 let mě slunečnice ani jednou nezklamala“. První pěstování slunečnice bylo soustředěno především do nejteplejších oblastí České republiky na střední a jižní Moravu, ojediněle se vyskytovaly porosty slunečnice i ve středních Čechách. Během dalších let se slunečnice pěstovala z důvodu nedokonalé propracované technologie pěstování a nedostatečnému mechanizačnímu vybavení, jen na malých plochách. V 80. letech minulého století byly plochy na území dnešní České republiky zcela zanedbatelné. Pěstovalo se zde zhruba 80 ha slunečnice, postupně se však pěstování slunečnice rozšiřovalo (Málek et al. 2014). Kulovaná (2001) uvádí, že od roku 1945 až do roku 1983 se plochy slunečnice na našem území pohybovali od tří do osmi tisíc hektarů. Na počátku devadesátých let 20. století došlo na území České republiky k většímu rozšíření slunečnice. V té době byla pěstována na bezmála 30 000 hektarech, což odpovídalo zastoupení na orné půdě zhruba 1 % (Potměšilová 2010). Málek et al. (2014) dodávají, že se plocha slunečnice na začátku 21. století dostala bezmála na 50 tis. ha. Dle ČSÚ to bylo v roce 2003, kdy byla oseta na ploše 48 706 ha.

3.3 Současnost pěstování slunečnice roční

Podle údajů FAO byla slunečnice celosvětově v roce 2017 zasetá na 26 533 597 ha a celosvětová produkce činila 47 863 077 tun. Mezi tři největší producenty slunečnice na světě v roce 2017 patřili Ukrajina, Rusko a Argentina, jak dokládá graf 1. Největší osetou plochu na světě v roce 2017 měly Rusko a Ukrajina, které měly slunečnici zasetou dohromady na 13 304 761 ha, což je 50 % z celkové oseté plochy na světě, viz graf 2 (FAO 2019).

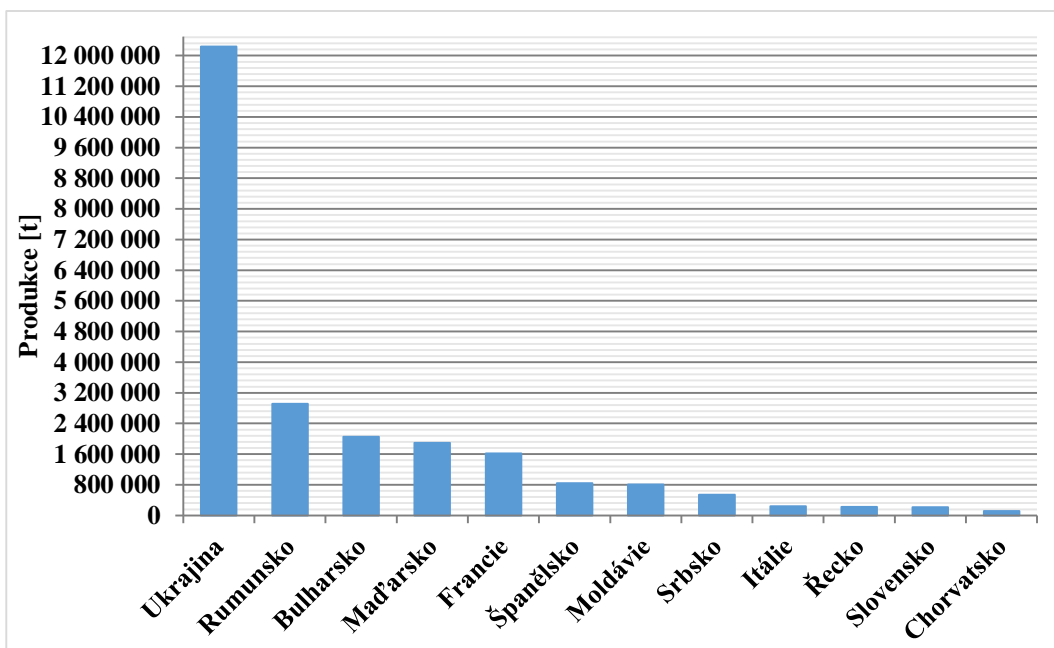


Graf 1: Největší producenti slunečnice ve světě v roce 2017 (FAO 2019)

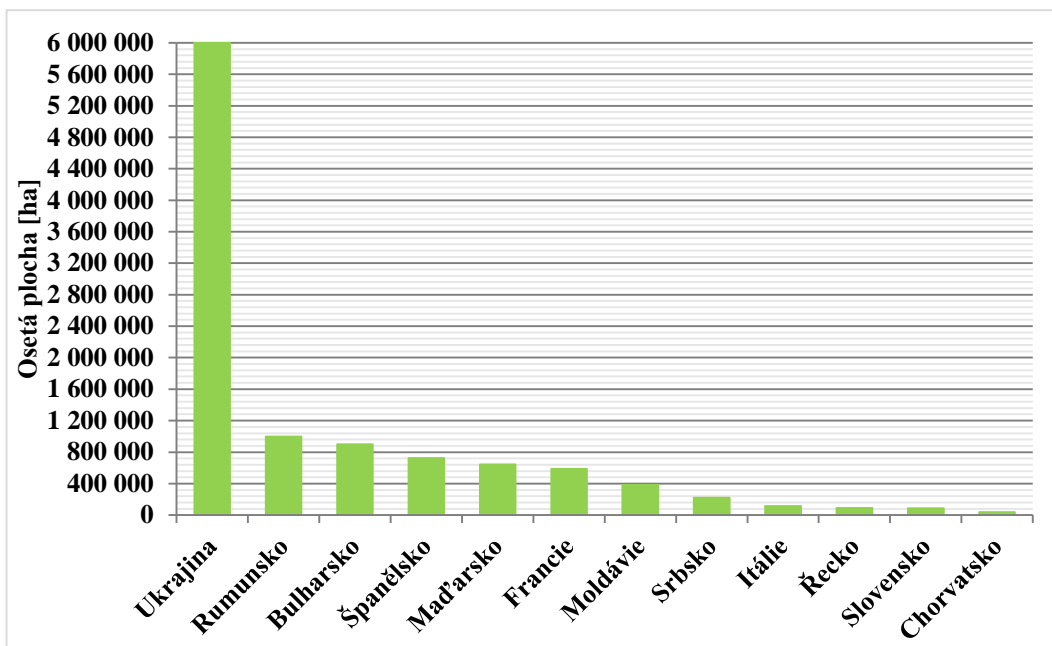


Graf 2: Osetá plocha slunečnicí ve světě v roce 2017 (FAO 2019)

V Evropě se slunečnice v současné době pěstuje nejvíce v jižních a východních oblastech (Debaeke et al. 2017). Evropa, nepočítáme-li do ní Ruskou federaci, v roce 2017 dle FAO vyprodukovala 23 899 983 tun slunečnicového semene, což činilo asi 50 % z celosvětové produkce, na ploše 10 934 702 ha. Tři největší producenti slunečnicového semene v Evropě byli Ukrajina, Rumunsko, Bulharsko, přičemž produkce Ukrajiny v roce 2017 činila 12 235 520 tun, čímž jasně dominovala nejen v Evropě ale i na celém světě, viz graf 3. V Evropě měla největší osetou plochu slunečnicí Ukrajina, jak dokládá graf 4, ta ji pěstovala na 6 060 700 ha, to je 55 % z celkové oseté plochy slunečnicí v Evropě. Co se týče EU, tak ta v roce 2017 vyprodukovala 10 294 578 tun semene na ploše 4 258 714 ha (FAO 2019).

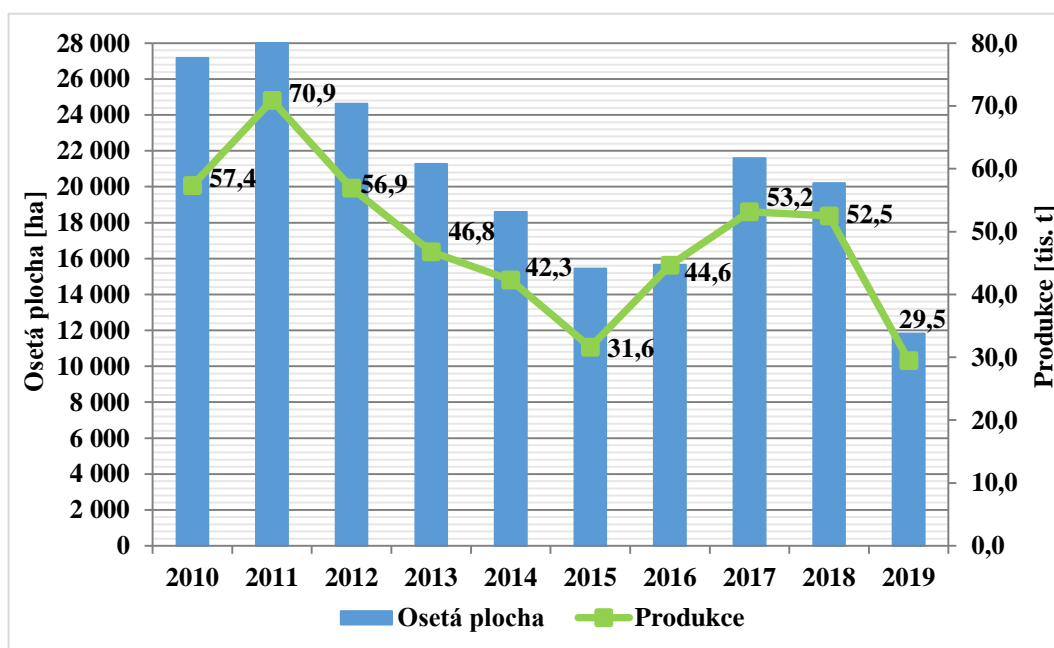


Graf 3: Největší producenti slunečnice v Evropě v roce 2017 (FAO 2019)



Graf 4: Osetá plocha slunečnic v Evropě v roce 2017 (FAO 2019)

Český statistický úřad uvádí, že slunečnice byla v roce 2019, viz graf 5, zaseta celkem na ploše 11 825 ha, což je o 8 377 ha méně než v roce 2018, kdy osetá plocha slunečnic činila 20 202 ha a její produkce v roce 2019 byla 29 459 tun, to je o 23 066 tun méně než v roce 2018. Dále udává, že od roku 2010 je to nejnižší produkce a osetá plocha slunečnice v České republice. Za posledních devět let byla největší osetá plocha slunečnic v České republice v roce 2011, kdy byla oseta na 28 554 ha a produkce v tomtéž roce byla 70 900 tun, jak je patrné z grafu 5. Největší produkci a osetou plochu slunečnic v roce 2019, měl Jihomoravský, Středočeský a Ústecký kraj (ČSÚ 2019).



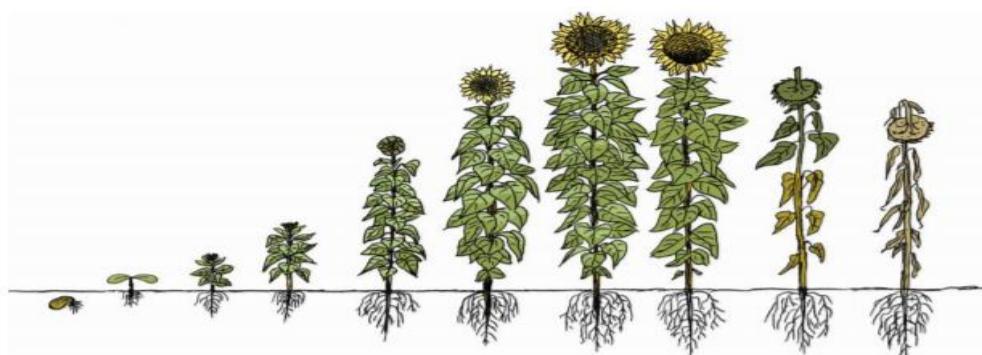
Graf 5: Vývoj oseté plochy a produkce slunečnice v České republice (ČSÚ 2019)

3.3.1 Požadavky slunečnice roční na prostředí

Pro pěstování slunečnice roční je optimální kukuřičná výrobní oblast. Nejlépe se jí daří v oblastech, ve kterých dozrávají odrůdy kukuřice na zrno, s číslem FAO 280 - 300 (Konvalina et al. 2007). Baranyk et al. (2010) dodávají, že rozhodující faktory pro růst slunečnice jsou dostatek světla, teploty a atmosférických srážek.

Slunečnicová semena vyklíčí již při teplotě půdy 4 °C (Putnam et al. 1990). Konvalina et al. (2007) dodávají, že pro uspokojujivé klíčení potřebuje slunečnice teplotu půdy alespoň 8 - 9 °C. Optimální teploty pro růst a vývoj jsou okolo 20 - 25 °C (Putnam et al. 1990). Thomaz et al. (2012) konstatují, že teploty vysoko přesahující 25 °C snižují výnosy a olejnatost semen. Dále uvádí, že teploty blízké 0 °C, nebo teploty pod bodem mrazu poškozují rostlinu ve všech fázích jejího růstu. Optimální požadavky na teplotu v různých vývojových fázích růstu jsou uvedeny na obrázku 4.

Slunečnice se řadí k rostlinám krátkého dne, je relativně suchovzdorná, ale přesto má vysoký transpirační koeficient (nad 550). Za svou suchovzdornost vděčí nejenom vyvinutému kořenovému systému, ale především tomu, že u ní fotosyntéza pokračuje i při výrazném vodním stresu (Konvalina et al. 2007). Málek et al. (2014) dodávají, že díky suchovzdornosti je slunečnice schopná odolávat stresu z nedostatku vody po dobu 4 - 5 týdnů, bez toho aniž by došlo ke ztrátám na výnosu. Gholamhoseini et al. (2013) uvádí, že slunečnice dokáže produkovat dobrý výnos při pouhých 300 mm srážek za rok. Dále dodávají, že pro dosažení lepších výnosů je zapotřebí 500 - 750 mm srážek za rok. Zvýšené nároky na vláhu má slunečnice především v počátečních dnech vegetace, dále pak zhruba dvacet dní před kvetením a patnáct dní po odkvětu, viz obr. 4 (Málek et al. 2014). Toto potvrzují i Ghaffari et al. (2012), kteří uvádí, že výnos a obsah oleje v semenech slunečnice je snížen, pokud jsou rostliny vystaveny vodnímu stresu v hlavních obdobích růstu, a především v období kvetení.



Vegetativní fáze		Reprodukční fáze			
Vznik	Fáze růstu		Kvetení	Vývoj nažek	Fyziologická zralost
	Pomalá	Zrychlená			
4 až 10 dní teplota: 23 °C srážky: 0,5 - 0,7 mm/den	50 až 70 dní teplota: 23 - 28 °C srážky: 0,7 - 6 mm/den		10 až 15 dní teplota: < 35 °C srážky: 6 - 8 mm/den	20 až 30 dní teplota: 20 - 24 °C srážky: 4 - 6 mm/den	15 až 25 dní suché počasí

Obr. 4: Hlavní fáze vývoje slunečnice, s příslušným trváním, požadavky na teplotu a potřebu vody (Castro & Farias 2005)

Slunečnice roční se dobře přizpůsobuje široké škále půd, ale nejvíce jí vyhovují půdy, které jsou vhodné pro pěstování kukuřice nebo pšenice (Radanielson et al. 2012). Konvalina et al. (2007) dodávají, že nejvhodnější půdy jsou hlinitopísčité a písčito-hlinité, z půdních typů jí nejvíce vyhovují černozemě nebo hnědozemě, které jsou dobře zásobené vláhou a ve staré půdní síle. Dále uvádí, že slunečnice je tolerantní také k půdní reakci, za optimální pH je považováno 6 - 7,2 a nežádoucí je pak pH pod 5,5. V neposlední řadě je také potřeba zvážit výběr pozemku v rámci krajiny, kdy v oblastech vedle lesních celků, remízků a sadů může docházet k poškození slunečnice zvěří, především zajíci a ptactvem (Málek et al. 2014).

3.4 Tvorba sušiny u rostlin

Látkové složení rostlin je různorodé. Velmi důležitou složkou v rostlině je voda, jejíž obsah v rostlinách je velice rozdílný a proměnlivý (pohybuje se okolo 10 - 95 %) podle druhu a odrůdy rostliny, vývojového stádia rostliny, podle části rostliny a podmínek prostředí. Pro získání obsahu sušiny je nutné z rostliny nejprve odstranit veškerou vodu. Obsah sušiny je rozhodující pro výživnou hodnotu rostlin (Vaněk et al. 2016). Hess (2008) definuje sušinu jako neodpařitelný zbytek látky, který zbývá v rostlině po zahřívání a odpaření při teplotě maximálně 105 °C až do stavu, kdy se veškeré odpařitelné látky odpaří a žádné další se už neodpařují. Vaněk et al. (2016) uvádí, že sušinu tvoří z větší části organické látky - sacharidy, tuky a bílkoviny, které tvoří její spalitelný podíl a z menší části látky anorganické (popeloviny). Šerá (2013) dodává, že asi 90 % celkové hmotnosti sušiny rostlin tvoří atomy uhlíku a kyslíku. Dále následují vodík, dusík, draslík a vápník, množství dalších prvků se pohybuje v řádech desetin procent a méně.

Tvorba sušiny a energeticky bohatých látek je ovlivněna nejenom genotypem rostliny, ale také správnou výživou a především podmínkami vnějšího prostředí (Hnilička et al. 2000). Základem výnosu rostlin je kontrola distribuce sušiny mezi různými rostlinnými orgány (Wardlaw 1990). Dusanic et al. (2008) konstatují ve své práci, že dynamika akumulace sušiny u rostlin se liší v závislosti na stádiu vývoje rostliny, hustotě porostu, podmínkách prostředí a odrůdě. Hnilička et al. (2000) doplňují, že celková produkce sušiny závisí také na fotosyntetické kapacitě rostliny a rychlosti fotosyntézy.

Pushpa et al. (2013) uvádí, že rostliny s větším rozestupem pěstování mají vyšší akumulaci sušiny jak ve stonku, tak listech. Akumulaci sušiny v listech a reprodukčních orgánech lze také zvýšit organickými a minerálními hnojivy. Nejvyšší obsah sušiny na rostlinu lze získat při nejnižší hustotě porostu, naopak vyšší obsah sušiny na celkovou výměru má porost s vyšší hustotou. Vztahy mezi produkcí sušiny na rostlinu a na hektar při různých hustotách porostu jsou ovlivněny konkurencí mezi rostlinami, přičemž konkurence nastává ve fázi intenzivního růstu (Dusanic et al. 2008). Pushpa et al. (2013) konstatují, že akumulace sušiny v listech a reprodukčních orgánech rostlin se snižuje u populací s vyšším počtem rostlin na plochu a při nedostatečné, nebo naopak nadměrné výživě rostlin.

Dusanic et al. (2008) zjistili, že akumulace sušiny v raných vývojových fázích slunečnice je nízká, ale s postupným vývojem rostliny se zvyšuje až do počátku pučení. Merrien & Milan (1992) dodávají, že nízká akumulace v raných fázích je způsobena tím, že až do fáze pučení je většina asimilátů produkovaných v listech transportována ke kořenům, které se v této fázi intenzivně vyvíjí. Zároveň v těchto fázích (kolem fáze šesti páru listů) lze

pozorovat vyšší celkový obsah sušiny v listech než ve stonku. Ve fázi kvetení lze pozorovat při zvýšené hustotě porostů rostlin vyšší akumulaci sušiny ve stonku než v listech (Dusanic et al. 2008). Naproti tomu De Giorgio et al. (1990) konstatují, že nebude-li mezi rostlinami existovat konkurence způsobená velikostí vegetativního porostu, bude nejvyšší obsah sušiny ve fázi kvetení také v listech. Období nejintenzivnější akumulace sušiny u slunečnice roční je od pučení do květu. Nejvyšší množství sušiny se u slunečnice nashromáždí ve fázi květu, zatímco vrchol akumulace u ní nastává třicet dní po začátku kvetení (Dusanic et al. 2008). Pushpa et al. (2013) dodávají, že rychlost produkce sušiny u rostlin klesá při dozrávání. Dále uvádí, že akumulace sušiny v reprodukčních orgánech rostliny záleží na fotosyntetické kapacitě rostliny během období vývoje reprodukčních orgánů.

3.5 Poměr root:shoot

Rostliny využívají pro svůj život tři základní zdroje: CO₂, světlo a živiny. Vlastní energii vkládají do listů, díky kterým mohou lépe využívat světelné záření nebo do kořenů, což jim zabezpečí příjem živin. Vždy převažuje ta varianta, která je strategičtější pro danou rostlinu. V přírodě platí, že výhoda v jednom směru je ve skutečnosti vyvažována nevýhodou v jiném směru, což je označováno takzvaným principem trade-off (Mihulka & Storch 2000).

U rostlin je takovým pravidlem vkládání do podzemní biomasy vztažený k biomase nadzemní. Tento poměr je nazýván „root:shoot ratio“ R:S. V podstatě se jedná o sušinu kořenového systému vzhledem k sušině nadzemní části rostliny ($R_w:S_w$). Poměr je předurčen druhově a geneticky a mění se během ontogenetického vývoje rostliny. Dále se mění a přizpůsobuje v závislosti na podmínkách prostředí a při působení různých stresových faktorů. U bylinných rostlin se poměr kořenů a výhonků obvykle snižuje s věkem (velikostí) v důsledku trvalé investice uhlíku do nadzemních struktur. Významnou výjimku však tvoří kořenové plodiny (Kobe et al. 2010). Všeobecně platí, že vzájemné vztahy mezi nadzemní a podzemní částí rostliny významně ovlivňují akumulaci látek do jednotlivých částí rostliny. Platí, že mezi kořenem a stonkem existuje vzájemný vztah: stonk svojí fyziologickou aktivitou (produkce fytohormonů - auxiny) podstatně ovlivňuje všechny funkce kořene, a kořen svojí fyziologickou aktivitou (produkce fytohormonů - cytokininů) významně ovlivňuje všechny funkce stonku (Masarovičová et al. 2015). Bonifas & Lindquist (2006) uvádějí, že rozdělení biomasy (R:S) je jedním z mechanismů, kterým se rostliny vypořádávají se zhoršenými růstovými podmínkami a dokáží tím ovlivnit svoji rychlost růstu. Dodávají, že rostliny tak rozdělují vyšší podíl biomasy do stonků a listů v prostředí, které je bohaté na živiny a ve kterém je silná nadzemní konkurence rostlin o světlo, zatímco v prostředí chudém na živiny, kde si rostliny konkurují více pod zemí, přidělí vyšší podíl biomasy kořenům. Kobe et al. (2010) konstatují, že rozdělení biomasy u dospělých rostlin je závislé na mnoha faktorech, díky kterým se může distribuce biomasy do potřebných orgánů rostlin silně zpozdít. Některé změny v životních podmínkách rostlin mohou dokonce odchýlit biomasu kořenů a poměr $R_w:S_w$ natolik, že může zvýšit pravděpodobnost úmrtí (Šerá 2013). Tento poměr je hlídáný v produkční biologii rostlin a v zemědělské praxi je poután s vlastnostmi kulturních rostlin, jako je shromažďování živin do cílených orgánů (semena, hlízy, bulvy apod.), suchovzdornost nebo efektivní schopnost využití vody. $R_w:S_w$ poměr by měl být sledovaným a nezanedbatelným parametrem během vývoje polních plodin (Šerá 2013).

3.5.1 Vliv ontogeneze na poměr root:shoot

Ontogenetický vývoj rostlin můžeme rozdělit na pět fází: klíčení, růst semenáčku, vegetativní a generativní fáze a fáze biologického stárnutí (Bláha et al. 2004). Například při první fázi klíčení se nejdříve objeví kořínek, jehož růst je upřednostňován před růstem lodyžky. V této fázi je semenáček nejdříve vyživován zásobními látkami v semeni, ale s postupným růstem přebírá tuto zásobní funkci kořínek. Poté, co dojde k vytvoření asimilačního aparátu, investuje semenáček do nadzemní části svého těla. Takhle se během růstu a stárnutí rostliny krok za krokem zmenšuje poměr $R_w:S_w$ (Šerá 2013). Bonifas & Lindquist (2006) uvádí, že ve fázi generativního rozmnožování dochází ještě k výraznějšímu posílení nadzemních orgánů vůči kořenové biomase. Pokud ale bereme v potaz poměr $R_w:S_w$ vztahovaný k biomase nemusí se toto posílení nadzemních orgánů ve fázi generativního rozmnožování zřetelně projevit (Šerá 2013). Ontogenetický vývoj je provázen fenologickými fázemi rostlin (tvorba prvních listů, pupenů, začátek kvetení apod.). Množství vytvořené biomasy v různých orgánech rostlinného těla (včetně poměru $R_w:S_w$) se mění v čase podle vývoje rostliny (Bonifas & Lindquist 2006). Podle Šeré (2006) jsou tyto změny uvnitř životního cyklu druhu dány genetickými podmínkami, ale mohou být velice pružné. Dále dodává, že rychlost vývoje rostliny závisí na pedoklimatických podmínkách, při kterých dochází k výkyvům v poměru $R_w:S_w$ a to v souvislosti na průběhu počasí v sezóně. Tyto výkyvy mohou být dočasné nebo trvalé.

3.5.2 Vliv hlavních podmínek prostředí na poměr root:shoot

Mezi vnitřní a vnější faktory, které ovlivňují poměr $R_w:S_w$ patří obsah živin v půdě, obsah fyziologicky dostupné vody, světlo, CO_2 , teplota prostředí, odlistění nebo poškození kořenů rostliny, míra generativní reprodukce a hormonální funkce rostliny (Wilson 1988). Šerá (2013) dodává, že vnější faktory neboli vnější podmínky prostředí patří mezi nejvýznamnější z hlediska zemědělství.

Živiny jsou často ve vztahu k produkci biomasy u kulturních rostlin sledované. Při vysokém množství hlavních živin v půdním substrátu dochází ke zvýšení jejich příjmu, tím pádem musí dojít k vyrovnání optimálního poměru $R_w:S_w$ v oblasti fotosyntetického aparátu (Šerá 2013). Cambui et al. (2011) uvádí, že při nadbytečné výživě rostlin se živiny hromadí zejména v kořeni a jen malá část z nich putuje do nadzemní části rostliny. V opačném případě, tedy při nedostatku živin poskytuje kořen nadzemním orgánům potřebnou dávku živin. Jestliže se obsah živin v substrátu sníží, alokace do kořenů se zvýší a dojde ke zvýšení poměru $R_w:S_w$ (Van der Werf et al. 1993). To potvrzuje i Ericsson (1995), který konstatuje, že při nedostatku některých z hlavních živin v půdě stimuluje nárůst kořene a tím dochází i k nárůstu poměru $R_w:S_w$. Při nadbytečném až toxickém množství živin v půdě dochází podle Wilsona (1988) taktéž ke zvýšení $R_w:S_w$ poměru.

Koncentrace CO_2 v ovzduší ovlivňuje přímo nebo nepřímo změny v ekofyziologických vlastnostech rostlin. Velké množství rostlin na zvýšený obsah CO_2 ve vzduchu reaguje zvýšenou rychlostí růstu vlivem změny asimilační rychlosti. Zvýšený obsah uhlíku v těle rostlin vede k navýšení poměru mezi uhlíkem a dusíkem, což vede ke změnám v zastoupení sacharidů. Tím dochází k výše zmíněnému principu trade-off a obsah dusíku se snaží vyrovnat obsahu

uhlíku (Šerá 2013). Schulte et al. (2002) uvádí, že když se zvýší obsah CO₂ ve vzduchu, dojde tím ke snížení rozložení biomasy v poměru R_w:S_w.

Nedostatek vody v půdě způsobuje změny v délce kořene, změnu v počtu kořenových vrcholů a vede k větší tvorbě kořenové biomasy (Chiatante et al. 2005). Šerá (2013) dodává, že tyto změny mohou být trvalé (délka kořene) nebo dočasné (počet odnoží kořene). Dále uvádí, že poměr nadzemní a podzemní biomasy se dočasně zvýší. Nadzemní části rostliny vlivem nedostatku vody stagnují. Je obecně známé, že rostliny v podmínkách nedostatku vody upravují poměr R_w:S_w ve prospěch kořene (Gregory 2006). Autor dále uvádí, že tato změna poměru root:shoot může být vnímána jako ukazatel vodního deficitu u rostlin. Podle Khan et al. (2001) se výška rostliny, velikost listové plochy a průměr stonků prokazatelně zmenší s rostoucím účinkem vodního stresu.

Intenzita světla je jeden z nejdůležitějších faktorů pro růst a vývoj rostlin, který se častokrát mění v krátkém časovém měřítku v důsledku měnících se klimatických podmínek (Walter & Nagel 2006). Lepší světelné podmínky působí na zvýšení dosažitelnosti sacharidů, čímž se zvyšuje i možnost ukládání většího množství asimilátů do kořene (Šerá 2013). Podle Waltera & Nagela (2006) vede zesílení intenzity světla u rostlin ke zvýšení poměru R_w:S_w a dochází až k čtyřikrát vyšší aktivitě kořenů, než u rostlin, které nejsou vystaveny takové intenzitě světla. Dále uvádí, že vyšší hladina osvětlení vede i k rychlejšímu růstu nadzemních orgánů, ovšem ve srovnání s kořeny je tato reakce o mnoho méně výrazná. Naopak při nižší míře osvětlení je pozorováno snížení přísunu biomasy ke kořenům (Šerá 2013). Vliv intenzity světla na poměr root:shoot je v literatuře diskutován sporně a jeví se, že závisí i na jiných okolnostech prostředí a také na druhu rostliny (Hodge et al. 1997).

Při mírně zvýšené teplotě dochází k urychlení všech metabolických procesů. Vliv teploty na rostlinu lze posuzovat jednak zvlášť na podzemní orgány, zvlášť na nadzemní orgány nebo teplota může působit na celou rostlinu stejně. Je tedy otázkou, jak vliv teploty na rostlinu zkoumat a posuzovat (Šerá 2013). Wilson (1988) uvádí, že zvýšení teploty půdy způsobí snížení poměru R_w:S_w. Pokud dojde ke snížení poměru root:shoot v důsledku rychlejšího příjmu živin, dojde k jejich kumulování a ukládání do nadzemních částí rostliny (Shipley & Meziane 2002). Podle Wang et al. (2018) dochází při zvýšené teplotě nad povrchem půdy ke snížení celkové suché hmotnosti rostlin, naopak při vyšších teplotách půdy dochází ke zvýšení celkové suché hmotnosti rostlin. Při působení zvýšené teploty na nadzemní i podzemní část rostliny zároveň dojde k zvýšení růstu a alokace biomasy i u nadzemní části rostliny (Weih & Karlsson 2001). Šerá (2013) dodává, že zvýšení teploty u obou případů patrně vedlo k výraznému posílení příjmu živin, který převažoval nad úrovní fotosyntézy. Pokud dojde k ovlivnění vyšší teplotou jen u nadzemní části rostliny má to za následek zvýšení poměru R_w:S_w. Wang et al. (2018) uvádí, že nízká teplota vzduchu i půdy může rostlinám bránit k získávání živin a tím i k menší produkci biomasy.

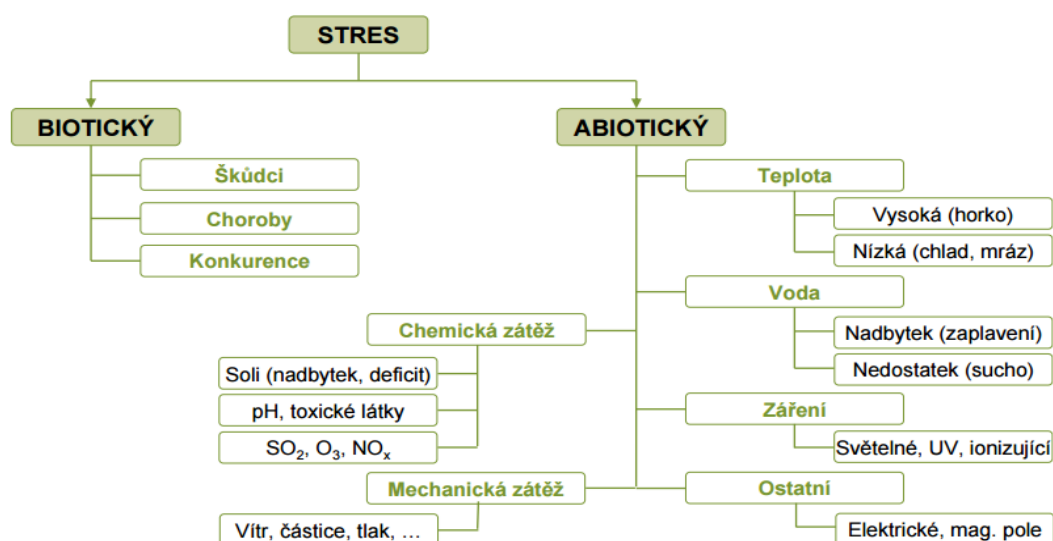
3.6 Stresové faktory

Rostliny jsou po dobu svého života vystavovány nejrůznějším podmínkám vnějšího prostředí. Pojmem stresový faktor komplexně označujeme vše, co rostlině během jejího života škodí, brání ve vývinu nebo směřuje k jejímu zániku (Hess 2008). Podle Larcher (2003)

stresové faktory působí na celou rostlinu (kořen, nadzemní část i vyvíjející se semena), přičemž z rostlinných orgánů jsou nejcitlivější ke stresovým faktorům kořeny.

Pod pojmem stres si lze zpravidla představit funkční stav živého organismu, který podléhá abnormálním podmínkám vnějšího prostředí (stresorům). Poté u organismu následují obranné reakce, které mají za úkol udržet homeostázu a tím tak zamezit poškození nebo smrti organismu (Hnilička & Hniličková 2016). Podle Gaspara et al. (2002) lze stres chápat jako stresor, tedy vliv prostředí, který je schopný způsobit poranění nebo onemocnění, nebo jako alarmující reakci na nepříznivé podmínky či jako fyziologický stav, který se projevuje změnou životních funkcí organismu. Naproti tomu Ashraf & Harris (2005) uvádí, že stres má přesnou definici fyzikální vědy. Ta popisuje stres jako sílu působící na jednotku plochy, jednající na základě materiálu, který navozuje napětí a vede k metabolickým, vývojovým a morfologickým změnám.

Stresory se dají dělit podle původu na interní a externí. Interní stresory se projevují abnormálním dělením buněk, nebo nějakou mutací, což má za následek metabolické změny (Ahmad & Prasad 2012). Kůdela et al. (2013) dále dodávají, že externí stresory se dělí na biotické a abiotické faktory, viz obr. 5. Z tohoto obrázku je patrné, že biotické stresory jsou faktory živé přírody a živých organismů. Patří sem například patogenní mikroorganismy, virové infekce, parazitismus a samotné stárnutí rostliny. Drobek et al. (2019) uvádí, že biotické faktory jsou příčinou četných chorob rostlin, které mohou nejen snížit výnos, ale také vést ke ztrátě celé sklizně. Abiotické stresory jsou naopak faktory neživé přírody a fyzikálně-chemické faktory, které vyvolávají u rostlin stres s různou intenzitou a délkou trvání a mohou se vyskytovat po celou dobu života rostliny. Sucho, chlad, vysoká teplota a salinita patří mezi hlavní abiotické faktory, které významně snižují výnosy rostlin po celém světě (Ahmad & Prasad 2012). Drobek et al. (2019) dodávají, že výnos je snížen zejména, protože rostliny reagují pomocí svých energetických rezerv na boj proti stresu, místo aby se soustředily na výnos. Čím je život rostlin delší, tím se jejich možnost vystavení stresovým faktorům zvyšuje, přičemž kromě obvyklých podnebných a půdních změn narůstá v posledních desetiletích význam stresorů, na kterých se podílí člověk (Kůdela et al. 2013).

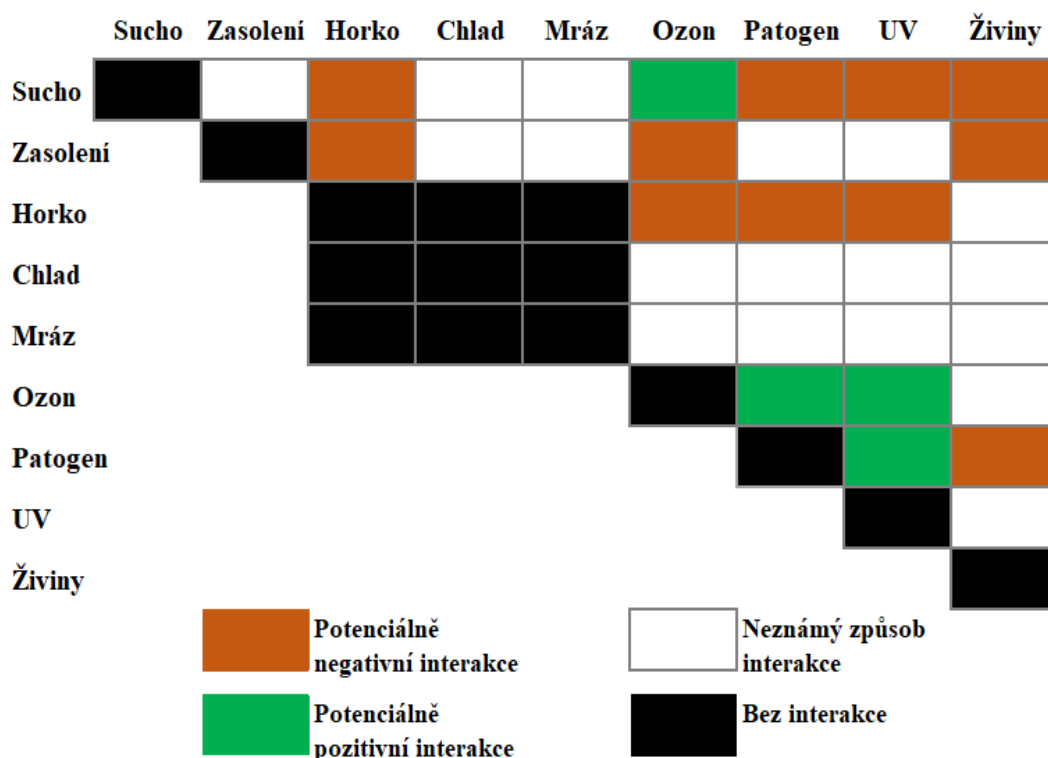


Obr. 5: Rozdělení stresových faktorů (Cerkal 2011)

Dále lze stres dělit na eustres, čímž bývá označeno zahájení stresu a diestres, který způsobuje poškození rostliny. Na eustres rostliny reagují většinou pozitivně, poněvadž bývá spojen s řadou žádoucích procesů a nezpůsobuje u rostlin žádné poškození. Pro rostlinu se v podstatě jedná o varovné signály. Naproti tomu diestres má pokaždé negativní vliv na růst rostlin a vyskytuje se u nich častěji (Schulze et al. 2005).

Cerkal (2011) dělí stresory podle reakce na akutní či krátkodobé a na chronické nebo dlouhodobé. Přičemž při akutním stresu je reakce nápadná a rychleji při ní vznikají poškození. Naopak při chronickém stresu je reakce rostliny pomalejší, méně určitá a k poškození rostlin dochází až za delší dobu.

Charakter a průběh stresu vyvolaného u rostlin je daleko složitější než stres vyvolaný u živočichů. Je to způsobeno tím, že rostliny nemají možnost uniknout před působením stresových faktorů tak jako živočichové. Dále je to zapříčiněno tím, že rostliny mají vyšší heterogenitu vnitřního prostředí a mezidruhovou variabilitu (Kůdela et al. 2013). Mittler (2006) dodává, že vliv stresorů na rostliny je často hodnocen jednotlivě, nicméně v přirozených ekosystémech na rostliny většinou nepůsobí jednotlivé faktory odděleně, ale vždy se jedná o kombinaci několika faktorů najednou. Kombinace jednotlivých stresových faktorů a jejich případné důsledky na rostliny jsou uvedeny v matici na obr. 6, na které jsou barevně vyznačeny druhy interakcí. Vliv vzájemných kombinací stresových faktorů závisí na jejich proměnné hodnotě (silný vs. slabý) a konkrétní rostlině. Autor také uvádí, že u rostlin může být stresorem ohrožen jenom některý z rostlinných orgánů nikoliv celá rostlina. Z těchto důvodů lze konstatovat, že rostlinná stresová fyziologie je v porovnání s živočišnou komplikovanější.

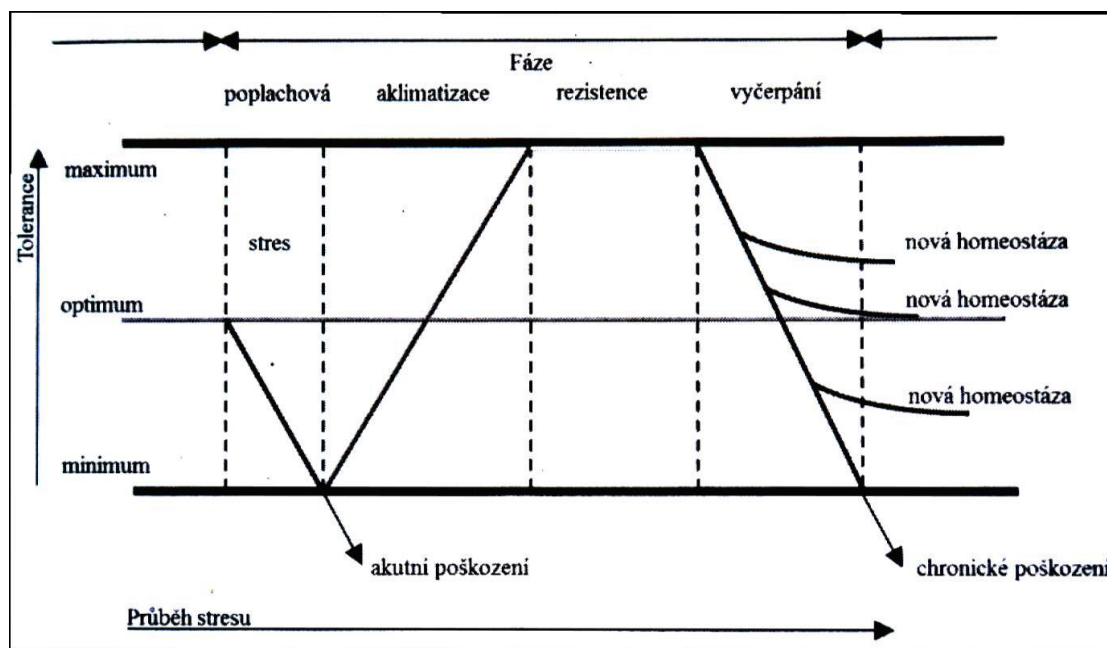


Obr. 6: Stresová matice (Mittler 2006)

V případě rostlinného stresu se používají ještě další dva důležité pojmy, a to adaptace a aklimace. Adaptace znamená proces, při kterém se určitý organismus přizpůsobuje vnějším

podmínkám a faktorům, které se nacházejí v jeho okolním prostředí (Muehlenbein 2010). Podle Schluze et al. (2005) adaptace může být dosaženo tím, že se organismus stresu vyhne tzv. stres avoidance (vyhnutí se stresu), nebo tím, že si organismus vytvoří vnitřní toleranci (rezistenci) vůči danému stresovému faktoru. Jako příklad stresu avoidance lze uvést rostliny s metabolismem CAM (metabolismus kyselin u tučnolistých rostlin), které dokáží uzavírat průduchy za vysokých denních teplot, čímž sníží evapotranspiraci a při nižších večerních teplotách (tzv. v temné fázi fotosyntézy) je otevírají a přijímají CO₂. Piterková et al. (2005) dodávají, že vyhnutí se stresu představuje způsob obrany, který zahrnuje mechanickou bariéru rostliny, příkladem může být prodloužení kořenů, impregnace buněčné stěny a silná kutikula na listech rostlin. V rámci rezistence se jedná o vytvoření vnitřní tolerance, jako je například schopnost rostlin zadržovat vodu a tím zvýšit svůj vodní potenciál (Schluze et al. 2005). Aklimace je naproti tomu fenotypové přizpůsobení se různým životním podmínkám prostředí, které se týkají změn, jenž si organismus vytvoří během svého vývoje. Tato změna může být dočasná nebo trvalá (Nilsen & Orcutt 1996). Živé organismy jsou přizpůsobivé (adaptabilní) a v reakci na změny v prostředí jsou schopny přizpůsobit své morfologické, biochemické a fyzikální znaky. Mají schopnost se postupně měnit, aby v případě zatížení stresovými faktory snížily přetížení (vyčerpání) nebo mu úplně zabránily (Kúdela et al. 2013).

Pod vlivem působení stresových faktorů se spustí skupina reakcí, které se nazývají stresová reakce (Larcher 2003). Piterková et al. (2005) uvádějí, že při stresové reakci zobrazené na obr. 7, dochází ke změnám nejen v bio-chemických a fyziologických procesech, ale i v růstových, vývojových a anatomických procesech rostlin. Odezva rostlin na vliv stresových faktorů, jakož i míra jejich následného poškození jsou určeny intenzitou působení stresoru a citlivostí dané rostliny (Hnilička & Hniličková 2016).



Obr. 7: Model průběhu stresové reakce a odezva organismu (Kosová et al. 2011)

Z obr. 7 je patrné, že bezprostředně po začátku působení stresového faktoru nastává takzvaná poplachová fáze. V této fázi je neaklimatizovaná rostlina poprvé vystavena stresu a její stupeň tolerance klesá, narušují se její buněčné struktury, funkce a mění se její metabolismus. Dále nastává fáze aklimatizace, která trvá několik dní a má za cíl postupně obnovit homeostázu rostliny (otužení rostliny). V této fázi se zároveň zvyšuje i míra tolerance. Po této fázi nastává fáze udržovací, kterou lze charakterizovat jako udržení nastolené homeostázy a zároveň se stále vyrovnává míra tolerance rostliny ke stresu v závislosti na vnějších podmínkách. Jestliže působení stresového faktoru u rostliny přetrvává po delší dobu, dochází k postupnému vyčerpání a následnému odumření rostliny. Tato fáze nastane v případě, že nedojde k otužení nebo obnovení stability rostliny. Pokud stresor přestane působit ještě před zánikem organismu, rostlina obnoví homeostázu, kterou disponovala před působením stresového faktoru (Kosová et al. 2011).

Rostliny reagují na stres aktivací určitých obranných mechanismů. Aby rostlina překonala určitou stresovou reakci, musí aktivovat své energetické zdroje a obranné nebo adaptativní fyziologicko-biochemické reakce (Kůdela et al. 2013). Shulaev et al. (2008) dodávají, že rostliny nejčastěji reagují na stres změnou metabolismu a změnou svého těla. Změna těla organismu v rámci působení stresových faktorů se nazývá "strain", neboli síla, která způsobuje deformaci. Ta může být dočasná (reversibilní) nebo (ireversibilní) trvalá (Schluze et al. 2005). Potters et al. (2007) uvádějí, že odlišné stresové faktory indukují takové morfogenetické reakce, které zahrnují především inhibici protažení, lokalizované stimulaci buněčného dělení a komplexních změn v diferenciaci buněk. Reakce rostlin na působení stresových faktorů a jejich rozsah následného poškození je dána především intenzitou působení stresu a citlivostí dané rostliny (Hnilička & Hniličková 2016).

3.7 Biostimulátory růstu

Biostimulátory růstu (fytoestimulátory) se v rostlinné výrobě používají zejména proto, aby se zabránilo ztrátám na výnosech, které bývají způsobeny různými stresovými faktory. Lze je považovat za přísadu do hnojiv, která podporuje příjem živin, růst rostlin a zvyšuje toleranci k výše zmíněným abiotickým stresorům. Biostimulátory růstu patří mezi přírodní nebo syntetické přípravky, které zlepšují vitalitu a růst rostlin, zlepšují celkové zdraví rostliny a chrání jí před infekcemi. Tyto látky způsobují změny v životně důležitých a strukturálních procesech u rostlin (Drobek et al. 2019). Podle Posmyk & Szafránska (2016) je nutné rozlišovat biostimulátory růstu od bioregulátorů růstu a hormonů. Důležité pro toto rozlišení je, že biostimulátory, na rozdíl od bioregulátorů a hormonů, zlepšují metabolické procesy rostlin bez změny jejich přirozené dráhy. Biostimulátory způsobují například zvětšenou tvorbu kořenového systému nebo zamezují nadměrnému odparu vody z rostliny tím, že zpevní povrchová pletiva a kutikulu. Je prokázáno, že biostimulátory růstu pozitivně ovlivňují obsah sušiny, objem kořenů, suchou a čerstvou hmotu výhonků (Dias et al. 2017). V rámci Evropské unie mají být chemické a minerální přípravky na ochranu rostlin pozvolna nahrazovány přírodními přípravky (Drobek et al. 2019). Moller & Laursen (2015) dodávají, že je to zejména z důvodu nepříznivého vlivu chemických a minerálních přípravků na ochranu rostlin na životní prostředí.

3.7.1 Definice a klasifikace biostimulátorů růstu

Definice biostimulátorů je široká a není dostatečně přesná. Nicméně existují dva hlavní rysy, podle nichž se biostimulanty odlišují od ostatních látek na ochranu rostlin. Biostimulant může být kterákoliv látka nebo směs látek přírodního původu nebo mikroorganismů, která zlepšuje stav rostlin, aniž by způsobovala nějaké vedlejší účinky (du Jardin 2015). Podle Basaka (2008) by mohly být biostimulátory růstu klasifikovány v závislosti na způsobu účinku a původu účinné látky. Naproti tomu Bulgari et al. (2015) uvádí, že by biostimulátory měly být klasifikovány na základě jejich působení v rostlinách, a ne podle jejich složení. du Jardin (2015) dodává, že jakákoliv definice biostimulátoru růstu by měla být zaměřena na zemědělské funkce biostimulantů, a to buď na povahu jejich složek, nebo na způsoby jejich působení. Yakhin et al. (2016) definují biostimulátor jako formulovaný produkt biologického původu, který zlepšuje produktivitu rostlin v důsledku nových nebo vznikajících vlastností komplexu složek, a nikoliv jako jediný důsledek přítomnosti známých základních živin rostlin, regulátorů růstu rostlin nebo sloučenin na ochranu rostlin. Podle Ricciho et al. (2019) by měl být pod pojmem biostimulant udáván produkt, který obsahuje látku (látky) nebo mikroorganismy, jejichž funkcí se při aplikaci na rostliny nebo půdu stimulují přírodní procesy ve prospěch příjmu živin, účinnosti živin, tolerance ke stresovým faktorům nebo jakosti plodin nezávisle na sobě.

Biostimulátory nelze definovat jako hnojiva, jelikož neposkytují živiny přímo rostlinám. Mohou však rostlinám usnadnit získávání živin a podporovat některé metabolické procesy v půdě nebo v rostlinách. Jako příklad takové činnosti lze uvést usnadnění vývoje arbuskulárních mykorhizních hub, které dokáží transportovat živiny do hostitelské rostliny (Tavarini et al. 2018). Biostimulanty nemají přímý účinek proti škůdcům a chorobám, proto je není možné klasifikovat ani jako pesticidy (Calvo et al. 2014). Tarantino et al. (2018) dodávají, že účinky biostimulátorů mohou být mnohostranné a jejich účinek se liší v závislosti na druhu použitého biostimulátoru a odrůdě rostliny. Je však nutné podotknout, že většina těchto přípravků má příznivý účinek na pěstované plodiny.

Biostimulanty se jeví jako všestranné deskriptory jakékoliv látky prospěšné pro rostliny, aniž by byly živinami, pesticidy nebo půdními pomocnými látkami (du Jardin 2015). Biostimulátory růstu nabízejí potenciálně nový přístup k regulaci, nebo k úpravě fyziologických procesů v rostlinách se záměrem stimulace jejich růstu, zmírnění omezení vyvolaných stresovými faktory a zvýšení výnosu (Yakhin et al. 2016).

3.7.2 Právní předpisy a právní rámec

Registrace produktů využívaných v zemědělské výrobě je zásadní pro zabezpečení jejich praktického, bezpečného a legitimního použití. Při neexistenci patřičné definice biostimulátorů, jakožto samostatné skupiny výrobků, je proces registrace a následující systém klasifikace neudržitelný, což nezbytně vytváří překážku v jejich rozvoji a obchodu (Basak 2008). Některé země si proto vyvinuly různé kategorie pro registraci případných biostimulátorů růstu, včetně terminologie, jako jsou kondicionéry rostlin, jiná hnojiva, zlepšovače půdy, posilovače rostlin atd. (Torre et al. 2013).

Traon et al. (2014) uvádí, že v mnoha jurisdikcích vyžadují regulační postupy důkladný popis a identifikaci látek ve všech klasifikacích komerčních produktů, kdežto v jiných je

registrace ne úplně identifikovatelných látek povolena, pokud mají tyto produkty složité složení. Uvažuje se o tom, že u složitých biostimulantů by se neuváděl chemický název (IUPAC - Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii) a byly by označeny jako „žádný“ s formulací, že „tento produkt je složitou směsí chemických látek“. Ulrich-Merzenich et al. (2009) konstatují, že pokud budeme biostimulátor růstu považovat za produkt jasného prospěchu, ale neznámého způsobu účinku, je možné ho regulovat jen jeho bezpečností a průkazem účinnosti. Nově připravované nařízení EU o hnojivech plánuje definici biostimulátorů růstu, jenž bude založená na tvrzeních, která stanoví, že „biostimulátorem růstu“ se rozumí produkt stimulující procesy výživy rostlin nezávisle na obsahu živin v produktu za účelem zlepšit jednu nebo více následujících charakteristik: účinnost využití živin, tolerance vůči abiotickým stresům, znaky kvality plodin nebo dostupnost omezených živin v půdě. Z uvedené definice vyplývá, že je to funkce produktu, nikoliv jeho obsah, co definuje pojem biostimulátor růstu. Toto nařízení dále stanoví, že biostimulanty budou muset mít účinky, které jsou nárokovány na etiketě pro rostliny na nich uvedené. Tato část bude důležitým prvkem, který bude umožňovat uvedení daného biostimulátoru růstu na trh v EU. Zda se jedná o pravý biostimulant, bude záviset na prokázání jeho účinku, což by ale nemělo být zaměňováno se zaručením konkrétní úrovně účinnosti za všech podmínek, protože výkon biostimulátoru může být ovlivněn mnohými faktory prostředí (Ricci et al. 2019).

3.7.3 Nejčastěji uváděné kategorie a zdroje rostlinných biostimulátorů

Vzhledem k tomu, že zatím není dána žádná právní ani regulační definice rostlinných biostimulátorů kdekoliv na světě, včetně EU a Spojených států, neexistuje žádný podrobný seznam ani kategorizace látek a mikroorganismů, na které by se tento pojem vztahoval. Přesto jsou vědci, regulační orgány a zúčastněné strany, které uznávají některé hlavní kategorie a zdroje biostimulací. Současná klasifikace je prozatím založena na zdroji suroviny biostimulantu, což ale neposkytuje pokaždé správné informace o biologické aktivitě produktu (du Jadrin 2015). Rouphael & Colla (2018) uvádí, že biostimulátory zahrnují organické a neorganické látky nebo mikroorganismy. Hlavní účinné látky používané v těchto přípravcích jsou nejčastěji huminová, salicylová a fulvová kyselina, fenoly, enzymy, bílkovinné hydrolyzáty, sloučeniny obsahující dusík, aminokyseliny, extrakty z mořských řas, prospěšné houby a bakterie (Chiaiese et al. 2018). Biostimulátory růstu jsou proto klasifikovány a nejčastěji uváděny jako tyto nejdůležitější skupiny látek nebo mikroorganismů:

Huminové látky: První uváděnou kategorií rostlinných biostimulátorů jsou huminové látky, které jsou přírodní složky půdní organické hmoty. Jsou to makromolekuly, které mají velkou molekulární hmotnost a hodně vazebných míst, tudíž mají i značnou sorbční schopnost. Huminové látky jsou přirozeně se vyskytující organické sloučeniny, které jsou produkovány degradací rostlinného, živočišného a mikrobiálního materiálu ze suchozemských nebo mořských zdrojů a tvoří velký rezervoár organických N a C. Dále mohou vznikat důsledkem metabolické aktivity půdních mikrobů. Huminové látky se rozdělují do tří skupin na základě jejich rozpustnosti při specifických hodnotách pH - huminy, huminové kyseliny a fulvonové kyseliny (du Jadrin 2015). Rose et al. (2014) uvádí, že huminové látky jsou výsledkem souhry mezi organickou hmotou, mikroby a kořeny rostlin. Dále dodávají, že použití huminových látek pro podporu růstu rostlin musí tyto interakce optimalizovat, aby bylo dosaženo požadovaných

výsledků. Mezi nejčastější zdroje huminových látek patří subbituminózní uhlí, ligniny, rašelina, vulkanické půdy, komposty a surový organický odpad (du Jardin 2015). Do této kategorie stimulatorů patří například komerční produkty Fortehum L/K, Humitan K, dále Lignohumát A, Lignohumát B a přípravek Lexin (Trčková 2010).

Produkty hydrolýzy: Ugolini et al. (2015) uvádí, že některé ze zdrojů rostlinných a živočišných biostimulantů jsou produkovány v důsledku chemické, enzymatické nebo tepelné hydrolýzy proteinů (nebo jejich kombinací) těchto zdrojů. Produkty hydrolýzy jsou směsí peptidů, polypeptidů, aminokyselin a denaturovaných proteinů, které stimulují růst rostlin, snižují používání hnojiv a jsou hospodárné k životnímu prostředí. Dále dodávají, že chemická kyselina nebo alkalická hydrolýza se využívá při výrobě biostimulátorů živočišného původu ze surovin jako je například slepičí peří, jatečná krev, kostní moučka, kasein nebo rybí odpad, viz tab. 1. Enzymatická hydrolýza se používá pro výrobu biostimulátorů růstu rostlinného původu a používají se při ní rostliny jako je vojtěška, různé luštěniny nebo rostlinný a ovocný odpad (Nardi et al. 2015). Na trhu jsou k dispozici například komerční přípravky jako Eutrofit, Synergin a Synergin E-vital (Trčková 2010), nebo Agro-sorb Folium (Šuk & Hoová 2017).

Anaerobní produkt digesce: Podle Scaglia et al. (2017) mohou být biostimulátory také produkty anaerobní digesce, viz tab. 1. Dodávají, že ve fermentačních komorách se tvoří rozpuštěná organická hmota, která má stimulační vlastnosti. Zdrojem této hmoty je zpravidla rostlinná nebo živočišná ligninová biomasa. Podle těchto autorů má rozpuštěná organická hmota biostimulační kapacitu srovnatelnou s huminovými látkami. Podle Li et al. (2014) se z vedlejších produktů anaerobní digesce zemědělských odpadů uvolňují různé bioaktivní látky, včetně výše zmiňovaných huminových látek. Appels et al. (2008) dodávají, že ve srovnání s komerčními huminovými látkami obsahují huminové látky, které vznikly anaerobní digescí širší škálu organických látek, více lipidů, více dusíku a nižší stupeň oxidace.

Extrakt z mořských řas: Mořské řasy jsou považovány za jeden z nejdůležitějších udržitelných zdrojů s průmyslovým potenciálem. Jejich biopreparáty jsou zdrojem biostimulátorů, které obsahují nízkomolekulární polypeptidy a aminoskupiny, kyseliny, vitamíny, enzymy, cukry, fytohormony a antioxidanty. Jsou důležitým zdrojem živin z organických látek a hnojiv. Extrakt z mořských řas se v zemědělství dají použít jako kondicionéry půdy nebo jako rostlinné stimulanty. Sloučeniny tohoto typu aktivují procesy rhizogeneze a vedou ke kladným anatomickým a morfologickým změnám rostlin a to především ve vývoji kořenové biomasy (Pacholczak et al. 2012). Kapalné extrakt jsou zpracovávány z biomasy z mořských řas za použití různých výrobních systémů, jako je například rozrušení buněk pod tlakem nebo fermentace. Surové extrakt v podstatě kromě jakýchkoli aditiv pro zpracování na kapalný koncentrát odráží komplexní chemické složení rostlin z mořských řas (Arioli et al. 2015). Podle Battacharyya et al. (2015) představují extrakt hnědých, zelených a červených mořských řas, které se shromažďují převážně z mořské vody významnou kategorií organických biostimulací. Mezi nejčastěji používané řasy pro výrobu biostimulátorů patří *Ascophyllum nodosum*, *Durvillaea potatumum*, *Ulva lactuca*, *Caulerpa sertularioides*, *Padina gymnospora* a *Sargassum johnstonii*, viz tab. 1 (Xu & Leskovar 2015). Mezi další používané patří kupříkladu *Sargassum liebmannii*, *Ecklonia maxima*, *Sargassum* spp. (Battahcaryya et al. 2015). Na trhu je k dispozici několik komerčních přípravků extraktů mořských řas pro použití v zahradnictví a zemědělství, jako příklad lze uvést přípravky

Bi Algeen S-90, Kelpak, Alga 600 (Trčková 2010), Rooter (Niewiadomska et al. 2020) nebo přípravek Amalgerol Premium (Amalgerol 2020).

Biopolymery: V rámci biostimulátorů se nejčastěji používá biopolymer chitosan. Chitosan je deacetylovaná forma biopolymerního chitinu, která se může vyrábět přirozeně nebo průmyslově (Hadwiger 2013). Chitosan lze získat například z vnějších koster korýšů, je rozpustný v organických sloučeninách a je jednou z řady přírodních sloučenin, které prokázaly účinnost proti chorobám u různých plodin (Malerba & Cerana 2018). Katiyar et al. (2015) uvádí, že fyziologické účinky chitosanu v rostlinách jsou výsledkem schopnosti této polykationtové sloučeniny vázat širokou škálu buněčných složek, včetně DNA, plazmatické membrány a složek buněčné stěny. Dále dodávají, že se chitosan váže na specifické receptory, jenž se účastní aktivace obranných genů, které souvisejí s patogenezí a kódují enzymy glukonázu a chitinázu. Pichyangkura & Chadchawan (2015) uvádějí, že se chitosan používá jako biostimulant, který stimuluje růst rostlin, pomáhá rostlinám zvyšovat odolnost vůči abiotickým stresorům a vyvolává u nich rezistenci k patogenům. Tyto reakce jsou však složité a závisí na různých strukturách a koncentracích na bázi chitosanu, jakož i na rostlinných druzích a jejich vývojovém stádiu. Mezi komerční přípravky obsahující biopolymer chitosan patří například Softguard, Biorend (Aranaz et al. 2015) nebo přípravek ChitoPlant Solution (Soppelsa et al. 2019).

Anorganické sloučeniny: Do anorganických sloučenin patří některé chemické prvky, které podporují růst rostlin a mohou být nezbytné pro určitou skupinu taxonů, ale nejsou vyžadovány všemi rostlinami, tyto prvky jsou uváděny jako prospěšné prvky. Mezi pět takových prvků patří Al, Co, Na, Se a Si, tyto prvky jsou přítomny v rostlinách a v půdě jako různé anorganické soli (Pilon-Smits et al. 2009). Prospěšné funkce těchto prvků mohou být konstitutivní, jako je zesílení buněčných stěn usazeninami oxidu křemičitého, nebo vyjádřené v definovaných podmínkách prostředí, jako je napadení patogenem u selenu a osmotický stres na sodík (du Jardin 2015). Soppelsa et al. (2019) uvádějí, že mezi komerční produkt, jenž obsahuje anorganické sloučeniny, patří například přípravek Siliforce, který obsahuje monomerní kyselinu křemičitou. Ve své studii dodávají, že tento přípravek podpořil u ošetřených rostlin hromadění biomasy v kořenech a zvýšil celkovou plochu listů.

Mikroorganismy jsou jednou z dalších skupin organismů, které se využívají pro výrobu biostimulátorů, jsou to společenstva prospěšných hub, bakterií, kvasinek a mikrořas. Tyto mikroorganismy jsou izolovány z půdy, vody, rostlin a kompostovaného hnoje nebo jiných organických materiálů (Ruzzi & Aroca 2015). Mezi nejčastěji používané houby patří *Glomus intraradices*, *Trichoderma atroviride*, *Trichoderma reesei* a *Heteroconium chaetospora*, viz tab. 1. Houby tvoří symbiózu s kořeny rostlin, ty díky nim přijímají lépe živiny a vodu z půdy a lépe tak odolávají nepříznivým faktorům. Do této skupiny patří například přípravek Symbivit a Tablet (Colla et al. 2015). Gaiero et al. (2013) uvádí, že mezi nejpoužívanější bakterie, které se využívají při výrobě biostimulátorů růstu, jsou *Arthorbacter* spp., *Enterobacter* spp., *Acinetobacter* spp., *Pseudomonas* spp., *Ochrobactrum* spp., *Bacillus* spp. a *Rhodococcus* spp. Největší skupinu prospěšných bakterií tvoří skupina *Rhizobium* spp. (du Jardin 2015). Mezi komerční přípravky obsahující tyto bakterie spadají například Azotobag, Azoter a Nitrazon. Battacharyya et al. (2015) dodávají, že houby a bakterie patří k důležitým biostimulátorům, protože dokáží měnit druhové složení organismů vyskytujících se v půdě

nebo rostlinách. Jejich přítomnost může urychlit rychlost degradačních procesů nebo zredukovat počet specifických hub a bakteriálních skupin.

Nanočástice a nanomateriály: Jedná se o kategorii biostimulátorů růstu, která byla navržena teprve nedávno. Tato technologie je příslibem řízeného uvolňování agrochemikálií a místně zaměřených dodávek makromolekul, které jsou potřebné pro zlepšení odolnosti vůči chorobám rostlin, efektivnější využití živin a lepší růst rostlin (Nair et al. 2010). Nanočástice a nanomateriály jsou částice o velikosti 1 nm do 100 nm, vykazující vlastnosti nacházející se v jejich objemové formě, které jsou schopny modifikovat kvalitu rostlinné produkce a toleranci rostlin vůči abiotickým stresorům (Juárez-Maldonado et al. 2019). Podle Nair et al. (2010) se nanočástice vyznačují mnohem vyšší biochemickou aktivitou než makrometrické struktury. Dále dodávají, že výhodou nanomateriálů je bezpečnější zacházení s pesticidy při menší expozici životního prostředí, což zaručuje ekologickou ochranu. Nanočástice se aplikují v malém množství jako postřik na list nebo v živném roztoku (Qi et al. 2013). Mezi nanomateriály, které se využívají jako biostimulátory růstu, patří například nanomateriály na bázi uhlíku, ze kterých jsou nejstudovanějšími materiály fulleren, fullerol a uhlíkové nanotrubičky. Dále se v rostlinné výrobě využívají nanomateriály kovů a oxidů kovů, přičemž nejpoužívanější nanomateriály na bázi kovu jsou TiO₂, CeO₂, Fe₃O₄ a ZnO (Aslani et al. 2014).

Tab. 1: Aktivita nejčastějších kategorií biostimulací (Drobek et al. 2019)

Zdroj biostimulantu:	Příklad:	Hlavní aktivita:
Produkty hydrolýzy	Enzymatické (vojtěška, luštěniny, rostlinný odpad) Chemické (peří, kostní moučka, kasein kolagen z kůží, rybí odpad)	Zvýšení výnosu Zvýšení obsahu N a P v listech Zvýšení obsahu bílkovin v obilných zrnech Ochrana proti biotickým a abiotickým stresům Zvýšená úrodnost půdy vývojem půdních mikroorganismů
Anaerobní produkt digesce	Rostlinná, živočišná a ligninová biomasa	Zlepšení dostupnosti živin Vyvolání podobného účinku jako u auxinů
Biopreparáty z mořských řas	<i>Ascophyllum nodosum</i> , <i>Sargassum wightii</i> , <i>Ecklonia maxima</i> , <i>Enteromorpha intestinalis</i> , <i>Gelidium pectinatum</i>	Antioxidační potenciál a schopnost zachytit volné radikály Chelatační účinky Zvýšení odolnosti rostlin vůči houbovým a bakteriálním infekcím Zlepšení tepelného odporu rostlin Ochrana před stresem ze sucha
Konsorcia užitečných hub	<i>Rhizophagus intraradices</i> , <i>Rhizoglyphus aggregatus</i> , <i>Glomus viscosum</i> , <i>Glomus claroideum</i> , <i>Heteroconium chaetospora</i> , <i>Trichoderma</i> sp.	Zvýšení růstu a výnosu rostlin Zvýšení symbiózy s bakteriemi (např. s <i>Azotobacter</i> spp. Ochrana rostlin před oxidačním stresem

3.7.4 Způsob aplikace biostimulátorů růstu

Biostimulátory růstu lze používat ve všech fázích zemědělské produkce, tudíž podporují růst a vývoj rostliny v průběhu celého jejího životního cyklu. Dají se použít od klíčení semen, přes ošetření rostlin během vegetace, až po ošetření sklizených produktů (Yakhin et al. 2016). Biostimulanty můžeme aplikovat ve formě půdních přípravků (granule, prášky nebo roztoky dodávané do půdy). Lze je ale také použít jako tekuté produkty, které se aplikují na list rostliny. Mezi biostimulanty, které se aplikují převážně přímo na půdu, patří ty, co obsahují huminové substance a sloučeniny dusíku. Zatímco různé druhy extraktů z rostlin a mořských řas se většinou používají ve formě listové aplikace. Další možnost aplikace biostimulátoru je pomocí zavlažovacího systému, ve kterém je absorbován rostlinami přímo s vodou (Kocira et al. 2018a). Kocira et al. (2015a) uvádí, že biostimulátory růstu lze používat pravidelně během celého vegetativního růstu rostlin. Dají se ovšem použít pouze v případě, že dojde u rostlin k poklesu jejich vitality v důsledku působení nějakého stresového faktoru. Podle Tejada et al. (2016) není aplikace biostimulantu do půdy tak účinná jako při aplikaci přímo na list rostliny. Další možností použití biostimulátorů je ve formě biomasy nebo moučky z mořských řas, ale tato metoda aplikace má své omezení. Kvůli problémům s dopravou je lze aplikovat pouze v oblastech, které se nacházejí v blízkosti zdroje získávání mořských řas. Biomasa nebo moučka se aplikuje přímo do půdy ještě před založením porostu, aby se půdní substrát obohatil živinami (Battacharyya et al. 2015). Goñi et al. (2018) uvádí, že půdní biostimulanty většinou ovlivňují strukturu kořene a zvyšují jeho schopnost přijímat živiny. Extrakty listů ochraňují rostlinu před biotickými a abiotickými stresory. Dále dodávají, že biostimulátory by měly být aplikovány v ranních hodinách, když mají rostliny otevřená stomata a rychlost asimilace je nejvyšší. V neposlední řadě lze biostimulanty využít pro aplikaci přímo na plody sklizeného ovoce, které jsou díky tomu odolnější vůči mechanickým poraněním a hnilobám. Díky aplikaci biostimulantu přímo na plody se prodlouží doba jeho skladování (Battacharyya et al. 2015).

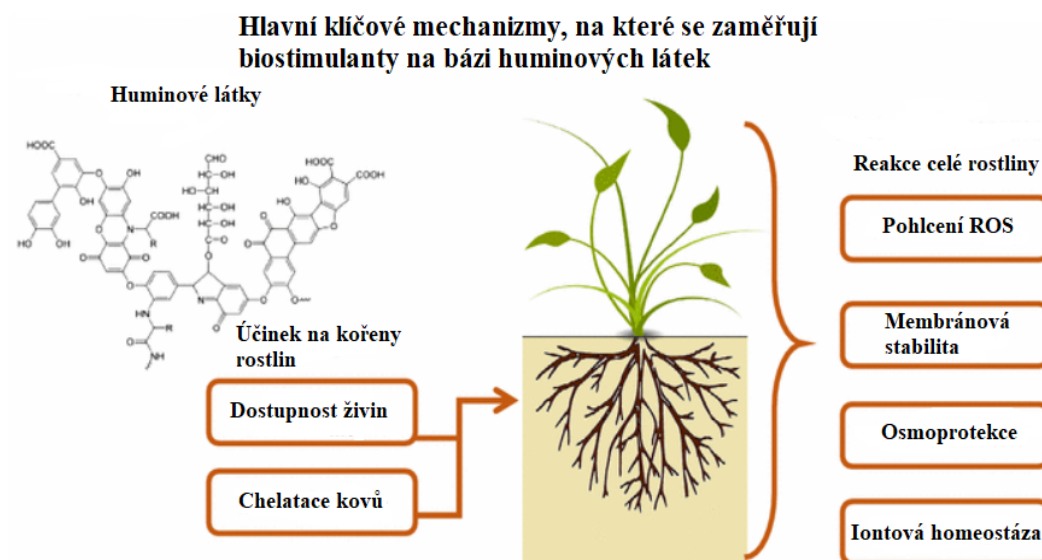
3.7.5 Vliv hlavních kategorií rostlinných biostimulátorů na rostliny

Při používání biostimulátorů růstu si je nutné uvědomit, že účinnost těchto přípravků se dosti liší a je velmi závislá na mnoha faktorech prostředí, jako je například vlhkost půdy a vzduchu nebo na množství atmosférických srážek (Pačuta et al. 2018).

Huminové látky: Tyto látky jsou považovány za hlavní přispěvatele půdní úrodnosti a jsou nezbytnou součástí fyzikálních, fyzikálně-chemických, chemických a biologických vlastností půdy (du Jardin 2015). Podle Trevisana et al. (2010) mají huminové látky pozitivní vliv na fyziologii rostlin zlepšením struktury a úrodnosti půdy a ovlivněním příjmu živin a architektury kořenů. Hlavní účinky huminových látek na rostliny jsou uvedeny na obrázku 8.

Byl prokázán vliv huminových látek na zlepšení výživy kořenů prostřednictvím různých mechanismů. Huminové sloučeniny jsou schopné zvýšit kapacitu výměny kationtů v půdě a neutralizovat pH půdy. Mají schopnost iniciovat aktivitu H^+ -ATPázy na plazmatické membráně, zvyšující sekreci H^+ , která snižuje pH půdy. Přispívají ke stimulaci plazmatické membrány H^+ -ATPázy, které přeměňují na volnou energii uvolněnou hydrolýzou ATP na transmembránový elektrochemický potenciál používaný pro dopravu dusičnanů a jiných živin (Canellas et al. 2015). Dokáží také zvýšit dostupnost některých živin pro rostliny, jako je

například fosfor, tím, že naruší srážení fosforečnanu vápenatého nebo mohou vytvářet komplexy s nerozpustnými prvky, jako je železo, a tím ho zpřístupnit rostlinám (García-Mina et al. 2004). Pozitivní účinek těchto látek na absorpci živin byl zjištěn také u dusíku, draslíku a síry (Marino et al. 2008).



Obr. 8: Vliv huminových látek na rostliny (Van Oosten et al. 2017)

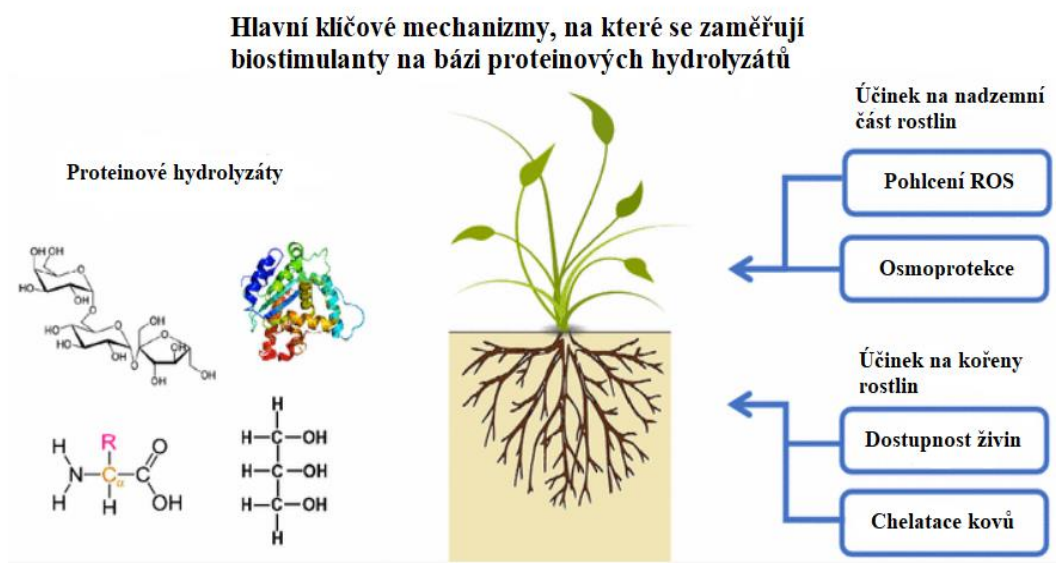
Je také uváděno, že mnoho huminových látek vyvolává různé morfologické změny v rostlinách (Canellas et al. 2015). Při aplikaci těchto látek bylo prokázáno zlepšení některých parametrů rostlin, jako je výška, listová plocha, počet listů na rostlině a délka stonku. Dále měly rostliny vyšší čerstvou i suchou hmotnost fytohmoty (Bashir et al. 2016). Jindo et al. (2012) uvádí, že protonové čerpání plazmatickou membránou ATPázy přispívá kromě vstřebávání živin také k uvolňování buněčných stěn, rozšiřování buněk a růstu orgánů. Podle těchto autorů je nejčastějším uváděným počátečním účinkem huminových látek zvýšení aktivity ATPázy v kořenových buňkách, což zintenzivní růst a vývoj kořenového systému. To potvrzuje i práce Canellase et al. (2008), kteří uvádí, že po aplikaci huminových látek došlo ke zvýšené tvorbě kořenových vlásků a vývoji laterálních kořenů. Některé studie uvádějí, že huminové látky také zvyšují výnos nebo kvalitu plodin (Calvo et al. 2014).

V neposlední řadě tyto látky vedou ke zvýšené toleranci rostlin vůči některým stresovým faktorům, zejména vůči slanému stresu (Aydin et al. 2012) a stresu z nedostatku vody tím, že mohou aktivovat antioxidační enzymatické funkce a zvýšit počet enzymů zachycujících reaktivní formy kyslíku - ROS (García et al. 2012).

Produkty hydrolyzy: Proteinové hydrolyzáty hrají případ od případu jako biostimulanty růstu rostlin více úloh. V mnoha případech bylo prokázáno, že tyto látky prostřednictvím modulace molekulárních a fyziologických procesů rostlin, které spouštějí růst, zvyšují výnos a zmírňují dopad stresorů na rostliny (Calvo et al. 2014). Působení proteinových hydrolyzáků je uvedeno na obrázku 9.

du Jardin (2015) uvádí, že přímé účinky proteinových hydrolyzáků na rostliny zahrnují stimulaci metabolismu dusíku a uhlíku, regulaci absorpce N zprostředkovanou klíčovými

enzymy začleněnými do procesu asimilace N a regulaci tří enzymů zapojených do cyklu kyseliny trikarboxylové (citrát, syntáza, isocitrát). Toto naznačuje, že hydrolyzáty proteinů mohou podporovat asimilaci dusíku v rostlinách, která je koordinována regulací metabolismu C a N. Colla et al. (2014) dále uvádí, že proteinové hydrolyzáty mohou také interferovat s hormonálními aktivitami v důsledku bioaktivních peptidů. Bylo prokázáno, že proteinové hydrolyzáty mohou komplexovat a chelátovat půdní mikro- a makroživiny, čímž se zlepší jejich dostupnost, mobilita a účinnost využití rostlinami (Farrell et al. 2014). Zvýšená účinnost příjmu živin je většinou spojena s úpravami a stimulací růstu kořenového systému (hustota, délka a počet bočních kořenů), jakož i zvýšení přístupnosti živin v půdním roztoku v důsledku kompenzace živin peptidy a aminokyselinami a zvýšenou mikrobiální aktivitou (Colla et al. 2014). Stimulace kořenů je považována za vliv peptidů a aminokyselin, které jsou schopné působit jako signální molekuly, jako jsou hormony (Matsubayashi & Sakagami 2006). Aminokyseliny a peptidy hrají také roli v toleranci rostlin k řadě rizikových kovů. Existují důkazy, že některé aminokyseliny jsou důležité při chelátování kovových iontů (převážně Zn, Ni, Cu, As a Cd) v rostlinných buňkách a v xylémové šťávě (Sytar et al. 2013). Je známé, že mezi nepřímé účinky proteinových hydrolyzáatů patří zvýšení mikrobiální biomasy a stimulace její aktivity, protože díky své schopnosti používat tyto látky jsou snadno dostupnými zdroji uhlíku a dusíku pro mikroorganismy (du Jardin 2015).



Obr. 9: Vliv proteinových hydrolyzáatů na rostliny (Van Oosten et al. 2017)

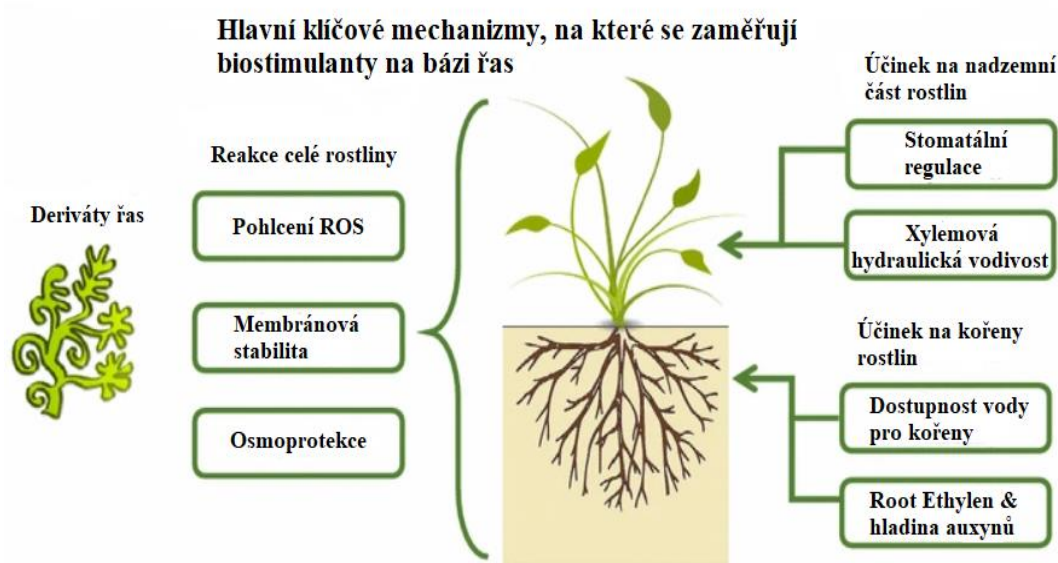
Dále existují důkazy, že hydrolyzáty proteinů a specifické aminokyseliny včetně prolinu, betainu a jejich derivátů vyvolávají obranné reakce rostlin a zvyšují toleranci rostlin k různým abiotickým stresům, včetně slanosti, sucha, teploty a oxidačních podmínek. Přičemž akumulace prolinu v rostlinách je jedna z prvních reakcí rostlin na stres, která má za úkol snížit poškození buněk (Ashraf & Foolad 2007).

Kromě pozitivních účinků proteinových hydrolyzáatů na rostliny uvádějí Lisiecka et al. (2011), že hydrolyzáty pocházející ze zvířat mohou působit fytotoxicky a potlačovat růst rostlin. Dodávají, že růstová deprese a toxicita způsobená hydrolyzáty bílkovin

živočišného původu může souviset s jejich vyšším obsahem volných aminokyselin (zejména glycin a prolin) a solí (např. NaCl), v porovnání s hydrolyzáty bílkovin rostlinného původu, kde bývá jejich obsah nižší.

Extrakt z mořských řas působí jako chelátory, zlepšují využití minerálních živin rostlinami, dále zlepšují strukturu půdy a provzdušňují jí, což může vést ke stimulaci růstu kořenů. Byl prokázán vliv extraktů z mořských řas na zvýšení klíčivosti semen, zlepšení růstu rostlin, zvýšení výnosu, zvýšení odolnosti vůči stresorům a zlepšení trvanlivosti plodů po sklizni (Craigie 2011). Jejich působení na rostliny je znázorněno na obrázku 10.

Khan et al. (2009) uvádí, že v půdách přispívají jejich polysacharidy (polyuronidy - algináty, fucoidany) k tvorbě gelu, zadržování vody, provzdušňování půdy a podporují růst a aktivitu prospěšných mikrobů v rhizosféře. Zlepšení těchto vlastností lze přičíst právě zmíněným alginátům (soli kys. alginové), ty se v půdě kombinují s kovovými ionty a vytvářejí komplexy s vysokou molekulovou hmotností, které absorbují a zadržují půdní vlhkost a zlepšují půdní strukturu. Zodape et al. (2011) uvádí, že po aplikaci těchto přípravků byla hlášena stimulace a absorpce živin u rostlin a zvýšená akumulace jak makroživin (N, P, K, Ca, S), tak i mikroživin (Mg, Zn, Mn, Fe).



Obr. 10: Vliv extraktů mořských řas na rostliny (Van Oosten et al. 2017)

Výrobky z mořských řas podporují růst a vývin kořenové biomasy, přičemž výraznější stimulace kořene bývá u rostlin, na které se přípravky aplikovaly v časném stádiu růstu. Bylo zjištěno, že ošetření těmito extrakty zlepšuje poměr root:shoot rostlin a zvyšuje počet a suchou hmotnost kořenů (Khan et al. 2009). Vyšší nárůst kořenové biomasy je přičítán přítomnosti a vyšší koncentraci fytohormonů, jako jsou auxiny a cytokininy v rostlinách, které bývají obsaženy v extraktech z mořských řas (Khan et al. 2011). Také zlepšení klíčivosti semen, lepší zakládání rostlin a v neposlední řadě i jejich konečný výnos, jsou spojovány s hormonálními účinky mořských řas (Craigie 2011). Je dokázáno, že hormonální účinky extraktů mořských řas jsou do značné míry vysvětleny snižováním a zvyšováním hormonálních biosyntetických

genů v rostlinných pletivech a v nižší míře samotným hormonálním obsahem mořské řasy (Wally et al. 2013).

Jannin et al. (2013) uvádí, že je prokázán vliv extraktů mořských řas na zvýšení obsahu chlorofylu v listech. Podle těchto autorů je zvýšení obsahu spojeno se snížením degradace chlorofylu, způsobené částečně betainy v extraktu z řas a se zpožděným stárnutím rostliny než s čistým zvýšením rychlosti fotosyntézy.

Mnoho studií také naznačuje, že produkty z mořských řas vyvolávají abiotickou stresovou toleranci v rostlinách a bioaktivní látky odvozené od mořských řas obstarávají stresovou toleranci a zvyšují výkonnost rostlin (Khan et al. 2009). To potvrzuje i Mancuso et al. (2006), kteří ve své studii zjistili u ošetřených rostlin extrakty z mořských řas zvýšenou odolnost vůči soli, mrazu a nedostatku vody. Jedna z prvních reakcí rostlinných buněk na stres je tvorba reaktivních forem kyslíku (ROS), které při zvýšení své hladiny mohou poškodit buňky rostlin (Farooq et al. 2009). Fike et al. (2001) uvádí, že při aplikaci těchto přípravků se v rostlinách zvyšuje aktivita antioxidantního enzymu superoxid dismutázy (SOD), který pohlcuje reaktivní formy kyslíku (ROS) a zabraňuje poškození buněk.

Extrakty z mořských řas také zvyšují ochranu rostlin před různými chorobami a škůdci (Allen et al. 2001). Například bylo prokázáno, že po aplikaci extraktů se snížil počet hlístic v půdě zamořené háďátky (Wu et al. 1998), nebo se ošetřeným rostlinám vyhýbají mšice a další savý hmyz (Hankins & Hockey 1990). Rostliny se chrání před vniknutím patogenů vnímáním signálních molekul, které se nazývají elicitory. Zdrojem těchto elicitorů pro rostliny mohou být právě mořské řasy (Cluzet et al. 2004).

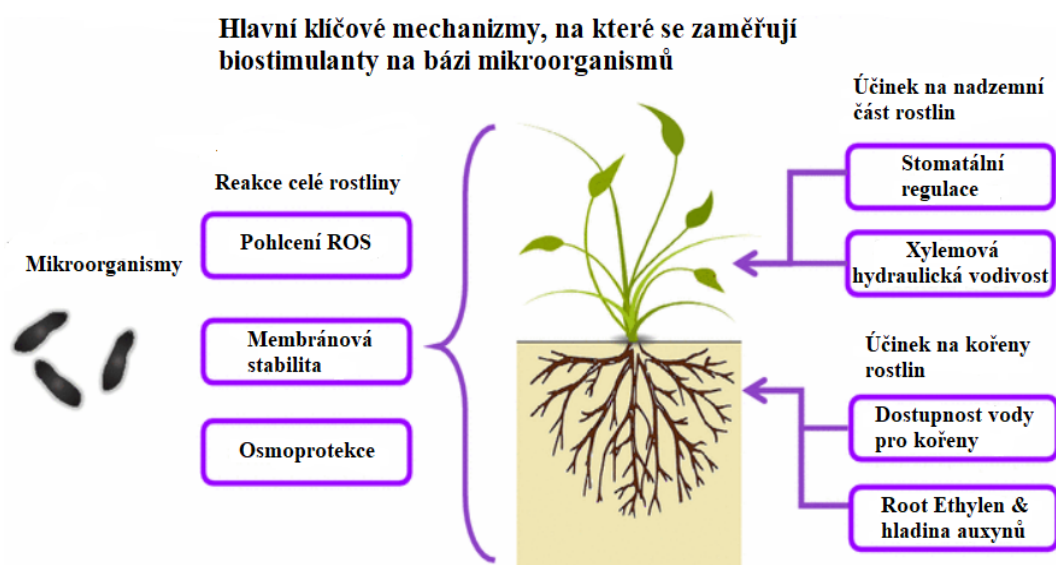
Mikroorganismy interagují s rostlinou různými způsoby, od vzájemných symbióz, až po parazitismus (Behie & Bidochka 2014). Bakterie a houby jsou důležitou kategorií rostlinných biostimulantů, které podporují růst několika mechanismy, jako je například zvýšení přísunu živin, nárůst kořenové biomasy nebo kořenové oblasti a zvýšení absorpce živin rostlinou. Lze je používat i jako doplněk minerálních hnojiv (Vessey 2003). Nejčastější vliv mikroorganismů na rostliny je zobrazen na obrázku 11.

Miransari (2011) uvádí, že tyto organismy zvyšují množství dusíku, fosforu a dalších mikroživin v půdě. Dále dodává, že užitečnost těchto mikroorganismů přesahuje stanovení N_2 . Mají tendenci recyklovat organické látky a mohou mineralizovat organický dusík nitritem na dusičnan, který je rostlinami lehce absorbován. Mezi nejdůležitější bakterie, které vážou dusík, patří *Azospirillum* spp. (Calvo et al. 2014).

Mikroorganismy mají schopnost zvyšovat dostupnost vybraných půdních živin zvýšenou solubilizací. Bylo potvrzeno, že některé druhy těchto mikroorganismů, zejména pak druhy rodu *Bacillus* (*B. megaterium*, *B. subtilis*, *B. cirulans* a další), mají schopnost rozpouštět těžkorozpustné fosfáty (Satyaprakash et al. 2017). Roupael et al. (2015) uvádí, že některé kmeny bakterií jsou schopné produkovat fosfatázy a organické kyseliny, které jsou schopné tyto anorganické fosfáty rozpouštět, což vede ke zvýšení koncentrace fosfátu v půdě, takže je snadněji dostupný pro rostliny. Dále dodávají, že jisté druhy hub produkují siderofóry, které chelatují ionty železa a vylučují fosfatázu a další organické sloučeniny, které jsou potřebné pro zlepšení dostupnosti fosforu. Ke stejným výsledkům došli ve své práci i Han & Lee (2005) u draslíku, kdy aplikace *B. megaterium* vedla ke zvýšení dostupného draslíku v půdě.

Některé z těchto mikroorganismů jsou schopny tvořit rostlinné hormony (auxiny, cytokininy, gibereliny, etylén a kys. abscisovou), které ovlivňují dělení a prodlužování

rostlinných buněk a jsou schopné například stimulovat růst kořenů, čímž zlepší příjem živin a vody a zvýší tím tak suchou hmotnost kořene a nadzemní biomasy (Hayat et al. 2010).



Obr. 11: Vliv mikroorganismů na rostliny (Van Oosten et al. 2017)

Biostimulanty na bázi mikroorganismů mohou také pomoci rostlinám překonat nebo tolerovat abiotické stresové podmínky, čímž sníží případné ztráty na výnosech (Calvo et al. 2014). Sandhya et al. (2009) uvádí, že zástupci těchto rodů bakterií (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas* a *Bacillus*) si vyvinuli strategie, jak se přizpůsobit a prosperovat za nepříznivých podmínek. Dodávají, že bakterie jsou schopny měnit složení buněčné stěny, mají schopnost akumulovat vysoké koncentrace rozpuštěných látek a umožňují zvýšenou retenci vody a zvýšenou toleranci k iontovému a osmotickému stresu. Složení buněčné stěny se obohatí o exopolysacharidy (EPS), lipopolysacharidové proteiny a polysacharidové lipidy, které produkují ochranný hydratační film na povrchu kořenů.

Mezi houby, které mají podobné strategie, patří například rody *Neotyphodium*, *Cuvelaria*, *Fusarium*, *Alternaria* (Singh et al. 2011). Mezi specifické účinky po aplikaci těchto mikroorganismů na rostliny patří zvýšený obsah vody, snížení poklesu vodního potenciálu, zvětšení listové plochy a celé rostlinné biomasy a zvýšená akumulace prolinu, který pomáhá chránit rostlinu před stresem ze sucha (Creus et al. 2004). Bylo prokázáno, že některé mikroorganismy obsahují kyselinu indol-3-octovou (IAA), což vede ke zvýšení jejího obsahu v rostlinách a rostlina se tak lépe vypořádá ze stresem z nedostatku vody, extrémních teplot, nevhodným pH (Gopalakrishnan et al. 2015) a salinitou (Egamberdieva 2009). Cohen et al. (2008) uvádí podobný účinek i u kyseliny abcisové (ABA), jejíž obsah v rostlinách se po aplikaci mikroorganismů také zvýšil. Některé z těchto biostimulantů produkují ACC-deaminázy, které snižují obsah etylénu v kořenech a zabraňují tak redukcí kořenového systému (Nadeem et al. 2010). V neposlední řadě byl prokázán vliv těchto mikroorganismů na zvýšení metabolitů zachycujících ROS (Ali et al. 2011) a vyšší hydraulickou vodivost cév (Romero et al. 2014).

3.7.6 Společné rysy biostimulátorů růstu

du Jardin (2015) uvádí, že společné označení biostimulátorů je opodstatněné, pouze pokud uvedené látky a mikroorganismy sdílejí některé klíčové vlastnosti, pokud jde o jejich povahu, funkci nebo použití. Tyto vlastnosti by pak měly být základem každé definice. Podle tohoto autora lze z výše uvedeného přehledu vyvodit následující závěry:

1. Povaha biostimulátorů růstu je různorodá. Jedná se o látky nebo mikroorganismy. Látky mohou být jednotlivé sloučeniny nebo skupiny sloučenin přírodního nebo syntetického původu, jejichž složení a bioaktivní složky nejsou zcela charakterizovány. Mikroorganismy mohou obsahovat jednotlivé kmeny nebo směsi mikroorganismů, mající aditivní nebo synergické účinky.
2. Fyziologické funkce jsou různé. Za fyziologickou funkci je považován jakýkoliv účinek na rostlinné procesy. Tyto funkce jsou podporovány buněčnými mechanizmy. Fyziologické funkce spolu se základními buněčnými mechanizmy mohou být společně označovány jako „způsoby působení“ biostimulantů. Nakonec způsob působení biostimulátoru vysvětluje zemědělské funkce, jako je například zvýšená tolerance k abiotickému stresu, což se v konečné fázi může promítnout na vyšším výnosu plodin, úspoře hnojiv nebo zvýšené kvalitě sklizených produktů.
3. Vědecky prokázané účinky všech biostimulátorů se sblíží alespoň jednou nebo několika zemědělskými funkcemi. Mohou zvyšovat účinnost výživy, abiotickou / biotickou toleranci ke stresu nebo znaky kvality plodin.
4. Definice ekonomických a environmentálních přínosů záleží na zemědělské a environmentální politice, a to jak z hlediska cílů, tak z hlediska sledovaných vlastností.

4 Metodika

V rámci diplomové práce byl v polních podmínkách na pokusném pozemku v části města Poděbrady, ve Velkém Zboží, ležící v okrese Nymburk sledován vliv aplikace biostimulátoru růstu Amalgerol Premium na velikost kořenového systému, hmotnost sušiny nadzemní biomasy a kořenů, poměr root:shoot a výnos nažek slunečnice roční, viz obr. 12.



Obr. 12: Slunečnice roční (BBCH 25) - kontrolní varianta (foto autor)

4.1 Pokusný rostlinný materiál

Jako pokusný rostlinný materiál byl vybrán genotyp slunečnice roční: NK Brio. Osivo bylo získáno z komerčního prodeje od firmy Syngenta.

NK Brio

Odrůda NK Brio je raný dvouliniový (SC) hybrid. Registrace tohoto hybridu se uskutečnila v roce 2006 a následně v roce 2015 mu byla registrace prodloužena. Rostliny jsou středně vysokého až vysokého vzrůstu s dobrou odolností vůči polehání. Kořenová soustava je mohutná a rostlinám dává základ pro rychlý počáteční růst a vysokou toleranci k suchu, řadí se k tzv. suchovzdorným hybridům. Disponuje rozsáhlou listovou plochou, schopnou trvalé a intenzivní fotosyntézy. Rostliny mají středně velký až velký úbor, který je v plné zralosti převyšuje s rovným stonkem. Jazykové květy jsou středně žluté, nažky malé, široce vejčité, tmavě hnědé s šedivým okrajovým proužkováním. Hmotnost tisíce nažek se pohybuje okolo 58 g a jejich olejnatost je středně vysoká až vysoká, hybridy mohou dosáhnout obsahu oleje i nad 50 % a mají extrémně vysoký výnosový potenciál. Rostliny mají dobrou odolnost proti všem známým rasám *Plasmopara halstedii* a výbornou toleranci k běžně se vyskytujícím se chorobám (*Phomopsis* sp., *Botrytis* sp. a *Sclerotinia* sp.). Hybridy nejsou citlivé na extrémně rané setí a jsou určeny pro pěstování v kukuřičných a řepařských zemědělských výrobních oblastech, doporučený výsevek je 60 000 - 65 000 rostlin/ha (eAGRI 2020b).

4.2 Použité přípravky

Jako přípravek pro ošetření rostlin slunečnice roční byl zvolen biostimulátor růstu Amalgerol Premium. Tento produkt se vyrábí v Innsbrucku v Rakousku a distribucí se v České republice zabývá firma Amalgerol CZ, s.r.o.

Amalgerol Premium

Přípravek Amalgerol Premium, viz obr. 13, je určen pro oblast rostlinné výroby, patří do skupiny pomocných rostlinných přípravků, které fungují v podobě biostimulátoru fyziologických procesů v půdě, ale i v porostech rostlinných kultur. Jedná se o neprůhlednou, vazkou, emulující tmavě hnědou kapalinu, kterou lze mísit s vodou v libovolném poměru. Amalgerol je složen z více než čtyřiceti komponentů, obsahuje rostlinné a éterické oleje, minerální destiláty, výtažky z mořských řas, bylinné výtažky a parafíny. Obsah rizikových látek nepřekračuje zákonem stanovené limity mg/kg: kadmium 1, olovo 10, rtuť 1, arsen 10 a chrom 50. Přípravek se aplikuje postřikem a lze ho aplikovat na půdu, posklizňové zbytky rostlin nebo na celou rostlinu (Amalgerol 2020).



Obr. 13: Přípravek Amalgerol Premium (foto autor)

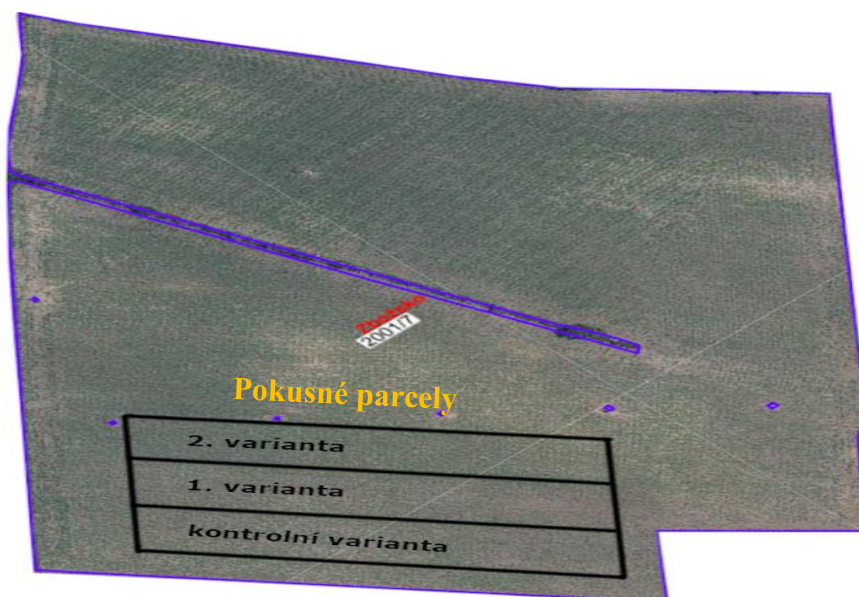
Při aplikaci na půdu zvyšuje aktivitu mikrobiálního života v půdě, stabilizuje tvorbu drobovité půdní struktury a zvyšuje provzdušnění půdy. Zvyšuje obsah organických látek a oxidu uhličitého v půdě. Snižuje kyselost půdy a zvyšuje její teplotu, až o 2 °C. Dále urychluje rozklad posklizňových zbytků a zabraňuje vyplavování živin z půdního profilu.

V důsledku působení přípravku mají rostliny mohutnější kořenový systém, což výrazně zvyšuje příjem vody a živin a rostliny tak lépe odolávají stresům. Díky jeho olejovému složení působí jako smáčedlo a lze ho aplikovat spolu s většinou používaných chemických přípravků, čímž dochází ke zlepšení jejich vlastností (Amalgerol 2020).

4.3 Charakteristika stanoviště

Pozemek s pokusnými parcelami, zobrazený na obr. 14, se nachází v katastrálním území Velkého zboží, v okrese Nymburk ve Středočeském kraji. Pozemek obhospodařuje zemědělská

společnost Poděbradská blata, a.s., která má sídlo v obci Pátek a spadá do koncernu Agrofert. Společnost obhospodařuje celkem 4 650 ha a provozuje pouze rostlinnou výrobu.



Obr. 14: Zemědělská parcela s vyznačenými pokusnými parcelami (eAGRI 2020a - Registr půdy LPIS)

4.3.1 Geografické informace a charakteristika regionu

Zemědělská parcela je označena číslem 2001/7, má 57,66 ha a nese název Zbožsko (zeměpisné souřadnice 50,167342° sš 15,108705° vd), viz obr. 14. Nadmořská výška pozemku čítá 187 metrů, reliéf terénu je rovinný se všesměrnou expozicí a průměrnou sklonitostí 1,5°. Podle BPEJ spadá pozemek do klimatického regionu číslo 2 - teplý, mírně suchý (T2), který je charakteristický teplým létem a mírnou zimou. Průměrná roční teplota se pohybuje okolo 8 - 9 °C a průměrný úhrn srážek zde činí 500 - 600 mm. Nejchladnější měsíc bývá leden, kdy průměrná teplota je cca -2 °C, naopak nejteplejší měsíc bývá červenec, kdy průměrná teplota je cca 20 °C. Počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více bývá okolo 160 - 170. Pravděpodobnost suchých vegetačních období je 20 - 30 % a hodnota vláhové jistoty činí 2 - 4. Pozemek je zařazen do zranitelné oblasti dusičnany - ZOD (eAGRI 2020a).

4.3.2 Charakteristika půdy

Agrochemické zkoušení půd se uskutečnilo firmou MJM agro, a.s. (Prefarm - komplexní systém precizního zemědělství). Rozbory půdy jsou z roku 2019. Půda byla odebrána z hloubky 30 cm a obsah živin byl stanoven metodou Melich 3.

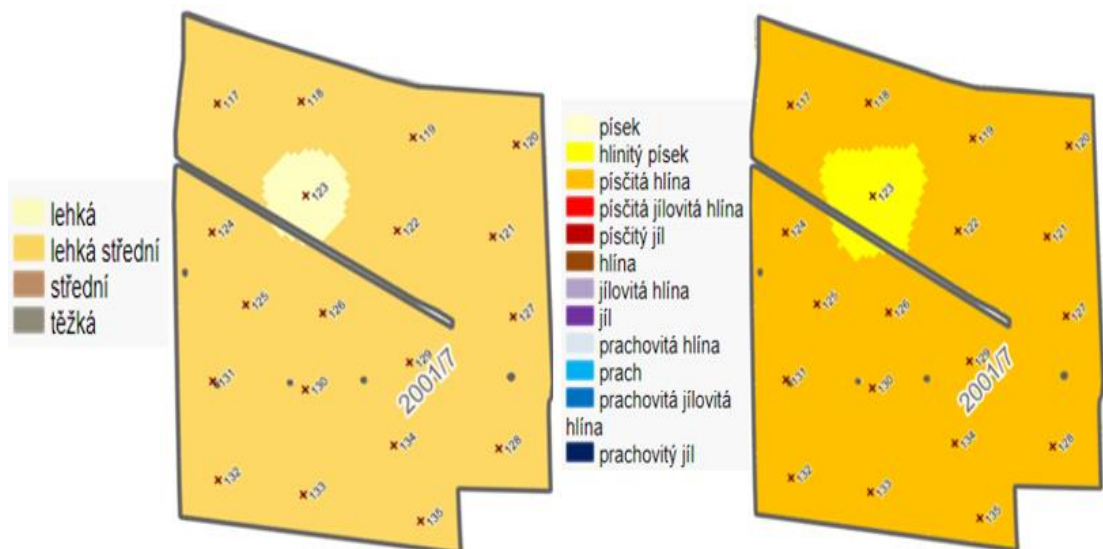
Půdotvorný substrát tvoří nivní uloženiny a spraše. Půdní typ na pozemku představuje černice, která je charakteristická hlubokými humusovými horizonty, vždy přesahující hloubku 30 cm. Hladina podzemní vody je zpravidla v hloubce 1 - 2 m. Půda se vyznačuje střední rychlostí infiltrace a vysokou retenční a využitelnou vodní kapacitou. Po stránce zrnitostního složení se jedná o lehkou střední půdu a převažující půdní druh je písčité hlína, viz obr. 15. Průměrné zrnitostní složení půdy na pokusných parcelách, které je uvedeno v tabulce 2, tvoří

78 % písku, 13 % jílu a 9 % prachu. Půda je zde hluboká, bezskeletovitá a v profilu orničního horizontu se vyskytuje obsah skeletu maximálně do 10 % (MJM 2019).

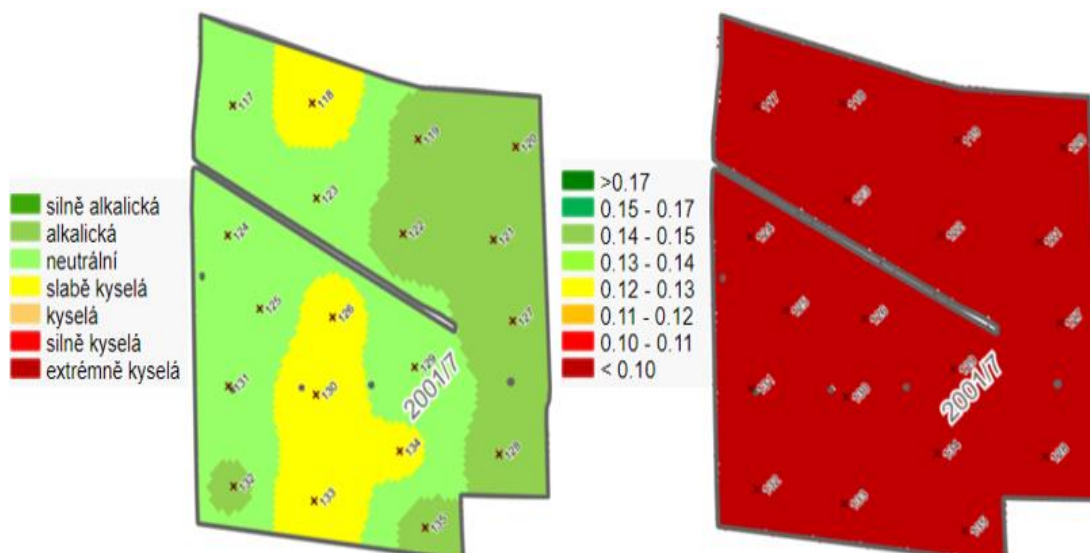
Střední hodnota pH půdy na pokusných parcelách činí 6,6 (neutrální pH), s výjimkou odběrných míst číslo 130, 133 a 134, kde je hodnota pH slabě kyselá, viz obr. 16 a tab. 2. Na celém pozemku, včetně zkušebních parcel je dostupná vodní kapacita, zobrazená na obr. 16, menší než 0,10. To znamená, že v 1 m³ půdy je méně jak 100 l vody dostupných rostlině (MJM 2019).

Tab. 2: Charakteristika půdních vlastností pozemku - pokusné parcely jsou označeny žlutě (MJM 2019)

Číslo Vzorku:	Zrnitostní složení půdy (%):			Hodnota pH a obsah živin (ppm) v půdě:				
	Písek	Jíl	Prach	pH	P	K	Mg	Ca
117	80	12	8	7,0	174	543	174	3280
118	77	14	9	5,8	95	162	242	3130
119	80	13	7	7,3	112	203	163	5440
120	80	12	8	7,3	110	216	163	5690
121	77	14	9	7,3	109	219	239	6120
122	75	14	11	7,5	99	209	157	5560
123	83	10	7	7,0	113	217	196	3050
124	72	16	12	7,1	150	426	189	4210
125	73	14	13	6,8	106	318	170	3260
126	77	12	11	6,2	110	256	189	2090
127	75	14	11	7,6	113	320	176	6140
128	72	14	14	7,4	94	224	143	4610
129	76	13	11	7,1	151	249	105	3310
130	77	12	11	5,8	95	168	188	2510
131	77	13	10	7,2	129	311	199	4930
132	79	13	8	7,3	107	217	191	5140
133	81	13	6	5,8	90	117	226	2640
134	77	13	10	6,4	101	235	243	3380
135	77	13	10	7,4	68	182	162	5100
Celkový průměr:	77	13	10	6,9	112	252	185	4189
				neutrální	dobrý	dobrý	dobrý	vysoký
Průměr pokusných parcel:	78	13	9	6,6	98	205	202	3950
				neutrální	dobrý	dobrý	dobrý	vysoký

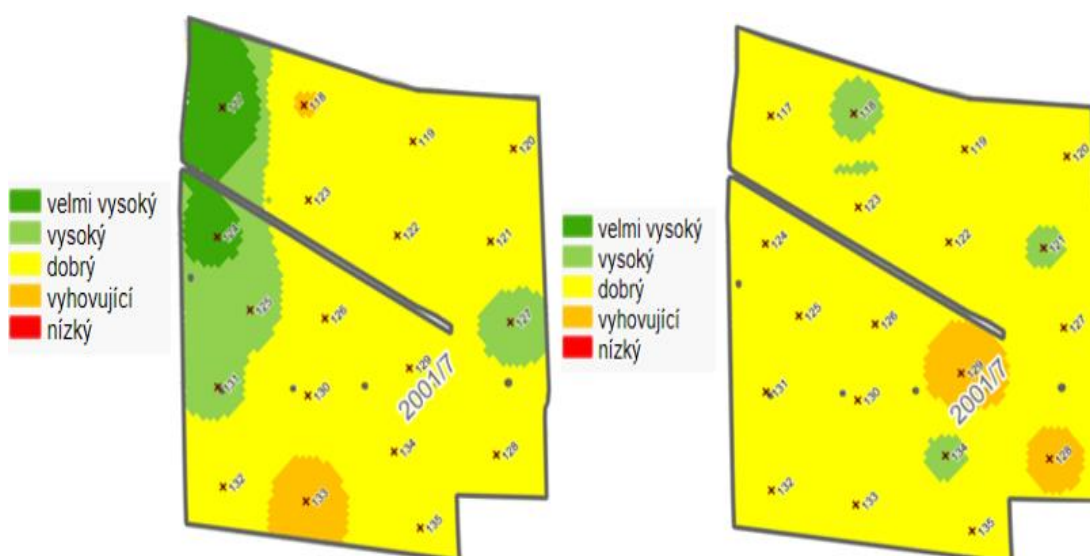


Obr. 15: Druh půdy - vlevo a půdní druh - vpravo (MJM 2019)

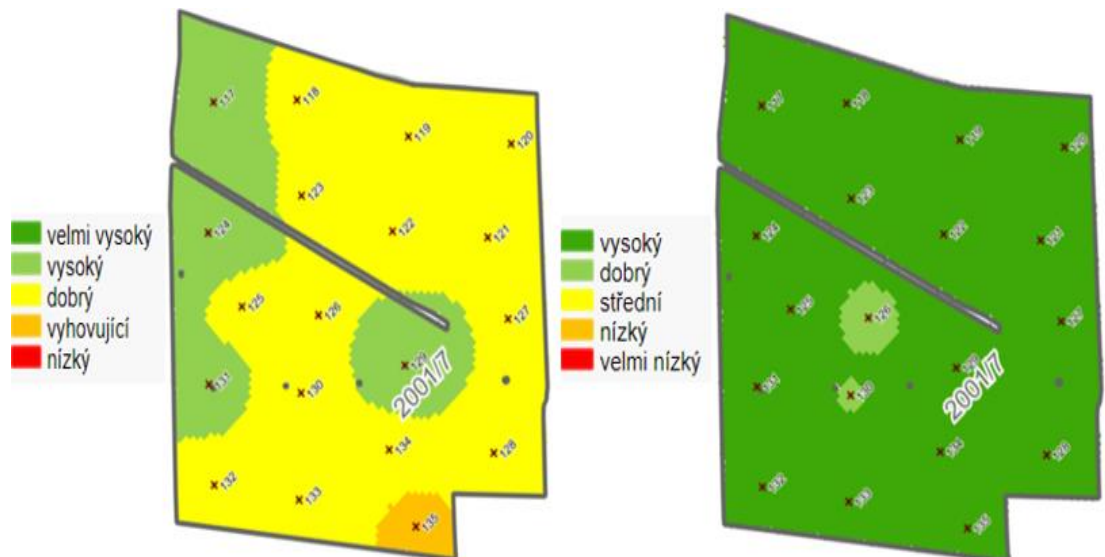


Obr. 16: Půdní reakce - vlevo a dostupná vodní kapacita - vpravo (MJM 2019)

Průměrný obsah draslíku na pokusných parcelách činí 205 ppm (dobrý obsah), viz tab. 2 a pohybuje se od 117 ppm (č. vzorku 133) do 311 ppm (č. vzorku 131), viz obr. 17. Zásobenost půdy hořčíkem je taktéž dobrá, zkušební parcely ho obsahují průměrně cca 202 ppm, jak dokládá tabulka 2. Nejvyšší obsah byl naměřen v odběrném místě číslo 134 (243 ppm), viz obr. 17. Půda, na které se nacházejí pokusné parcely, je dobře zásobená také fosforem, který je v ní obsažen 98 ppm, jak je uvedeno v tabulce 2. Pouze v odběrném místě č. 135, jak je znázorněno na obr. 18, je obsah fosforu nižší a to 68 ppm (vyhovující obsah). Co se týče obsahu vápníku v půdě, je možné uvést, že jeho obsah je na celém pozemku, včetně zkušebních parcel, vysoký, viz obr. 18. Jeho průměrný obsah na pokusných parcelách činí 3950 ppm, jak dokládá tabulka 2 (MJM 2019).



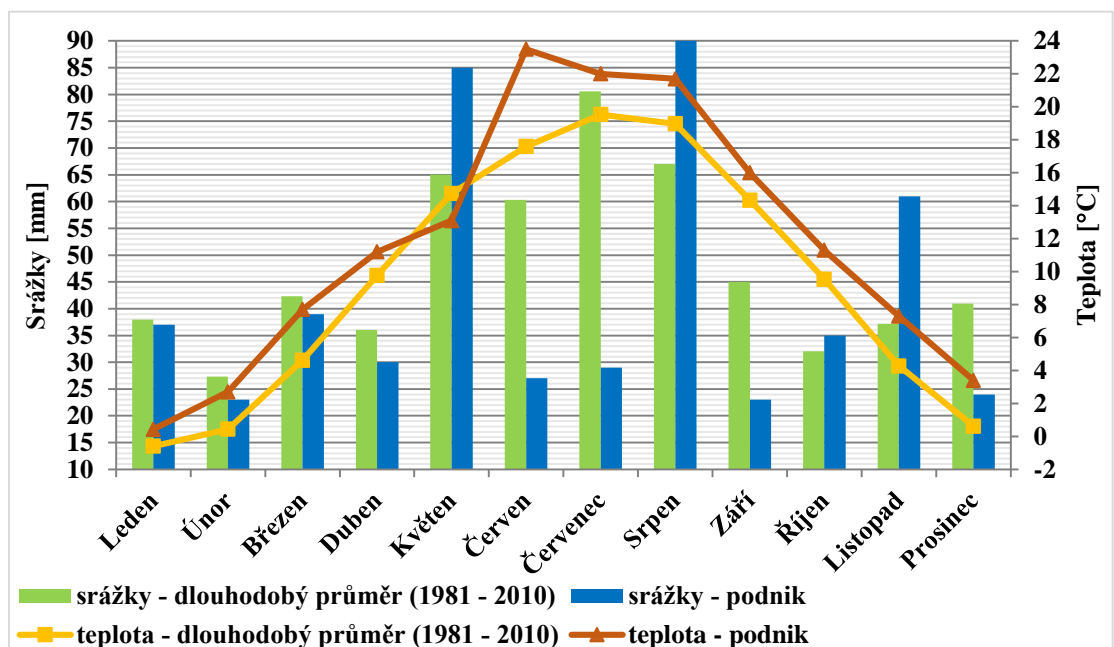
Obr. 17: Obsah draslíku - vlevo a obsah hořčíku - vpravo (MJM 2019)



Obr. 18: Obsah fosforu - vlevo a obsah vápníku - vpravo (MJM 2019)

4.3.3 Průběh počasí v roce 2019

Graf 6 charakterizuje průběh počasí v pokusné lokalitě v roce 2019. V uvedeném grafu jsou znázorněny průměrné teploty a úhrny srážek za každý příslušný měsíc, které byly naměřeny v zemědělském podniku Poděbradská blata, a.s. Dále graf 6 udává dlouhodobý normál (třicetiletý normál) měsíčních teplot a úhrnů srážek dané lokality z let 1981 - 2010. Dlouhodobý normál byl spočítán ze zakoupených zdrojových dat z nejbližší klimatologické stanice Poděbrady.



Graf 6: Porovnání průměrné teploty vzduchu a úhrnu srážek v podniku s třicetiletým normálem z let 1981 - 2010 (vnitropodniková kniha počasí; datový archiv KARP ČZU)

V roce 2019 byla průměrná roční teplota naměřená v podniku 11,7 °C, což bylo o 2,2 °C více, než dlouhodobý normál pro tuto lokalitu z let 1981 - 2010, kdy průměrná roční teplota činila 9,5 °C. Tento rok lze charakterizovat nadprůměrně teplou zimou, kdy nejnižší naměřená teplota v podniku dosáhla pouhých -6,4 °C, a to 22. ledna. Nejchladnějším měsícem byl leden, kdy byla naměřena průměrná měsíční teplota 0,4 °C, třicetiletý normál pro tento měsíc býval -0,4 °C. Druhý nejchladnější měsíc v roce 2019 byl únor, ve kterém již průměrná teplota dosahovala 2,7 °C, v porovnání s dlouhodobým normálem je to o 2,3 °C více, jak dokládá graf 6. V tomto roce bylo pouze dvacet dnů, ve kterých se průměrná denní teplota dostala pod bod mrazu. K nejteplejším měsícům patřil v roce 2019 červen, ve kterém dosahovala průměrná měsíční teplota 23,5 °C, při srovnání s třicetiletým normálem se jednalo o teplotu téměř o 6 °C vyšší. Zároveň byla tento měsíc v daném roce naměřena i nejvyšší průměrná denní teplota 29,5 °C (26. června). V rámci dlouhodobého normálu býval v této lokalitě nejteplejší měsíc červenec. Další v pořadí byl v roce 2019 červenec s průměrnou teplotou 22 °C a srpen s teplotou 21,7 °C, viz graf. 6. Z uvedených dat lze konstatovat, že průměrné měsíční teploty v roce 2019, naměřené v podniku, byly ve všech měsících vyšší, než je třicetiletý normál pro tuto oblast, mimo měsíce května, kdy byla průměrná měsíční teplota nižší.

Celková suma srážek v roce 2019 byla 503 mm. Dlouhodobý normál z let 1981 až 2010 pro tuto oblast činí 567 mm, což je o 64 mm více, než bylo naměřeno. Nejvyšší úhrn srážek v podniku byl zaznamenán v měsících srpnu (90 mm), květnu (85 mm) a listopadu (61 mm), což bylo v porovnání o cca 20 mm za každý měsíc více, než je dlouhodobý normál oblasti, jak je uvedeno v grafu 6. Naopak oproti třicetiletému normálu byl zaznamenán v roce 2019 výrazně nižší úhrn srážek v měsících červnu a červenci, kdy za oba měsíce dohromady činil úhrn srážek téměř o 85 mm méně, než je dlouhodobý normál. Nejvyšší jednorázový úhrn srážek v podniku za den činil 30 mm, dne 29. dubna. Srážkově nejchudší byl v podniku měsíc únor a září, kdy úhrn srážek činil 23 mm. Celkový úhrn srážek v období vegetace slunečnice roční (tj. od 05. 04. 2019 do 24. 09. 2019) činil 263 mm. Z grafu 6 je dále možné konstatovat, že při srovnání s dlouhodobým normálem, lze v roce 2019 považovat za srážkově průměrné měsíce leden, březen a říjen.

4.4 Založení pokusu

Slunečnice roční následovala v osevním postupu po pšenici ozimé. Založení pokusu se uskutečnilo dne 05. 04. 2019 formou osevu celé zemědělské parcely a výsevek činil 65 000 rostlin/ha (spon 75 x 22 cm, hloubka 5 cm). Po vzejití rostlin na pozemku následovalo vytyčení tří zkušebních parcel, viz obr. 14. Velikost jedné zkušební parcely byla 3 ha, přičemž šířka parcely byla 72 m a délka 420 m. Založení pokusu a agrotechnické zásahy na pozemku uskutečněné před a během vegetace slunečnice vycházely z metodiky pěstování slunečnice roční a agrotechnických lhůt, viz tab. 3.

Do porostu byl následně aplikován biostimulátor růstu Amalgerol Premium v dávce 4 l/ha. Schéma pokusu, viz tab. 4, zahrnovalo tři varianty (kontrolní varianta a dvě varianty ošetřené přípravkem). Kontrolní rostliny nebyly ošetřeny účinnou látkou. Rostliny v druhé variantě (V1) byly ošetřeny celou dávkou přípravku ve fázi BBCH 18 (stádium 8 listů) a třetí

varianta (V2) zahrnovala aplikaci poloviční dávky na rostliny ve fázi BBCH 15 (stádium 4 listů) a BBCH 20 (stádium 9 a více listů). V průběhu pokusu se uskutečnilo celkem 6 měření (před aplikací, BBCH 15, BBCH 20, BBCH 50, BBCH 65 a při sklizni). V uvedených vývojových fázích bylo z každé varianty pokusu vždy náhodně odebráno a následně měřeno 5 rostlin.

Tab. 3: Agrotechnické operace na pozemku

Datum:	Pracovní operace:	Přípravek + dávka:
29. 06. 2018	Podmítka	
31. 07. 2018	Herbicidní ošetření	Envision 1,5 l/ha
08. 09. 2018	Organické hnojení Kypření - zapravení hnoje	Hnůj skotu 30 t/ha
27. 09. 2018	Hlubší zpracování půdy	
28. 03. 2019	Herbicidní ošetření	Envision 1,8 l/ha
30. 03. 2019	Hnojení + inhibitor ureázy	SAM 200 l/ha + StabilureN 0,2 l/ha
04. 04. 2019	Předseťová příprava půdy	
05. 04. 2019	Setí + hnojení pod patu	65 000 r./ha + Amofos 100 kg/ha
06. 04. 2019	Herbicidní ošetření	Bandur 2 l/ha, Outlook 1 l/ha
19. 05. 2019	Plečkování	
28. 05. 2019	Fungicidní ošetření Listové hnojivo	Mirador Xtra 0,8 l/ha Borosan f. 1,5 l/ha, Mikrokomplex 1 l/ha, Hořká sůl 5 kg/ha
07. 06. 2019	Insekticidní ošetření	Biscaya 240 OD 0,3 l/ha
06. 09. 2019	Desikace	Reglone 2,5 l/ha
24. 09. 2019	Sklizeň	

Tab. 4: Schéma variant pokusu

Varianty pokusu:	Výměra:	Aplikace přípravku Amalgerol Premium:
Kontrolní varianta (KV)	3 ha	Bez ošetření účinnou látkou
1. Varianta (V1)	3 ha	Ošetřeno ve fázi BBCH 18 (27. 05. 2019) - dávka přípravku 4 l/ha; dávka vody 400 l/ha
2. Varianta (V2)	3 ha	Ošetřeno ve fázi BBCH 15 (17. 05. 2019) a BBCH 20 (30. 05. 2019) - dávka přípravku 2 l/ha; dávka vody 400 l/ha

4.5 Měření sledovaných charakteristik

4.5.1 Stanovení velikosti kořenového systému

U rostlin slunečnice roční uvedených variant byla měřena délka kořenového systému, viz obr. 19. Po odběru vzorku následovalo rozdělení na jednotlivé části - kořen a nadzemní biomasa. U každé pokusné varianty byla následně změřena délka kořene pěti rostlin, které danou variantu reprezentovaly. Z naměřených délek se poté vypočítala průměrná délka kořene pro každou variantu.



Obr. 19: Měření délky kořene - varianta V1, BBCH 20 (foto autor)

4.5.2 Stanovení hmotnosti sušiny

U rostlin příslušných variant byla zjišťována ve vybraných růstových fázích (14, 15, 20, 50, 65, 99 BBCH) běžným způsobem hmotnost sušiny nadzemní biomasy a kořenů. Po rozdělení rostlin na kořen a nadzemní část byl odebraný rostlinný materiál umístěn do horkovzdušné sušárny, kde byl při 80 °C vysušen do konstantní hmotnosti sušiny. Poté se u vysušeného rostlinného materiálu na laboratorních vahách zvažila jeho hmotnost. Z každé varianty bylo zváženo pět vzorků, ze kterých se následně vypočítala průměrná hmotnost sušiny nadzemní biomasy a kořene.

4.5.3 Stanovení poměru root:shoot

Ze zjištěných naměřených průměrných hmotností sušiny nadzemní biomasy a kořene byl následně vypočítán poměr kořen/nadzemní biomasa (root/shoot). Pro stanovení tohoto poměru byla získaná hmotnost sušiny kořenů dělena hmotností sušiny nadzemní biomasy.

4.5.4 Stanovení výnosu

U rostlin slunečnice byl stanoven výnos semen. Sklizeň jednotlivých pokusných parcel proběhla dne 24. 09. 2019 sklízecí mlátičkou New Holland CR 9080 s osmiřádkovým slunečnicovým adaptérem se záběrem 6 m, viz obr. 20. Celkem se jednalo o dvanáct pojezdů na každé parcele. Následně bylo sklizené semeno vyloženo na dopravní prostředek, zváženo a přepočtem byl zjištěn hektarový výnos z jednotlivých zkušebních parcel.



Obr. 20: Sklizeň pokusných parcel (foto autor)

4.6 Vyhodnocení výsledků

Statistické vyhodnocení výsledků bylo provedeno v programu STATISTICA 12. Jako metoda pro statistické vyhodnocení dat byla použita Analýza rozptylu (ANOVA) a pro samotné testování získaných dat byla použita hladina významnosti $\alpha = 0,05$.

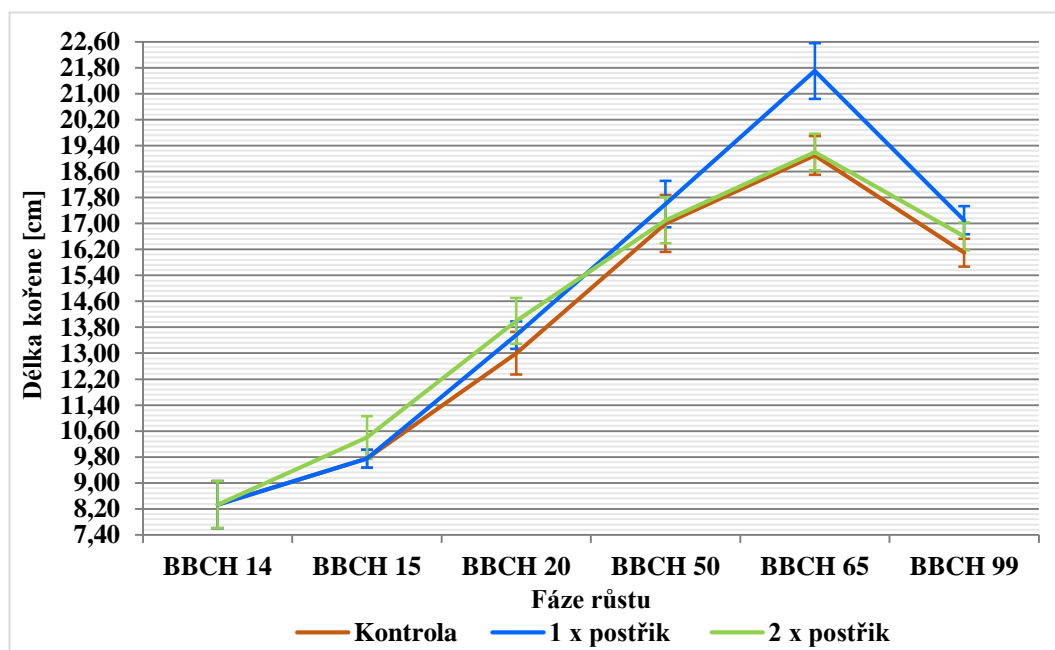
5 Výsledky

V rámci diplomové práce byl sledován vliv biostimulátoru růstu Amalgerol Premium na genotyp slunečnice roční NK Brio. U rostlin slunečnice byla v závislosti na aplikaci biostimulátoru sledována velikost kořenového systému, hmotnost sušiny nadzemní biomasy a kořene. Dále byl sledován poměr root:shoot a výnos nažek. Schéma pokusu zahrnovalo tři varianty: kontrolní (KV) neošetřená účinnou látkou; ošetřená celou dávkou přípravku (V1) 4 l/ha ve stádiu osmi listů; ošetřená dvakrát poloviční dávkou přípravku (V2) 2 l/ha ve fázi BBCH 15 a ve fázi BBCH 20.

5.1 Velikost kořenového systému

Z grafu 7 vyplývá vliv varianty pokusu na velikost (délku) kořenového systému u odrůdy NK Brio. Z uvedeného grafu je patrné, že naměřený interval hodnot délky kořenového systému slunečnice roční byl od 8,33 cm (BBCH 14) do 21,70 cm (BBCH 65, varianta ošetřená celou dávkou - V1). Rozdíl mezi maximální a minimální naměřenou délkou kořenového systému u odrůdy NK Brio byl 13,37 cm.

U vybraného genotypu rostlin slunečnice rostoucích v kontrolních podmínkách byla naměřena nejmenší velikost kořene na počátku měření BBCH 14 (8,33 cm) a největší velikost ve fázi BBCH 65 (19,10 cm). Z grafu 7 je dále patrné, že délka kořene kontrolních rostlin slunečnice se postupně zvyšovala v důsledku jejich ontogenetického vývoje až do růstové fáze BBCH 65. Poté u rostlin došlo k poklesu na konečnou délku kořene 16,10 cm (BBCH 99).



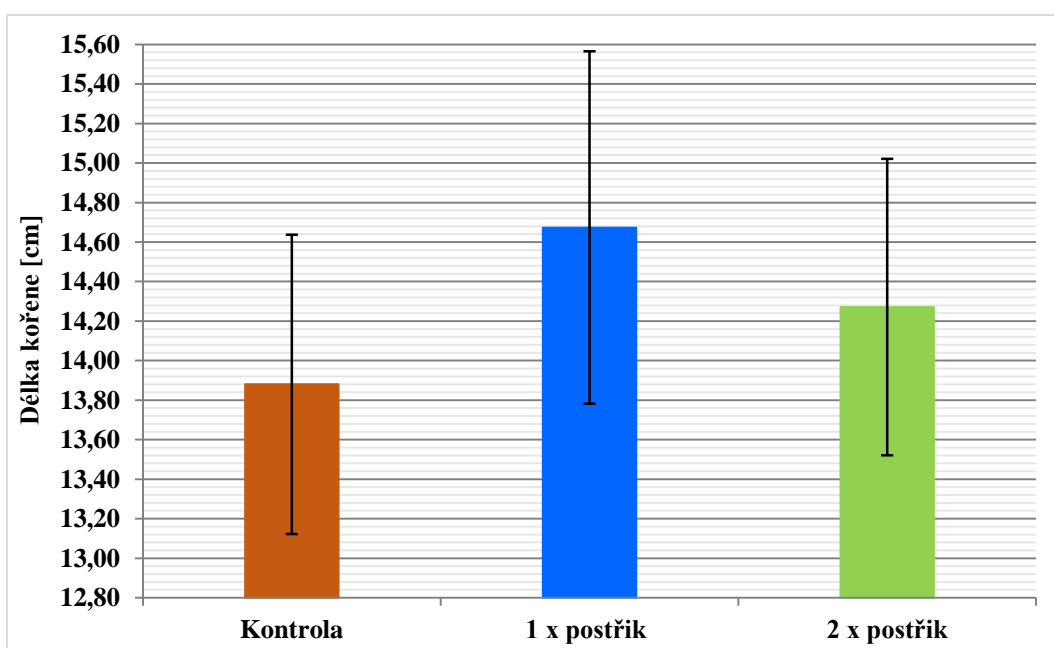
Graf 7: Změna velikosti kořenového systému (cm) v závislosti na použití biostimulátoru růstu

U rostlin pěstovaných ve variantě ošetřené celou dávkou přípravku (varianta V1) byla velikost kořenového systému ovlivněna jeho aplikací. Na začátku měření byla naměřena nejmenší délka kořenového systému 8,33 cm (BBCH 14). Dále vlivem aplikace přípravku

Amalgerol Premium ve fázi BBCH 18 docházelo k postupnému nárůstu velikosti kořene na 13,56 cm (BBCH 20) a poté až na nejvyšší naměřenou hodnotu této varianty 21,70 cm ve fázi BBCH 65, to je zvýšení o 13,37 cm oproti počáteční naměřené hodnotě, jak demonstruje graf 7. V porovnání s kontrolní variantou se ve fázi BBCH 65 jednalo o průkazný rozdíl zvýšení průměrné délky kořenového systému o 12 %. V následujícím termínu měření, ve fázi BBCH 99 (sklizňová zralost), bylo zaznamenáno snížení délky kořene na 17,10 cm.

Rostliny ve variantě V2, které byly ošetřeny dvakrát, a to poloviční dávkou biostimulátoru růstu ve fázi BBCH 15 a 20, vykazovaly rozpětí hodnot délky kořenového systému od 8,33 cm (BBCH 14) do 19,20 cm (BBCH 65), jak dokládá graf 7. Přičemž při působení aplikovaného přípravku vykazovala velikost kořenového systému postupný nárůst z počáteční hodnoty na 10,40 cm (BBCH 15), což činilo nárůst naměřené délky kořene oproti kontrolní variantě o 6,25 %. Ve fázi deseti vyvinutých listů (BBCH 20), byla u této varianty naměřena délka kořene 14,00 cm, přičemž při srovnání s kontrolní variantou se jednalo o nárůst délky kořenového systému o 7,14 % a v porovnání s variantou V1 byl zaznamenán nárůst o 3,14 %. U obou případů se však jednalo o statisticky neprůkazný rozdíl kořenové délky. Dále následoval nárůst délky kořene na maximální hodnotu naměřenou ve fázi BBCH 65 (19,20 cm), ve srovnání s variantou, která byla ošetřena celou dávkou přípravku (varianta V1), byla naměřená délka kořene průkazně nižší o 2,5 cm. Na konci pokusu ve fázi BBCH 99 byla u rostlin naměřena délka 16,60 cm, která byla v porovnání z předešlého termínu měření o 13,54 % menší, viz graf 7.

V grafu 8 je znázorněn vliv jednotlivých variant pokusu na celkovou průměrnou velikost kořenového systému rostlin slunečnice genotypu NK Brio. Nejvyšší průměrná hodnota délky kořene 14,67 cm byla naměřena u varianty ošetřené celou dávkou přípravku. Naopak nejkratší průměrná délka kořenového systému (13,88 cm) byla zjištěna u kontrolní varianty, což bylo o 5,39 % méně než u varianty V1. Průměrná naměřená hodnota délky kořene u varianty V2 byla 14,27 cm, což byl vyšší rozdíl o 2,73 % oproti neošetřeným rostlinám.



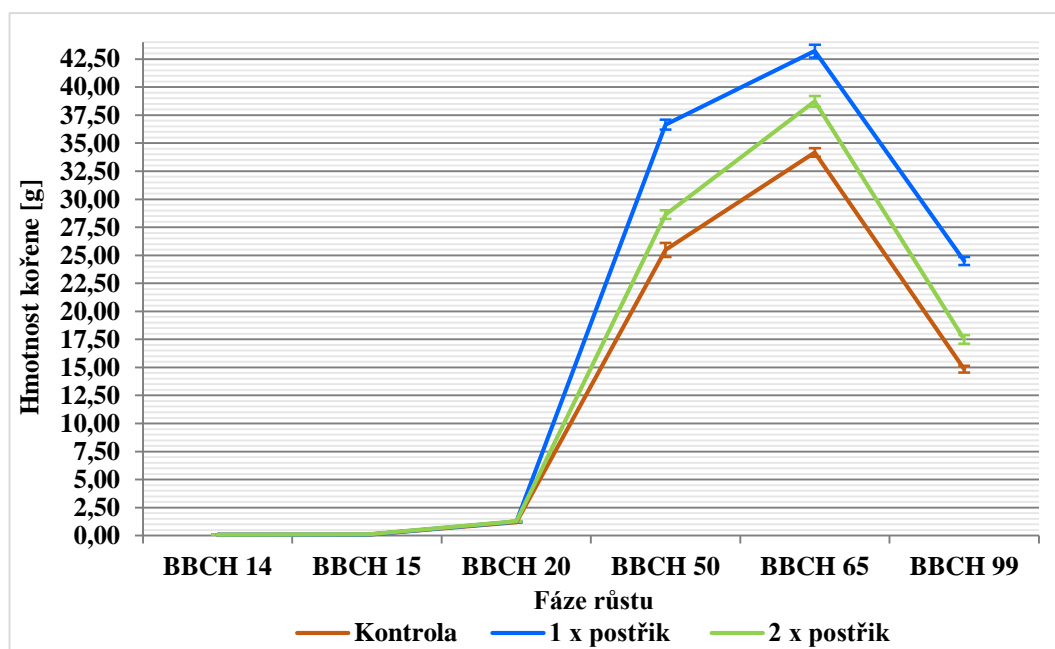
Graf 8: Porovnání průměrné velikosti kořenového systému (cm) v závislosti na použití biostimulátoru růstu

Z grafu 8 je dále patrné, že rostliny obou variant, které byly ošetřeny rostlinným biostimulátorem Amalgerol Premium, měly vyšší průměrnou délku kořenového systému než rostliny kontrolní varianty, které přípravkem ošetřeny nebyly. Dále je možné konstatovat, že delší kořen měly rostliny ošetřené jednorázovou celkovou dávkou přípravku (varianta V1), oproti rostlinám, na které byl biostimulátor aplikován dvakrát v poloviční dávce (varianta V2). Průměrný nárůst kořenové délky u ošetřených rostlin nebyl statisticky průkazný v porovnání s kontrolou.

5.2 Hmotnost sušiny kořenové biomasy

V grafu 9 je uveden vývoj hmotnosti sušiny kořenů v závislosti na variantě pokusu. V uvedeném grafu jsou patrné průkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami pokusu ve fázích BBCH 50, 65 a 99. Naměřený interval zjištěných hodnot hmotnosti sušiny kořenů se pohyboval od 0,08 g (BBCH 14) do 43,21 g (BBCH 65, varianta V1). Rozdíl mezi těmito zjištěnými hodnotami byl 43,13 g.

U rostlin slunečnice pěstovaných v kontrolních podmínkách byla počáteční hodnota hmotnosti sušiny kořenů 0,08 g (BBCH 14), dále tato varianta vykazovala setrvalý nárůst hmotnosti sušiny až do předposledního odběru ve fázi BBCH 65 (34,17 g). Poté byl zaznamenán pokles hmotnosti na hodnotu 14,84 g (BBCH 99). Nejvyšší nárůst hmotnosti sušiny kořenů kontrolních rostlin o 24,29 g byl zaznamenán od fáze BBCH 20 do fáze zavřeného květenství (BBCH 50), jak je patrné z grafu 9.



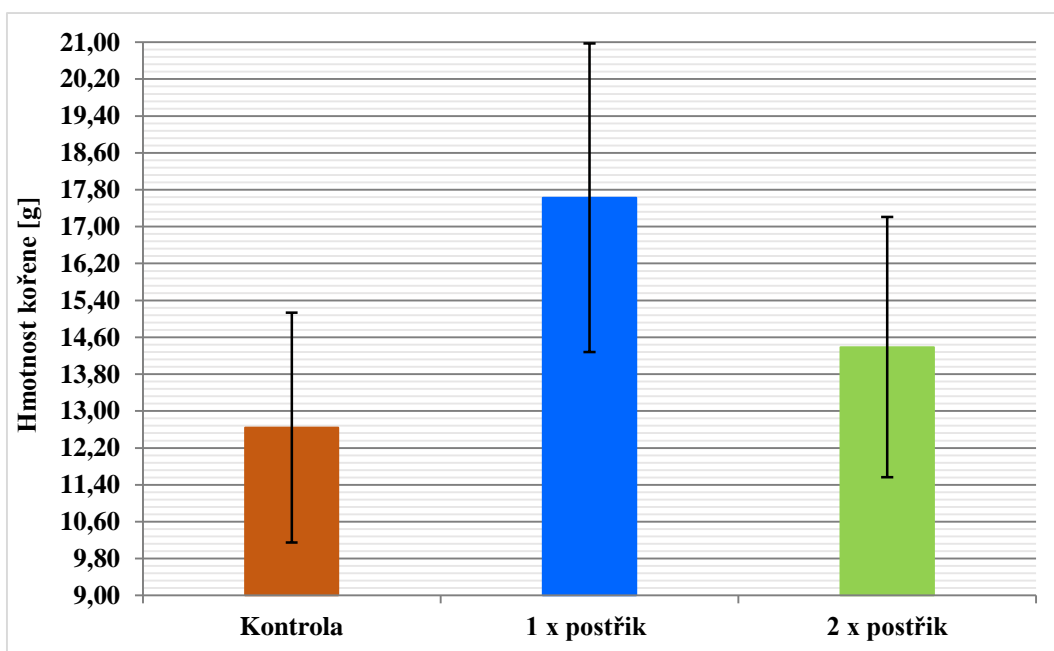
Graf 9: Změna hmotnosti sušiny kořenové biomasy (g) v závislosti na použití biostimulátoru růstu

U rostlin rostoucích ve variantě V1, u kterých byl aplikován biostimulátor růstu v dávce 4 l/ha ve fázi BBCH 18 byla naměřena minimální hodnota hmotnosti sušiny kořene 0,08 g (BBCH 14) a maximální hodnota ve fázi plného květu (43,21 g). Po aplikaci přípravku došlo k nejvyššímu nárůstu hmotnosti sušiny kořenové biomasy ve fázi BBCH 50 o 35,4 g z hodnoty

1,25 g (BBCH 20). V této fázi se jednalo o nárůst o 30,48 % oproti kontrolní variantě a o 21,88 % vůči variantě V2, viz graf 9. Ve fázi BBCH 99 byla stanovena nejvyšší hmotnost sušiny kořenů i varianty V1 a to 24,48 g.

Rostliny, které byly ošetřeny přípravkem Amalgerol Premium dělenou dávkou, měly hmotnost sušiny kořenů na počátku pokusu 0,08 g. Po aplikaci biostimulátoru následoval mírný neprůkazný nárůst na 0,11 g (BBCH 15) a poté ve fázi BBCH 20 na 1,28 g. V případě obou růstových fází u této varianty byly naměřené hodnoty hmotnosti sušiny kořenové biomasy neprůkazně vyšší než u kontrolní varianty a varianty V1. Následný termín měření byla hmotnost sušiny 28,63 g (BBCH 50), jak je uvedeno v grafu 9. Nárůst hmotnosti sušiny kořenů mezi fází BBCH 50 a 65 (o 10,1 g) byl u této varianty nejvyšší. Hmotnost sušiny kořenů při sklizni se shodně s předchozími variantami pokusu snížila a činila 17,49 g.

Graf 10 zobrazuje vliv varianty pokusu na průměrnou hmotnost sušiny kořenového systému slunečnice a je patrné, že nejvyšší naměřená průměrná hodnota byla zjištěna u varianty ošetřené dávkou 4 l/ha - 17,63 g. Druhou nejvyšší zjištěnou průměrnou hodnotu hmotnosti sušiny měla varianta, na kterou byl aplikován přípravek v dávce dvakrát 2 l/ha - 14,39 g, což je o 18,38 % nižší hmotnost než u varianty V1, ale oproti neošetřeným rostlinám bylo zaznamenáno zvýšení o 12,16 %. Nejnižší průměrnou hmotnost sušiny kořene měly rostliny rostoucí v kontrolních podmínkách (12,64 g).

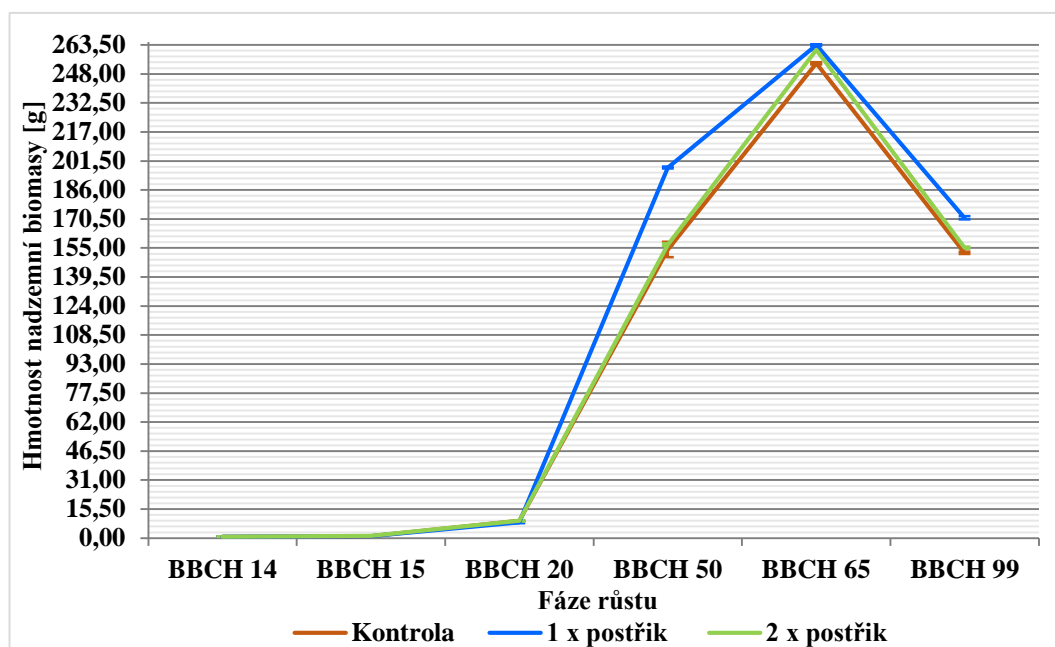


Graf 10: Porovnání průměrné hmotnosti sušiny kořenové biomasy (g) v závislosti na použití biostimulátoru růstu

Ze získaných výsledků uvedených v grafu 10 je patrné, že v rámci hmotnosti sušiny kořenové biomasy dosahovaly vyšší průměrné hmotnosti rostliny ošetřené rostlinným biostimulátorem. Přičemž rostliny, na které byl přípravek aplikován v jednorázové dávce 4 l/ha, měly průměrnou hmotnost kořenové biomasy vyšší než v případě dělené dávky. Dále je z uvedeného grafu zřejmé, že zjištěné rozdíly mezi jednotlivými variantami nebyly statisticky průkazné.

5.3 Hmotnost sušiny nadzemní biomasy

V grafu 11 je uveden vliv varianty pokusu na hmotnost sušiny nadzemní biomasy slunečnice. Z něho vyplývá, že interval hodnot se pohyboval od 0,79 g (fáze 4 listů) do 263,38 g (fáze plného květu, varianta V1).



Graf 11: Změna hmotnosti sušiny nadzemní biomasy (g) v závislosti na použití biostimulátoru růstu

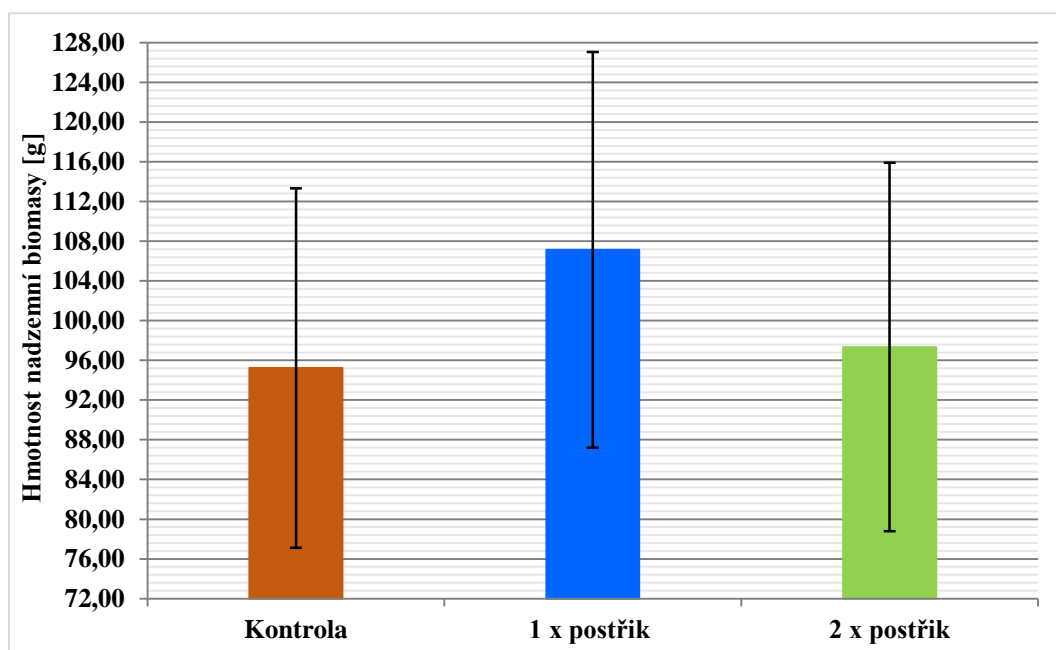
Počáteční a zároveň nejnižší naměřená hodnota hmotnosti sušiny nadzemní biomasy u rostlin slunečnice rostoucích v kontrolní variantě byla 0,79 g. Následoval pozvolný nárůst hmotnosti sušiny na 9,32 g (BBCH 20), přičemž byla tato hodnota v porovnání s ostatními variantami pokusu v této růstové fázi nejvyšší. Maximální hmotnost sušiny byla zjištěna ve fázi BBCH 65 (253,61 g).

U rostlin pěstovaných ve variantě V1 se po aplikaci přípravku ve fázi BBCH 18 hmotnost sušiny nadzemní biomasy postupně zvyšovala na 8,48 g (BBCH 20), ale hmotnost byla nižší o 0,84 g oproti kontrolní variantě. Dále následoval prokazatelný nárůst hmotnosti sušiny na 198 g (BBCH 50). Maximální naměřená hodnota hmotnosti sušiny nadzemní biomasy u této varianty činila 263,38 g (BBCH 65). V tomto případě byla zjištěná hodnota vyšší a statisticky se lišila o 3,71 % než zjištěná hmotnost kontrolní varianty. Při posledním odběru rostlin (BBCH 99) byla naměřena hodnota o 92,27 g nižší, než byla maximální naměřená hodnota, která byla v období plného květu, jak dokládá graf 11.

Hmotnost sušiny nadzemní biomasy u rostlin slunečnice rostoucích ve variantě V2 se pohybovala v rozpětí hodnot od 0,79 g (BBCH 14) do 260,86 g (BBCH 65). V období působení přípravku Amalgerol Premium se hmotnost sušiny nadzemních orgánů postupně zvyšovala na 1,29 g (BBCH 15), což činilo neprůkazné zvýšení hmotnosti sušiny o 19,38 % oproti neošetřené kontrolní variantě KV. Následující termín měření (BBCH 20) byla zjištěna hodnota hmotnosti sušiny 9,21 g, která byla o 0,11 g nižší než u varianty KV. Hmotnost sušiny nadzemních orgánů

se průkazně zvyšovala na nejvyšší naměřenou hmotnost sušiny 260,86 g (BBCH 65). Na konci pokusu činila naměřená hodnota hmotnosti sušiny nadzemní biomasy 155,16 g, viz graf 11.

V grafu 12 je zaznamenán vliv pokusných variant na průměrnou hmotnost sušiny nadzemní biomasy slunečnice. Nejnižší průměrná hmotnost sušiny byla u rostlin pěstovaných v kontrolních podmínkách 95,23 g. Naopak nejvyšší zjištěná průměrná hodnota hmotnosti sušiny nadzemních orgánů rostlin byla u varianty V1 107,13 g. U varianty V2 činila průměrná hmotnost sušiny 97,35 g. Z uvedených výsledků je patrné, že varianta ošetřená dvakrát, a to poloviční dávkou přípravku, měla o 2,18 % vyšší hmotnost sušiny oproti kontrolní variantě, naopak ve srovnání s variantou, která byla ošetřena jednorázovou celkovou dávkou, byla hmotnost sušiny nadzemní biomasy nižší o 9,13 %. U varianty V1 byla zjištěna vyšší hmotnost sušiny o 11,9 g vůči neošetřeným rostlinám varianty KV.



Graf 12: Porovnání průměrné hmotnosti sušiny nadzemní biomasy (g) v závislosti na použití biostimulátoru růstu

Dále je z tohoto grafu patrné, že i přes statisticky neprůkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami pokusu, dochází po aplikaci stimulátoru k nárůstu hmotnosti sušiny nadzemní biomasy v porovnání s kontrolou. Vyšší hmotnost sušiny nadzemních orgánů dosahovala varianta V1 oproti variantě V2.

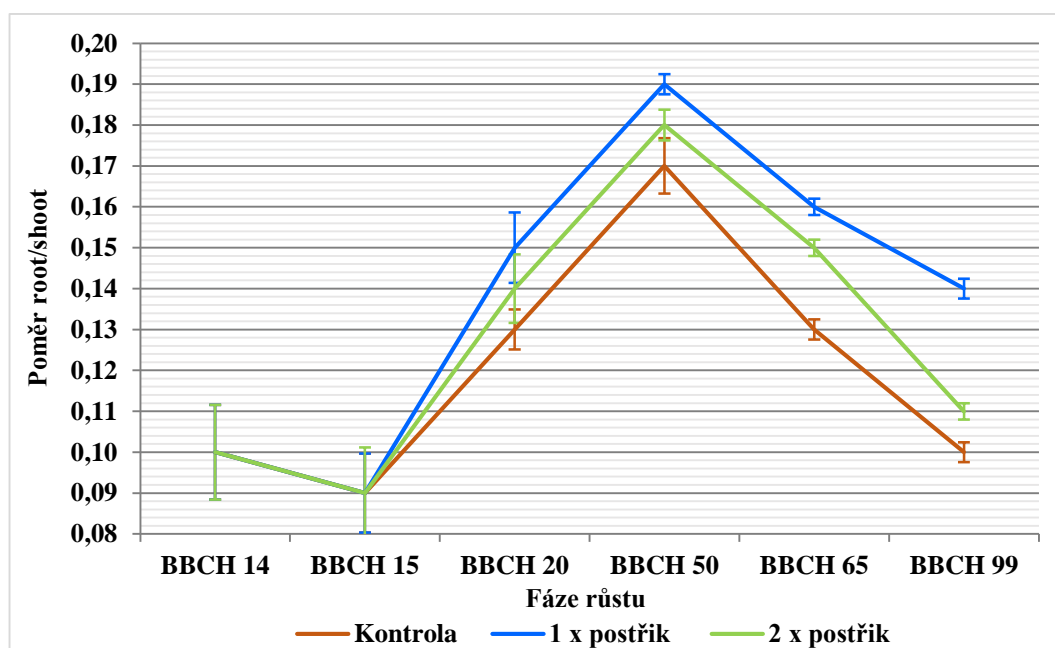
5.4 Poměr root:shoot

Z grafu 13 vyplývá vliv varianty pokusu na poměr hmotnosti sušiny kořenového systému vzhledem k sušině nadzemní části rostliny ($R_w:S_w$). Z uvedeného grafu je patrné, že naměřený interval hodnot poměru root:shoot byl od 0,09 (BBCH 15) do 0,19 (BBCH 50, varianta V1).

U rostlin pěstovaných v kontrolní variantě byl na začátku pokusu naměřen poměr root:shoot ve výši 0,10, následoval pokles poměru na nejnižší hodnotu 0,09 (BBCH 15). Poté následoval až do fáze zavřeného květenství nárůst poměru root:shoot na maximální naměřenou hodnotu 0,17. Od tohoto termínu měření docházelo opět k postupnému poklesu naměřené

hodnoty poměru root:shoot až na konečnou hodnotu 0,10 zjištěnou při sklizňové zralosti, jak dokládá graf 13.

Poměr hmotnosti sušiny kořenů vůči nadzemní biomase u pokusných rostlin ošetřených biostimulátorem růstu v dávce 4 l/ha se pohyboval v rozmezí hodnot od 0,09 (BBCH 15) do 0,19 (BBCH 50), jak je uvedeno v grafu 13. Po aplikaci přípravku se hodnota poměru root:shoot zvýšila z počáteční hodnoty na 0,15 (BBCH 20). Následný termín měření byla u této varianty prokazatelně zjištěna maximální hodnota poměru, po které byl ovšem zaznamenán pokles nejdříve na hodnotu poměru 0,16 a poté pokles o 12,5 % na poslední naměřenou hodnotu poměru root:shoot 0,14 (BBCH 99). Tato hodnota poměru se statisticky lišila o 28,57 % oproti neošetřené kontrolní variantě KV, jak dokládá graf 13.

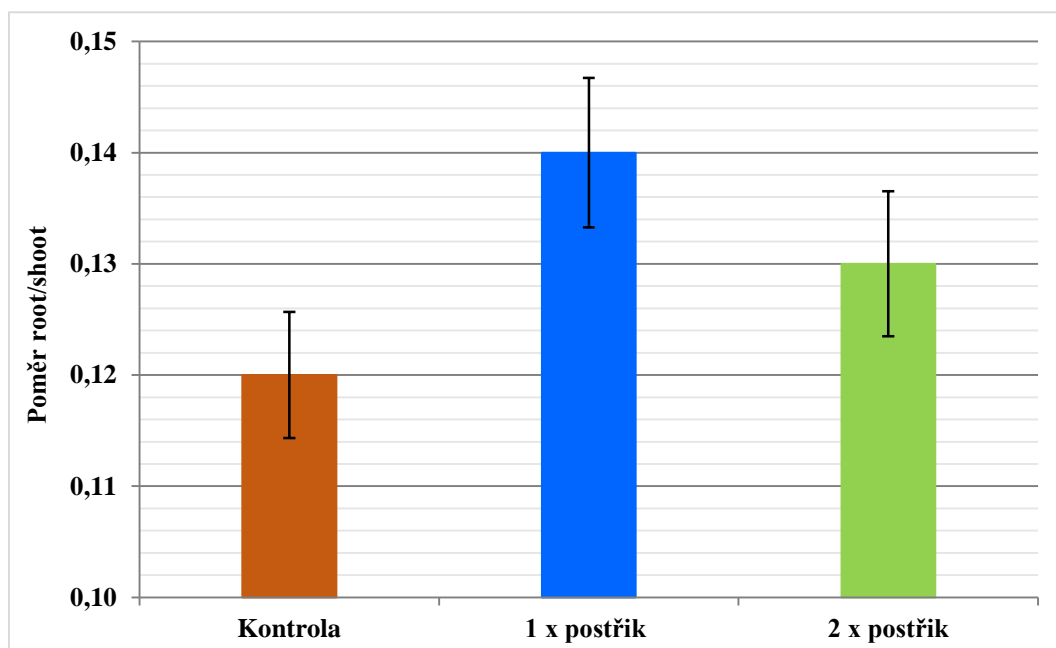


Graf 13: Změna poměru root:shoot v závislosti na použití biostimulátoru růstu

Počáteční naměřená hodnota poměru root:shoot u varianty ošetřené dvakrát poloviční dávkou přípravku Amalgerol Premium činila 0,10. Vlivem aplikace biostimulátoru ve fázi BBCH 15 a 20 se poměr root:shoot zvyšoval až na nejvyšší naměřenou hodnotu 0,18 (BBCH 50), což činilo nárůst oproti počáteční hodnotě o 44,44 %. I přes toto zvýšení nebylo dosaženo hodnoty varianty V1, která měla hodnotu poměru root:shoot průkazně vyšší o 5,26 %. Od této růstové fáze následovalo obdobné snížení poměru hmotnosti sušiny kořenů vůči nadzemní biomase jako u obou předchozích variant až na závěrečnou hodnotu 0,11 (BBCH 99). Tato hodnota poměru byla přibližně o 9 % vyšší než hodnota zjištěná u kontrolní varianty, ale zároveň byla o 21,43 % nižší než poměr root:shoot u varianty V1, viz graf 13.

Graf 14 popisuje vliv pokusných variant na průměrný poměr hmotnosti sušiny kořenového systému vůči nadzemním orgánům, ze kterého jsou patrné statisticky průkazné rozdíly mezi dílčími variantami pokusu. Nejnižší poměr root:shoot byl naměřen u neošetřené varianty 0,12 a naopak nejvyšší dosažený poměr měla varianta ošetřená celkovou jednorázovou dávkou 0,14. U varianty V2 činila průměrná hodnota poměru root:shoot 0,13. Průměrná hodnota poměru root:shoot u varianty V1 byla o 14,29 % vyšší než u kontrolní varianty a u

varianty V2 byla průměrná hodnota poměru o 7,69 % vyšší, než měly rostliny neošetřené přípravkem.

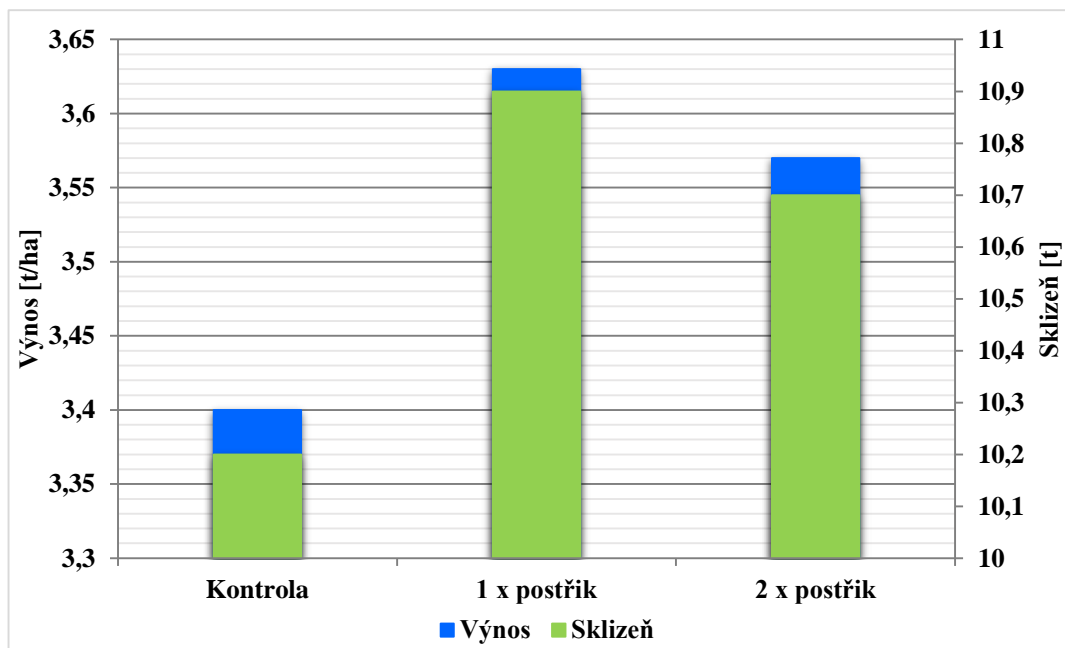


Graf 14: Porovnání průměrného poměru root:shoot v závislosti na použití biostimulátorů růstu

Ze získaných výsledků uvedených v grafu 14 je patrné, že v rámci poměru root:shoot obě pokusné varianty ošetřené přípravkem dosahovaly vyššího poměru oproti rostlinám, které nebyly ošetřeny účinnou látkou. Přičemž u rostlin ošetřených celou dávkou přípravku byl rozdíl poměru root:shoot statisticky průkazný.

5.5 Výnos

V grafu 15 je zobrazen vliv varianty pokusu na dosažený výnos slunečnice roční u odrůdy NK Brio. Z uvedeného grafu vyplývá, že nejvyšší dosažený výnos byl 3,63 t/ha, který byl zjištěn u varianty ošetřené biostimulátorem růstu Amalgerol Premium v celkové jednorázové dávce 4 l/ha (varianta V1). U této varianty bylo sklizeno celkem 10,9 t, jak dokládá graf 15. Naopak nejnižší výnos byl zjištěn u neošetřené kontrolní varianty KV, kde výnos činil 3,40 t/ha, což byl o 6,34 % viditelně nižší výnos než u varianty V1. V případě celkové sklizně se jednalo o rozdíl 0,7 t sklizených nažek. Varianta dvakrát ošetřená měla konečný výnos 3,57 t/ha, při celkové sklizni slunečnicových nažek 10,7 t, viz graf 15. U této varianty došlo k patrnému zvýšení výnosu o 4,76 % oproti neošetřeným rostlinám, naopak vůči variantě V1 byl zjištěný výnos o 1,65 % nižší.



Graf 15: Porovnání dosaženého výnosu nažek (t/ha) v závislosti na použití biostimulátoru růstu

Výsledky zobrazené v grafu 15 dokládají, že aplikace přípravku Amalgerol Premium zvýšila výnos u obou ošetřených variant oproti kontrolní variantě, kde účinná látka aplikována nebyla. Z hlediska dosažení vyššího výnosu nažek je vhodnější přípravek aplikovat jednorázově v celkové dávce 4 l/ha (varianta V1), než aplikaci rozdělit do dvou polovičních dávek (varianta V2).

6 Diskuze

Biostimulátory růstu jsou bohaté na různé bioaktivní sloučeniny, které v rostlinách vyvolávají řadu pozitivních fyziologických reakcí, jako je zvýšení plochy kořenů, počtu kořenů, zlepšená produkce biomasy, zefektivnění příjmu a vedení vody a živin, změny metabolismu apod. V řadě případů tyto látky také zvyšují odolnost vůči stresorům. Z těchto důvodů by měly být tyto přípravky používány v zemědělských postupech na podporu zdravotního stavu rostlin.

V práci byl sledován vliv aplikace biostimulátoru růstu Amalgerol Premium na vybraný genotyp slunečnice roční NK Brio. U rostlin byla sledována velikost kořenového systému, hmotnost sušiny nadzemní biomasy a kořene. Dále byl vypočítán poměr hmotnosti sušiny root:shoot a poslední sledovanou charakteristikou byl výnos nažek. Schéma pokusu zahrnovalo tři varianty: kontrolní varianta (KV), varianta ošetřená jednorázovou celou dávkou přípravku (V1) a varianta ošetřená dvakrát poloviční dávkou přípravku (V2).

6.1 Velikost kořenového systému

Získané výsledky dokládají, že velikost (délka) kořenového systému u sledovaného genotypu slunečnice se vlivem aplikace biostimulátoru v porovnání s kontrolní variantou zvýšila. Přičemž delší kořenový systém měly rostliny ošetřené jednorázovou dávkou biostimulátoru 4 l/ha ve fázi BBCH 18 oproti rostlinám, na které byl přípravek aplikován dvakrát v poloviční dávce 2 l/ha ve fázi BBCH 15 a 20. Pozitivní vliv na růst a velikost (délku) kořenů na základě působení biostimulátoru růstu potvrzují ve svých pracích např. Cristiano et al. (2018) nebo Ertani et al. (2018). Průměrná délka kořenového systému zjištěná u kontrolní varianty byla 13,88 cm a u variant ošetřených přípravkem to bylo 14,47 cm, což je v průměru cca o 4 % vyšší hodnota. Khan et al. (2011) uvádí, že vyšší nárůst kořenové biomasy u ošetřených rostlin oproti kontrolním rostlinám může být přičítán přítomnosti a vyšší koncentraci fytohormonů, jako jsou cytokininy a auxiny, které bývají obsaženy v různých biostimulátorech, což bylo zjištěno i v této diplomové práci. U obou variant nebylo ovšem zvětšení kořenové délky vůči neošetřeným rostlinám natolik výrazné, aby bylo statisticky průkazné.

Měřením se potvrdil závěr např. Miladinov et al. (2014), že zvětšení délky kořenového systému bylo prokázáno u genotypů slunečnice, na které byl aplikován biostimulátor růstu. Tento závěr se shoduje s výsledky této diplomové práce, kdy došlo ke zvětšení kořenové délky u testovaného genotypu slunečnice NK Brio, přičemž rostliny ošetřené celkovou dávkou přípravku měly průměrnou délku kořenového systému 14,67 cm, u rostlin ošetřených dvakrát poloviční dávkou to bylo 14,27 cm.

Ze získaných výsledků je také patrné, že větší nárůst kořenové délky oproti kontrole (o 5,39 %) byl v této práci u rostlin s vyšší jednorázovou dávkou přípravku 4 l/ha, což je v souladu s Lucini et al. (2018), kteří ve své práci zjistili, že celková délka kořenů byla významně vyšší u rostlin ošetřených vyšší dávkou biostimulátoru, na rozdíl od rostlin, na které byla aplikována pouze poloviční, popřípadě čtvrtinová dávka přípravku. Naproti tomu Cristiano et al. (2018) uvádějí ve svém pokusu s *Antirrhinum majus* L., že nejnižší použitá dávka biostimulátoru vedla k nejlepšímu účinku na celkovou délku kořenového systému, což je v rozporu s výsledky této práce. Rozdílné výsledky mohou být dány nejenom pokusnou

rostlinou, ale také použitým biostimulantem. Zároveň je ze získaných výsledků možné konstatovat, že celková vyšší dávka biostimulátoru růstu v počátcích vegetace zvýšila celkovou délku kořene oproti kontrolním rostlinám a rostlinám, které byly ošetřeny dvakrát poloviční dávkou přípravku. Přičemž u rostlin ošetřených dvakrát poloviční dávkou, byla sice první dávka 2 l/ha aplikována v dřívější růstové fázi (BBCH 15), než u rostlin ošetřených celou dávkou přípravku, kde to bylo ve fázi BBCH 18. Je ovšem patrné, že dávka 2 l/ha nebyla dostatečně vysoká na to, aby dokázala výrazně stimulovat délku kořene. Tyto výsledky potvrzují např. Barone et al. (2018), kteří zjistili, že aplikace vyšší dávky stimulatoru na rostliny v raných stádiích jejího růstu zvýší celkovou délku kořenového systému.

Studie Bryndina et al. (2019) uvádí, že vliv na délku kořene, může mít také koncentrace použitého přípravku. Přičemž ve své práci s rostlinami kukuřice dospěli k závěru, že nízká, respektive příliš vysoká koncentrace přípravku měla negativní vliv a vedla k poklesu délky kořene. Dále dodávají, že stejná koncentrace přípravku může zvýšit růst některých orgánů a jiné orgány inhibovat. Uvedený závěr byl potvrzen i v této práci, protože aplikace přípravku Amalgerol Premium v doporučené koncentraci a dávce na hektar, kterou udává výrobce přípravku pro rostliny slunečnice, zvýšila celkovou velikost kořenového systému.

6.2 Hmotnost sušiny kořenové biomasy

V mnoha pracích bylo prokázáno, že aplikace biostimulátorů růstu zvyšuje hmotnost sušiny kořenů, což potvrzuje i Ertani et al. (2009). Tito autoři konstatují, že se vlivem aplikace biostimulátoru růstu na rostlinu zvýšila hmotnost sušiny kořenové biomasy oproti kontrolním rostlinám. Toto tvrzení lze potvrdit i v této diplomové práci, protože u ošetřených rostlin přípravkem Amalgerol Premium byl zaznamenán nárůst hmotnosti sušiny kořenů. Zjištěné průměrné hodnoty hmotnosti sušiny kořenů u ošetřených rostlin v této práci však nelze statisticky prokázat.

U genotypu slunečnice NK Brio byla zjištěna vyšší průměrná hodnota hmotnosti sušiny kořenové biomasy u varianty ošetřené celou dávkou přípravku ve výši 17,63 g, což je o 28,3 % vyšší hmotnost sušiny kořenů než u kontrolní varianty. Rostliny ošetřené dvakrát poloviční dávkou měly také vyšší hodnotu sušiny kořenové biomasy. Naměřená hodnota činila 14,39 g a byla o 12,16 % vyšší než u kontroly. Z uvedených výsledků je patrné, že při aplikaci vyšší dávky přípravku byla naměřena i vyšší hmotnost sušiny kořene. Toto zvýšení hmotnosti sušiny kořenů u rostlin ošetřených vyšší dávkou stimulatoru oproti kontrolním variantám, bylo zjištěno u rostlin hlávkového salátu (Xu & Mou 2017). Zvýšení hmotnosti sušiny kořenové biomasy nastalo také v práci Colla et al. (2014), kteří uvádějí, že se hmotnost sušiny kořene u rostlin rajčete (*Solanum lycopersicum* L.) po aplikaci biostimulátoru růstu zvýšila. Nicméně ve své práci uvádějí vyšší hmotnost sušiny kořenů u rostlin ošetřených nižší dávkou oproti rostlinám, které byly ošetřeny maximální dávkou.

Khan et al. (2009) uvádí, že k výraznější stimulaci kořene dochází u rostlin, na které se biostimulační přípravky aplikují v časném stádiu růstu rostliny. Dále ve své práci s pšenicí ozimou Murawska et al. (2017) došli k závěru, že na rostliny, na které byla aplikována celková jednorázová dávka biostimulátoru na počátku růstu pšenice (BBCH 23), měly vyšší hmotnost kořenové biomasy oproti kontrolním rostlinám (cca o 64 %) a rostlinám, kde byla použita dělená dávka stimulatoru (v průměru o 11 %). Podobný závěr měla i tato diplomová práce, ve

kteří byla taktéž zjištěna vyšší hodnota hmotnosti sušiny (o 18,38 %) při aplikaci celkové jednorázové dávky biostimulátoru na rostliny ve fázi BBCH 18, na rozdíl od dělené dávky aplikované ve fázích BBCH 15 a 20. Tento závěr potvrzují částečně i Kováčik et al. (2018), kteří ve svém pokusu konstatují, že aplikace stimulatoru růstu v růstových fázích BBCH 29 a 32 - 37 zvýšila hmotnost kořenové biomasy, bez ohledu na aplikované dávky.

6.3 Hmotnost sušiny nadzemní biomasy

Gruszczyk & Berbec (2004) uvádí, že aplikace biostimulátoru růstu vede ke zvýšení sušiny nadzemních orgánů rostlin. Toto tvrzení dokládají i získané výsledky této diplomové práce, ze kterých vyplývá, že naměřené hodnoty hmotnosti sušiny nadzemní biomasy u ošetřených variant pokusu byly vždy vyšší než hodnota kontrolní varianty, avšak rozdíly nebyly tak vysoké, aby byly statisticky průkazné. Podobné závěry nárůstu sušiny nadzemních orgánů uvádějí např. u kultur kukuřice ve své práci i Milléo et al. (2000) a u rostlin žensenu severoamerického (Kołodziej 2004).

Zvýšení hmotnosti sušiny nadzemní biomasy uvádí ve své práci se slunečnicí Santos et al. (2019), kteří zjistili, že s rostoucí dávkou biostimulátoru růstu se zvyšuje i hmotnost sušiny nadzemních orgánů rostliny. Přičemž při použití nejvyšší dávky přípravku se v jejich pokusu zvýšila sušina nadzemní biomasy slunečnice o více než 50 % vůči neošetřeným rostlinám. To potvrzuje i tato diplomová práce, ve které ovšem nebylo zvýšení hmotnosti sušiny při použití maximální dávky přípravku ve srovnání s kontrolní variantou tak výrazné. Tento rozdíl mohl být způsoben tím, že byl použit jiný typ biostimulátoru růstu, nebo odlišný genotyp rostlin slunečnice.

Uvedené výsledky dokládají, že nejvyšší průměrnou hodnotu hmotnosti sušiny nadzemní biomasy měly rostliny ošetřené biostimulátorem růstu v dávce 4 l/ha (107,13 g). V porovnání s kontrolní variantou se jednalo o nárůst o cca 11 % a oproti rostlinám, které byly ošetřeny dvakrát poloviční dávkou 2 l/ha byla hodnota vyšší zhruba o 9 %. Stejně výsledky ve své práci uvádí i Colla et al. (2014), kteří zjistili, že po aplikaci 10 ml přípravku na rostlinu byla hmotnost sušiny nadzemní biomasy u rostlin o 9 % vyšší, v porovnání s poloviční dávkou přípravku. Přičemž měla v jejich výsledcích tato varianta o 20 % vyšší hmotnost sušiny vůči kontrolní variantě, což je hodnota o 9 % vyšší, než byla zjištěná hmotnost sušiny v této práci. Větší nárůst hmotnosti sušiny nadzemní biomasy u rostlin melounu (*Cucumis melo* L.) při vyšších dávkách biostimulátoru vůči neošetřeným rostlinám publikují ve své práci také Lucini et al. (2018), nicméně uvádí, že po aplikaci maximální dávky stimulatoru byla hmotnost sušiny nadzemní biomasy o něco nižší než při aplikaci poloviční dávky přípravku. Toto potvrzuje i práce Cristiano et al. (2018), kteří došli k závěru, že aplikace nižší dávky biostimulátoru měla lepší účinek na hmotnost sušiny nadzemní biomasy rostlin nežli aplikace dvojnásobné dávky, což je v rozporu z výsledky této práce.

6.4 Poměr root:shoot

Mnoho studií ukázalo, že aplikace biostimulátoru růstu na listy nebo kořeny vede ke zvýšení poměru kořenů k nadzemní biomase u různých plodin, jako je například ječmen jarní (Steveni et al. 1992), roketa setá (Vernieri et al. 2006) a jahodník (Spinelli et al. 2010). Stejně

výsledky přinesla i tato studie, ve které byly po aplikaci přípravku Amalgerol Premium zjištěny u obou ošetřených variant vyšší hodnoty poměru root:shoot oproti neošetřené kontrolní variantě.

U rostlin slunečnice roční se po aplikaci biostimulátoru růstu Amalgerol Premium v dávce 4 l/ha průkazně zvýšil průměrný poměr root:shoot o 14,29 % oproti neošetřeným rostlinám. V případě aplikace dvakrát poloviční dávky přípravku bylo zvýšení o něco nižší, přičemž se u této varianty zvýšil poměr o 7,69 % vůči kontrolní variantě. Z uvedených výsledků je patrné, že při použití vyšší dávky biostimulátoru růstu se poměr root:shoot u rostlin zvýšil o 7,15 % oproti rostlinám, na které byla aplikována poloviční dávka přípravku dvakrát 2 l/ha. K podobným výsledkům dospěli i Morais et al. (2018), kteří zjistili ve své práci, že rostliny, na které byla aplikována nejvyšší dávka biostimulátoru růstu, měly poměr root:shoot v průměru o 19,7 % vyšší, ve srovnání s ostatními variantami pokusu. Vyšší poměr root:shoot u rostlin ošetřených vyšší dávkou stimulatoru oproti poloviční dávce uvádějí ve své práci také Lucini et al. (2018). Na druhé straně Colla et al. (2014) uvádí ve své studii závěr, že aplikace dávky 5 ml přípravku na rostlinu zvýšila poměr root:shoot o 12 % vůči neošetřeným rostlinám a rostlinám ošetřeným dvojnásobnou dávkou biostimulátoru. V případě rostlin slunečnice je možné konstatovat, že rostliny mají vyšší poměr root:shoot při vyšší dávce biostimulátoru růstu.

6.5 Výnos

Ze získaných výsledků je patrné, že výnos slunečnicových nažek u sledovaného genotypu slunečnice NK Brio se vlivem aplikace biostimulátoru růstu v porovnání s neošetřenými rostlinami zvýšil. Přičemž vyšší výnos nažek byl zaznamenán u rostlin, na které byl přípravek aplikován v celkové jednorázové dávce 4 l/ha oproti rostlinám ošetřeným dvakrát poloviční dávkou stimulatoru. Zvýšení výnosu po aplikaci biostimulátoru u rostlin potvrzují ve své práci např. Kocira et al. (2015b). Průměrný výnos zjištěný u neošetřených rostlin činil 3,4 t/ha a u ošetřených rostlin to bylo 3,6 t/ha, což je v průměru o 5,56 % vyšší výnos. Toto zvýšení výnosu je v souladu s prací Popko et al. (2018), kteří v polním pokusu s ozimou pšenicí uvádějí, že po aplikaci biostimulátoru růstu se výnos zrna pšenice zvýšil v průměru o 5,4 %. Nicméně někteří autoři prokázali, že některé biostimulátory růstu v různých dávkách neovlivňují nebo negativně ovlivňují výnosy rostlin v porovnání s kontrolou, jako například u fazolu (Kumar et al. 2012) a ibišku jedlého (Zodape et al. 2008).

Uvedené výsledky potvrdili závěr např. Miklič et al. (2016), že vyšší výnos nažek byl zjištěn u rostlin slunečnice, které byly ošetřené biostimulátorem růstu. Tento závěr se shoduje s výsledky této studie, kdy se vlivem aplikace stimulatoru růstu zvýšil výnos nažek u genotypu NK Brio, přitom u rostlin ošetřených dávkou 4 l/ha byl výnos 3,63 t/ha a u rostlin, na které se přípravek aplikoval dvakrát v dávce 2 l/ha byl výnos 3,57 t/ha.

Kocira et al. (2018b) zjistili ve své studii vyšší výnos u rostlin, na které byl biostimulátor aplikován ve vyšší dávce a koncentraci oproti neošetřeným rostlinám a rostlinám ošetřeným nižší dávkou. Obdobné výsledky dokládá i tato práce, ze které je patrné, že vlivem aplikace vyšší jednorázové dávky přípravku na rostliny se výnos zvýšil o 6,34 % vůči kontrole a o 1,65 % ve srovnání s aplikací dvakrát poloviční dávky na rostliny. Vyšší výnos u pšenice ozimé při větších dávkách biostimulátoru na rostliny uvádí např. Popko et al. (2018), tito autoři konstatují vyšší výnos zrna při aplikaci přípravku v dávce 1,25 l/ha na rozdíl od dávky 1 l/ha.

Zároveň ve své studii Murawska et al. (2017) zaznamenali vyšší výnos pšenice ozimé při aplikaci celkové dávky biostimulátoru růstu v počátcích vegetace (fáze BBCH 27 a 37) oproti pozdější aplikaci ve fázi BBCH 69, což potvrzuje i tato práce, ve které byl zjištěn vyšší výnos u rostlin ošetřených vyšší celkovou dávkou přípravku na počátku vegetace slunečnice.

7 Závěr

U rostlin slunečnice roční odrůdy NK Brio, byl sledován vliv aplikace biostimulátoru růstu Amalgerol Premium ve třech variantách pokusu (kontrolní - KV, aplikace dávky 4 l/ha ve fázi BBCH 18 - V1 a aplikace dávky dvakrát 2 l/ha ve fázi BBCH 15 a 20 - V2) na velikost kořenového systému, hmotnost sušiny nadzemní biomasy a kořene, poměr root:shoot a výnos. Z uvedených výsledků vyplývají tyto závěry:

1. Rostliny slunečnice roční genotypu NK Brio reagovaly na aplikaci biostimulátoru růstu zvětšením velikosti kořene, zvýšením hmotnosti sušiny, poměru root:shoot a vyšším výnosem oproti neošetřeným rostlinám.
2. Velikost kořenového systému byla u obou ošetřených variant vyšší v průměru o 4,08 % oproti kontrolním rostlinám, přičemž delší kořenový systém měly rostliny ošetřené jednorázovou dávkou přípravku 4 l/ha.
3. Rostliny ošetřené celkovou dávkou stimulantu měly průměrnou hmotnost sušiny kořenů vyšší o 28,3 % vůči kontrolním rostlinám a o 18,38 % oproti rostlinám, na které byla použita dvakrát poloviční dávka přípravku.
4. Průměrná hmotnost sušiny nadzemní biomasy u ošetřených rostlin byla vyšší o 11,11 % u varianty ošetřené dávkou 4 l/ha a o 2,18 % u varianty, na kterou byla použita dvakrát poloviční dávka 2 l/ha biostimulátoru oproti kontrole.
5. Rostliny, na které byl aplikován přípravek Amalgerol Premium vykazovaly vyšší poměr root:shoot. U varianty, která byla ošetřena celkovou jednorázovou dávkou stimulantu, byl zjištěn vyšší poměr root:shoot o 14,29 % v porovnání s kontrolou. Varianta ošetřená dělenou dávkou přípravku měla ve srovnání s kontrolní variantou vyšší poměr root:shoot o 7,14 %.
6. Nejvyšší výnos nažek o 6,34 % oproti kontrole byl zaznamenán u rostlin ošetřených jednorázovou dávkou biostimulátoru 4 l/ha ve fázi BBCH 18. Rostliny, na které byl přípravek aplikován v dělené dávce ve fázi BBCH 15 a 20 měly vyšší výnos o 4,76 % vůči kontrolním rostlinám, ale v porovnání s variantou, která byla ošetřena celkovou dávkou, byl výnos nažek o 1,65 % nižší.

Byla potvrzena hypotéza, že aplikace biostimulátoru Amalgerol Premium pozitivně ovlivňuje velikost kořenového systému, hmotnost sušiny, poměr root:shoot a výnos nažek slunečnice roční.

Dále byla prokázána hypotéza, že existuje rozdíl v termínu aplikace biostimulátoru na sledované charakteristiky, kdy časnější termín aplikace přípravku v dávce 4 l/ha na rostliny vykazoval vyšší hodnoty všech sledovaných znaků v porovnání s rostlinami, na které byl přípravek aplikován v dělené dávce 2 l/ha.

Ze získaných výsledků je možné potvrdit i hypotézu, že existují rozdíly v množství aplikované látky na rostliny. Přičemž rostliny ošetřené vyšší celkovou dávkou stimulantu měly ve srovnání s rostlinami ošetřenými dvakrát poloviční dávkou přípravku delší kořenový systém, vyšší hmotnost sušiny, poměr root:shoot a vyšší výnos nažek.

Tato studie a řada dalších studií, které byly výše diskutovány, se zabývaly biostimulátory růstu, jejich aplikací na odlišné druhy rostlin v různých fázích jejich vývoje a různorodých dávkách. Z uvedených výzkumů je zřejmé, že biostimulátory růstu mohou zvýšit a zlepšit mnoho pozitivních vlastností pro rostliny. Proto je doporučení používání těchto přípravků pro praxi kladné, ale pro optimalizaci jejich použití je nutné pochopit jejich účinek na základě jejich chemického složení. V úvahu je nutné vzít také správný termín aplikace a vliv klimatických podmínek daného roku, který nelze předem odhadnout, a proto může být problematická jak volba přípravku, tak i jeho dávka a načasování. Dále je nutné zohlednit skutečnost, že biostimulační účinky jsou zjevně druhově specifické a určité pro daný produkt, to znamená, že co je známo o účincích jednoho biostimulátoru či rostlinném druhu, nelze automaticky převádět na jiný biostimulátor růstu nebo rozdílný rostlinný druh. Výsledky získané v této studii naznačují, že je nutné pokračovat a rozšiřovat výzkum s cílem zjišťovat reakce odlišných plodin na ošetření biostimulátory růstu podle různých účinných látek, což umožní obohatit vědomosti o mechanismech účinku daných přípravků.

8 Literatura

- Ahmad P, Prasad MNV. 2012. Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability. Springer, New York.
- Ali SZ, Sandhya V, Grover M, Linga VR, Bandi V. 2011. Effect of inoculation with a thermotolerant plant growth promoting *Pseudomonas pitida* strain AKMP7 on growth of wheat (*Triticum* ssp.) under heat stress. *Journal of Plant Interactions* **6**:239-246.
- Allen VG, et al. 2001. Tasco: Influence of brown seaweed on antioxidants in forages and livestock - A review. *Journal of Animal Science* **79**:E21-E31.
- Amalgerol. 2020. Amalgerol CZ: Amalgerol Premium - Půdní aktivátor a stimulátor růstu rostlin. Amalgerol, České Budějovice. Available from <https://amalgerol.cz/polni-plodiny/> (accessed February 2020).
- Appels L, Baeyens J, Degréve J, Dewil R. 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science* **34**:755-781.
- Aranaz I, Mengíbar M, Acosta N, Heras A. 2015. Chitosan: A natural polymer with potential industrial applications. *Science Vision* **21**:41-50.
- Arioli T, Mattner SW, Winberg PC. 2015. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future. *Journal of Applied Phycology* **27**:2007-2015.
- Ashraf M, Harris PJC. 2005. Abiotic stresses: Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches. Food Products Press, New York.
- Ashraf M, Foolad MR. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* **59**:206-216.
- Aslani F, Bagheri S, Julkapli NM, Juraimi AS, Hashemi FSG, Baghdali A. 2014. Effects of Engineered Nanomaterials on Plants Growth: An Overview. *The Scientific World Journal* **2014**:1-28.
- Aydin A, Kant C, Turan M. 2012. Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. *African Journal of Agricultural Research* **7**:1073-1086.
- Baranyk P, et al. 2010. Olejniny. Profi Press s.r.o., Praha.
- Barone V, et al. 2018. Root morphological and molecular responses induced by microalgae extracts in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Applied Phycology* **30**:1061-1071.
- Basak A. 2008. Biostimulators - definitions, classification and legislation. Pages 7-17 in Gawronska H, editor. Monographs Series: Biostimulators in Modern Agriculture: General Aspects. Wieś Jutra. Warsaw.
- Bashir M, Qadri R, Khan I, Zain M, Rasool A, Ashraf U. 2016. Humic acid application improves the growth, floret and bulb indices of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.). *Pakistan Journal of Science* **68**:121-127.

- Battacharyya D, Babgohari MZ, Rathor P, Prithiviraj B. 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* **196**:39-48.
- Behie SW, Bidochka MJ. 2014. Nutrient transfer in plant-fungal symbioses. *Trends in Plant Science* **19**:734-740.
- Bláha L, Kálalová S, Šimon T, Bouniols A, Mondies M, Piva G. 2004. Evaluation of soybean root system - influence of different seed provenance. *Scientia Agriculturae Bohemica* **35**:21-25.
- Bonifas KD, Lindquist JL. 2006. Predicting Biomass Partitioning to Root versus Shoot in Corn and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science* **54**:133-137.
- Bryndina L, Ilyina N, Baklanova O, Moiseyeva E. 2019. Comparative evaluation of biostimulator efficiency on corn seeds germination: keratin protein and preparation Ribav Extra. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **392**:1755.
- Bulgari R, Cocetta G, Trivellini A, Vernieri P, Ferrante A. 2015. Biostimulants and crop responses: A review. *Biological Agriculture and Horticulture* **31**:1-17.
- Burke JM, Tang S, Knapp SJ, Rieseberg LH. 2002. Genetic Analysis of Sunflower Domestication. *Genetics* **161**:1257-1267.
- Burke JM, Knapp SJ, Rieseberg LH. 2005. Genetic consequences of selection during the evolution of cultivated sunflower. *Genetics* **171**:1933-1940.
- Calvo P, Nelson L, Kloepper JW. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil* **383**:3-41.
- Cambui CA, Svennerstam H, Gruffman L, Nordik A, Ganeteg U, Nasholm T. 2011. Patterns of Plant Biomass Partitioning Depend on Nitrogen Source. *Plos One* **6**:1-7.
- Canellas LP, Teixeira Junior LRL, Dobbss LB, Silva CA, Medici LO, Zandonadi DB, Facanha AR. 2008. Humic acids crossinteractions with root and organic acids. *Annals of Applied Biology* **153**:157-166.
- Canellas LP, Olivares FL, Aguiar NO, Jones DL, Nebbioso A, Mazzei P, Piccolo A. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* **196**:15-27.
- Castro C, Farias JRB. 2005. Ecofisiologia do girassol. Pages 163-218 in Leite RMVBC, Brightenti AM, Castro C, editors. *Girassol no Brasil*. Embrapa Soja, Londrina.
- Cerkal R. 2011. Stresy a produkční výkonnost polních plodin. Available from https://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/habilitacni_prednasky/habilitacni_prednaska_cerkal.pdf (accessed December 2019).
- Cerkal R, Kamler J, Škarpa P, Pokorný R, Mareček V, Fajman M, Muška F. 2011. Methods of cultivation and important factors affecting the yield and quality of sunflower. Pages 47-98 in Hughes VC, editor. *Sunflowers: Cultivation, Nutrition and Biodiesel Users*. Nova Science Publishers. New York.

- Cluzet S, Torregrosa C, Jacquet C, Lafitte C, Fournier J, Mercier L, Salamagne S, Briand X, Esquerré-Tugayé MT, Dumas B. 2004. Gene expression profiling and protection of *Medicago truncatula* against a fungal infection in response to an elicitor from green algae *Ulva* spp. *Plant, Cell & Environment* **27**:917-928.
- Cohen AC, Bottini R, Piccoli PN. 2008. *Azospirillum brasilense* Sp 245 produces ABA in chemically-defined culture medium and increases ABA content in arabidopsis plants. *Plant Growth Regulation* **54**:97-103.
- Colla G, Roupael Y, Canaguier R, Svecova E, Cardarelli M. 2014. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Frontiers in Plant Science* **5**:1-6.
- Colla G, Roupael Y, Di Mattia E, El-Nakhel C, Cardarelli M. 2015. Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **95**:1706-1715.
- Craigie JS. 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology* **23**:371-393.
- Creus CM, Sueldo RJ, Barassi C. 2004. Water relations and yield in *Azospirillum*-inoculated wheat exposed to drought in the field. *Canadian Journal of Botany* **82**:273-281.
- Cristiano G, Pallozzi E, Conversa G, Tufarelli V, De Lucia B. 2018. Effects of an Animal-Derived Biostimulant on the Growth and Physiological Parameters of Potted Snapdragon (*Antirrhinum majus* L.). *Frontiers in Plant Science* **9**:861.
- ČSÚ. 2019. Český statistický úřad: Produkce a osevní plocha slunečnice. ČSÚ, Praha. Available from <https://www.czso.cz/csu/> (accessed December 2019).
- Debaeke P, Casadebaig P, Flenet F, Langlade N. 2017. Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaption, and mitigation potential from case-studies in Europe. *Oilseeds & fats Crops and Lipids* **24**:15.
- De Giorgio D, Ferri D, Lopez G. 1990. Realizone tra dinamica dellazoto nel sistema pianta-suolo e caratteristiche quanti-qualitative del girasole (*Helianthus annuus* L.). *Rivista di Agronomia* **24**:257-265.
- Dias MP, Bastos MS, Xavier VB, Cassel E, Astarita LV, Santarém ER. 2017. Plant growth and resistance promoted by *Streptomyces* spp. in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry* **118**:479-493.
- Drobek M, Frac M, Cybulska J. 2019. Plant Biostimulants: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress - A Review. *Agronomy* **9**:335.
- du Jardin P. 2015. Plant Biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* **196**:3-14.

- Dusanic N, Miklic V, Balalic I, Radic V, Crnobarac J. 2008. Dynamics of dry matter accumulation in sunflower. Pages 375-379 in Velasco L, editor. Proceedings of the 17th International Sunflower Conference. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, Córdoba.
- eAGRI. 2020a. Portál farmáře: Registr půdy - LPIS. eAGRI, Praha. Available from <https://eagri.cz/ssl/app/lpisext/lpis/ng/mapa/> (accessed February 2020).
- eAGRI. 2020b. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: Databáze odrůd. eAGRI, Praha. Available from <https://eagri.cz/public/app/sok/odrudyNouVF.do> (accessed February 2020).
- Egamberdieva D. 2009. Alleviation of salt stress by plant growth regulators and IAA producing bacteria in wheat. *Acta Physiologiae Plantarum* **31**:861-864.
- Ericsson T. 1995. Growth and Shoot:Root Ratio of Seedlings in Relation to Nutrient Availability. *Plant and Soil* **168-169**:205-214.
- Ertani A, Cavani L, Pizzeghello D, Brandellero E, Altissimo A, Ciavatta C, Nardi S. 2009. Biostimulant activity of two protein hydrolyzates in the growth and nitrogen metabolism of maize seedlings. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **172**:237-244.
- Ertani A, Francioso O, Tinti A, Schiavon M, Pizzeghello D, Nardi S. 2018. Evaluation of Seaweed Extracts From *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* ssp. as Biostimulants in *Zea mays* L. Using a Combination of Chemical, Biochemical and Morphological Approaches. *Frontiers in Plant Science* **9**:428.
- FAO. 2019. FAOSTAT: Production - Crops. FAO, Rome. Available from <https://faostat.fao.org/> (accessed December 2019).
- Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D, Barsa SMA. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* **29**:185-212.
- Farrell M, Prendergast-Miller M, Jones DL, Hill PW, Condrón LM. 2014. Soil microbial organic nitrogen uptake is regulated by carbon availability. *Soil Biology and Biochemistry* **77**:261-267.
- Fike JH, Allen VG, Schmidt RE, Zhang X, Fontenot JP, Bagley CP, Ivy RL, Evans RR, Coelho RW, Wester DB. 2001. Tasco-Forage: I. Influence of a seaweed extract on antioxidant activity in tall fescue and in ruminants. *Journal of Animal Science* **79**:1011-1021.
- Gaiero JR, McCall CA, Thompson KA, Day NJ, Best AS, Dunfield KE. 2013. Inside the root microbiome: bacterial root endophytes and plant growth promotion. *American journal of Botany* **100**:1738-1750.
- García AC, Berbara RLL, Farías LP, Izquierdo FG, Hernández OL, Campos RH, Castro RN. 2012. Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress. *African Journal of Biotechnology* **11**:3125-3134.
- García-Mina JM, Antolín MC, Sanchez-Diaz M. 2004. Metal-humic complexes and plant micronutrient uptake: a study based on different plant species cultivated in diverse soil types. *Plant and Soil* **258**:57-68.

- Gaspar T, Franck T, Bisbis B, Kevers C, Jouve L, Hausman JF, Dommes J. 2002. Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation* **37**:263-285.
- Ghaffari M, Toorchi M, Valizadeh M, Shakiba MR. 2012. Morpho-physiological screening of sunflower inbred lines under drought stress condition. *Turkish Journal of Field Crops* **17**:185-190.
- Gholamhoseini M, Ghalavand A, Dolatabadian A, Jamshidi E, Khodaei-Joghan A. 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management* **117**:106-114.
- Gopalakrishnan S, Sathya A, Vijayabharathi R, Varshney RK, Gowda CLL, Krishnamurthy. 2015. Plant growth promoting rhizobia: challenges and opportunities. *3 Biotech* **5**:355-377.
- Goñi O, Quille P, O'Connell S. 2018. *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant physiology and biochemistry* **126**:63-73.
- Gregory PJ. 2006. *Plant roots. Growth, activity and interaction with soils.* Blackwell Publishing, Oxford.
- Gruszczuk M, Berbec S. 2004. The effect of foliar application of some preparations on yield and quality of feverfew (*Chrysanthemum parthenium* L.) row material. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Sectio E. Agricultura* **59**:755-759.
- Hadwiger LA. 2013. Multiple effects of chitosan on plant systems: Solid science or hype. *Plant Science* **208**:42-49.
- Han HS, Lee KD. 2005. Phosphate and Potassium Solubilizing Bacteria Effect on Mineral Uptake, Soil Availability and Growth of Eggplant. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* **1**:176-180.
- Hankins SD, Hockey HP. 1990. The effect of a liquid seaweed extract from *Ascophyllum nodosum* (Fucales, Phaeophyta) on the two-spotted red spider mite *Tetranychus urticae*. *Hydrobiologia* **204**:555-559.
- Hayat R, Ali S, Amara U, Khalid R, Ahmed I. 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annals of Microbiology* **60**:579-598.
- Hess D. 2008. *Pflanzenphysiologie: Grundlagen der Physiologie und Biotechnologie der Pflanzen.* Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Hnilička F, Hejnák V, Hniličková H, Bláha I, Novák V. 2000. Tvorba sušiny a akumulace energie u malých rostlin pšenice. Ekonomicko-správní fakulta České zemědělské univerzity v Praze, Praha. Available from <https://www.agris.cz/clanek/107513> (accessed December 2019).
- Hnilička F, Hniličková H. 2016. Obecná koncepce stresu. In: *Rostliny v podmínkách stresu - Abiotické stresory.* PowerPrint, s.r.o., Praha.

- Hodge A, Paterson E, Thornton B, Millard P, Killham K. 1997. Effects of photon flux density on carbon partitioning and rhizosphere carbon flow of *Lolium perenne*. *Journal of Experimental Botany* **48**:1797-1805.
- Chiaiese P, Corrado G, Colla G, Kyriacou MC, Roupael Y. 2018. Renewable Sources of Plant Biostimulation: Microalgae as a Sustainable Means to Improve Crop Performance. *Frontiers in Plant Science* **9**:1-6.
- Chiatante D, Iorio AD, Scippa G. 2005. Root responses of *Quercus ilex* L. seedlings to drought and fire. *Plant Biosystems* **139**:198-208.
- Jannin L, et al. 2013. *Brassica napus* Growth is Promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. Seaweed Extract: Microarray Analysis and Physiological Characterization of N, C, and S Metabolisms. *Journal of Plant Growth Regulation* **32**:31-52.
- Jindo K, Martim SA, Navarro EC, Pérez-Alfocea F, Hernandez T, Garcia C, Aguiar NO, Canellas LP. 2012. Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. *Plant and Soil* **353**:209-220.
- Jocić S, Miladinović D, Kaya Y. 2015. Breeding and Genetics of Sunflower. Pages 1-26 in Martínez-Force E, Dunford NT, Salas JJ, editors. *Sunflower: Chemistry, Production, Processing, and Utilization*. American Oil Chemists' Society Press. Urbana, Illinois.
- Juárez-Maldonado A, Ortega-Ortiz H, Morales-Díaz AB, Gonzáles-Morales S, Morelos-Moreno Á, Cabrera-De la Fuente M, Sandoval-Rangel A, Cadenas-Pliego G, Benavides-Mendoza A. 2019. Nanoparticles and Nanomaterials as Plant Biostimulants. *International Journal Molecular Sciences* **20**:162.
- Judd WS, Olmstead R. 2004. A survey tricolpate (Eudicot) phylogenetic relationship. *American Journal of Botany* **91**:1627-1644.
- Katiyar D, Hemantaranjan A, Sing B. 2015. Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. *Indian Journal of Plant Physiology* **20**:1-9.
- Khan MB, Hussain N, Iqbal M. 2001. Effect of water stress on growth and yield components of maize variety YHS 202. *IETE Journal of Research* **12**:15-18.
- Khan W, Menon U, Subramanian S, Jithesh MN, Rayorath P, Hodges DM, Critchley AT, Craigie J, Norrie J, Prithiviraj B. 2009. Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. *Journal of Plant Growth Regulation* **28**:386-399.
- Khan W, Hiltz D, Critchley AT, Prithiviraj B. 2011. Bioassay to detect *Ascophyllum nodosum* extract-induced cytokinin-like activity in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Applied Phycology* **23**:409-414.
- Kirschner J, Šída O. 2004. *Helianthus* L. - slunečnice. Pages 322-331 in Slavík B, Štěpánková J, editors. *Květena České republiky 7*. Academia, Praha.
- Kobe RK, Iyer M, Walters MB. 2010. Optimal partitioning theory revisited: Nonstructural carbohydrates dominate root mass responses to nitrogen. *Ecology* **91**:166-179.

- Kocira S, Sujak A, Kocira A, Wójtowicz A, Oniszczyk A. 2015a. Effect of Fylloton Application on Photosynthetic Activity of Moldavian Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Agriculture and Agricultural Science Procedia **7**:108-112.
- Kocira A, Kocira S, Stryjecka M. 2015b. Effect of Asahi SL Application on Common Bean Yield. Agriculture and Agricultural Science Procedia **7**:103-107.
- Kocira A, Świeca M, Kocira S, Zlotek U, Jakubczyk A. 2018a. Enhancement of yield, nutritional and nutraceutical properties of two common bean cultivars following the application of seaweed extract (*Ecklonia maxima*). Saudi Journal of Biological Sciences **25**:563-571.
- Kocira S, Szparaga A, Kocira A, Czerwińska E, Wójtowicz A, Bronowicka-Mielniczuk U, Koszel M, Findura P. 2018b. Modeling Biometric Traits, Yield and Nutritional and Antioxidant Properties of Seeds of Three Soybean Cultivars Through the Application of Biostimulant Containing Seaweed and Amino Acids. Frontiers in Plant Science **9**:388.
- Kołodziej B. 2004. Wpływ Atoniku oraz nawożenia dolistnego na plonowanie i jakość surowca żeń-szenia amerykańskiego (*Panax quinquefolium* L.). Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Sectio E. Agricultura **59**:157-162.
- Konvalina P, Moudrý J, Moudrý J, Kalinová J. 2007. Pěstování rostlin v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. České Budějovice.
- Kosová K, Vítámvás P, Prášil IT, Renaut J. 2011. Plant proteome changes under abiotic stress - contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. Journal of Proteomics **74**:1301-1322.
- Kováčik A. 2000. Slunečnice. Agrospoj, Praha.
- Kováčik P, Wiśniowska-Kielian B, Smoleń S. 2018. Effect of application of Mg-Tyтанit stimulator on winter wheat yielding and quantitative parameters of wheat straw and grain. Journal of Elementology **23**:697-708.
- Kulovaná E. 2001. Pěstování slunečnice v České republice. Profi Press, Praha. Available from <https://www.uroda.cz/pestovani-slunecnice-v-ceske-republice/> (accessed December 2019).
- Kumar NA, Vanlalzarzova B, Sridhar S, Baluswami M. 2012. Effect of liquid seaweed fertilizer of *Sargassum wightii* Grev. On the growth and biochemical content of green gram (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). Recent Research in Science and Technology **4**:40-45.
- Kůdela V, Ackermann P, Prášil IT, Rod J, Veverka K. 2013. Abiotikózy rostlin: poruchy, poškozni a poranění. Academia, Praha.
- Larcher W. 2003. Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. Springer, Berlin.
- Lentz DL, Pohl MED, Pope KO, Wyatt AR. 2001. Prehistoric sunflower (*Helianthus Annuus* L.) domestication in Mexico. Economic Botany **55**:370-376.

- Li H, Li Y, Zou S, Li Ch. 2014. Extracting humic acids from digested sludge by alkaline treatment and ultrafiltration. *Journal of Material Cycles and Waste Management* **16**:93-100.
- Lisiecka J, Knaflewski M, Spizewski T, Fraszczak B, Kaluzewicz A, Krzesiński W. 2011. The effect of animal protein hydrolysate on quantity and quality of strawberry daughter plants cv. 'Elsanta'. *Acta Scientiarum Polonorum Horticulture* **10**:31-40.
- Lucini L, Roupael Y, Cardarelli M, Bonini P, Baffi C, Colla G. 2018. A Vegetal Biopolymer-Based Biostimulant Promoted Root Growth in Melon While Triggering Brassinosteroids and Stress-Related Compounds. *Frontiers in Plant Science* **9**:472.
- Malerba M, Cerana R. 2018. Recent Advances of Chitosan Applications in Plants. *Polymers* **10**:118.
- Málek B, Andr J, Jursík M, Škarpa P, Říha K, Kazda J, Richter R. 2014. Slunečnice - technologie pěstování. Kurent, s.r.o., České Budějovice.
- Mancuso S, Azzarello E, Mugnai S, Briad X. 2006. Marine bioactive substances (IPA extract) improve foliar ion uptake and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants. *Advances in Horticultural Science* **20**:156-161.
- Marino G, Francioso O, Carletti P, Nardi S, Gessa C. 2008. Mineral content and root respiration of in vitro grown kiwifruit plantlets treated with two humic fractions. *Journal of Plant Nutrition* **31**:1074-1090.
- Masarovičová E, Repčák M, Blehová A, Erdelský K, Gašparíková O, Ješko T, Mistrík I. 2015. *Fyziológia rastlín*. Univerzita Komenského, Bratislava.
- Matsubayashi Y, Sakagami Y. 2006. Peptide hormones in plants. *Annual Review of Plant Biology* **57**:649-674.
- Merrien A, Milan MJ. 1992. *Physiologie du tournesol*. Centre technique interprofessionnel des oléagineux métropolitains. Paris.
- Mihulka S, Storch D. 2000. *Úvod do současné ekologie*. Portál. Praha.
- Miklič V, Ovuka J, Balalić I, Hladni N, Cvejić S, Miladinov Z, Jocić S. 2016. Effect of biostimulators on seed quality, yield and oil content in sunflower. 19th International Sunflower Conference, Edirne.
- Miladinov Z, Radić V, Balalić I, Crnobarac J, Jocković M, Jokić G, Miklič V. 2014. Uticaj biostimulatora na dužinu korena i nadzemnog dela ponika roditeljskih linija suncokreta. *Journal on Processing and Energy in Agriculture* **18**:225-228.
- Milléo MVR, Venâncio WS, Monferdini MA. 2000. Avaliação da eficiência agrônômica do produto Stimulate[®] aplicado no tratamento de sementes e no sulco de plantio sorbe a cultura do milho (*Zea mays* L.). *Arquivos do Instituto Biológico* **67**:1-145.
- Miransari M. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen uptake. *Archives of Microbiology* **193**:77-81.

- Mittler R. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science* **11**:15-19.
- MJM. 2019. MJM agro: Prefarm - Prefarm MapServer. MJM, Litovel. Available from <https://prefarm.bnhelp.cz> (accessed February 2020).
- Moller AP, Laursen K. 2015. Reversible effects of fertilizer use on population trends of waterbirds in Europe. *Biological Conservation* **184**:389-395.
- Morais EG, Silva CA, Rosa SD. 2018. Nutrient acquisition and eucalyptus growth affected by humic acid sources and concentrations. *Semina Ciências Agrárias* **39**:1417-1436.
- Muehlenbein MP. 2010. *Human Evolutionary Biology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Murawska B, Gabrowska M, Spychaj-Fabisiak E, Wszelaczynska E, Chmielewski J. 2017. Production and environmental aspects of the application of biostimulators Asahi SL, Kelpak SL and stimulator Tytanit with limited doses of nitrogen. *Environmental Protection and Natural Resources* **28**:10-15.
- Nadeem SM, Zahir ZA, Naveed M, Ashraf M. 2010. Microbial ACC-Deaminase: Prospects and Applications for Inducing Salt Tolerance in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* **29**:360-393.
- Nair R, Varghese SH, Nair BG, Maekawa T, Yoshida Y, Kumar S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science* **179**:154-163.
- Nardi S, Colla G, Cardarelli M, Ertani A, Lucini L, Canaguier R, Rouphael Y. 2015. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* **196**:28-38.
- Niewiadomska A, Sulewska H, Wolna-Maruwka A, Ratajczak K, Waraczewska Z, Budka A. 2020. The Influence of Bio-Stimulants and Foliar Fertilizers on Yield, Plant Features, and the Level of Soil Biochemical Activity in White Lupine (*Lupinus albus* L.) Cultivation. *Agronomy* **10**:150.
- Nilsen ET, Orcutt DM. 1996. *The Physiology of Plants Under Stress. Abiotic Factors*. John Wiley & Sons. Hoboken.
- Pačuta V, Rašovský M, Černý I, Michalska-Klimczak B, Wyszynski Z, Lesniewska J, Buday M. 2018. Influence of Weather Conditions, Variety and Sea Algae-Based Biopreparations on Root Yield, Sugar Content and Polarized Sugar Yield of Sugar Beet. *Listy Cukrovarnické a Řepářské* **11**:368-371.
- Pagés L, Vercambre G, Drouet J-L, Lecompte F, Collet C, Le Bot J. 2004. Root Typ: a generic model to depict and analyse the root system architecture. *Plant and Soil* **258**:103-119.
- Pacholczak A, Szydo W, Jacygrad E, Federowicz M. 2012. Effect of auxins and the biostimulátor Algaminoplant on rhizogenesis in stem cuttings of two dogwood cultivars (*Cornus alba* 'Aurea' and 'Elegantissima'). *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus = Ogródnictwo* **11**:93-103.

- Pichyangkura R, Chadchawan S. 2015. Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Scientia Horticulturae* **196**:49-65.
- Pilon-Smits EAH, Quinn CF, Tapken W, Malagoli M, Schiavon M. 2009. Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology* **12**:267-274.
- Piterková J, Tománková K, Luhová L, Petřivalský M, Peč P. 2005. Oxidativní stres: Lokalizace aktivních forem kyslíku a jejich degradace v rostlinném organismu. *Chemické listy* **99**:455-466.
- Popko M, Michalak I, Wilk R, Gramza M, Chojnacka K, Górecki H. 2018. Effect of the New Plant Growth Biostimulants Based on Amino Acids on Yield and Grain Quality of Winter Wheat. *Molecules* **23**:470.
- Posmyk MM, Szafrńska K. 2016. Biostimulators: A New Trend towards Solving an Old Problem. *Frontiers in Plant Science* **7**:1-6.
- Potměšilová J. 2010. Pěstování slunečnice a jeho ekonomika. Profi Press, Praha. Available from <https://www.zemedelec.cz/pestovani-slunecnice-a-jeho-ekonomika/> (accessed December 2019).
- Potters G, Pasternak TP, Guisez Y, Palme KJ, Jansen MA. 2007. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble?. *Trends in Plant Science* **12**:98-105.
- Pushpa K, Murthy KN, Murthy KR. 2013. Dry matter accumulation studies at different stages of crop growth in mesta (*Hibiscus cannabinus*). *African Journal of Agricultural Research* **8**:332-338.
- Putnam DH, Oplinger ES, Hicks DR, Durgan BR, Noetzel DM, Meronuck RA, Doll JD, Schulte EE. 1990. Sunflower. In: *Alternative Field Crops Manual*. University of Wisconsin-Extension, Saint Paul, University of Minnesota, Madison.
- Putt ED. 1997. Early History of Sunflower. Pages 1-21 in Schneiter AA, editor. *Sunflower production and technology*. Agronomy Monograph. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison.
- Qi M, Liu Y, Li T. 2013. Nano-TiO₂ Improve the photosynthesis of tomato leaves under mild heat stress. *Biological Trace Element Research* **156**:323-328.
- Radanielson AM, Lecoeur J, Christophe A, Guillion L. 2012. Use of water extraction variability to screen for sunflower genotypes well adapted to soil water limitation. *Functional Plant Biology* **39**:999-1008.
- Radanović A, Miladinović D, Cvejić S, Jocković M, Jocić S. 2018. Sunflower Genetics from Ancestors to Modern Hybrids- A Review. *Genes* **9**:528.
- Ricci M, Tilbury L, Daridon B, Sukalac K. 2019. General Principles to Justify Plant Biostimulant Claims. *Frontiers in Plant Science* **10**:494.
- Romero AM, Vega D, Correa OS. 2014. *Azospirillum brasilense* mitigates water stress imposed by a vascular disease by increasing xylem vessel area and stem hydraulic conductivity in tomato. *Applied Soil Ecology* **82**:38-43.

- Rose MT, Patti AF, Little KR, Brown AL, Jackson WR, Cavagnaro TR. 2014. A Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Response to Humic Substances: Practical Implications for Agriculture. *Advances in Agronomy* **124**:37-89.
- Rouphael Y, Franken P, Schneider C, Schwarz D, Giovannetti M, Agnolucci M, De Pascale S, Bonini P, Colla G. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* **196**:91-108.
- Rouphael Y, Colla G. 2018. Synergistic Biostimulatory Action: Designing the Next Generation of Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Frontiers in Plant Science* **9**:1-24.
- Ruzzi M, Aroca R. 2015. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* **196**:124-134.
- Salunkhe DK, Adsule RN, Chavan JK, Kadam SS. 1992. *World Oilseeds: Chemistry, Technology, and Utilization*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Sandhya V, Ali SKZ, Grover M, Reddy G, Venkateswarlu B. 2009. Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by the exopolysaccharides producing *Pseudomonas putida* strain GAP-P₄₅. *Biology and Fertility of Soils* **46**:17-26.
- Santos PLF, Zabotto AR, Jordão HWC, Boas RLV, Broetto F, Tavares AR. 2019. Use of seaweed-based biostimulant (*Ascophyllum nodosum*) on ornamental sunflower seed germination and seedling growth. *Ornamental Horticulture* **25**:231-237.
- Satyaprakash M, Nikitha T, Reddi EUB, Sadhana B, Vani SS. 2017. Phosphorous and Phosphate Solubilising Bacteria and their Role in Plant Nutrition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* **6**:2133-2144.
- Scaglia B, Pognani M, Adani F. 2017. The anaerobic digestion process capability to produce biostimulant: the case study of the dissolved organic matter (DOM) vs. auxin-like property. *The Science of the total environment* **589**:36-45.
- Shipley B, Meziane D. 2002. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation. *Functional Ecology* **16**:326-331.
- Shulaev V, Cortes D, Miller G, Mittler R. 2008. Metabolomics for plant stress response. *Physiologia Plantarum* **132**:199-208.
- Schulte M, Von Ballmoos P, Rennenberg H, Herschbach C. 2002. Life-long growth of *Quercus ilex* L. at natural CO₂ springs acclimates sulphur, nitrogen and carbohydrate metabolism of the progeny to elevated pCO₂. *Plant, Cell & Environment* **25**:1715-1727.
- Schulze ED, Beck E, Muller-Hohenstein K. 2005. *Plant Ecology*. Springer, Berlin and Heidelberg.
- Singh LP, Gill SS, Tuteja N. 2011. Unraveling the role of fungal symbionts in plant abiotic stress tolerance. *Plant Signaling & Behavior* **6**:175-191.
- Slavík B, Štěpánková J. 2004. *Květena České republiky 7*. Academia, Praha.

- Soppelsa S, Kelderer M, Casera C, Bassi M, Robatscher P, Matteazzi A, Andreotti C. 2019. Foliar Applications of Biostimulants Promote Growth, Yield and Fruit Quality of Strawberry Plants Grown under Nutrient Limitation. *Agronomy* **9**:483.
- Spinelli F, Fiori G, Noferini M, Sprocatti M, Costa G. 2010. A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. *Scientia Horticulturae* **125**:263-269.
- Steveni CM, Norrington-Davies J, Hankins SD. 1992. Effect of seaweed concentrate on hydroponically grown spring barley. *Journal of Applied Phycology* **4**:173-180.
- Sytar O, Kumar A, Latowski D, Kuczynska P, Strzalka K, Prasad MNV. 2013. Heavy metal-induced oxidative damage, defense reactions, and detoxification mechanisms in plants. *Acta Physiologiae Plantarum* **35**:985-999.
- Šerá B. 2013. Jak funguje poměr root:shoot. Pages 66-74 in Bláha L, Šerá B, editors. *Význam celistvosti rostliny ve výzkumu, šlechtění a produkci*. PowerPrint. Praha.
- Šuk J, Hoová T. 2017. Zdraví pro pole - Agro-sorb Folium. *Kukuřičné listy* **19**:1-4.
- Takhtajan A. 2009. *Flowering Plants*. Springer, New York.
- Tarantino A, Lops F, Disciglio G, Lopriore G. 2018. Effects of plant biostimulants on fruit set, growth, yield and fruit quality attributes of 'Orange rubis®' apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivar in two consecutive years. *Scientia Horticulturae* **239**:26-34.
- Tavarini S, Passera B, Martini A, Avio L, Sbrana C, Giovannetti M, Angelini LG. 2018. Plant growth, steviol glycosides and nutrient uptake as affected by arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorous fertilization in *Stevia rebaudiana* Bert. *Industrial Crops and Products* **111**:899-907.
- Tejada M, Rodríguez-Morgano B, Gómez I, Franco-Andreu L, Benítez C, Parrado J. 2016. Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. *European Journal of Agronomy* **78**: 13-19.
- Thomaz GL, Zagonel J, Colasante LO, Nogueira RR. 2012. Yield of sunflower and oil seed content as a function of air temperature, rainfall and solar radiation. *Ciencia Rural* **42**:1380-1385.
- Tichá M, Vyzínová P. 2006. *Polní plodiny*. Veterinární a farmaceutická univerzita, Brno.
- Torre LA, Battaglia V, Caradonia F. 2013. Legal aspects of the use of plant strengtheners (biostimulants) in Europe. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* **19**:1183-1189.
- Traon D, Amat L, Zotz F, du Jadrin P. 2014. *A Legal Framework for Plant Biostimulants and Agronomic Fertiliser Additives in the EU*. Report for the European Commission Enterprise & Industry Directorate - General. Arcadia International. Belgium.
- Trčková M. 2010. Pomocné rostlinné přípravky v praxi. *Zemědělec* **18**:6-8.
- Trevisan S, Francioso O, Quaggiotti S, Nardi S. 2010. Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling Behavior* **5**:635-643.

- Ugolini L, Cinti S, Righetti L, Stefan A, Matteo R, D'Avino L, Lazzeri L. 2015. Production of an enzymatic protein hydrolyzate from defatted sunflower seed meal for potential application as a plant biostimulant. *Industrial Crops and Products* **75**:15-23.
- Ulrich-Merzenich G, Panek D, Zeitler H, Wagner H, Vetter H. 2009. New perspectives for synergy research with the “omic“ -technologies. *Phytomedicine* **16**:495-508.
- Van der Werf A, Visser AJ, Schieving F, Lambers H. 1993. Evidence for optimal partitioning of biomass and nitrogen at a range of nitrogen availabilities for a fast- and slow-growing species. *Functional Ecology* **7**:63-74.
- Van Oosten MJ, Pepe O, De Pascale S, Silletti S, Maggio A. 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* **4**:5-17.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin*. Profi Press, Praha.
- Vernieri P, Borghesi E, Tognoni F, Serra G, Ferrante A, Piaggese A. 2006. Use of Biostimulants for Reducing Nutrient Solution Concentration in Floating System. *Acta Horticulturae* **718**:477-484.
- Vessey JK. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil* **255**:571-586.
- Wally OSD, Critchley AT, Hiltz D, Craigie JS, Han X, Zaharia LI, Abrams SR, Prithiviraj B. 2013. Regulation of Phytohormone Biosynthesis and Accumulation in *Arabidopsis* Following Treatment with Commercial Extract from the Marine Macroalga *Ascophyllum nodosum*. *Journal of Plant Growth Regulation* **32**:324-339.
- Walter A, Nagel KA. 2006. Root Growth Reacts Rapidly and More Pronounced Than Shoot Growth Towards Increasing Light Intensity in Tobacco Seedlings. *Plant Signaling Behavior* **1**:225-226.
- Wang X, Gao L, Tian Y. 2018. Distinct impacts of air and root-zone temperatures on leaf and root features of cucumber seedlings: resource acquisition capacity, organ size and carbon-nitrogen balance. *bioRxiv*. DOI: 10.1101/271403.
- Wardlaw IF. 1990. The control of carbon partitioning in plants. *New Phytologist* **116**:341-381.
- Weih M, Karlsson PS. 2001. Growth response of Mountain birch to air and soil temperature: is increasing leaf-nitrogen content an acclimation to lower air temperature? *New Phytologist* **150**:147-155.
- Wilson JB. 1988. A Review of Evidence on the Control of Shoot:Root Ratio, in Relation to Models. *Annals of Botany* **61**:433-449.
- Wu Y, Jenkins T, Blunden G, von Mende N, Hankins SD. 1998. Suppression of fecundity of the root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*, in monoxenic cultures of *Arabidopsis thaliana* treated with an alkaline extract of *Ascophyllum nodosum*. *Journal of Applied Phycology* **10**:91-94.

- Xu C, Leskovar DI. 2015. Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. *Scientia Horticulturae*. **183**:39-47.
- Xu C, Mou B. 2017. Drench Application of Fish-derived Protein Hydrolysates Affects Lettuce Growth, Chlorophyll Content, and Gas Exchange. *Horttechnology* **27**:539-543.
- Yakhin OI, Lubyantsov AA, Yakhin IA, Brown PH. 2016. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science* **7**:1-32.
- Zodape ST, Kawarkhe VJ, Patolia JS, Warade AD. 2008. Effect of liquid seaweed fertilizer on yield and quality of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Journal of Scientific and Industrial Research* **67**:1115-1117.
- Zodape ST, Gupta A, Bhandari SC, Rawat US, Chaudhary DR, Eswaran K, Chikara J. 2011. Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Scientific and Industrial Research* **70**:215-219.
- Zukalová H, Škarpa P, Kunzová E. 2009. Slunečnice - druhá nejvýznamnější olejovina v ČR. Pages 104-107 in Švachula V, Vach M, Bečka D, editors. *Prosperující olejniný 2009*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.