

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin (FAPPZ)



**Vliv regulátorů růstu na pokryvnost listoví (LAI) a výnos
pšenice seté
Bakalářská práce**

Autor práce: Petr Panenka

Obor studia: Fytotechnika

Rostlinná produkce

prezenční

Vedoucí práce: Ing. Jiří Kudrna

Konzultant: doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Vliv regulátorů růstu na pokryvnost listoví (LAI) a výnos pšenice seté" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.4.2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval pánům Ing. Jřímu Kudrnovi a doc. Ing. Františkovi Hniličkovi, Ph.D., za návrh tématu, jeho rady a další informace, díky kterým jsem dokázal práci dokončit a dále za skvělé vedení skrz celou tvorbu bakalářské práce.

Vliv regulátorů růstu na pokryvnost listoví (LAI) a výnos pšenice seté

Souhrn

V zemědělské praxi se uplatňuje velké množství přípravků, které lze označit pojmem regulátory růstu. Jejich využití je poměrně složité, neboť jejich účinek je dán nejenom jejich složením, kde často převládají rostlinné hormony, ale také dobou aplikace. Při jejich nesprávném použití může dojít k významnému ovlivnění porostu a tím i celého výnosu. Proto byl v roce 2019 založen polní pokus ve Velkém Týnci, který má zhodnotit vliv regulátorů na pokryvnost listoví a výnos ozimé pšenice (*Triticum aestivum* L.). Pro tento účel byly použity tři genotypy (Etana, V3-94-18, V3-72-18) a 5 regulátorů růstu. Byl sledován pozitivní i negativní vliv na LAI i výnos. Nejvíce výnosná byla varianta odrůdy Etana ošetřená regulátorem Aminocat 30.

Klíčová slova: regulátory růstu, pšenice setá, LAI, výnos

Influence of growth regulators on leaf area index (LAI) and wheat yield

Summary

In agricultural practice, a large number of plant growth regulators is used. Their use is relatively complex, as their effect is determined not only by their composition, where plant hormones often predominate, but also by the time of application. If they are used incorrectly, the vegetation and thus the entire yield can be significantly affected. A field experiment was conducted in 2019 in Velký Týnec to evaluate effect of the plant growth regulators on leaf area index and yield of the winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Three wheat genotypes (Etana, V3-94-18, V3-72-18) and five growth regulators were used for this purpose. There was increase and decrease in yield and LAI. The highest yielding combination was variety Etana treated with Aminocat 30 growth regulator.

Keywords: growth regulators, wheat, LAI, yield

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Cíl práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Pšenice setá.....	10
3.1.1 Botanická charakteristika	10
3.1.2 Genom	11
3.1.3 Historie pěstování pšenice	11
3.1.4 Agrotechnika ozimé pšenice	12
3.2 Tvorba výnosu	16
3.3 Index listové plochy (LAI)	18
3.4 Regulátory růstu	19
3.5 Vliv regulátorů růstu na tvorbu výnosu.....	21
4 Metodika	26
4.1 Použitý rostlinný materiál.....	26
4.2 Použité regulátory růstu.....	26
4.3 Založení pokusu	28
4.4 Klimaticko-pedologická charakteristika pokusného stanoviště.....	28
4.5 Měřené charakteristiky	31
5 Výsledky	32
6 Diskuze.....	46
7 Závěr	48
8 Seznam použité literatury.....	49
9 Seznam použitých zkratk a symbolů.....	55

1 Úvod

Pšenice je nejenom tuzemskou nejvýznamnější obilninou. Zaujímá zhruba polovinu plochy obilnin a díky celkem vysoké úrovni i stabilitě výnosů se stává produkční jistotou ve všech výrobních oblastech České republiky (Pavlík et al. 2009). Průměrná roční produkce pšenice mezi lety 2015 až 2019 vychází na téměř 5 milionů tun. Průměrný hektarový výnos ze stejného období činí 5,93 tun na hektar (Český statistický úřad 2020). Významná je pšenice samozřejmě i celosvětově, jakožto druhá nejpěstovanější plodina s výnosem 765 milion tun za rok 2019 (FAO 2019). V příštích desetiletích bude nutné zvýšení produkce pšenice, aby se shodovala s předpokládaných růstem populace. Bude zapotřebí agrotechnický i šlechtitelský pokrok pro stále zvyšující se světovou poptávkou. Nové strategie šlechtění budou závislé na přesných informacích o genetických i abiotických faktorech limitujících výnos (Villegas et al. 2015).

Regulátory růstu mohou být definovány jako přirozeně se vyskytující či uměle vytvořené látky, které ovlivňují vývoj a metabolické procesy vyšších rostlin (Rademacher 2015). Pro zvyšování výnosů zemědělských plodin je důležité zvyšování jejich výnosového potenciálu k jeho biologickému limitu (Reynolds & Langridge 2016). Vnější zásahem, aplikací synteticky vyrobených regulátorů růstu, případně i přirozených fytohormonů, lze významně ovlivnit fyziologické procesy rostlin (Rademacher 2015).

Předpoklad pro dosažení požadovaného účinku růstových regulátorů je znalost základních mechanismů regulace růstu a vývoje rostlin. Nezbytné je i vyjasnění otázek fungování růstových regulátorů v závislosti na klimatických a povětrnostních podmínkách na transport látek v rostlině, jejich případnou toxicitu a rozklad residuí a v neposlední řadě i jejich celkového vlivu na okolní prostředí (Rademacher 2015). Doporučený postup použití některých druhů regulátorů růstu pro zvýšení výnosů je při kombinaci hormonů s dusíkatými hnojivy (Zaman et al. 2014). Aplikace regulátorů růstu značně zvyšuje výnos (Singh et al. 2019). Zvýšený LAI a počet klasů na m² po ošetření regulátorem růstu nejvíce přispěly ke zvýšení výnosu zrna (Varadi et al. 2020). V podmínkách náchylných na poléhání je kombinace vyšších dávek dusíku a použití regulátorů růstu velmi vhodná pro produkci pšenice (Singh et al. 2019).

2 Cíl práce

V zemědělské praxi se uplatňuje velké množství přípravků, které lze označit pojmem regulátory růstu. Jejich využití je poměrně složité, neboť jejich účinek je dán nejenom jejich složením, kde často převládají rostlinné hormony, ale také dobou aplikace a vnějšími podmínkami. Při jejich nesprávném použití může dojít k významnému ovlivnění porostu a tím i celého výnosu.

Cílem práce je proto stanovit vliv rozdílných regulátorů růstu na pokryvnost listoví a výši výnosu pšenice.

Z navrhovaného cíle práce byly stanoveny následující hypotézy:

1. regulátory růstu ovlivňují jednotlivé velikosti pokryvnosti listoví a výnos,
2. existuje vztah mezi pokryvností listoví a výši výnosu.

Regulátory růstu by mohly být nápomocny v zachování růstu výnosů zemědělských plodin i přes měnící se klima planety Země.

3 Literární rešerše

3.1 Pšenice setá

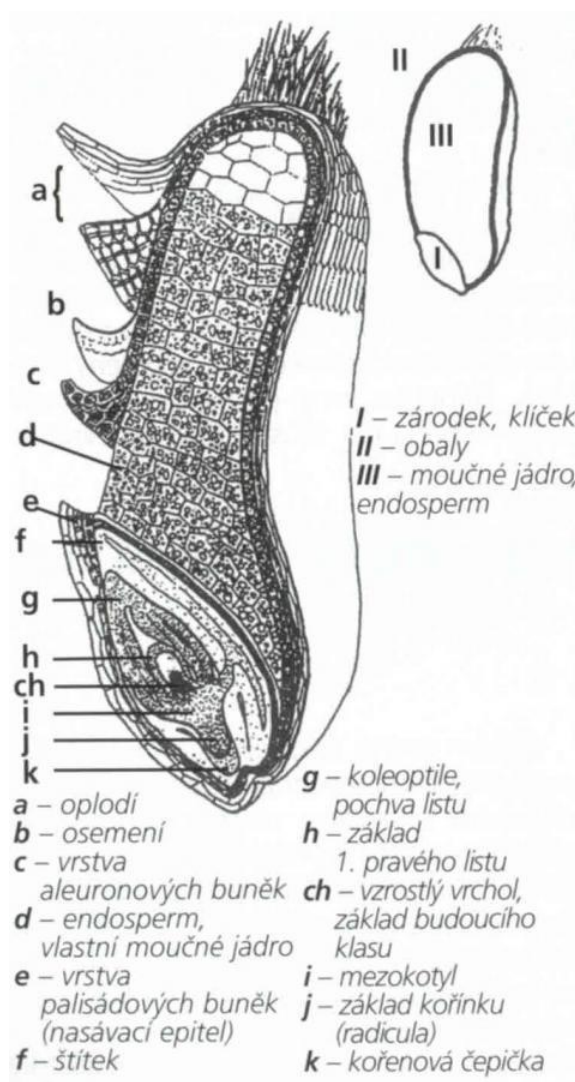
3.1.1 Botanická charakteristika

Mezi nejvíce pěstovaný druh rodu pšenice patří pšenice setá. Její klas je nelámavý, může být jak osinatý, tak bezosinný (Zimolka et al 2005). Většina pěstovaných odrůd v ČR jsou bezosinaté běloklasé formy, pak bezosinaté červenoklasé, osinaté běloklasé a osinaté červenoklasé (Špaldon et al. 1986).

Jak je znázorněno na Obr. 1, zárodek je umístěn na spodní části hřbetní strany obilky. Svrchu je krytý oplodím a osemením. Štítkem přiléhá k endospermu. Na apikální straně je umístěn vegetační vrchol s listy. Na opačné straně je hypokotyl a základy kořínků (Foltýn et al. 1970).

Kořeny pšenice jsou svazčité. Pokud je osivo uloženo v půdě výrazně hlouběji, dochází po vyražení prvních 3 až 5 kořínků na stéble v půdě podzemní internodium, z jehož kolénka vyrostou druhotné kořeny (Rovenská 1968). O délce kořenů pšenice rozhoduje vlhkost a složení půdy, druh, odrůda a velikost zrn a termín setí (Špaldon et al. 1986).

Listy tvoří pšenice přisedlé a jsou složeny z čepele a pochvy. Na pomezí čepele a pochvy se nachází jazýček a při něm po stranách listové pochvy je pár oušek (Zimolka et al. 2005). Průduchy se nachází na bocích nad cévními svazky; od špičky směrem k bázi koleoptile jejich počet ubývá. Pod epidermis je parenchym. V něm jsou uloženy kolaterální cévní svazky, které u kulturních odrůd pšenic pěstovaných u nás bývají dva (Foltýn et al. 1970).



Obr. 1 Schéma obilky (Zimolka et al. 2005)

Tvorba stébla signalizuje přechod rostliny z vegetativního období do generativního, kdy se na vegetativním vrcholu vytvoří kláskové hrbolky. Je to důsledek intenzivního buněčného dělení v subapikálním meristému. Stéblo se směrem ke klasu zužuje (Zimolka et al. 2005). Je složeno z kolének a článků. Obvyklý počet kolének u tuzemsky pěstovaných odrůd je šest až sedm včetně kolénka odnožovacího (Rovenská 1968).

Osou klasu je vřeten, které je tvořeno kolénky a internodii. Jednotlivá internodia jsou prohnutá, na bázi zúžená a směrem nahoru se rozšiřují. Povrch článků je krytý silnou epidermis s kutikulou. Klásek je složeno ze dvou bezosinných plev a kvítků. Plevy jsou listeny, plucha je listenec (Foltýn et al. 1970). Mezi kláskovými plevami se nachází květy,

kteře jsou oboupohlavní, jednodomé. Pšenice je autogamní rostlina. Každý květ je chráněn z vnější strany pluchou a z vnitřní pluškou. Každá odrůda má specifický tvar a zakončení pluchy. U osinatých forem pšenice je plucha zakončena osinou (Špaldon et al. 1986).

Plodem u pšenice je obilka (Zimolka et al. 2005).

3.1.2 Genom

Mnoho let se nedařilo sestavit kompletní hexaploidní genom pšenice seté. První pokus se uskutečnil v roce 2012, kdy byly použity rané technologie sekvenování a podařilo se sestavit 5,42 miliard bází, zhruba třetinu celého genomu. Na druhý pokus v roce 2014 se podařilo sestavit 10,2 miliard bází, dvě třetiny celku. Výsledkem třetího pokusu bylo 12,7 milionů bází, což činí 78 % genomu. Genom pšenice seté je velice komplexní, nejen kvůli své velikosti (pětkrát větší než lidský genom), ale i kvůli velmi dlouhým a téměř identickým částem, které se často opakují (Zimin et al. 2017) V roce 2018 byl genom pšenice sestaven. Spolupráce několika vědeckých skupin s různými strategiemi produkovala postupně další části genomu vybrané odrůdy Chinese spring. Nakonec se, 16 let po dokončení genomu rýže a 9 let po kompletaci genomu kukuřice, vědecké komunitě podařilo získat kompletní referenční genom pšenice. S těmito poznatky se pšenice stala modelem pro polyploidní rostliny při studii evoluce polyploidie, domestikace, definici genetické diverzity a šlechtění na úrovni genomu. Zpřesnění genomu pšenice také pomůže zrychlit tvorbu odrůd, které budou více snášenlivé biotickým i abiotickým faktorům, lepší kvalitou a většimu výnosu (Guan et al. 2020).

Geneticky modifikovaná pšenice

Do nedávné doby neexistovala žádná odrůda geneticky modifikované pšenice, která by byla schválena pro komerční použití. V roce 2004 byla povolena odrůda MON 71800 od firmy Monsanto americkým úřadem pro kontrolu potravin a léčiv pro použití v potravinářství a krmivářství v USA. Pro využití v potravinářství byla odrůda povolena i v Kolumbii (Biosafety Clearing-House 2008). Nicméně kvůli strachu farmářů z odmítnutí konečného produktu veřejností se firma Monsanto rozhodla nenabízet odrůdu pro komerční využití (Hopkin 2004). Odrůda obsahuje protein získaný z bakterie *Agrobacterium tumefaciens*. Rostliny této odrůdy byly díky tomuto proteinu silně rezistentní vůči herbicidům na bázi glyfosátu. Proto byl marketingový název této odrůdy Roundup Ready™ wheat (Obert et al. 2004). V října roku 2020 Argentina povolila pěstování odrůdy HB4 vytvořené firmou Bioceres (Heath & Bronstein 2020). Tato odrůda obsahuje upravený transkripční faktor HaHB4, který zlepšuje toleranci vůči suchu (González et al. 2019). Společnost Bioceres začne odrůdu nabízet až potom, co bude HB4 přijatelná pro import do Brazílie, která je největší odběratel argentinské pšenice (Heath & Bronstein 2020).

3.1.3 Historie pěstování pšenice

K první kultivaci pšenice došlo zhruba před 10 tisíci lety v rámci „Neolitické revoluce“, během které člověk začal přecházet z lovu a sběru jídla k zemědělství (Shewry 2009). Archeologické nálezy z této doby potvrzují produkci pšenice jednozrnky (*Triticum monococcum* L.) a pšenice dvouzrnky (*Triticum dicoccum* Schrank.) (Špaldon et al. 1986). Jako oblast původu pšenice lze jednoznačně označit území „Úrodného půlměsíce“, oblast Mezopotámie, Malé Asie a jihovýchodní pobřeží Středoziemního moře (Lelley 1976). Je

jednoznačné, že pšenice jednozrnka a dvouzrnka vznikly domestikací planých druhů, kdežto pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) vznikla hybridizací již zmíněných s jinou planou trávou mnohoštětem Tauschovým (*Aegilops tauschii* Coss.). Tato hybridizace se musela uskutečnit několikrát, s průběžným výběrem jedinců s nejlepšími vlastnostmi (Feldman et al. 2001).

Genetické změny během domestikace znamenaly, že moderní pšenice nejsou schopny přežít bez nutných kultivací v konkurenci s lépe adaptovanými planými druhy. To dokazuje pokus uskutečněný Johnem Bennetem Lawesem v osmdesátých letech devatenáctého století (Shewry 2009). Ten ponechal v roce 1882 část své úrody nesklizenou a dále monitoroval růst v následujících letech. Po dobré úrodě v roce 1883 začaly na pozemku velmi dominovat plevele a v roce 1885 již zbylo pár slabě vzrostlých rostlin (Feldman et al. 2001).

Významnými pěstiteli pšenice seté byli Římané, kteří přešli z nekynutých placek na kynuté bochníky obrácením starého egyptského postupu výroby chleba, aby díky němu mohli vařit pivo. Římsí pekaři využili pivních kvasnic pro výrobu kynutých chlebů. Takto se začala pšenice setá šířit napříč celou Římskou říší. Veškeré pěstební lány určené pro pěstování jiných druhů pšenice ve Středomoří začaly produkovat pšenici setou (Evans & Peacock 1981).

Na našem území se do doby 6. stol. n. l. pěstovala převážně již zmiňovaná pšenice dvouzrnka s menší příměsí pšenice jednozrnky. Nicméně od doby osídlení našeho území Slovany se v archeologických nálezech objevuje již výhradně nahozrná pšenice obecná (Foltýn et al. 1970).

3.1.4 Agrotechnika ozimé pšenice

Požadavky na území

I když se pšenice pěstuje ve všech výrobních oblastech, výnosy mezi oblastmi jsou velmi rozdílné a kvalita zrna taktéž. Teplotní nároky pšenice se mění v průběhu jejího růstu. Úspěch pěstování zajistí vhodné podmínky pro přezimování porostu. Nejdůležitější je teplota v oblasti odnožovacího uzlu (Faměra 1993). V době vzházení a odnožování porostu je nejvhodnější teplota 12–14 °C.

Na přechodu z podzimu do zimy porost potřebuje teploty 10–12 °C, přičemž mohou v noci klesnout na 0 °C i méně. Na jaře se pro vhodný průběh dalšího růstu hodí teploty 12–15 °C, ve fázi sloupkování o něco vyšší, ale nikdy vyšší než 25 °C. Velmi negativní dopady mají jarní holomrazy, zejména když se často střídají vyšší denní a nižší noční teploty. Metání a kvetení zvyšuje nárok na teplotu (18 až 20 °C). V době nalévání zrna se teploty vyšší než 30 °C nehodí, jelikož díky nízké vlhkosti vzduchu se mohou vytvářet scvrklá zrna. Ve fázi dozrávání nejlépe působí teplota 22–25 °C, vyšší teploty negativně ovlivňují proces konečného formování zrna (Špaldon et al. 1986).

Pšenice je nejnáročnější obilnina na živiny a půdní podmínky. Nejoptimálnější půdy jsou střední až těžší s neutrálním až slabě kyselým pH. Nevhodné jsou velmi lehké, písčité, kyselé a zamokřené půdy (Faměra 1993). Vhodné oblasti pro pěstování ozimé pšenice jsou kukuřičné výrobní oblasti a částečně i teplé a sušší oblasti řepařské. Ideální jsou půdy nivní, černozemě, hnědozemě a rendziny (Petr 2001).

Technologickou kvalitu pšenice neodmyslitelně ovlivňuje i předplodina, která působí na růst a vývin biomasy, ale také pro tvorbu klasu a obilek (Prugar & Hraška 1986). Nejvhodnější předplodinami jsou jeteloviny, luskoviny, olejninny a okopaniny (Foltýn et al.

1970). Nejvhodnější předplodinou ozimé pšenice je bezesporu vojtěška, a to díky především množství a kvalitě posklizňových zbytků, které zanechává v půdě, i fixaci vzdušného dusíku hlízkovými bakteriemi. Zastoupení obilnin ve struktuře plodin a vysoký podíl pšenice nevylučují pěstování ozimé pšenice po obilninách, což je méně vhodné. Obilniny, vedle obtížně kompenzovatelného zhoršení půdních vlastností, zvyšují riziko napadení chorobami, škůdci a zvyšují i pravděpodobnost zaplevelení specifickými plevely obilovin (Zimolka et al. 2005).

Dobrá příprava půdy má velký vliv na výši a kvalitu výnosu. Způsob přípravy závisí na předplodině, míře zaplevelení a stavu půdy v období orby (Špaldon et al. 1986). V rámci úpravy půdy po předchozí plodině je velmi důležitá podmínka, která zabraní zbytečnému výparu vody. Velmi důležitá je časová mezera mezi orbou a setím, během které půda slehne. Optimální odstup jsou 2 až 3 týdny (Faměra 1993). Biomasa rostliny, počet zrn v klasu i objemová hmotnost byly nejvyšší po použití konvenční orby oproti ostatním zpracováním půdy (Jug et al. 2011).

Novým trendem v přípravě půdy je minimalizace, která se snaží snižovat počet kultivačních zásahů do půdy. Tato technologie byla navržena pro snížení potřeby pracovní síly a energie pro kultivaci plodin, pro využití výhod zlepšené struktury půdy a pro snížení eroze půdy. Vhodné oblasti pro využití sníženého či bezorebného zpracování půdy jsou regiony se semiaridním podnebím, ale i s vlhkým kontinentálním podnebím. Nicméně technologie bezorebného zpracování půdy nemusí plně fungovat na pozemcích se silným zaplevelením nebo na těžkých jílovitých půdách s nízkým či žádným hnojením dusíkem. Velmi výhodná je kombinace sníženého zpracování půdy a mulče vytvořené z rostlinných zbytků předplodiny (Rieger et al. 2008). Kombinace mulče a sníženého zpracování půdy se může v pěstování pšenice výnosově vyrovnat konvenčnímu systému zpracování půdy (Głąb & Kulig 2008). Ve vlhčím podnebí může přehnané množství ponechané mulče způsobovat ztráty ve výnosu kvůli jednoduššímu přenosu chorob a imobilizaci dusíku (Rieger et al. 2008).

Správná výživa v dobrém poměru a množství dodaných živin určuje vývoj podzemní biomasy a částečně i nadzemní hmoty. Dobrý kořenový systém ochrání rostlinu před mrazy, suchem i střídavými teplotami. Kvalita a výnos zrna nejvíce závisí na dusíkatých hnojivech (Špaldon et al. 1986). S vyššími dávkami dusíku se zvyšuje počet klasů na jednotku plochy (Shekoofa & Emam 2008). Nicméně přehnojováním může docházet k zhušťování a polehání porostu (Špaldon et al. 1986). Prvním krokem u racionálního způsobu hnojení je určení činitele v minimu, který nejvíce brzdí zvýšení produkce a navýšení tohoto prvku hnojením vede k výraznému zvýšení rentability výroby (Klas & Klasová 2017). Experiment z roku 1978 dokázal, že vyšší dávky dusíku jednoznačně zvyšují index listové plochy (Ellen & Spiertz 1980). Ozimá pšenice se nachází mezi plodinami se střední potřebou živin. Na jednu tunu zrna a odpovídající množství slámy a kořenů využije 25 kg dusíku, 5 kg fosforu, 20 kg draslíku, 2,4 kg hořčíku a 4 kg síry (Zimolka et al. 2005).

Základní hnojení je nejčastěji aplikace dusíkatých hnojiv během předset'ové přípravy půdy. Dávka se určuje podle oblasti pěstování. V aridních podmínkách na těžších půdách lze aplikovat i 75 % celkové dávky dusíku. Ve více vlhkých oblastech, na lehčích půdách a u více odnožovacích odrůd stačí aplikovat 25-50 % dávky. Na jaře aplikujeme regenerační hnojení, a to co nejdříve, abychom zlepšili stav přezimovaného porostu. V průběhu vegetace, pokud je

potřeba, může se uplatnit kvalitativní přihnojování, které má dobrý vliv na zvyšování hmotnosti tisíce zrn a obsah bílkovin v zrně (Špaldon et al. 1986). Dávky fosforu, draslíku a hořčiku se aplikují nejčastěji před zpracováním půdy, aby se živiny dostaly do půdy (Faměra 1993). Fosfor je potřebný na začátku vegetace, dokáže totiž zvýšit odolnost rostliny proti vyzimování a přispívá k mohutnějšímu kořenovému systému. Podobně jako fosfor se chová draslík, podporuje přezimování (Špaldon et al. 1986).

U pšenice, jakožto jedné z hustě setých obilnin, jsou vhodné užší řádky (125 mm). Hloubka setí u ozimé pšenice bývá často 40 mm. Nedojde tak ke zbytečným ztrátám osivo (Faměra 1993). Výsevek je obvykle v rozmezí 400-600 zrn na m², zaleží pak na pěstované odrůdě a půdních vlastnostech stanoviště. V případě méně úrodných půd, špatném termínu setí či suchých podmínkách se výsevek zvýší až o 15 % (Konvalina & Moudrý 2008).

Precizní zemědělství

Konvenční zemědělství využívá extenzivní aplikace chemikálií, které mohou mít negativní účinky na životní prostředí. Tyto látky mohou často způsobovat erozi půdy, kontaminaci vodních zdrojů či atmosféry. Pěstební systémy by měly více brát v potaz udržitelnost a konzervaci životního prostředí. Možné řešení problému je přijetí systémů precizního zemědělství. Precizní zemědělství funguje na principu sběru informací o prostorových a časových rozdílech v rámci pole a následných vhodných agrotechnických postupech pro konkrétní problémy. Častým problémem konvenčního systému zemědělství je přehnojování dusíkem. Dávky vyšší, než je potřeba rostliny, často vedou k zaplevelení, mohou vést k polehání porostu, zpožděnému vývoje a vyšší citlivosti vůči chorobám. Přebytek dusíku taktéž mizí z pole procesy volatizace a denitrifikace. Aby se předešlo ztrátám, množství hnojiva musí odpovídat množství, které daná část pole potřebuje (Diacono et al. 2012).

Tyto hodnoty se získávají z nástrojů a zdrojů informací, které se neustále aktualizují. Mezi ně patří systém GPS, který zaznamenává informace o poloze měření a navádí a kontroluje přesnost zemědělských strojů. Dále se využívá Geografický informační systém pro tvorbu a zobrazení prostorových map charakteristik pole. Pro hodnocení potřeb půdy a rostlin se využívají radiometrické senzory blízkým (viz Obr. 2) i dálkovým snímáním (Diacono et al. 2012).

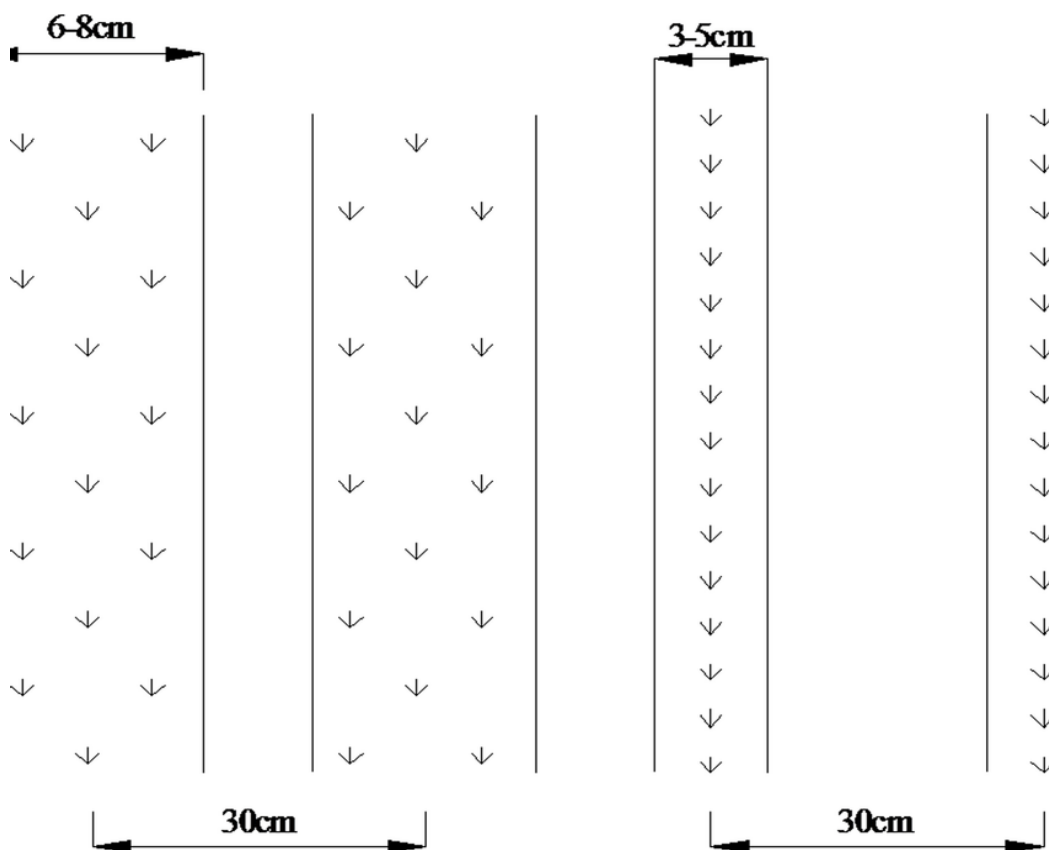


Obr. 2 Senzory Crop Circle™ pro blízké snímání hladiny dusíku v porostu (Diacono et al. 2012)

Stejnými způsoby se v precizním zemědělství zachází s herbicidy. Aplikace herbicidů na části pole nezasazeného plevelem může nejen vést ke kontaminaci podzemních vod, ale může i negativně ovlivnit výsledný výnos plodiny z této části. Pokud se herbicid aplikuje pouze v oblastech zasaženými daným plevelem, pozitivní efekt likvidace konkurenčních rostlin může kompenzovat a převýšit negativní efekt na pěstovanou plodinu (Gerhards et al. 2011).

V Číně se testuje nový způsob setí pšenice. Tento nový systém se od konvenčního setí, které funguje na principu výsevu semen do řádku, liší tím, že se pšenice seje v pásích širokých 7 až 12 cm a rozstupem mezi pásy 10 až 15 cm, jak je znázorněno na Obr. 3. Šíře pásu a mezery mezi nimi se upravuje podle použití odrůdy pšenice. Semena setá v pásích mají větší prostorové rozestupy a porost má zlepšené proudění vzduchu a zachytávání světelného záření (Lv et al. 2019).

U rostlin setých novým způsobem se ukázala vyšší efektivita využití vody, vyšší index listové plochy, zpomalení degradace listové chlorofylu a prodloužení procesu fotosyntézy. Proto pásový systém setí dokázal zvýšit počet plodných odnoží na jednotku plochy i na rostlinu. Což nakonec vedlo i ke zvýšení výnosů zrna. Výnosy nového způsobu setí byly o 3 až 15 % vyšší než výnosy konvenčního řádkového výsevu (Lv et al. 2019). V lokalitách se suchým a teplým podnebím je udržitelné pěstování ozimé pšenice náročné, proto je nutné využívat opatření zadržující půdní vláhu. Nejčastější opatření je mulčování slámy. Mulč ale při použití konvenčního setí pšenice snižuje výnos zrna. Proto v severní Číně začal využívat pásový precizní výsev. Výsledky testování tohoto systému poukazují na to, že na mulčovaných pozemcích dosáhla ozimá pšenice vysetá precizně vyššího výnosu a vyšší kvality pro potravinářské užití než pšenice setá konvenčním způsobem (Tan et al. 2019).



Obr. 3 Schéma pásového a řádkového výsevu pšenice (Bian et al. 2016)

3.2 Tvorba výnosu

Pokud chceme využít plný výnosový potenciál plodin, je třeba znát veškeré faktory, které jej ovlivňují.

Minerální výživa má větší či menší vliv v každém fyziologickém procesu (Procházka et al. 1998). Je dokázáno, že část dodaných živin je opravdu odčerpána a využita plodinami. Z celkového množství dodaných živin rostliny v průměru přijaly mezi 40 a 60 % dusíku, mezi 10 a 20 % fosforu a draslíku okolo 30 % (Petr et al. 1988). Uvedení autoři uvádí, že rozdíly v příjmu živin stejného druhu a formy dodávané v odlišné době nebo různým způsobem jsou většinou způsobeny ekologickými podmínkami stanoviště, především vlhkostí. Dalším faktorem v příjmu živin je pak teplota.

Výnos plodiny je určen množstvím vody, které rostlina odčerpá z půdy, efektivitou přeměny vody na nadzemní biomasu (Foulkes et al. 2002). Klimatické změny znesnadňují budoucí produkci zrna s konzistentní kvalitou kvůli komplexnímu působení atmosférického oxidu uhličitého, měnící se teplotě i měnícím se režimům srážek na výnos i kvalitu zrna pšenice (Nuttal et al. 2017). Obsah vody v rostlinách často kolísá, a přesto právě na tomto proměnném obsahu vody do určité míry závisí mechanické vlastnosti rostlinného těla nebo alespoň květů, listů a plodů, stav průduchů i dlouhivý růst. Zásoba vody v rostlině má značný vliv na průběh fotosyntézy. Dobře zásobené plodiny zadržují oxid uhličitý v listech díky otevřeným průduchům. Snížením půdní vláhly, a tím i snížením její dostupnosti pro rostliny, se průduchy přivírají. Přivření má za následek snížení proudění oxidu uhličitého do rostliny, a to znamená zpomalení procesu fotosyntézy. Přechodný nedostatek vody nutně nemusí snížit hospodářský výnos (Petr et al. 1980). Zajištění optimální vlhkosti v kritických fázích růstu a

vývoje zrna mohou výrazně minimalizovat ztráty způsobené nepříznivými teplotními podmínkami. Současná situace si žádá zvýšení snahy vyvinout odrůdy vhodné pro produkci v prostředích s nedostatkem vláhy (Ahmed et al. 2016). Důležité jsou fáze vývoje rostliny, během kterých sucho působí. Rostliny ve fázích kvetení či tvorbě obilky jsou odolné vůči nedostatku vláhy (Liwani et al. 2019). Vývoj obilek u např. ozimé pšenice nebo jarního ječmene může probíhat bez přerušení díky rezervám ve stéble pod klasem i když je vlivem nevhodných podmínek dočasně omezena fotosyntéza (Petr et al. 1980). Výnosové prvky se působením sucha nemusí nutně zhoršit, výraznější změny nastanou v procesech fotosyntézy. Vyšší teploty a sucho výrazně působí na asimilaci CO₂. Rostliny pšenice dokážou krátkodobé působení vyšších teplot a sucha překonat obnovením fotosyntetických procesů (Hlaváčová et al. 2018). Kritická fáze vývoje pšenice, během které může sucho negativně ovlivňovat výnos zrna, je fáze odnožování. Pokud je rostlina během odnožování vystavena suchu, dochází ke snižování počtu plodných odnoží a následně i k nižšímu výnosu zrna (Liwani et al. 2019).

Půda, klima a plodina mohou potenciálně omezovat zvýšení příjmu vody a živin kořeny v jakémkoliv období růstu. Rychlost a struktura vývoje kořenů se může lišit kvůli fyzikálním, chemickým a biologickým vlastnostem půdy, genetickému potenciálu plodiny a klimatu (Brown & Scott 1984). Kořenové systémy a jejich modifikace mají rozhodující úlohu pro příjem živin a vody (Petr et al. 1980). V suchých podmínkách je velice důležitý správný kořenový systém. Dostatečně silné a hluboké kořeny mohou dosáhnout na vláhu podzemní vody. Vhodný může být i mělký kořenový systém, pokud jsou jediný zdroj krátkodobé srážky, po kterých zůstane vlhkost pouze v horních vrstvách povrchu pěstovaného stanoviště. S každým mililitrem navíc přijatým kořenovým systémem v době tvorby obilky může být výnos zvýšen o 55 kg.ha⁻¹ (Ehdaie et al. 2011).

Výnosy obilnin se od padesátých let výrazně zvýšily. Za zhruba polovinu tohoto zvýšení mohou šlechtitelské úspěchy a na druhou polovinu zvýšení mělo vliv zlepšení agrotechnických kroků a technologií pracovních strojů (Satorre & Slafer 1999). Pro získání výnosných porostů je důležitý přiměřený rozvoj asimilačního aparátu i kořenového systému ve vegetativním období a vysoké přírůstky sušiny v generativním období, které jsou výsledkem ideální úrovně pokryvnosti listoví, její delší aktivitou (především horní části rostliny) a vyšší rychlostí fotosyntézy (Petr et al. 1980).

Dle Faměry (1993) patří mezi základní výnosové prvky:

Počet klasů na plošnou jednotku.

Počet zrn v klasu a hmotnost tisíce zrn.

Počet klasů je charakterizován počtem:

- rostlin na m²,
- počtem plodných stébel na rostlině.

Počet rostlin závisí na:

- biologické hodnotě osiva,
- úkonu setí – množství výsevu, způsobu, hloubce a době setí,
- vzcházivosti,
- redukci vlivem nepříznivých činitelů (počasím, chorobami, škůdci, chemickými a mechanickými úkony na porostu),
- mezidruhových a vnitrodruhových vztazích.

Počet plodných klasů ovlivňuje:

- odnožovací schopnost druhu a odrůdy, která je u rostliny dána geneticky,
- podmínky počasí, mezi které patří vláha, teplota, osvětlení a délka dne,
- plocha, jakou mají rostliny k dispozici,
- výživa, včetně zásoby živin v půdě,
- agrotechnika – setí (termín, norma, hloubka a způsob setí),
- mezi rostlinnou a mezi stébelnou konkurencí,
- rychlost růstu a vývoj jednotlivých odnoží na rostlině,
- poškození chorobami a škůdci.

Počet zrn v klasu je určen:

- genetickým potenciálem odrůdy,
- podmínkami počasí,
- aktivitě fotosyntetického aparátu listů,
- mezi rostlinnou a mezi stébelnou konkurencí,
- poškozením chorobami a škůdci.

Na hmotnost obilky má vliv:

- fungování asimilačního aparátu horní části rostliny,
- schopnost převést asimiláty do zrna,
- délka období tvorby obilky,
- průběh počasí,
- výskyt chorob a škůdců.

Jednotlivé výnosové prvky se tvoří postupně a navazují na sebe (Faměra 1993).

Stanovení struktury porostu před sklizní a odhad úrody vychází ze základní konstrukce výnosu, tj. ze vzorce:

$$V (\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}) = \frac{\text{počet klasů} \cdot \text{počet zrn v klasu} \cdot \text{HTS (v gramech)}}{100\,000}$$

První dvě položky rovnice lze určit přímo z porostu, hmotnost tisíce zrn se zjistí podle ÚKZÚZ o charakteristice odrůd ve srovnatelných výrobních podmínkách (Petr et al. 1980).

3.3 Index listové plochy (LAI)

Index listové plochy (LAI) je bezrozměrná veličina udávající poměr listové plochy na jednotku plochy povrchu půdy. Tento poměr souvisí s procesy jako fotosyntéza, evaporace, transpirace a zadržování dešťové vody (Zheng & Moskal 2009). Termín LAI je jedním z prvků růstové analýzy. Je to metoda respektující složitost produkčního procesu rostlin a integrující všechny dílčí procesy tím, že měří jen základní znak asimilačního aparátu (velikost jeho listové plochy) v časových intervalech (Petr et al. 1980). LAI může být získán odběrem listů vzorků a jejich následným měřením. Tento destruktivní odběr vzorků je vhodný u krátkodobých ekosystémů, jako například pěstování zemědělských plodin a travní porosty (Fang et al. 2019). Pro tato měření nejsou potřeba složité technické prostředky (Petr et al. 1980). Dálkové snímání LAI je hojně využíváno při odhadování předpokládaného výnosu (Fang et al. 2019).

Z výsledků lze získat charakteristiky vlastního produkčního procesu a vlivu příslušných faktorů, jako hnojení, závlahy a agrotechniky. Předpoklad pro využití slunečního záření ve fotosyntéze je jeho absorpce asimilačními pletivy. Z toho vyplývá požadavek na minimální velikost asimilační plochy, která by měla pokrývat půdu po celou dobu vegetace. Tímto pokrytím půdy se miní taková hustota, kdy na povrch půdy dopadá méně než 5 % záření dopadajícího na porost (Chen et al. 2018).

Tato podmínka není u obilnin na začátku vegetace často splněna. Proto se rychlejší rozvoj asimilační plochy může zdát jako jedna z efektivnějších možností zlepšení využití záření. Větší důraz na lepší využití záření je u obilnin po kvetení, kdy je většina vytvářených asimilátů transportována do zrna. Morfologická struktura rostliny do značné míry určuje distribuci světla v porostu a rychlost výměny plynů, především oxidu uhličitého (Aase 1978). Tím jsou definovány i další základní prvky mikroklimatu v porostu. Představa o existenci určité optimální hodnoty indexu listové plochy je oprávněna jen za předpokladu, že rychlost dýchání je úměrná LAI (a tedy v určitém smyslu celkové biomase porostu), neboť se stoupající hodnotou indexu listové plochy stoupá i dýchání. Důležitá je i adaptace listů spodních pater na nižší intenzity slunečního záření a vyšších pater na vyšší intenzity, což zabezpečuje produkci v hustém porostu (Petr et al. 1980). Pokud na porost působí neobvyklé počasí, není samotný vztah mezi výnosem a LAI vhodný a musí být doplněn o další agrometeorologické údaje, jako např.: teplota, evapotranspirace a záření (Fang et al. 2019).

3.4 Regulátory růstu

Regulátory růstu mohou být definovány jako přirozeně se vyskytující či uměle vytvořené látky, které ovlivňují vývoj a metabolické procesy vyšších rostlin. Nemají žádnou výživnou hodnotu a většinou nejsou fytotoxické. Podle označení „regulátory růstu“ by laik mohl usoudit, že tyto látky se primárně podílí na dlouhivém růstu. Nicméně díky vlivu na řadu dalších procesů jako je kvetení, tvorbu plodu a zrání by se tyto látky mohly nazývat rostlinné bioregulátory (Rademacher 2015).

Každý rostlinný hormon účinkuje na širokou škálu fyziologických procesů a většina morfogenetických jevů je ovlivněna různými typy hormonů. Kromě látek podporujících růst a vývoj je nutno k fytohormonům řadit i inhibitory těchto procesů, jelikož možnost využití jejich omezující schopnosti může pomoci při překonávání nepříznivých podmínek (Petr et al. 1983). Účinek regulačních látek však závisí na konkrétním genotypu, stáří a fyziologickém stavu rostliny. Je ale třeba mít na paměti, že při aplikacích ve většině případů výrazně zvyšujeme hladinu testované látky v rostlině, měníme průběh přirozených gradientů koncentrací a můžeme i vyvolat stresovou situaci (Nickell 1982).

Role regulátorů růstu v celé šíři zemědělství je drobná na rozdíl od ostatních druhů chemikálií, jako jsou fungicidy, herbicidy a insekticidy. Celosvětové prodeje fytohormonů jsou pouhé 4 % z celkových prodejů látek na ochranu plodin. Použití regulátorů růstu se v každé zemi liší (Basra 2000).

Kyselina indolyl-3-octová (IAA) je pro praktické účely příliš nestálá, a proto se v praxi používají její syntetické deriváty. Syntetické látky auxinového typu se využívají jako selektivní herbicid (Petr et al. 1983). Při použití jako herbicid syntetické auxiny napodobují efekty vysokých koncentrací IAA v rostlinných pletivech. Působí deformačně a inhibují růst.

Tento fenomén je popisován jako předávkování auxinem nebo také jako nadoptimální endogenní koncentrace auxinu, což vede k nerovnováze v homeostázy auxinu a v interakcích s ostatními hormony v pletivu (Grossmann 2009).

Tyto herbicidy se používaly již od uvedení prvního syntetického auxinového herbicidu (kyseliny 2,4-dichlorfenoxyoctové) na trh v polovině čtyřicátých let dvacátého století. Přestože jsou herbicidy využívány déle než ostatní skupiny herbicidů, je známo velmi málo případů plevelů imunních proti zmíněným herbicidům, které by měly nepříznivý vliv na zemědělskou produkci (Busi et al. 2017).

Citlivé rostliny po postřiku velmi rychle rostou, deformují se, pletiva praskají a dochází k úhynu. Mezi citlivou skupinu patří dvouděložné rostliny, proto se dají auxiny využít při zbavování plevelů v obilných porostech (Petr et al. 1983). Auxiny dokáží zmírnit vliv sucha u pšenice. Produkci zmíněného hormonu lze navýšit s pomocí rhizobakterií podporujícím růst (RPR). Tyto RPR z rodů *Bacillus*, *Enterobacter*, *Moraxella* and *Pseudomonas* byly izolovány z kořenového systému akácie arabské. Nedostatek vláhy výrazně zhoršuje tvorbu kořenového systému. Auxin napomáhá vývoji adventivních kořenů, které mohou absorbovat živiny a vodu z rhizosféry. Abiotické stresy snižují hladinu fytohormonů, což způsobuje retardaci růstu. RPR dokážou kompenzovat tuto nízkou hladinu v rostlině exogenním zdrojem hormonů a rostliny pšenice dokáží překlenout stresové období (Raheem et al. 2018).

Cytokininy jako samostatná skupina fytohormonů začala v padesátých letech dvacátého století výrobou látky z degradovaného preparátu kyseliny desoxyribonukleové, která ve spolupráci s auxinem zvyšovalo buněčné dělení v kulturách kalusu ze stonku tabáku (Werner et al. 2001). Exogenní i endogenní aplikace cytokininů mohou stimulovat buněčné dělení, redukce dlouhivého růstu, odnožování rostlin a oddálení stárnutí pletiv (Li et al. 1992). Deriváty cytokininů jsou obsaženy v přípravku AUCYT Start, toto hnojivo obohacené o látky na bázi cytokininů se používá na porosty obilovin a řepky. Aplikace přípravku v rané fázi vývoje má příznivý vliv na nárůst kořenové hmoty, dále prodlužuje období vegetativního růstu, zvyšuje odnožování a v řídkých porostech tvorbu fertálních odnoží (Chemap Agro 2018). Jedním z nejnovějších cytokininových přípravků v rostlinné produkci je hnojivo VegetUP. Zaměření tohoto přípravku je jako závlaha při hydroponickém pěstování plodové zeleniny, kde navyšuje produkci a současně oddaluje stárnutí rostlin, které mohou plodit rovnoměrněji po celou dobu své vegetace. Taktéž napomáhá rostlinám zvládat teplotní výkyvy (CRH 2020).

Dalším z využitelných regulátorů růstu jsou gibereliny. Jejich úlohou je dlouhivý růst nadzemních částí rostlin. Růst stonku je způsoben prodlužováním buněk. V jiných případech může giberelin stimulovat i dělení buněk. Takový to jev se odehrává ve stonku v oblasti pod vzrostným vrcholem (Petr et al. 1983). V porovnání s auxiny mají gibereliny nižší vliv na vývoj kořenového systému. Nicméně pro správný vývoj podzemní biomasy je určitá dávka giberelinu potřebná. V pokusech s umělým vyčerpáním giberelinů docházelo k abnormalitám při vývoje kořene, především k potlačení prodlužovacího růstu (Tanimoto 2007). Dalším uplatněním giberelinů je ukončení dormance semen. Bylo dokázáno, že giberelin je jeden z faktorů růstu semena, neboť při vývoji semene jeho obsah stoupá (Petr et al. 1983).

Tak jako v případech ostatních hormonů je kyselina abscisová obsažena v rostlinách ve velmi nízkých koncentracích (Zeevaart & Creelman 1988). Hladina ABA vzrůstá, je-li rostlina vystavena nepříznivým podmínkám, například suchu. Kyselina abscisová má vliv na

mechanismus zavírání průduchů. V mnoha ohledech je opakem giberelinů (Ryosuke et al. 2019). Kvůli vysokým nákladům na výrobu a nestálost působením UV zářením se zatím nenašlo praktické využití kyseliny abscisové. Nicméně syntetické látky podobné kyselině abscisové by mohly mít v budoucnu důležitou roli v rostlinné produkci. Jsou totiž schopné zvýšit odolnost vůči mrazu polních plodin a oddálit dobu kvetení u broskvoní (Davies 1995). Využití ABA ke snižování potřebného množství vody, zvýšení fotosyntetických procesů, které dohromady zlepší produkci zrna pšenice bude důležité do budoucích let (Ryosuke et al. 2019).

Etylen působí jako inhibitor dlouhivého růstu a jako stimulant radiálního růstu. Růst kořenů je taktéž tlumen etylenem. Nejvýraznějším účinkem je již často zmiňovaná stimulace dozrávání některých plodů, proto se využívá k dozrávání ovoce v kontrolované atmosféře. Největší využití v praxi dosáhl regulátor, ze kterého je etylen uvolňován v rostlinných pletivech – ethephon. Využívá se především v obilnářství v kombinaci s chlorcholinchloridem (Rademacher et al. 2015). Ethephon dokáže potlačit negativní účinky sucha úpravou přenosu auxinů, což vede ke snížení potřeby vody a zvýšení růstu rostlin pšenice (Zeboon et al. 2017).

Brassinosteroidy (BR), podobně jako auxiny, podporují dlouhivý růst. Účinek brassinosteroidů se začíná projevovat až po 45 minutách, ale může trvat i několik hodiny (Clouse & Sasse 1998). Brassinosteroidy jsou známé i pro své inhibiční účinky na růst kořenů. V budoucnosti možná BR najdou větší uplatnění díky svým antistresovým účinkům v rostlinné produkci. Aplikace brassinosteroidů pomáhá rostlinám překonat různé druhy stresů, jako nízké a vysoké teploty, nedostatek vláhy nebo napadení chorobami (Fujioka & Sakurai 1997). Brassinosteroidy našly uplatnění v pěstování ovoce a zeleniny. Jedním z využití BR je neutralizace negativních účinků vysokého obsahu kadmia v půdě na růst a výnos rostlin a kvalitu plodů rajčete jedlého (Hayat et al. 2012).

3.5 Vliv regulátorů růstu na tvorbu výnosu

Pro zvyšování výnosů zemědělských plodin je důležité zvyšování jejich výnosového potenciálu k jeho biologickému limitu (Reynolds & Langridge 2016). Vnější zásahem, aplikací synteticky vyrobených regulátorů růstu, případně i přirozených fytohormonů, lze významně ovlivnit fyziologické procesy rostlin. Předpoklad pro dosažení požadovaného působení růstových regulátorů je znalost základních mechanismů regulace růstu a vývoje rostlin. Nezbytné je i vyjasnění otázek fungování růstových regulátorů v závislosti na klimatických a povětrnostních podmínkách na transport látek v rostlině, jejich případnou toxicitu a rozklad residuí a v neposlední řadě i jejich celkového vlivu na okolní prostředí. V průběhu let bylo u obilovin ověřováno asi 60 různých účinných látek. Nejvíce uplatnění našly tři látky: chlorcholinchlorid (chlormequat), chloretylfosfonová kyselina (ethephon) a mepiquat-chlorid (Terpal) (Rademacher 2015).

Podstata účinku chlormequatu a ethephonu je zpomalení vývoje, konkrétně zpomalení diferenciací vzrostného vrcholu. Běžně je tvorba odnoží podmíněna aktivací růstu úžlabního pupenu způsobena zastavením růstu příslušného listu, ve kterém se hromadí látky inhibiční povahy a ubývají nebo vůbec chybí endogenní gibereliny. Tento stav souvisí s apikální dominancí vzrostného vrcholu hlavního stébla. Při jejím zeslabení se tvoří odnoží více, při zesílení méně. Auxiny, gibereliny a kyselina abscisová zesilují apikální dominanci, endogenní

cytokininy, chlormequat a ethephon a další retardanty apikální dominanci zeslabují (Petr et al. 1983). Poléhání je jedním ze závažných problémů pěstování obilnin, zejména jestliže k němu dojde v rané růstové fázi před vymetáním a kvetením. Podstatou tvorby výnosu je dostatečně dlouhá doba funkce asimilačního aparátu. Polehnutí porostu vede ke ztrátám na výnosech při sklizni, sklizeň samotná je náročnější, fotosyntetická aktivita je redukována, kvalita zrna může být nepříznivě ovlivněna saprofytickými houbami a zrno má obvykle i vyšší vlhkost, což zvyšuje náklady na sušení. V současné době je většina odrůd ozimé pšenice odolných vůči polehání. Přesto se u některých odrůd, a to zejména v hustých porostech a při nežádoucí vysoké hladině dusíku v půdy, je ošetření proti poléhání nezbytné (Procházka et al. 1997). Dlouhá stébla s těžkými klasy někdy nedokážou stát rovně a vlivem větru či deště poléhají. K tomu dochází primárně v zemích s intenzivním pěstováním obilnin. Proto je až čtvrtina celosvětově prodaných regulátorů růstu využívána jako přípravky proti poléhání (Rademacher 2015).

Stres vyvolaný mrazem má negativní dopad na růst a celkový vývoj ozimé pšenice. Pokud je rostlina v tomto stresu, obsah chlorofylu v listech se začne snižovat, což zpomaluje proces fotosyntézy a průchodnost průduchů se snižuje. Proto se, při pokusu na zlepšení fyziologických funkcí a podpoře rezistence proti nízkým teplotám pšenice v době sloupkování, aplikovaly různé druhy regulátorů růstu. Aplikované látky byly 6-benzylaminopurin, kyselina salicylová, brassinosteroid a kyselina abscisová. Výsledky ukázaly, že se podařilo zlepšit asimilační kapacitu oxidu uhličitého, snížit mezibuněčnou koncentraci CO₂, zmírnit samotný děj akumulování CO₂ do mezibuněčných prostor a zlepšit proces fotosyntézy v listech. Nejlépe z vybraných látek fungovaly 6-benzylaminopurin a kyselina salicylová. Výsledkem pokusu byl důkaz, že regulátory růstu pomohly zvýšit hmotnost obilky, počet zrn v klasu a hmotnost tisíce zrn (Zhang et al. 2019).

Doporučený postup použití některých druhů regulátorů růstu pro zvýšení výnosů je při kombinaci hormonů s dusíkatými hnojivy. Například společná aplikace giberelinů s dusíkatými hnojivy může zvýšit výtěžek suché biomasy píce na pastvinách (Zaman et al. 2014). Další kombinace (zatím předběžná) vedoucí k vyššímu výnosu polních plodin je při použití auxinů nebo cytokininů společně s dusíkatými hnojivy (Zaman et al. 2014).

Polní pokus v Íránu potvrdil hypotézu, že růstové regulátory společně s aplikací dusíkatých hnojiv jsou schopné zvýšit výnos pšenice. Vzorky byly hnojeny 0, 100 nebo 200 kg dusíku na hektar. Použité regulátory růstu byly látky chlormequat a ethephon. Výsledky pokusu značí, že regulátory růstu dokázaly tlumit růst plodin, což mělo důležitou roli pro zvýšení výnosu. Kontrolní vzorek bez ošetření regulátorem růstu měl výsledný výnos 7,2 t.ha⁻¹. Následoval vzorek, na který byl aplikován ethephon. Ten dosáhl výnosu 8,2 t.ha⁻¹. Nejvyšší výnos (8,9 t.ha⁻¹) dosáhl vzorek ošetřený dávkou 2,2 kg.ha⁻¹ chlormequatu a dávkou 200 kg N.ha⁻¹ (Shekoofa & Emam 2008).

Obdobný pokus vlivu kombinace různých úrovní hnojení dusíkem a růstových regulátorů na růst, poléhání a výnos pšenice se uskutečnil v Indii. Jako testovací odrůda byla vybrána odrůda HD-2967 (Pusa Sindhu Ganga). Experiment spočíval v kombinaci čtyřech úrovní hnojení (0, 150, 180, 220 kg N.ha⁻¹) s aplikací chlormequatu 45 dnů po zasetí a ošetřením chlormequatem 45 dnů po zasetí a následně tebukonazolem 70 dnů po zasetí. U každé úrovně hnojení byla ponechána jedna parcela bez ošetření jako kontrolní. Nejvyšší výnosy u neošetřené i ošetřené parcel byly dosaženy u variant hnojených 180 kg N.ha⁻¹. Neošetřená

parcela měla výnos $4,34 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, vzorek ošetřený pouze chlormequatu dosáhl výnosu $4,66 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a parcela ošetřená chlormequatem a následně tebukonazolem měla výnos $4,71 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Proto lze potvrdit, že aplikace chlormequatu samotného i v kombinaci s tebukonazolem značně zvýšila výnos. V podmínkách náchylných na poléhání je tedy kombinace vyšších dávek dusíku a použití regulátorů růstu velmi vhodná pro produkci pšenice (Singh et al. 2019).

Webster a Jackson (1993) potvrzují pozitivní účinek ethephonu na výnos zrna pšenice v pokusu s odrůdami náchylnými na poléhání. V případech, kdy ethephon nedokázal zamezit poléhání, dokázal oddálit polehnutí na pozdější fáze vývoje (Webster & Jackson 1993). Výnosový potenciál pšenice se totiž snižuje o 1 % za každý den od polehnutí do sklizně (Stapper & Fischer 1990). Nejvyšší nárůst výnosu dokázala aplikace ethephonu na odrůdě Serra, kdy vzorek ošetřený ethephonem měl výnos o $1,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ vyšší než neošetřený vzorek (Webster & Jackson 1993).

Výsledky studie Qin et al. (2020) nicméně ukazují, že účinky aplikace chlormequatu a trinexapac-ethylu na porost pšenice neměly vliv na výnos. Regulátory byly aplikovány na odrůdy ORCH-102 a SY Ovation ve fázi odnožování, začátku sloupkování nebo objevení posledního listu.

Všechny vzorky byly dostatečně hnojené dusíkem, a to v celkovém součtu $235 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Autoři konstatují, že to mohl být důsledek absence poléhání u jakékoliv varianty během pokusu (Qin et al. 2020).

Použití regulátoru růstu pro redukci výšky rostlin pšenice a zabránění poléhání při zvyšování dávek dusíku bylo testováno i v americkém státě Kentucky. Na lokalitách v Princetonu v letech 2014 a 2015 a v Lexingtonu roku 2015 byl replikován pokus, kdy tři odrůdy (Pioneer Brand 25R32, Pembroke 2014, Truman) byly hnojeny pěti různými dávkami dusíku ($0, 50, 110, 170, 220 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) a polovina vzorků byla ošetřena trinexapac-ethylem, kdežto druhá polovina byla ponechána bez ošetření. Ošetření regulátorem růstu navýšilo počet klásků v klasu, nicméně nebyl dokázán přímý vliv regulátoru na výnos zrna. Výnos všech odrůd se zvyšoval se zvyšujícími se dávkami dusíku. Ošetření trinexapac-ethylem snížilo výšku rostlin v Princetonu (2014) a Lexington (2015), ale rostliny na těchto lokalitách měly ztracený vzrůst vlivem nezvykle studeného zimního počasí ještě před aplikací regulátoru, která následně dále snížila výšku rostlin. Poléhání bylo zaznamenáno pouze v Princetonu (2015). Nejvíce poléhající odrůdou byla odrůda Pioneer Brand 25R32. Zároveň to byla jediná odrůda, u které se projevilo nižší poléhání po aplikaci trinexapac-ethylu. Lze proto soudit, že ošetření trinexapac-ethylem nemělo konzistentní vliv na ztracení výšky rostlin ani na zvýšení výnosu zrna pšenice (Knott et al. 2016).

Dle Varadi et al. (2020) jsou účinky regulátorů znatelné, pokud se u poléhavých odrůd pšenice naskytnou podmínky pro poléhání. Byl testován vliv přípravků chlormequatu a trinexapac-ethylu na vybrané odrůdy. Odrůda Bezostaia reagovala podobně na oba regulátory. Oproti kontrolnímu vzorku měly ošetřené rostliny sníženou délku, nicméně index listové plochy a počet klasů na m^2 se naopak zvýšily. Odrůda Ariešan měla kratší vzrůst pouze po aplikaci trinexapac-ethylu, LAI se zvýšil pouze použitím chlormequatu a počet klasů na m^2 se zvýšil po ošetření oběma přípravky.

Podle těchto autorů dále rostliny odrůdy Apullum měly kratší vzrůst po použití obou regulátorů. Index listové plochy se zvýšil pouze u rostlin ošetřených trinexapac-ethylem a počet klasů na m^2 se zvýšil po aplikaci chlormequatu. Nejvýraznější zvýšení výnosu bylo u

kombinace odrůdy Bezostaia a aplikace chlormequatu, oproti kontrolnímu vzorku měl ošetřený vzorek o 490 kg. ha⁻¹ vyšší výnos. Na výnos odrůdy Ariešan nejlépe zapůsobil taktéž chlormequat, výnos se po aplikaci zvýšil o 240 kg. ha⁻¹. Jediná odrůda, kde se výnos zvýšil po ošetření obou regulátorů, byla odrůda Apullum.

Výnos se zvýšil o 290 kg. ha⁻¹, když byl aplikován chlormequat, a o 210 kg. ha⁻¹, když byla rostlina ošetřena trinexepac-ethylem. Výsledky testování ukazují, že zvýšený LAI a počet klasů na m² po ošetření regulátorem růstu nejvíce přispěly ke zvýšení výnosu zrna (Varadi et al. 2020).

Dle Swoish a Steinke (2017) může ošetření trinexepac-ethylem zvýšit výnos pšenice, i když se u pěstovaných vzorků neprojeví poléhání. Výnos ošetřených rostlin byl vyšší o 400 kg. ha⁻¹ v roce 2012 a o 320 kg. ha⁻¹ v roce 2014 při aplikaci 0,8 l trinexepac-ethylu na hektar. Vyšší dávky regulátoru více snižovaly výšku rostlin, ale dále nezvyšovaly výnos zrna. Průměrně napříč všemi úrovněmi aplikací regulátoru se výnos zrna zvýšil o 5 % oproti neošetřeným vzorkům. Když byl trinexepac-ethyl namíchan s fungicidem nebo dusíkatým hnojivem, tak dávka 0,8 l. ha⁻¹ dosáhla ekonomického zisku ve třech ze čtyř testovaných letů. Pokud by byl regulátor aplikován samostatně místo tzv. tank-mixu, tak by zvýšené náklady na aplikaci zisk značně snížily (Swoish & Steinke 2017).

V roce 2017 byl testován nový způsob aplikace regulátorů růstu. Kombinace chlormequatu, trinexepac-ethylu a herbicidu s účinnou látkou chlorthalonil, která je velmi často používaná ve Velké Británii, nebyla aplikována v jednotné dávce, nýbrž v různých vysokých dávkách. Dávkové množství bylo určeno podle satelitních snímků indexu listové plochy, což je patrné z Obr. 4.

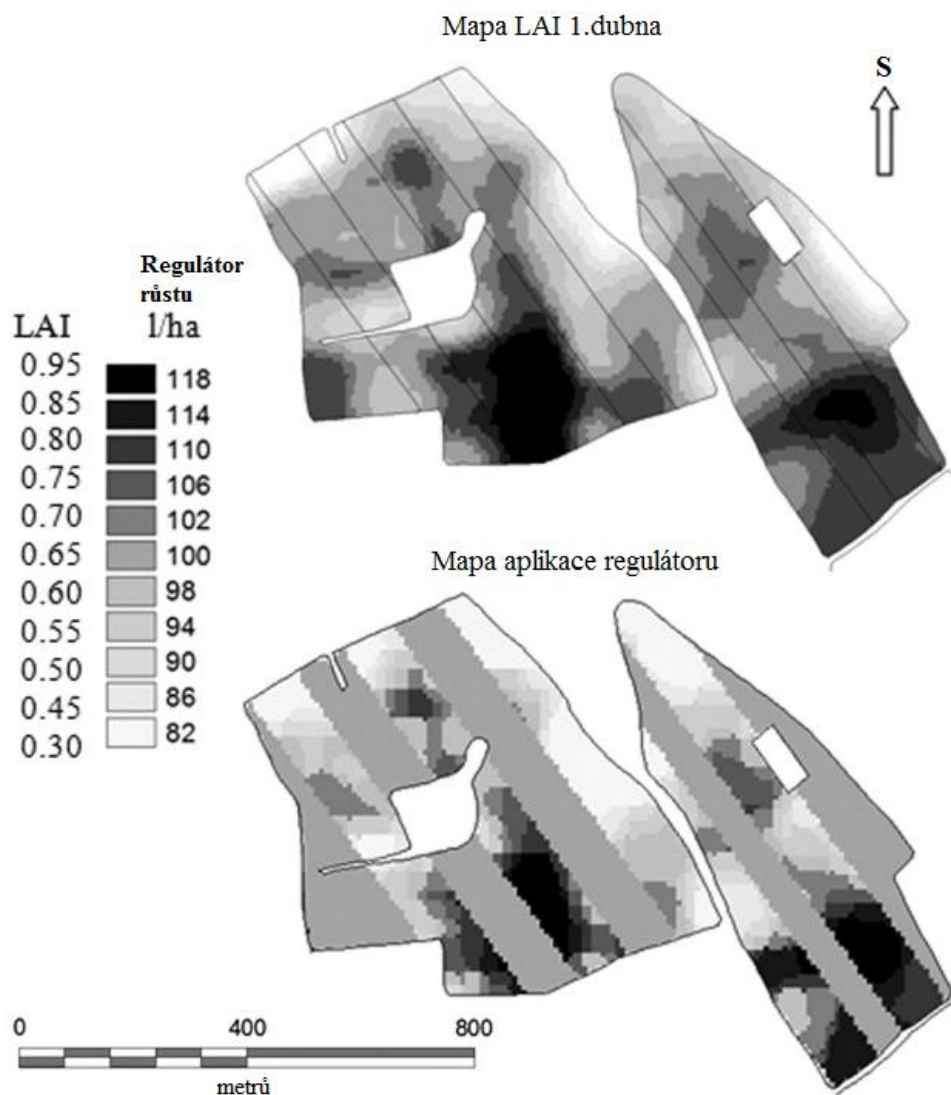
Rozmezí aplikovaných dávek se pohybovalo od 80 % do 120 % doporučené dávky. Výnosy vzorků ošetřených variabilními dávkami byly v průměru o 0,4 t. ha⁻¹ vyšší než výnosy z polí ošetřených jednotnou dávkou (Griffin & Hollis 2017).

Použití regulátorů růstu při pěstování pelyňku ročního (*Artemisia annua* L.) má ověřené zvýšení výnosu natě i listů. Na rostliny byly aplikovány přípravky triakontal a chlormequat. Rostliny ošetřené 1,0 nebo 1,5 mg. l⁻¹ triakontalu byly jednoznačně vyšší než neošetřené vzorky. Nižší koncentrace byly zanedbatelné. Aplikace 1500 a 2000 mg. l⁻¹ chlormequatu výrazně utlumila růst rostlin. Byly zjištěny rozdíly ve výnosech. Oba přípravky dokázaly zvýšit výnos natě i listů. U ošetřených vzorků se zvýšil i obsah artemisininu (Shukla et al. 1992).

Polní pokus v Indii dokázal pozitivní vliv fytohormonů na výnos hořčice sarepské (*Brassica juncea* L.). Testována byla listová aplikace auxinu, giberelinu a cytokininu 40 dnů po zasetí. Nejvyšší efektivitu měla aplikace giberelinu, která stimulovala růst nadzemní biomasy, zvyšovala počet narostlých listů, plochu listů a zvyšovala suchou hmotnost rostliny. Výsledek aplikace giberelinu ukázal zvýšený výnos semene, zvýšení olejnatosti semen o 33 až 50 % v porovnání s kontrolními vzorky šetřenými destilovanou vodou (Khan et al. 2002).

Exogenní ošetření regulátory růstu bylo testováno i na rostlinách rýže seté (*Oryza sativa*), pěstovaných ve vysokých teplotách. Během dvouletého pokusu byly ve sklenicích pěstovány rostliny rýže, na které byly aplikovány různé kombinace regulátorů růstu. Vybrané byly látky na bázi kyseliny askorbové, alpha tocopherolu, brassinosteroidů, methyl-jasmonátů a triazolů. Vysoké teploty zhoršovaly celkový vývoj rostlin, snižovaly listovou plochu, nadzemní i podzemní biomasu a činnost fotosyntézy. Ošetření regulátory růstu dokázalo tyto

efekty zmírnit. Nejvyššího výnosu dosáhly rostliny ošetřené kombinací všech zmíněných látek krom přípravku na bázi triazolu (Fahad et al. 2016).



Obr. 4 Mapa indexu listové plochy (LAI) k 1. dubnu a mapa dávkovaného množství regulátoru růstu (Griffin & Hollis 2017)

4 Metodika

V polním pokusu byl sledován vliv regulátorů růstu na utváření LAI a výši výnosu u rostlin pšenice seté.

4.1 Použitý rostlinný materiál

Osivo bylo získáno ze Zemědělského výzkumného ústavu v Kroměříži.

Etana

Etana je polopozdní odrůda kvalitní (A) jakosti. Rostlina má středně odnožující, středně vysoké, zrno středně velké. Předností je střední odolnost až odolnost proti vymrzání, stabilní číslo poklesu. Rizikem je menší odolnost proti napadení žlutou a hnědou rzivostí pšenice (rzí plevovou a pšeničnou) (ÚKZÚZ 2017). Je vhodná pro lehčí půdy, pozdní setí je možné, především po kukuřici (SAATEN-UNION 2021).

V3-94-18

Jedná se o šlechtitelský materiál Zemědělského výzkumného ústavu v Kroměříži. Uvedené novošlechtění se vyznačuje mnohořadým klasem schopným vytvářet větší počet klásků z nodů klasového větene.

V3-72-18

Jedná se o šlechtitelský materiál Zemědělského výzkumného ústavu v Kroměříži. Uvedené novošlechtění se vyznačuje s modrým aleuronem zrna podmíněným přítomností genu Ba2.

4.2 Použité regulátory růstu

Cleanstorm

Energen Cleanstorm obsahuje vysokou koncentraci rostlinných extraktů s podpurným fungicidním a baktericidním účinkem, látky stimulující růst, látky zvyšující přirozenou odolnost k suchu, látky zvyšující průnik účinných látek do listu. Dále obsahuje látky podporující příjem a zpracování dusíku rostlinami. Zvyšuje obsah paměťové látky na sucho o 300 % až 1300 %. Tím nejenom lépe připravuje rostlina na sucho, ale tato látka se také po srážkách rozkládá, uvolňuje energii a rychle regeneruje porosty. Razantním způsobem zlepšuje práci obou spekter barviv ve stresu ze sucha (chlorofyly i karotenoidy). Cleanstorm má vysoký účinek proti suchu, synergické účinky podpory práce s dusíkem a zvýšení prahu tolerance k houbovým onemocněním mají vysokou přidanou hodnotu. Je použitelný univerzálně do všech plodin, zlepšuje využití dodávané listové výživy a pesticidních postřiků (Energen 2021).

Energen 3D Plus

Tento regulátor růstu je určen k použití po celou vegetaci jako přírůdek k základní výživě, listové výživě, fungicidům, insekticidům, neselektivním herbicidům a akaricidům. Přirozeně zvyšuje odolnost rostlin k nepříznivým podmínkám. ENERGEN 3D PLUS má velmi silný adaptogenní účinek a umožňuje při pozdních aplikacích, v tankmixu s fungicidy nebo insekticidy, překonat porostu období přisušku. Aplikace zmíněného regulátoru zadrží v rostlinách po dobu 1,5 měsíce o 20 % více vody. Má dobrý smáčivý účinek, tudíž zlepšuje pokrývnost postřiků. Vytváří na listech film, který je odolný smyvu deštěm. Přijímá vláhu z ranní rosy a opakovaně dávkuje účinné látky do listů. Zvyšuje tak významně jejich příjem, což je důležité pro pomalu přijímanou výživu (Energen 2021).

Atlante Cu – Prolina

Tekuté hnojivo rychle vstřebávané listy a kořeny podporuje komplexní asimilaci a příjem Ca, B, Zn, Mo a K. L- α -prolin je esenciální aminokyselina, která se podílí na syntéze kolagenu, který podporuje tvorbu kořenového vlášení rostlin. Atlante Cu – Prolina je koncentrovaným zdrojem fosforu a draslíku, který zajišťuje lepší rašení a kvetení, podporuje velikost plodů, podporuje syntézu phytoalexinů. Pomáhá rostlinám obnovovat růst během sucha. Prolin se podílí na přenosu mezibuněčné informace. Měď se podílí na metabolismu sacharidů a bílkovin (Fertistav 2021).

Aminocat 30

Aminocat 30 je vysoce koncentrovaný tekutý stimulant růstu, doporučovaný pro rychlé zlepšení kondice a zvýšení rychlosti růstu rostlin. Dokonalý přírůdek pro jarní start po přezimování. Aminocat 30 obsahuje L-aminokyseliny (tzv. levotočivé) rostlinného původu, získávané enzymatickou hydrolyzou. Aminocat 30 je rychle a efektivně absorbován rostlinami. Je vhodný pro rychlou regeneraci rostliny po stresu: přízemní mrazíky, sucho, poruchy růstu po herbicidním ošetření, mechanická poškození (např. kroupy) a oslabení po přezimování (Fertistav 2021).

Fertileader 2M

Foliární hnojiva se stimulačním efektem Fertileader jsou určena především ke stimulaci metabolismu rostlin v dané vývojové fázi a na řešení různých deficitů (hlavně stopových prvků) ve výživě rostlin. Obsahují živiny vázané v aminokyselinovém komplexu. Rostliny snadněji přijímají živiny v takovéto formě, jelikož nedochází k elektrostatickému konfliktu na povrchu listů a rovněž velikost takovýchto molekul je malá, a tedy lehká přijatelná. K dalším významným složkám tekutých hnojiv Fertileader patří přírodní látky IPA (isopentenyladenin) a Glycin betain. IPA funguje jako dopravní nosič živin v rostlině a zároveň stimuluje fotosyntézu prodloužením životnosti molekul chlorofylu. Glycin betain působí jako antistresová látka zlepšující odolnost rostlin např. vůči suchu či nízkým teplotám (Agrokop 2021).

4.3 Založení pokusu

Na pokusných pozemcích ve Velkém Týnci u Olomouce byl založen maloparcelkový polní pokus. Velký Týnec se nachází v blízkosti Olomouce, zeměpisné souřadnice jsou:

Zeměpisné souřadnice: 49°33'7" s. š., 17°20'15" v. d.

Velikost pokusné parcely byla 2 m², při zachování 6 opakováních. Porost byl založen standardní agrotechnikou pro pšenici ozimou. V rámci vybraných vývojových fází byly aplikovány následující regulátory růstu: Cleanstorm, Energen 3D Plus, Atlante-Cu-Prolina, Aminocat 30 a Fertileader 2M. Termín jejich aplikace je uveden v Tab. 1.

varianta	Vývojových fáze aplikace a dávka				Charakteristika přípravku
	DC 30	DC 35	DC 37-39	DC 59	
1	-	-	-	-	
2	Cleanstorm 0,1	Cleanstorm 0,1	Cleanstorm 0,2	Cleanstorm 0,3	Volné aminokyseliny 12 %, spalitelné látky v suš. 50%
3	Energen 3D Plus 0,1	Energen 3D Plus 0,1	Energen 3D Plus 0,2	Energen 3D Plus 0,3	Volné aminokyseliny 13 %, spalitelné látky v suš. 50%
4	Atlante-Cu-Prolina 0,6	-	-	-	K ₂ O 20 %, P ₂ O ₅ 30 %, Cu 0,5 %, volné aminokyseliny (L-proline) 2 %
5	Aminocat 30 0,2	-	Aminocat 30 0,2	-	Volné aminokyseliny 30 %, celkový N 3 %, P ₂ O ₅ 1 %, K ₂ O 1 %
6	Fertileader 2M 2	-	-	-	Seactiv komplex, MgO 2 %, Mn 11,7 %

Tab.1 Schéma aplikace sledovaných přípravků a jejich stručná charakteristika

4.4 Klimaticko-pedologická charakteristika pokusného stanoviště

Půdním typem je černozem. Půdní reakce (6,3) byla, dle kritéria hodnocení půdní reakce, slabě kyselá. Obsah organické hmoty v půdě byl 1,82 % Cox. Poměr K:Mg 1,19. Obsah jednotlivých prvků je uveden v Tab. 2.

Prvek	Obsah v půdě (mg.kg ⁻¹)
P	95
K	250
Mg	210
Ca	2900
B	1,15
Cu	4,4
Fe	340
Mn	146

Tab. 2 Obsah prvků v půdě

Půda vybraného stanoviště měla dobrou zásobu půdního fosforu, draslíku i hořčíku (Hodnocení obsahu přístupného P,K a Mg dle Mehlicha III).

Průběh počasí

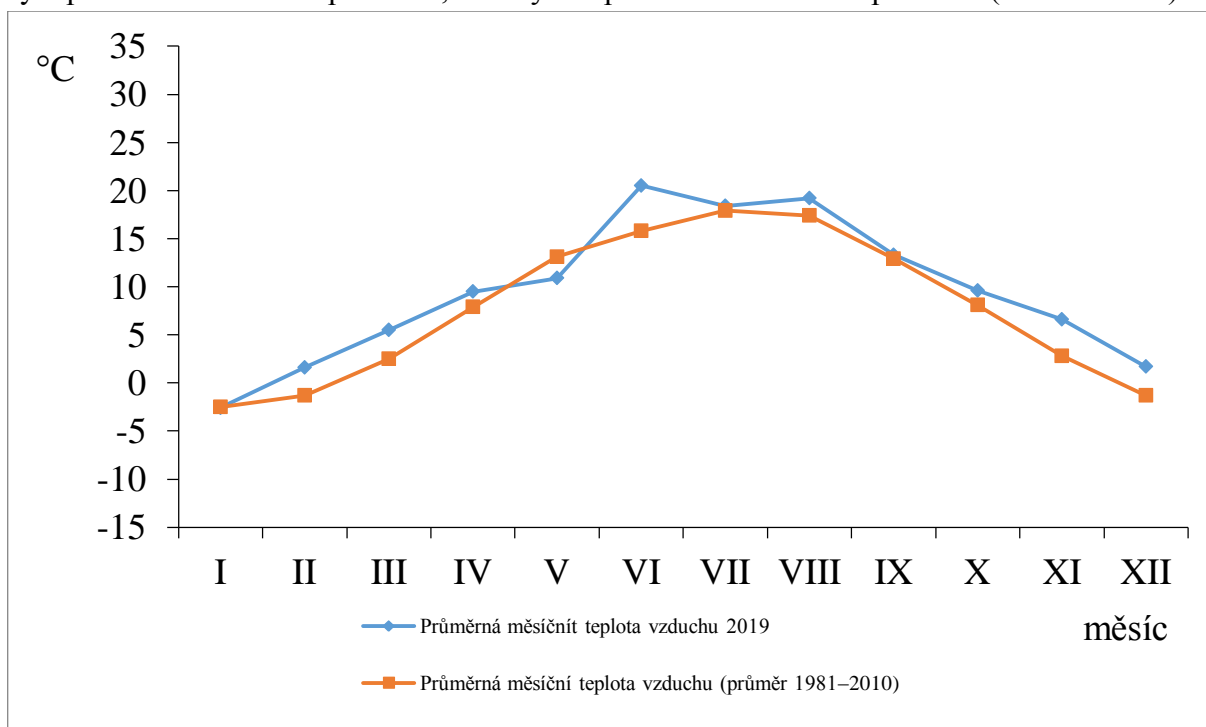
Pro hodnocení průběhu počasí byly použity data z meteorologické stanice ČHMÚ v Olomouci (<https://www.chmi.cz>). Průběh počasí je pro rok 2019, Průměrná měsíční teplota a srážky vzduchu ve srovnání s normálem **1981–2010**.

Základní informace o meteorologické stanici Olomouc:

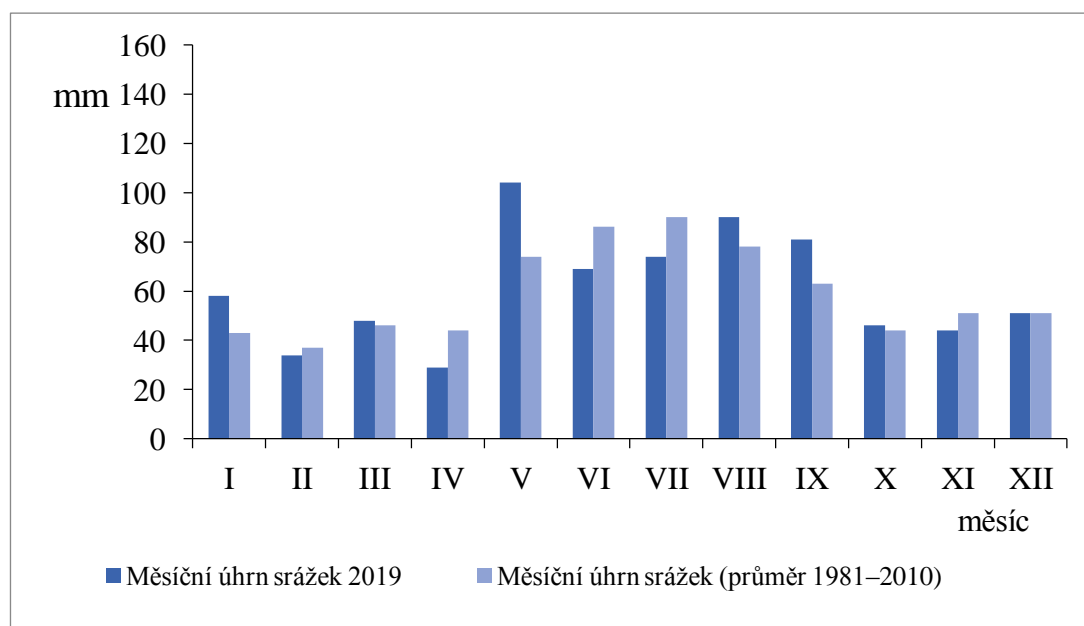
Zeměpisné souřadnice stanice: 49°34'33" s. š., 17°17'04" v. d.

Nadmořská výška stanice je 210 m n. m.

Z Obr. 5 je patrné, že rok 2019 byl oproti dlouhodobému normálu v průměru o 1,7 °C teplejší. Průměrná celoroční teplota byla 9,5 °C. Oproti dlouhodobému normálu byla průměrná měsíční teplota vzduchu nižší o 0,1 °C v lednu a o 2,2 °C nižší v květnu. Ostatní průměrné měsíční teploty byly oproti normálu vyšší. Nejvyšší odchylka od normálu byla v červnu, kdy byla průměrná měsíční teplota o 4,7 °C vyšší oproti dlouhodobému průměru (ČHMÚ 2019).



Obr. 5 Průběh průměrné měsíční teploty vzduchu ve srovnání s dlouhodobým normálem teploty 1981-2010 (ČHMÚ 2019).



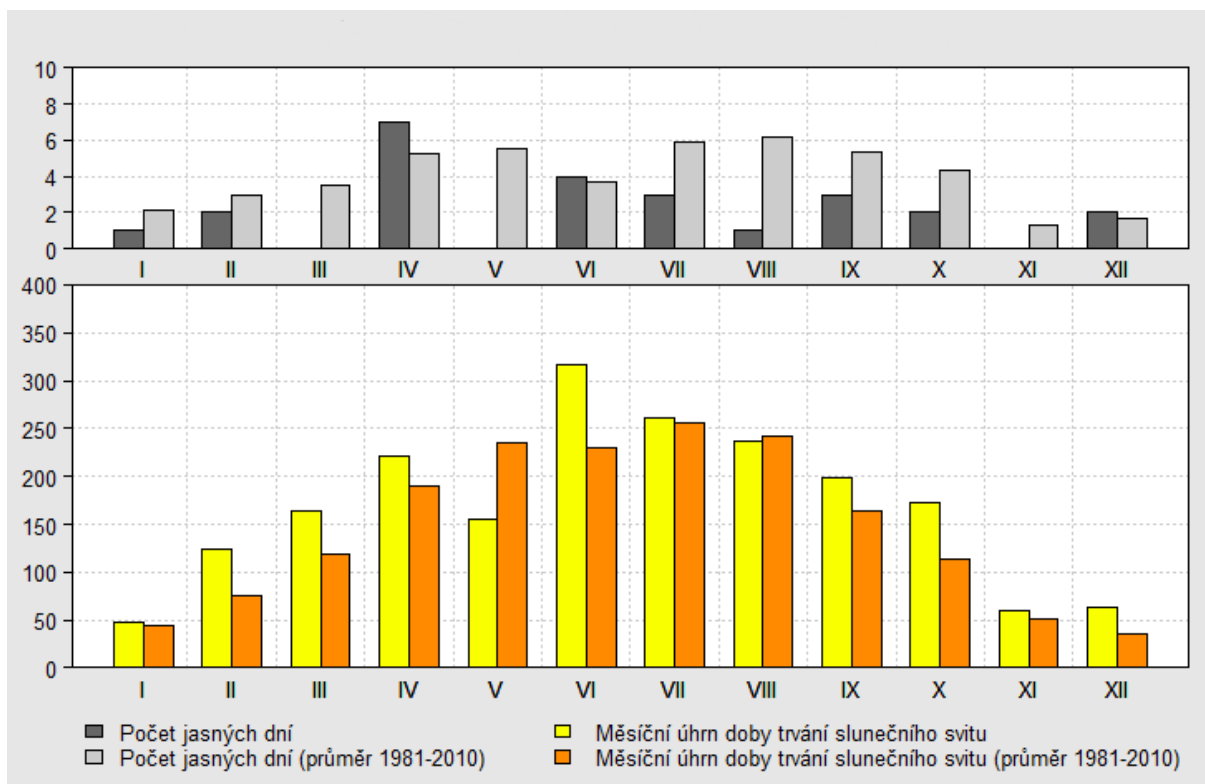
Obr. 6 Průběh měsíčního úhrnu srážek ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1981–2010 (ČHMÚ 2019).

Celkový úhrn srážek za rok 2019 byl 728 mm, což činí 103 % úhrnu srážek normálu 1981–2010. Úhrn za měsíce leden, březen, květen, srpen, září, říjen přesahoval úhrn dlouhodobého normálu 1981–2010, jak je viditelné na Obr.6. Nejvyšší přesah normálu napadl v květnu, kdy napadlo 141 % normálu 1981–2010. V měsících únor, duben, červen, červenec a listopad měly úhrny srážek hodnoty pod 100 % dlouhodobého průměru. V prosinci se měsíční úhrn srážek rovnal 100 % normálu (ČHMÚ 2019).



Obr. 7 Porovnání počtů dnů se srážkami alespoň 1 mm v roce s počtem dnů se srážkami alespoň 1 mm dlouhodobého průměru let 1981–2010 (ČHMÚ 2019).

Z Obr. 7 je zřejmé, že v roce 2019 byl počet dnů se srážkami alespoň 1 mm vyšší oproti dlouhodobému průměru pouze v lednu, květnu, září a říjnu. Dnů se srážkami alespoň 1 mm bylo méně, se dá předpokládat, že srážky více intenzivní, jelikož za rok 2019 spadlo 103 % úhrnu srážek normálu 1981–2010 (ČHMÚ 2019).



Obr. 8 Průběh měsíčních úhrnů doby trvání slunečního svitu a měsíčního počtu jasných dní ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1981–2010 (ČHMÚ 2019).

Dle Obr. 8 bylo v roce 2019 výrazně méně jasných dní oproti dlouhodobému průměru. Nicméně v roce 2019 ve všech měsících kromě května a srpna překročil měsíční úhrn trvání slunečního svitu hodnoty dlouhodobého průměru 1981–2010 (ČHMÚ 2019).

4.5 Měřené charakteristiky

Stanovení LAI

Měření LAI bylo prováděno pomocí polního analyzátoru SunScan Canopy Analysis System type SS1 (od firmy Delta-T Devices). LAI bylo měřeno v porostu pšenice ve výšce 20 cm od země (dále jako spodní poloha) a těsně nad porostem (dále jako horní poloha). Každá parcela s odlišnou odrudou byla měřena pětkrát, ve třech opakováních. SunScan poskytuje hodnotnou informaci o LAI a zároveň se využívá i na měření FAR ve vrcholu plodin. Přístroj je použitelný v jasných, zamračených i proměnlivých klimatických podmínkách. Je přenosný, odolný proti povětrnostním vlivům a napájený baterií.

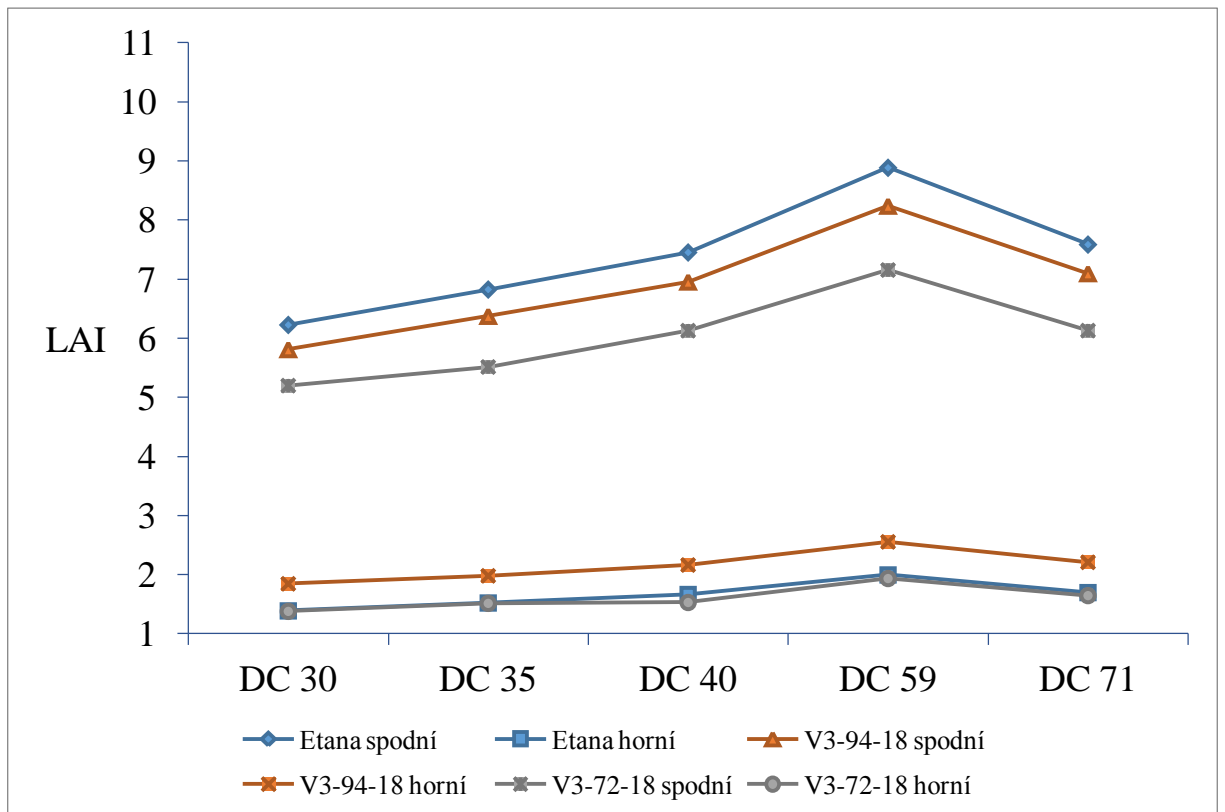
Měřicí zařízení je tvořeno 1 m dlouhou ruční sondou obsahující 64 rovnoměrně rozmístěných fotodiód, spojenou s kapesním počítačem, dále senzorem, který je při měření umístěn nad porostem a měří dopadající přímé a rozptýlené fotosynteticky aktivní záření (FAR). Počítač shromažďuje a analyzuje hodnoty ze sondy SunScanu. Naměřené hodnoty se ukládají do interní paměti, která udržuje více než 1 milion hodnot. Získaná data mohou být snadno přenesena do počítače.

Senzor Sunscanu měří i zároveň FAR v porostu. SunScan měří současně dopadající FAR o vlnové délce 400–700 nm nad porostem a pronikající FAR do porostu. Dopadající FAR se

měří pomocí fotodiod na senzoru Beam Fraction Sensoru (BFS). Jedna z fotodiod je vždy ve stínu. Toto umožňuje oddělení složek přímého a difúzního FAR, což je nezbytné pro výpočet LAI. Naměřené hodnoty FAR jsou v jednotkách kvantového toku $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Webb et al., 2008). SunScan nejprve zachytí dopadající přímé a rozptýlené FAR nad porostem, poté transmitované = procházející FAR do porostu pomocí senzoru BFS. Data ze SunScanu se převedou do počítače, který z těchto hodnot vypočte transmitovanou frakci a přes model habitu máku setého (canopy model) vypočte příslušné LAI.

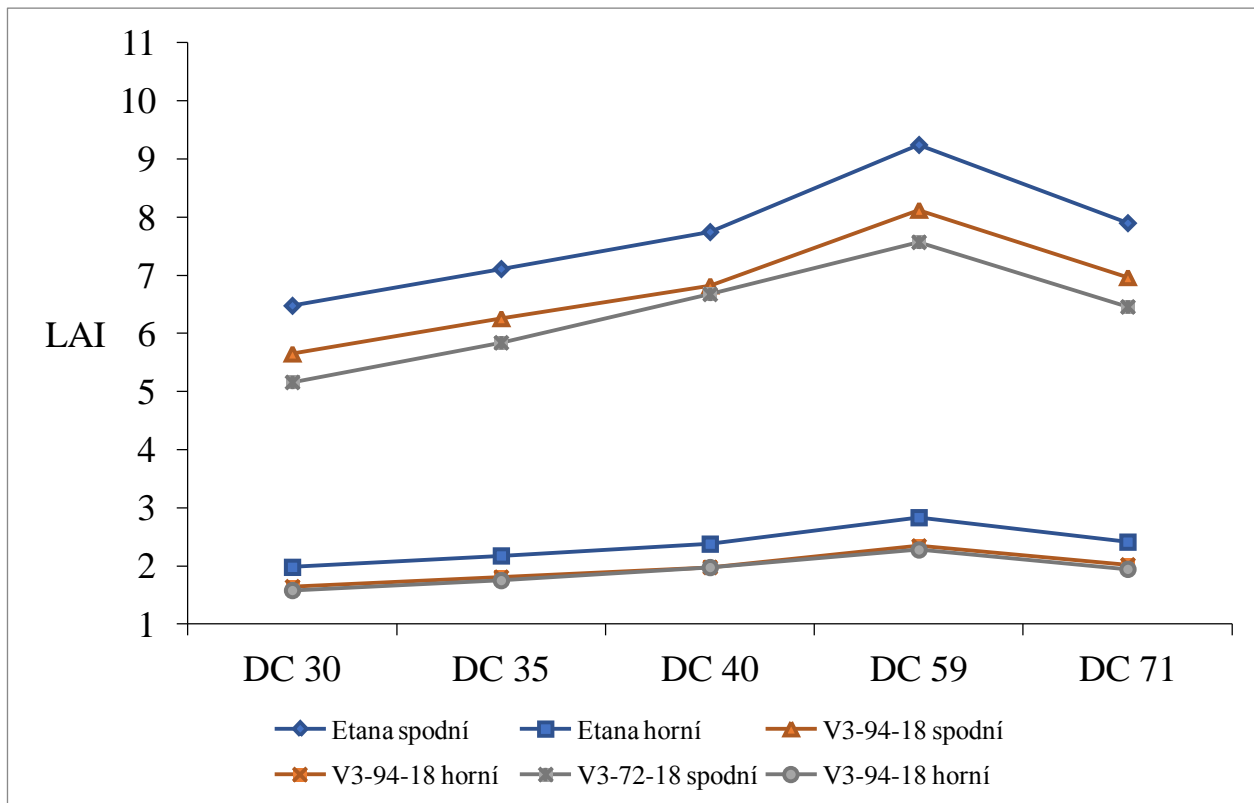
5 Výsledky

V hodnotách LAI u sledovaných odrůd pšenice v období od začátku sloupkování do začátku tvorby obilky byly zjištěny významné statistické diference. Příčinnou těchto rozdílů je především postupný vývoj a růst rostliny během ontogenetického vývoje a vliv aplikovaných regulátorů růstu. Hodnoty LAI u všech sledovaných genotypů se zvyšovaly od prvního měření během fáze začátku sloupkování (DC30) a nejvyšší pokrytí listovou plochou bylo naměřeno na konci fáze metání (DC 59). U posledního měření ve fázi začátku tvorby obilky (DC 71) hodnoty LAI se v rámci všech sledovaných genotypů snížily, tento pokles způsobilo postupné stárnutí listů.



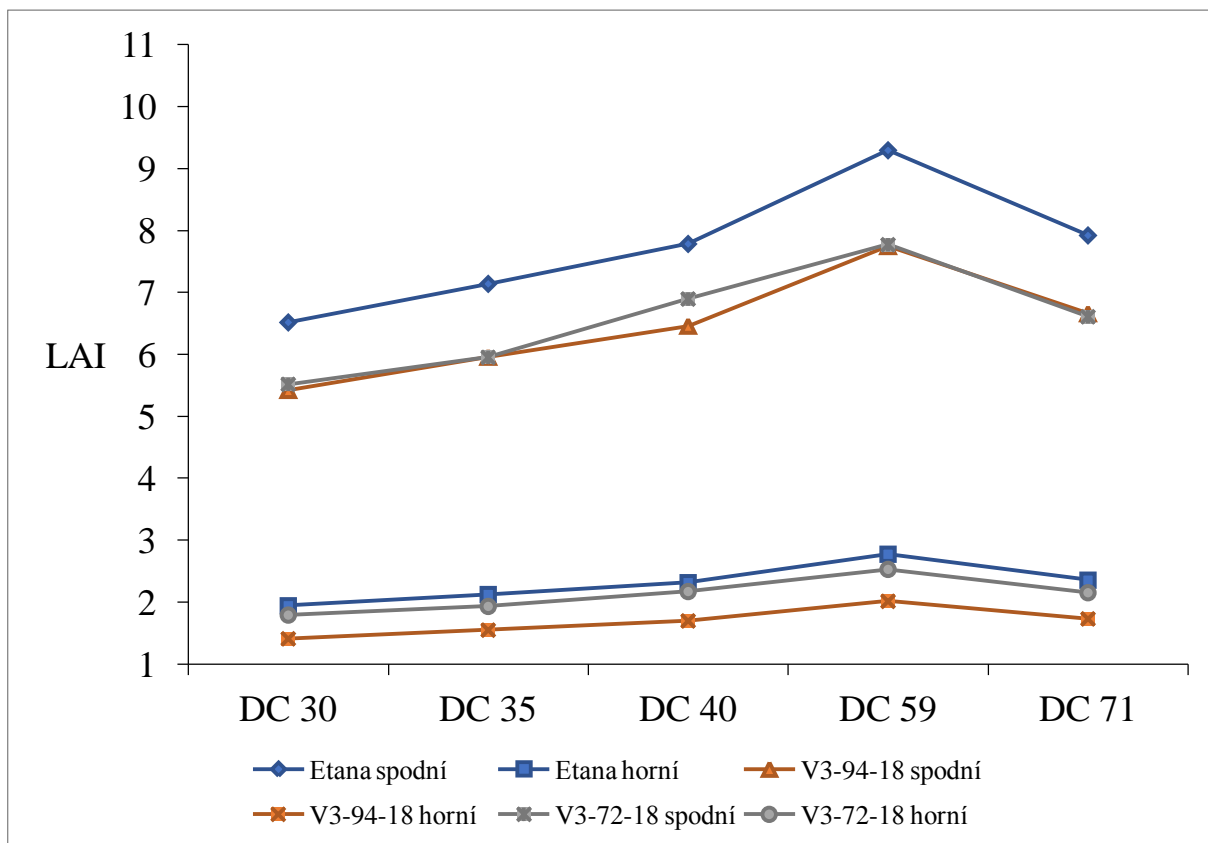
Obr. 9 Hodnoty spodní a horní polohy měření LAI – kontrolní vzorek.

Z Obr. 9 je patrné, že nejnižší hodnotu LAI po měření ve spodním patře měl šlechtitelský materiál V3-72-18, který měl při prvním měření LAI hodnotu 5,2. Nejvyšší LAI ve spodní poloze dosáhla odrůda Etana (8,8). Materiál V3-72-18 měl oproti spodnímu měření, kde měl průměrné hodnoty, v měření z horní polohy nejvyšší LAI - 2,5. Materiál V3-94-18 a odrůda Etana měly v horní poloze srovnatelně nižší hodnoty oproti materiálu V3-72-18. U těchto genotypů byly hodnoty LAI 1,3 až 1,9.



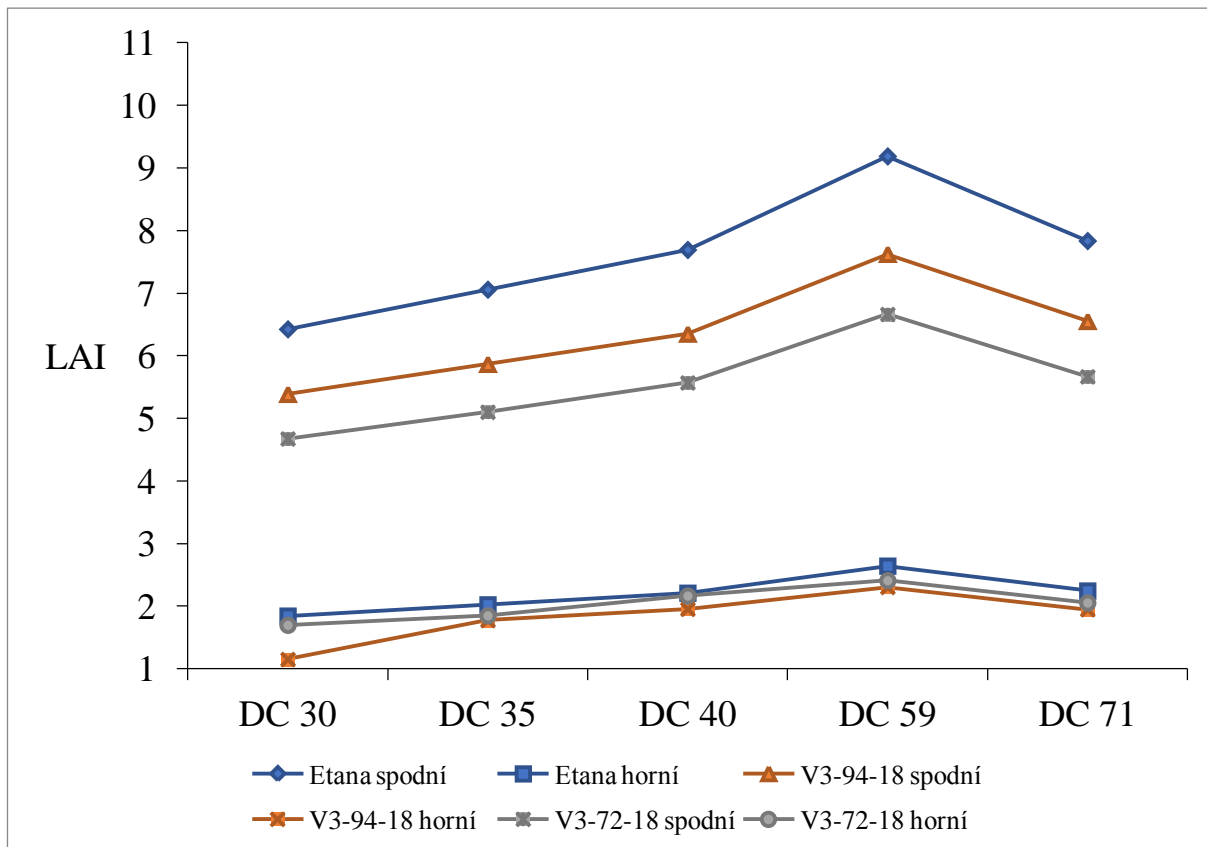
Obr. 10 Hodnoty spodní a horní polohy měření LAI – ošetření látkou Cleanstorm.

Podobně jako u kontrolních rostlin měla u spodního měření odrůda Etana LAI nejvyšší a materiál V3-72-18 nejnižší, jak je patrné z Obr. 10. Etana měla LAI ve výši 9,2 a V3-72-18 pouze 5,1. Vliv regulátoru tedy nebyl ve spodní části porostu patrný. Nicméně hodnoty LAI měřeny nad porostem byly oproti kontrolním rostlinám odlišné. Zde měla nejvyšší hodnoty LAI odrůda Etana (2,8). Hodnota LAI u šlechtitelského materiálu V3-94-18 se snížila na úroveň materiálu V3-72-18, tedy na hodnotu od 1,6 do 2,8.



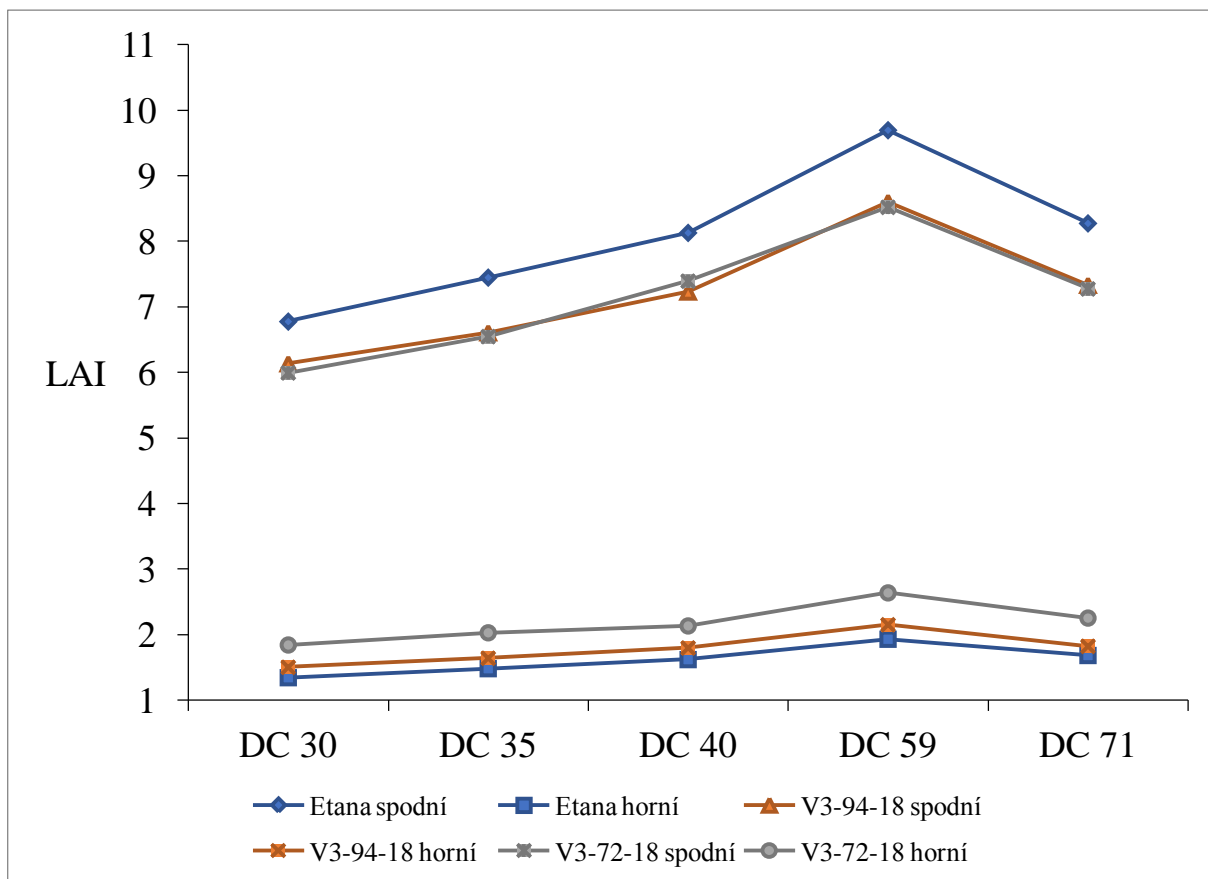
Obr. 11 Hodnoty spodní a horní polohy měření LAI – ošetření látkou Energen 3D Plus.

Shodně s Obr. 10, tak i z Obr. 11 vyplývá, že ve spodní poloze měření měla nejvyšší hodnoty Etana, kdy maximální hodnota LAI byla 9,2. Tato odrůda měla nejvyšší hodnoty i v horním patře měření (2,7). Avšak mezi velikostí LAI u genotypů V3-94-18 a V3-72-18 byly nalezeny rozdíly. Uvedené genotypy reagovaly na aplikaci příslušného regulátoru růstu odlišně. V případě genotypu V3-72-18 se hodnota LAI po aplikaci Energen 3D Plus zvýšila v porovnání s kontrolní odrůdou v průměru o 0,5 na hodnoty 7,7(spodní) 2,5(horní). Oproti tomu u šlechtitelského materiálu V3-94-18 se hodnoty LAI snížily. Toto snížení představovalo 0,4 ve spodním i horním patře. V tomto případě byly hodnoty LAI ve výši 7,7 pro spodní patro a 2,0 horní patro.



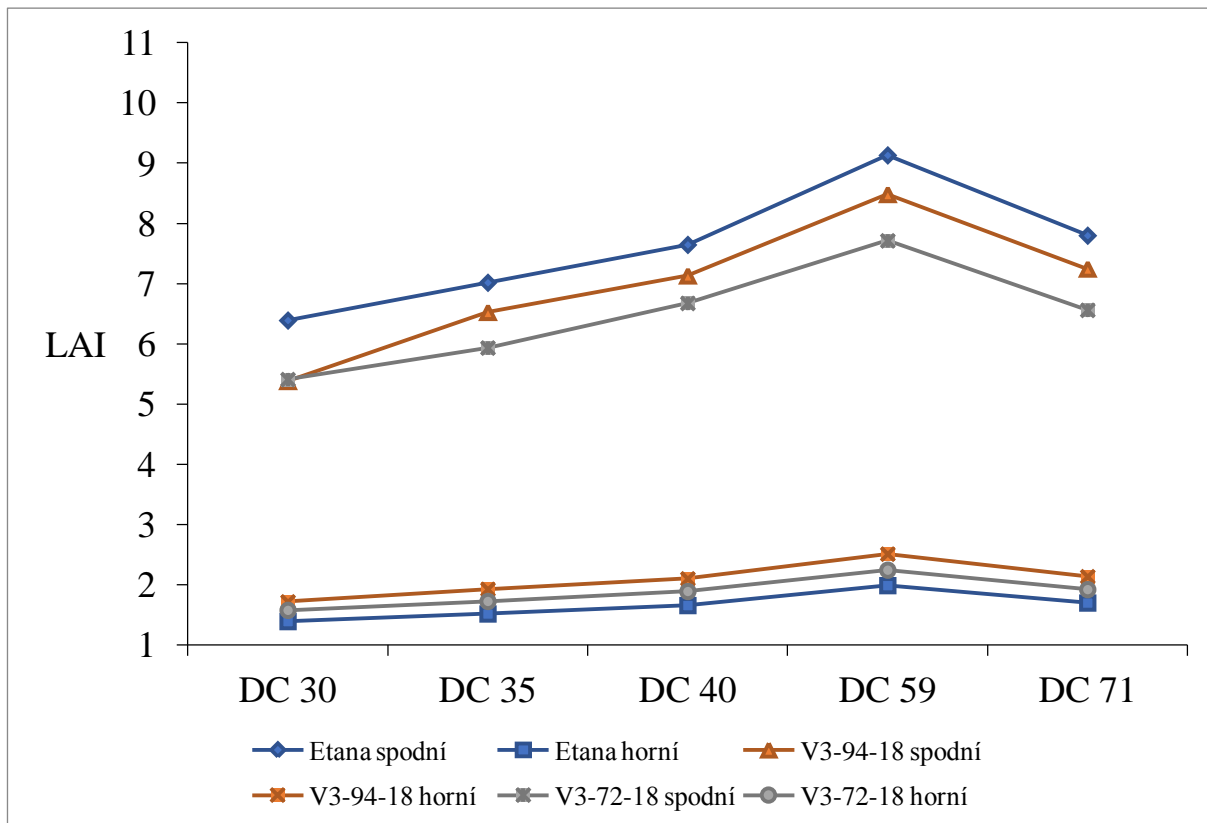
Obr. 12 Hodnoty spodní a horní polohy měření LAI - ošetření látkou Atlante Cu Cu – Prolina.

Hodnoty LAI odrůdy Etana měřené ve spodní části porostu, viz Obr. 12, jsou obdobné jako v případě kontrolních rostlin. Nejvýraznější změna LAI měřeného ve spodní části porostu byla u materiálu V3-72-18, který měl oproti kontrolnímu vzorku znatelně nižší hodnoty. LAI tohoto zmíněného materiálu bylo od 4,6 (DC 30) až do 6,6 (DC 59). U kontrolních rostlin měl tento materiál hodnoty od 5,2 až do 7,1. Je zřejmé, že tento pokles mohl být způsoben přípravkem Atlante Cu – Prolina. U měření v horní části porostu mají všechny tři pěstované pšenice podobné hodnoty, znovu měla nejvyšší hodnotu Etana (2,64) a nejnižší V3-94-18 (1,6).



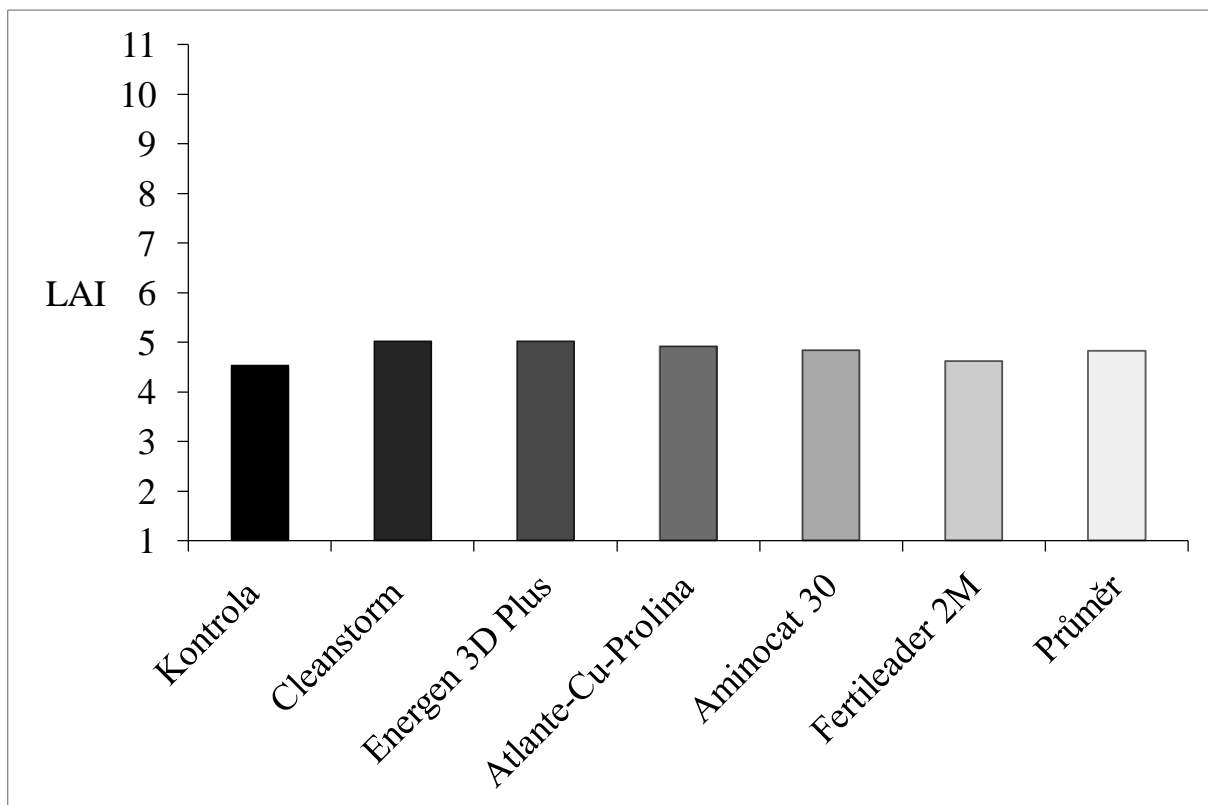
Obr. 13 Hodnoty spodní a horní polohy měření LAI – ošetření látkou Aminocat 30.

Dle Obr. 13 odrůda Etana ve spodní části porostu dosáhla nejvyšších hodnot LAI (9,6), úroveň obou šlechtitelských materiálů byly srovnatelné, nicméně V3-72-18 měl nižší LAI kromě měření v začátku fáze prodlužování pochvy praporcového listu (7,3), kdy měl nižší úroveň LAI V3-94-18 (7,2). V horní části porostu byly naměřeny hodnoty LAI v rozpětí hodnot od 1,3 (Etana) do 2,6 (V3-72-18). Hodnota LAI ve výši 2,64 byla nejvyšší a byla naměřena u materiálu V3-72-18, v porovnání s kontrolou se jedná o 36% zvýšení. Nejnižší hodnoty byly zaznamenány u odrůdy Etana (hodnota), což odpovídá hodnotám LAI kontrolních rostlin.



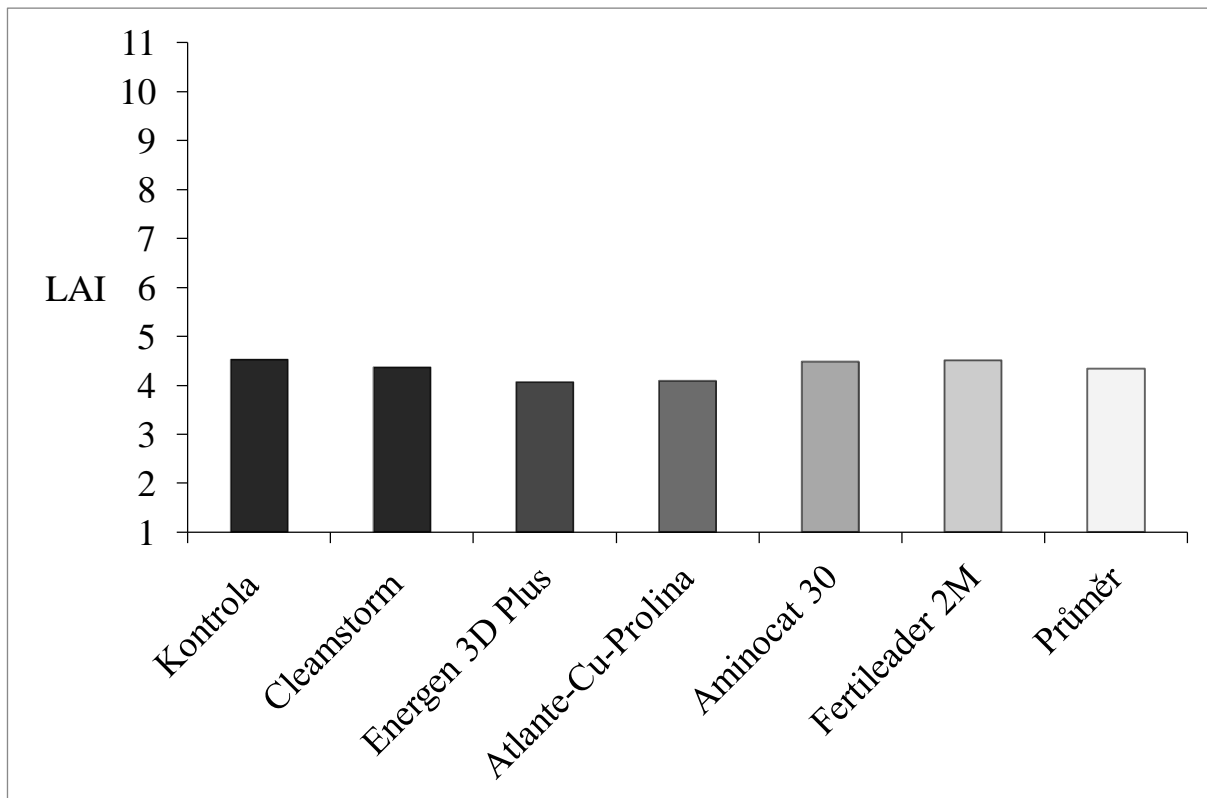
Obr. 14 Hodnoty spodní a horní polohy měření LAI – ošetření látkou Fertileader 2M.

Na Obr. 14 jsou uvedeny hodnoty LAI měřené ve spodní části porostu. Až na první naměřenou hodnotu materiálu V3-94-18, kdy byla naměřena hodnota LAI ve výši 5,3 . V ostatních případech byly hodnoty LAI shodné s neošetřenou kontrolou. V porovnání s kontrolou se hodnota LAI zjištěná v horní části porostu po aplikaci zvýšila pouze u materiálu V3-72-18, u něhož se LAI zvýšilo o 16 % až na úroveň 2,2. U ostatních genotypů bylo zaznamenáno.....



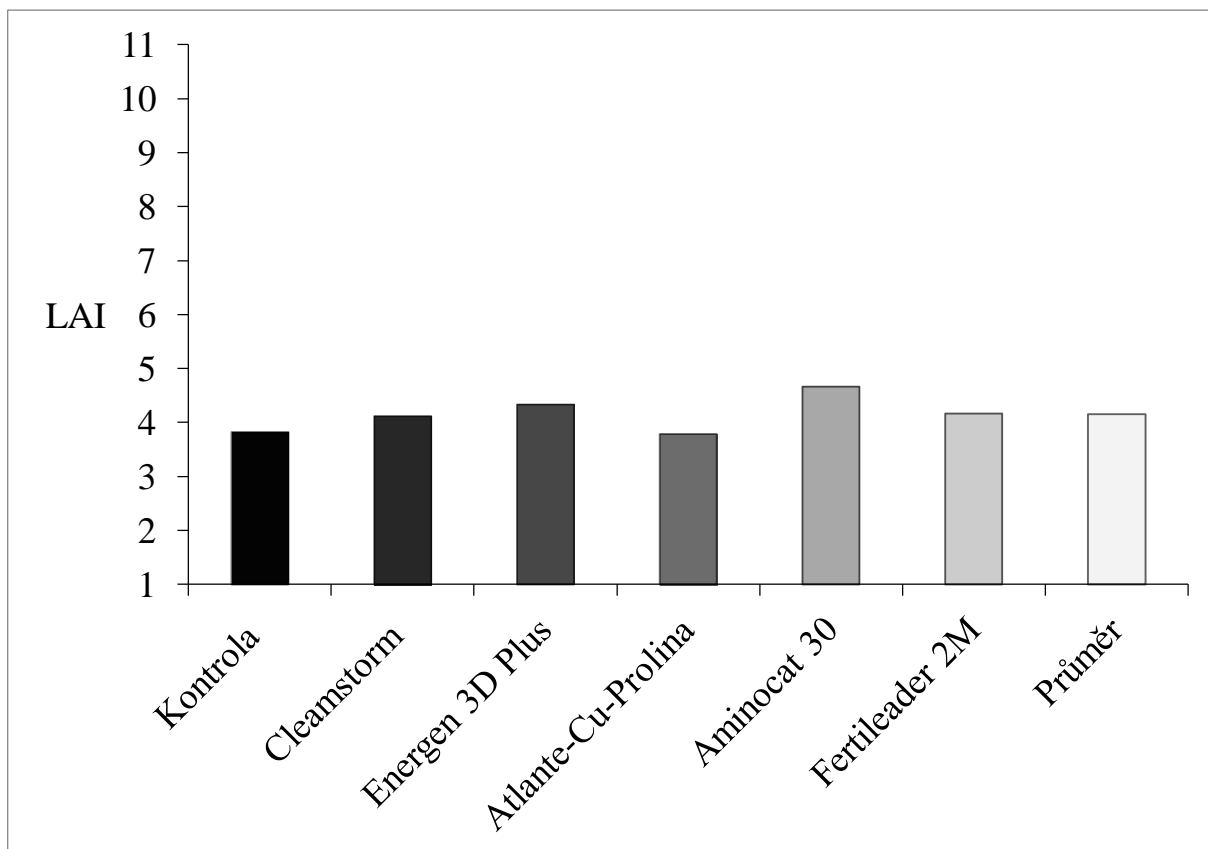
Obr. 15 Průměrné hodnoty LAI u vzorků odrůdy Etana.

Uvedené regulátory růstu měly pozitivní vliv na LAI u odrůdy Etana, jak je patrné z Obr. 15. Nejnižší průměrnou hodnotu LAI měl kontrolní porost bez ošetření (4,52) a naopak nejvyšší průměrné hodnoty LAI byly dosaženy v porostech ošetřených přípravky Cleanstorm (5,02) a Energen 3D plus (5,01). Celkový průměr hodnot LAI u odrůdy Etana byl 4,8.



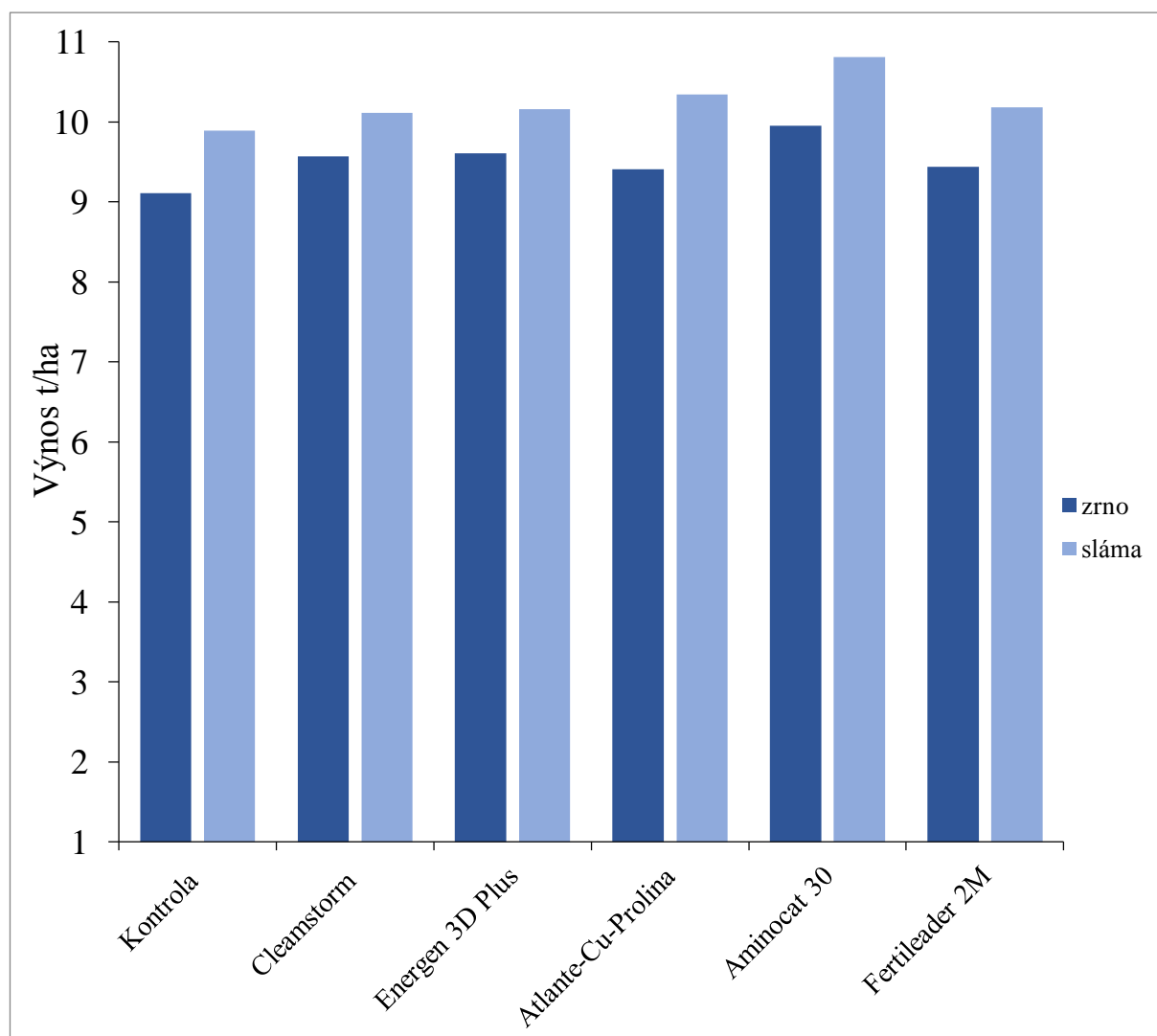
Obr. 16 Průměrné hodnoty LAI u vzorků šlechtitelského materiálu V3-94-18.

Všechna ošetření regulátory růstu snížily průměrné hodnoty LAI v porostech šlechtitelského materiálu V3-94-18. Z Obr. 16 je patrné, že nejvyšší průměrnou hodnotu 4,52 měl porost kontrolní. Nejnižší LAI byla v průměru naměřena po aplikaci přípravku Energen 3D Plus, kdy hodnota LAI byla 4,06. Druhou nejnižší hodnotu LAI 4,09 měly rostliny ošetřené regulátorem Atlante Cu – Prolina. Celkový průměr hodnot LAI šlechtitelského materiálu V3-94-18 byl 4,3.



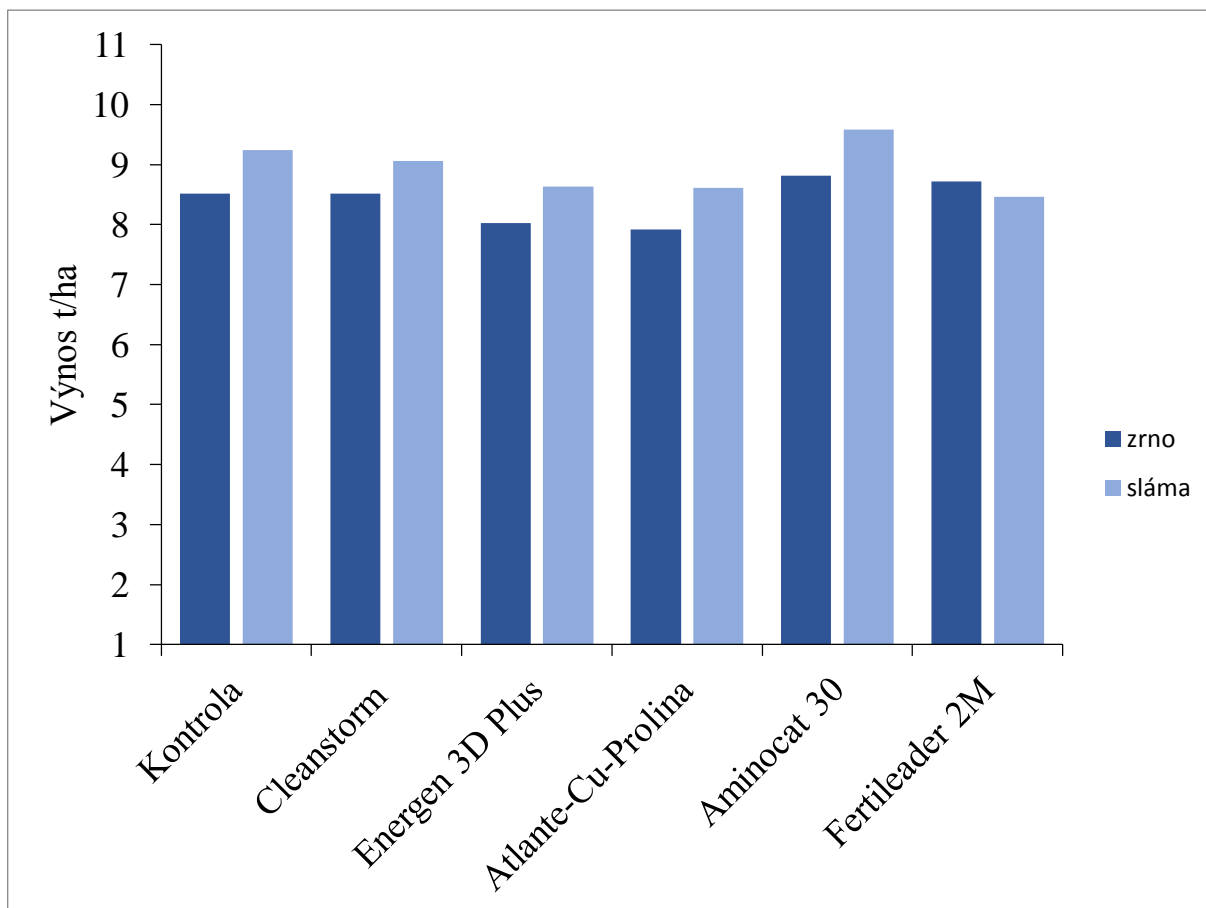
Obr. 17 Průměrné hodnoty LAI u vzorků šlechtitelského materiálu V3-72-18.

Kontrolní rostliny genotypu V3-72-18 vykazovaly v porovnání s předcházejícími genotypy nižší hodnoty LAI (3,81), jak je patrné z Obr. 17. Uvedený genotyp reagoval na aplikaci regulátorů růstu zvýšením hodnoty LAI, neboť u regulátoru růstu Aminocat 30, byla hodnota LAI 4,66. Výjimka byla zjištěna u porostu ošetřeného přípravkem Atlante Cu – Prolina, kdy byla hodnota LAI 3,78. Celková průměrná hodnota LAI genotypu V3-72-18 činila 4,1.



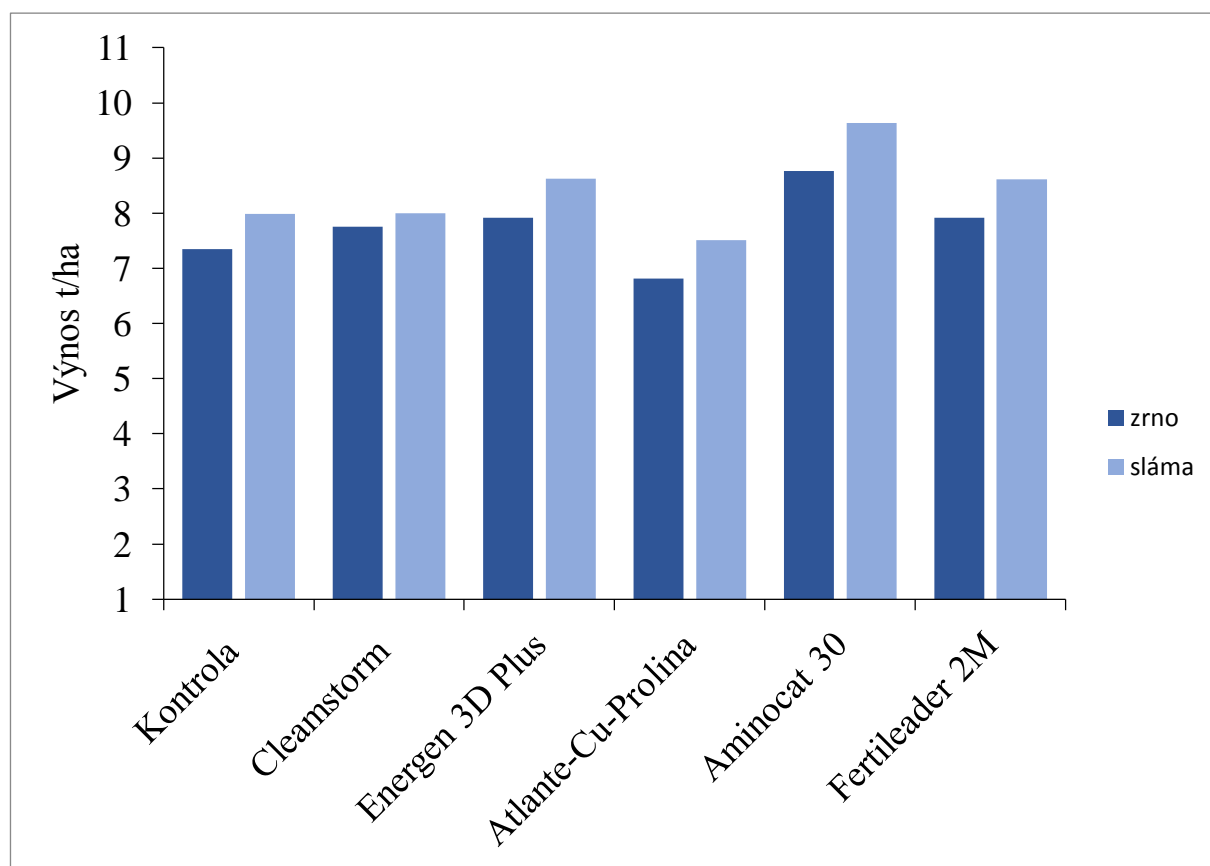
Obr. 18 Výnos zrna a slámy odrůdy Etana.

U sledované odrůdy Etana byl potvrzený účinek aplikace regulátorů růstu na výnos zrna i slámy pšenice, jak dokládá Obr. 18. Z něho je patrné, že nejnižší výnos měly kontrolní rostliny, kdy výnos činil $9,11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ pro zrno a $9,89 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ pro slámu. V případě aplikace stimulatorů růstu je možné konstatovat, že se po jejich aplikaci výnos zvýšil. Nejvyšší výnos zrna i slámy u odrůdy Etana měla parcela ošetřená přípravkem Aminocat 30, výnos zrna činil $9,95 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a výnos slámy $10,81 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.



Obr. 19 Výnos zrna a slámy šlechtitelského materiálu V3-94-18.

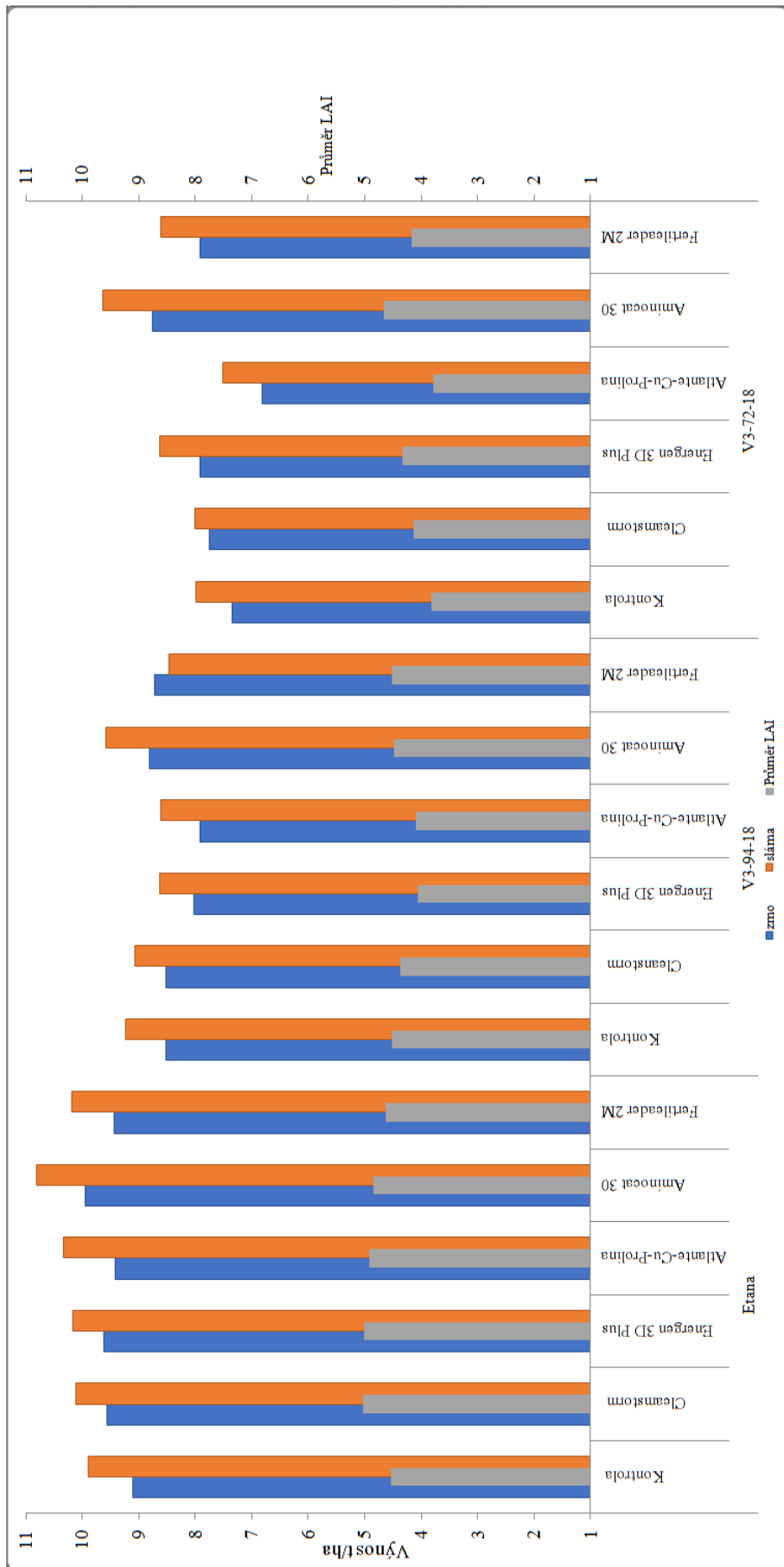
V Obr. 19 je uveden vliv regulátorů růstu na výnos zrna i slámy u šlechtitelského materiálu V3-94-18. Výnos kontrolních rostlin byl $8,52 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a výnos slámy činil $9,24 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Aplikace přípravku Cleanstorm neměla vliv na výnos zrna, výnos slámy byl snížen o $220 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ošetření regulátory Energen 3D Plus a Atlante Cu – Prolina snížilo jak výnosy zrna, tak i výnosy slámy. Oproti tomu přípravky Aminocat 30 a Fertileader 2M zvýšily výnosy zrna i slámy. V případě přípravku Aminocat 30 se zvýšil výnos zrna oproti kontrole o $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a o $340 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ u slámy. Všechny vzorky kromě ošetřeného Fertileaderem 2M měly výnos slámy vyšší než výnos zrna.



Obr. 20 Výnos zrna a slámy šlechtitelského materiálu V3-72-18.

Ve většině případů byl zjištěn pozitivní vliv regulátorů na výnos pšenice, jak dokumentuje Obr. 20. Rostliny ošetřené přípravky Cleanstorm, Energen 3D Plus, Aminocat 30 a Fertileader 2M zvýšily výnos zrna a slámy ve srovnání s kontrolními neošetřenými rostlinami. V případě kontrolních rostlin byl výnos zrna $7,35 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a slámy $7,99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Pouze aplikace Atlante Cu – Prolina snížila výnos porostu. Výnos zrna po ošetření tímto přípravkem byl $6,81 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a u slámy $7,51 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nejvyšší výnos ze všech variant vykazoval genotyp V3-72-18 ošetřený přípravkem Aminocat 30. V tomto případě výnos zrna byl ve výši $8,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a slámy $9,63 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.



Obr. 21 Porovnání hodnot výnosu zrna a slámy s průměrem LAI

Na uvedeném Obr. 21 se nacházejí hodnoty výsledných výnosů zrna i slámy veškerých testovaných variant a průměrná hodnota LAI pro danou variantu. V rámci odrůdy Etana dosáhla nejvyššího výnos zrna ($9,95 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) i slámy ($10,81 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) varianta ošetřená přípravkem Aminocat 30. Nejvyšší průměrnou hodnotu LAI (5,02) má v rámci Etany varianta s aplikovaným regulátorem Cleanstorm.

U šlechtitelského materiálu V3-94-18 dosáhly nejvyššího výnosu zrna ($8,82 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) i nejvyššího výnosu slámy ($9,58 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) opět rostliny ošetřené látkou Aminocat 30. Nejvyšší průměr LAI (4,52) měla kontrolní neošetřená varianta.

Z testovaných variant šlechtitelského materiálu V3-72-18 měla nejvyšší hodnotu výnosu zrna ($8,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), zároveň nejvyšší výnos slámy ($9,63 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) i nejvyšší průměr LAI (4,66).

Ze všech variant vzorků dosáhl obou nejvyšších výnosů vzorek odrůdy Etana s aplikovaným přípravkem Aminocat 30, výnos zrna činil $9,95 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, výnos slámy činil $10,81 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nejvyšší průměrnou hodnotu indexu listové plochy měla varianta odrůdy Etana ošetřená regulátorem Cleanstorm.

6 Diskuze

LAI

Index listové plochy je definován jako pokryv listoví na jednotku plochy. LAI je jedna v hlavních proměnných v charakteristice struktury porostu. Index listové plochy ovlivňuje mnoho biologických a fyzikálních procesů, jako např.: fotosyntézu, dýchání, transpirace a zachytávání světla a srážek (Zhu et al. 2018). Dálkové snímání LAI je hojně využívané při odhadování předpokládaného výnosu (Fang et al. 2019).

Průměrná hodnota LAI odrůd pšenice ozimé byla 4,43 v měřeném období od fáze začátku sloupkování (DC30) do fáze začátku tvorby obilky (DC 71). Tripathi et al. (2016) uvádějí, že by se maximální naměřené hodnoty LAI ozimé pšenice od 3,5 do 5,2 a hodnota LAI jarního ječmene by se měla pohybovat v intervalu od 3,1 do 4,4. Hodnota LAI porostu ovsa by měla být od 3,3 do 4,7 (Ahmad et al. 2012). Jůzl a Štefl (2018) uvádějí nejvyšší hodnoty indexu listové plochy porostu brambor od 3,95 do 5,71. Pokud na porost působí neobvyklé počasí, není samotný vztah mezi výnosem a LAI vhodný a musí být doplněn o další agrometeorologické údaje, jako např.: teplota, evapotranspirace a záření (Fang et al. 2019).

Gebbers et al. (2011) konstatují, že nejvyšší hodnota LAI u řepky olejné byla 9,1. Dále uvádějí maximální LAI u ozimé pšenice, která dosahovala výše 7,9. Porost ozimého žita se může pohybovat od 1,9 do 4. Nejvyšší naměřené hodnoty LAI v porostu kukuřice seté byly od 5 až 7. Sója luštinatá dosahovala hodnot od 6,5 do 7 (Kross et al. 2015). Ijaz et al. (2015) uvádí nejvyšší naměřenou hodnotu LAI u řepky 7,29. Uvedená hodnota byla měřena na začátku kvetení, u následujících hodnot byl zaznamenán pokles hodnoty LAI.

Hodnota LAI u všech odrůd pšenice v prezentovaném pokusu se začala snižovat po měření na konci fáze metání, tento pokles způsobilo postupné stárnutí listů.

Oproti kontrolnímu (neošetřenému) stanovišti měly parcely ozimé pšenice ošetřené regulátory zvýšené hodnoty LAI. Tuto tezi potvrzují Varadi et al. (2020), v jejichž pokusu aplikace růstových regulátorů zvýšila u odrůdy Bezostaia index listové plochy a počet klasů na m^2 . S tvrzením souhlasí i Anosheh et al. (2012), kteří pozorovali zvýšení hodnot LAI v suchem zasaženém porostu pšenice po aplikaci kyseliny salicylové. Naměřené hodnoty v

porostu kajanu indického ukazují, že aplikace kyseliny salicylové, 6-benzylaminopurinu i kombinovaného přípravku Pulse Magic zvýší LAI oproti kontrolnímu neošetřenému vzorku. Kontrolní vzorek měl hodnotu LAI 1,24 a nejvyšší LAI byl naměřen po aplikaci Pulse Magic, kombinovaného hnojiva a růstového regulátoru. Hodnota LAI zmíněného porostu dosáhla 1,8 (Avinash et al. 2020). Dle Varadi et al. (2020) je vliv regulátoru na zvýšení LAI závislý na vybrané odrůdě a regulátoru. Odrůdě Bezostaia se index listové plochy zvýšil jak po aplikaci chlormequatu, tak i po aplikaci trinexepac-ethylu. U odrůda Ariešan se LAI se zvýšil pouze použitím chlormequatu. Odrůdě Apullum se hodnota LAI zvýšila po ošetření trinexepac-ethylem.

Anosheh a Emam (2012) tvrdí, že aplikace Cycocelu nebo i kyseliny salicylové mohou tyto negativní účinky zmírnit. Oproti neošetřeným rostlinám dosáhly ošetřené porosty o 9 % vyšší hodnoty LAI. Regulátory růstu mohou napomáhat i proti poškození porostu nízkými teplotami. U hybridní odrůdy kukuřice vyseté na podzim se aplikací regulátorů růstu podařilo navýšit hodnoty LAI, obsahu sušiny i výnosu zrna (Waqas et al. 2017).

Výnos

Zvýšení hodnoty výnosu je výrazně závislé na jednotlivých interakcích odrůd (šlechtitelského materiálu) a aplikovaného regulátoru.

Odrůda Etana měla po aplikaci všech vybraných regulátorů vyšší výnos zrna i slámy oproti neošetřenému vzorku.

Šlechtitelský materiál V3-94-18 citlivě reagoval na jednotlivé regulátory. Porosty ošetřené látkou Cleanstorm, Energen 3D Plus a Atlante Cu – Prolina měly buď stejný, nebo nižší výnos jako kontrolní vzorek. Oproti tomu přípravky Aminocat 30 a Fertileader 2M zvýšily výnosy zrna i slámy.

U šlechtitelského materiálu V3-72-18 byl u většiny aplikací regulátorů účinek na výnos pozitivní. Pouze přípravek Atlante Cu – Prolina způsobil snížení výnosu oproti kontrole.

Doporučený postup použití některých druhů regulátorů růstu pro zvýšení výnosů je při kombinaci hormonů s dusíkatými hnojivy. Například společná aplikace giberelinů s dusíkatými hnojivy může zvýšit výtěžek suché biomasy z píce na pastvinách (Zaman et al. 2014). Nejvyšší nárůst výnosu dokázala aplikace ethephonu na odrůdě Serra, kdy vzorek ošetřený ethephonem měl výnos o 1,2 t.ha⁻¹ vyšší než neošetřený vzorek (Webster & Jackson 1993).

Pozitivní účinek ethephonu na výnos zrna pšenice v pokusu s odrůdami náchylnými na poléhání potvrzují Webster a Jackson (1993). V případech, kdy ethephon nedokázal zamezit poléhání, dokázal oddálit polehnutí na pozdější fázi vývoje.

Výnosový potenciál pšenice se totiž snižuje o 1 % za každý den od polehnutí do sklizně (Stapper & Fischer 1990).

Výsledky studie Qin et al. (2020) nicméně ukazují, že účinky aplikace chlormequatu a trinexepac-ethylu na porost pšenice neměly vliv na výnos. Regulátory byly aplikovány na odrůdy ORCH-102 a SY Ovation ve fázi odnožování, začátku sloupkování nebo objevení poslední listu. Všechny vzorky byly dostatečně hnojené dusíkem. Autoři konstatují, že to mohl být důsledek absence poléhání u jakékoliv varianty během pokusu (Qin et al. 2020).

Knott et al. (2016) uvádí, že výsledky testování kombinace různých dávek dusíku a aplikace trinexepac-ethylu vedly k závěru, že ošetření regulátorem růstu navýšilo počet klásků v klasu,

ale nebyl prokázán přímý vliv regulátoru na výnos zrna. Výnos vybraných odrůd se zvyšoval pouze se zvyšujícími se dávkami dusíku. Dle Varadi et al. (2020) jsou účinky regulátorů znatelné, pokud se u poléhavých odrůd pšenice naskytnou podmínky pro polehání. Byl testován vliv přípravků chlormequatu a trinexepac-ethylu na vybrané odrůdy. Nejznačnější zvýšení výnosu bylo u kombinace odrůdy Bezostaia a aplikace chlormequatu, oproti kontrolním rostlinám měly ty ošetřené o 490 kg. ha⁻¹ vyšší výnos. Výsledky testování ukazují, že zvýšený LAI a počet klasů na m² po ošetření regulátorem růstu nejvíce přispěly ke zvýšení výnosu zrna (Varadi et al. 2020). Dle Swoish a Steinke (2017) může ošetření trinexepac-ethylem zvýšit výnos pšenice, i když se u pěstovaných vzorků neprojeví polehání. Výnos ošetřených rostlin byl vyšší o 400 kg.ha⁻¹ v roce 2012 a o 320 kg.ha⁻¹ v roce 2014 při aplikaci 0,8 l trinexepac-ethylu na hektar (Swoish & Steinke 2017).

Mezi uvedenými výnosy a průměrem LAI lze pozorovat určitou spojitost, nicméně ne zcela přímou. V rámci odrůdy Etana dosáhla nejvyššího výnos zrna (9,95 t.ha⁻¹) i slámy (10,81 t.ha⁻¹) varianta ošetřená přípravkem Aminocat 30. Nejvyšší průměrnou hodnotu LAI (5,02) má v rámci Etany varianta s aplikovaným regulátorem Cleanstorm. Dle Varadi et al. (2020) měly zvýšený index listové plochy i zvýšený počet klasů na m² rostlin pšenice ošetřených regulátory růstu významný vliv na zvýšení výnosu zrna.

7 Závěr

Na vybrané odrůdy a šlechtitelské materiály byl ověřen vliv regulátorů růstu na pokryvnost listoví a výnos. Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

V rámci odrůdy Etana byl potvrzen pozitivní vliv všech testovaných regulátorů růstu. Oproti kontrolním rostlinám měly ošetřené rostliny vyšší průměrné hodnoty LAI.

Vliv regulátorů na hodnotu LAI šlechtitelského materiálu V3-94-18 byl výrazně komplexnější. Daný genotyp reagoval na testované přípravky jak snížením LAI, tak i zvýšením. U tohoto genotypu se LAI snížilo po aplikaci regulátoru Cleanstorma, Energen 3D Plus, Atlante Cu – Prolina, Aminocat 30 a Fertileader 2M

Šlechtitelský materiál V3-72-18 reagoval zvýšením hodnot LAI po aplikaci Cleanstorm, Energen 3D Plus, Aminocat 30 a Fertileader 2M. Snížení bylo zaznamenáno pouze u Atlante Cu – Prolina.

Výnos odrůdy Etana se zvýšil po aplikaci všech testovaných přípravků, přičemž po aplikaci Aminocatu 30 se výnos zvýšil nejvíce.

U odrůdy Etana byl vypočítán nejvyšší výnos ze všech testovaných genotypů.

Výnos zrna 9,95 t.ha⁻¹ a výnos slámy 10,81 t.ha⁻¹ dosáhla odrůda Etana ošetřená přípravkem Aminocat 30.

U genotypu V3-94-18 byl zjištěn pozitivní vliv regulátorů Aminocat 30 a Fertileader 2M na výši výnosu. Naopak negativní vliv byl zjištěn po aplikaci regulátorů Cleanstorm, Energen 3D Plus a Atlante Cu – Prolina.

Výnos zrna a slámy se v porovnání s kontrolou zvýšil u genotypu V3-72-18 po aplikaci látek Cleanstorm, Energen 3D Plus, Aminocat 30 a Fertileader 2M Na straně druhé se výnos snížil u tohoto genotypu po ošetření přípravkem Atlante Cu – Prolina.

Hypotéza, že regulátory růstu ovlivňují jednotlivé velikosti pokryvnosti listoví a výnos, je potvrzena, regulátory ovlivňují jak pozitivně, tak i negativně index listové plochy i výnos pšenice seté.

Hypotéza o tom, že existuje vztah mezi pokryvností listoví a výši výnosu, by měla být taktéž potvrzena, přímé tvrzení, že vyšší LAI se rovná vyššímu výnosu potvrzené nebylo.

8 Seznam použité literatury

- Aase JK. 1978. Relationship Between Leaf Area and Dry Matter in Winter Wheat. *Agronomy Journal* **70**: 563-565.
- Agrokop. 2021. Fertileader 2M. Agrokop HB. Available from <https://www.agrokop.com/produkty/hnojiva/eurofertil/> (accessed April 2021).
- Ahmad S, et al. 2012. Radiation and nitrogen use efficiencies of C3 wintercereals to nitrogen application. *Pakistan Journal of Botany* **44**:139-149.
- Ahmed N, Chowdhry MA, Khaliq I, Maekawa M. 2016. The inheritance of yield and yield components of five wheat hybrid populations under drought conditions. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, **8**: 53-59.
- Anosheh HP, Emam Y, Ashraf M, Foolad MR. 2012. Exogenous Application of Salicylic Acid and Chloromequat Chloride Alleviates Negative Effects of Drought Stress in Wheat. *Advanced Studies in Biology* **4**: 501-520.
- Anosheh HP, Emam Y. 2012. Manipulation of Morpho-Physiological Traits in Bread and Durum Wheat by Using Growth Regulators at Different Irrigation Regimes. *Journal of Crop Production and Processing* **2**: 29-46.
- Avinash JR, Patil RP, Rathod SP. 2020. Influence of foliar application of pulse magic, PGRs & nutrients on growth parameters and yield of Pigeon Pea. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* **9**: 3304-3307.
- Basra AS. 2000. *Plant Growth Regulators in Agriculture and Horticulture: Their Role and Commercial Uses*. CRC Press, Boca Raton.
- Bian C, Ma C, Liu X, Gao C, Liu Q, Yan Z, Ren Y, Li Q. (2016). Responses of Winter Wheat Yield and Water Use Efficiency to Irrigation Frequency and Planting Pattern. *PLOS ONE* **11** (e0154673) DOI: 10.1371/journal.pone.0154673.
- Biosafety Clearing-House. 2008. Modified Organism MON-71800-4 - Roundup Ready™ wheat. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Available from: <http://bch.cbd.int/database/lmo/decisions.shtml?documentid=45398> (accessed January 2021).
- Brown DA, Scott HD. 1984. Dependence of crop growth and yield on root development and activity. *Roots, Nutrient and Water Influx, and Plant Growth* **49**: 101-136.
- Busi R, et al. 2017. Weed resistance to synthetic auxin herbicides. *Pest Management Science* **74**: 2265-2276.
- Clouse SD, Sasse JM. 1998. Brassinosteroids: Essential Regulators of Plant Growth and Development. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **49**: 427-451.

- CRH. 2020. VegetUP vyvinutý olomouckými vědci zvyšuje úrodu plodové zeleniny. Centrum regionu Haná pro biotechnologický a zemědělský výzkum. Olomouc. Available from <http://cr-hana.eu/nc/zprava/clanek/vegetup-vyvinuty-olomouckymi-vedci-zvysuje-urodu-plodove-zeleniny-1/> (accessed April 2021).
- Český statistický úřad. 2020. Statistická ročenka České republiky - 2020. Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/statisticka-rocenka-ceske-republiky-2020> (accessed April 2021).
- ČHMÚ. 2019. Měsíční přehledy pozorování. Český hydrometeorologický ústav. Available from <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-prehledy-pozorovani#> (accessed April 2021).
- Davies PJ. 1995, Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Diacono M, Rubino P, Montemurro F. 2012. Precision nitrogen management of wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **33**: 219–241.
- Ehdaie B, Layne AP, Waines JG. 2011. Root system plasticity to drought influences grain yield in bread wheat. *Euphytica*, **186**: 219–232.
- Ellen J, Spiertz JHJ. 1980. Effects of rate and timing of nitrogen dressings on grain yield formation of winter wheat (*T. aestivum* L.). *Fertilizer research* **1**: 177-190.
- Energen. 2021. Energen 3D Plus. Energen. Available from <http://www.energen.info/cs/vyrobek/5-energen-3d-plus/> (accessed April 2021).
- Energen. 2021. Energen Cleanstorm. Energen. Available from <http://www.energen.info/cs/vyrobek/7-energen-cleanstorm/> (accessed April 2021).
- Evans LT, Peacock WJ. 1981. Wheat science - Today and Tomorrow. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fahad S, et al. 2016. Exogenously applied plant growth regulators enhance the morpho-physiological growth and yield of rice under high temperature. *Frontiers in plant science*, **7**: 1250.
- Faměra O, 1993. Základy pěstování ozimé pšenice. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky, Praha.
- Fang H, Baret F, Plummer S, Schaepman-Strub G. 2019. An overview of global leaf area index (LAI): Methods, products, validation, and applications. *Review of Geophysics* **57**: 739-799.
- FAO.2019. FAOSTAT: Production - Crops. FAO, Rome. Available from <http://www.fao.org/faostat/en/> (accessed April 2021).
- Feldman M, Bonjean A, Angus WJ. 2001. The world wheat book: a history of wheat breeding. Lavoisier Publishing, Paris.
- Fertistav. 2021. Atlante Cu – Prolina. Fertistav. Available from <https://www.fertistav-eshop.cz/hnojiva/atlante-cu-prolina/> (accessed April 2021).
- Fertistav. 2021. Aminocat 30. Fertistav. Available from <https://www.fertistav-eshop.cz/biostimulatory/aminocat-30-0-5-l-2/> (accessed April 2021).
- Foltýn J, et al. 1970. Pšenice. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

- Foulkes MJ, Scott RK, Sylvester-Bradley R. 2002. The Ability of wheat cultivars to withstand drought in UK conditions: formation of grain yield. *Journal of Agricultural Science* **138**: 153-169.
- Fujioka S, Sakurai A. 1997. *Brassinosteroids: Natural Product Reports* **14** (1) DOI:10.1039/np9971400001.
- Gebbers R, Ehlert D, Adamek R. 2011. Rapid Mapping of the Leaf Area Index in Agricultural Crops. *Agronomy Journal* **103**: 1532-1541.
- Gerhards R, Gutjahr C, Weis M., Keller M, Sökefeld M, Möhring J, Peipho HP. 2011. Using precision farming technology to quantify yield effects attributed to weed competition and herbicide application. *Weed Research* **52**: 6–15.
- Głąb T, Kulig B. (2008). Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*). *Soil and Tillage Research* **99**: 169–178.
- González FG, Capella M, Ribichich KF, Curín F, Giacomelli JI, Ayala F, Watson G, Otegui ME, Chan RL. 2019. Field-grown transgenic wheat expressing the sunflower gene HaHB4 significantly outyields the wild type. *Journal of Experimental Botany* **70**: 1669-1681.
- Griffin S, Hollis J. (2017). Plant growth regulators on winter wheat – yield benefits of variable rate application. *Advances in Animal Biosciences*, **8**: 233–237.
- Grossmann K. 2009. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. *Pest Management Science* **66**: 113-120.
- Guan J, Garcia DF, Zhou Y, Appels R, Li A, Mao L. 2020. The Battle to Sequence the Bread Wheat Genome: A Tale of the Three Kingdoms. *Genomics, Proteomics & Bioinformatics* (In Press, Journal Pre-proof) DOI: 10.1016/j.gpb.2019.09.005.
- Hayat S, Alyemeni MN, Hasan SA. 2012. Foliar spray of brassinosteroid enhances yield and quality of *Solanum lycopersicum* under cadmium stress. *Saudi Journal of Biological Sciences* **19**: 325-335.
- Heath M, Bronstein H. 2020. Exclusive: Argentina first country to approve GMO wheat. Thomson Reuters. Available from: <https://www.reuters.com/article/argentina-wheat-bioceres-idUSKBN26T0C8> (accessed January 2021).
- Hlaváčová M, et al. 2018. Interactive effects of high temperature and drought stress during stem elongation, anthesis and early grain filling on the yield formation and photosynthesis of winter wheat. *Field crops research*, **221**: 182-195.
- Chemap Agro. 2018. AUCYT Start. CHEMAP AGRO s.r.o.. Available from <https://www.chemapagro.cz/pripravky/cytokinove-pripravky/aucyt-start/> (accessed April 2021).
- Chen Y, Zhang Z, Tao F. (2018). Improving regional winter wheat yield estimation through assimilation of phenology and leaf area index from remote sensing data. *European Journal of Agronomy* **101**: 163–173.
- Ijaz M, Mahmood K, Honermeier B. 2015. Interactive Role of Fungicides and Plant Growth Regulator (Trinexapac) on Seed Yield and Oil Quality of Winter Rapeseed. *Agronomy* **5**: 435–446.

- Jug I, Jug D, Sabo M, Stipešević B, Stošić M. 2011. Winter wheat yield and yield components as affected by soil tillage systems. *Scientific and Technological Research Council of Turkey* **35**: 1-7.
- Jůzl M, Štefl M. 2002. The effect of leaf area index on potatoes yield in soils contaminated by some heavy metals. *Plant Soil and Environment* **48**: 298-306.
- Khan NA et al. 2002. Effect of phytohormones on growth and yield of Indian mustard. *Indian Journal of Plant Physiology* **7**: 75-78.
- Klas M, Klasová M. 2017. Závislost výnosu pšenice ozimé na obsahu živin v půdě : (CA, Mg, P, K, S a pH v časové řadě 2011-2015). *Agroscience, Chrást'any*.
- Knott CA, Van Sanford DA, Ritchey EL, Swiggart E. (2016). Wheat Yield Response and Plant Structure Following Increased Nitrogen Rates and Plant Growth Regulator Applications in Kentucky. *Crop, Forage & Turfgrass Management* **2**: 1-7.
- Konvalina P, Moudrý J. 2008. Pěstování pšenice seté v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Kross A, McNairn H, Lapen D, Sunohara M, Champagne C. 2015. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **34**: 235-248.
- Lelley J. 1976. *Wheat Breeding: Theory and Practise*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Li Y, Hagen g, Guilfoyle TJ. 1992. Altered morphology in transgenic tobacco plants that overproduce cytokinins in specific tissues and organs. *Developmental Biology* **153**: 386-395.
- Liwani U, Magwaza LS, Odindo AO, Sithole NJ. 2019. Growth, morphological and yield responses of irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to water stress. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* **69**: 369-376.
- Lv X, Zhang Y, Li H, Fan S, Feng B, Kong L. 2019. Wheat belt-planting in China: an innovative strategy to improve production. *Plant Production Science* **23**: 12-18.
- Nickell LG. 1982. *Plant growth regulators, Agricultural uses*. Springer-Verlag, Berlin.
- Obert JC, Ridley WP, Schneider RW, Riordan SG, Nemeth MA, Trujillo WA, Breeze ML, Sorbet R, Astwood JD. 2004. The composition of grain and forage from glyphosate tolerant wheat MON 71800 is equivalent to that of conventional wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **52**: 1375–1384.
- Pavlík S, et al. 2009. *Metodika pěstování ozimé pekárenské pšenice*. Agrotest fyto s. r. o., Kroměříž.
- Petr J, et al. 1980. *Tvorba výnosu hlavních polních plodin*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Petr J, et al. 1983. *Biologie vývoje a tvorba výnosu u obilnin*. Videopress MON, Praha.
- Petr J, et al. 1988. *Yield formation in the main field crops*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Petr J. 2001. *Pěstování pšenice podle užítkových směrů*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.

- Procházka et al. 1997. Regulátory rostlinného růstu. Nakladatelství Akademie věd České republiky, Praha.
- Procházka S, et al. 1998. Fyziologie rostlin. Nakladatelství Akademie věd České republiky, Praha.
- Prugar J, Hraška Š. 1986. Kvalita pšenice. Příroda, Bratislava.
- Qin R, Noulas C, Wysocki D, Liang X, Wang G, Lukas S. 2020. Application of Plant Growth Regulators on Soft White Winter Wheat under Different Nitrogen Fertilizer Scenarios in Irrigated Fields. *Agriculture* **10** (7) DOI: 10.3390/agriculture10070305.
- Rademacher W. 2015. Plant Growth Regulators: Backgrounds and Uses in Plant Production. *Journal of Plant Growth Regulation* **34**: 845-872.
- Raheem A, Shaposhnikov A, Belimov AA, Dodd IC, Ali B. 2018. Auxin production by rhizobacteria was associated with improved yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. *Archives of Agronomy and Soil Science* **64**: 574-587.
- Reynolds, M., Langridge, P. 2016. Physiological breeding. *Current Opinion in Plant Biology*, **31**: 162-171.
- Rieger S, Richner W, Streit B, Frossard E, Leidegens M. 2008. Growth, yield, and yield components of winter wheat and the effects of tillage intensity, preceding crops, and N fertilisation. *European Journal of Agronomy* **28**: 405–411.
- Rovenská B. 1968. Anatomický atlas pšenice. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Ryosuke M, et al. 2019. Tuning water-use efficiency and drought tolerance in wheat using abscisic acid receptors. *Nature plants* **5**: 153-159.
- SAATEN-UNION. 2021. Etana A. SAATEN-UNION. Available from <https://www.saaten-union.com/index.cfm/action/varieties/cul/300/v/2743.html> (accessed April 2021).
- Satorre EH, Slafer GA. 1999. *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. CRC Press, Boca Raton.
- Shekoofa A, Emam Y. 2008. Effects of Nitrogen Fertilization and Plant Growth Regulators (PGRs) on Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology* **10**: 101-108.
- Shewry PR. 2009. Wheat. *Journal of Experimental Botany* **60**: 1537-1553.
- Shukla A, Abad Farooqi AH, Shukla Y, Sharma S. 1992. Effect of triconanol and chlormequat on growth, plant hormones and artemisinin yield in *Artemisia annua* L. *Plant Growth Regulation* **11**: 165-171.
- Singh S, Singh T, Singh AK, Singh RK. 2019. Effect of nitrogen levels and plant growth regulators on growth, lodging, yield and economics of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* **8**: 665-671.
- Stapper M, Fischer RA. 1990. Genotype, sowing date and plant spacing influence on high-yielding irrigated wheat in southern New South Wales. II. Growth, yield and nitrogen use. *Australian Journal of Agricultural Research* **41**: 1021-1041.

- Swoish M, Steinke K. (2017). Plant Growth Regulator and Nitrogen Applications for Improving Wheat Production in Michigan. *Crop, Forage & Turfgrass Management* **3**: 1-7.
- Špaldon E, et al. 1986. *Rostlinná výroba*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Tan D, Fan Y, Liu J, Zhao J, Ma Y, Li Q. 2019. Winter Wheat Grain Yield and Quality Response to Straw Mulching and Planting Pattern. *Agricultural Research* **8**: 548-552.
- Tanimoto E. 2007. Regulation of Root Growth by Plant Hormones-Roles for Auxin and Gibberellin. *Critical Reviews in Plant Sciences* **24**: 249-265.
- Tripathi AM. 2016. Long term measurement of leaf area index and radiation use efficiency in short rotation coppice poplar cultures and cereal crops. Pages 83-88 in Pohankova E, Pokorny R, Fischer M, Orság M, Torres CPG, Trnka M, Marek MV, editors. Short rotation coppice (SRC) and Biomass. Global Change Research Institute AS CR, Brno.
- ÚKZÚZ. 2017. Seznam doporučených odrůd 2017 pšenice ozimá. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Available from http://eagri.cz/public/web/file/532326/listovka_PO17.pdf (accessed April 2021).
- Varadi A, Kadar R, Duda MM, Racz I, Hirişcău D, Ceclan A. 2020. MORPHOPHYSIOLOGICAL RESPONSES OF WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) TO PLANT GROWTH REGULATORS AND NITROGEN APPLICATIONS. *Agricultura* **113**: 116-124.
- Villegas D, Alfaro C, Ammar K, Cátedra MM, Crossa J, García del Moral LF, Royo C. (2015). Daylength, Temperature and Solar Radiation Effects on the Phenology and Yield Formation of Spring Durum Wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* **202**: 203–216.
- Waqas MA, Khan I, Akhter MJ, Noor MA, Ashraf U. 2017. Exogenous application of plant growth regulators (PGRs) induces chilling tolerance in short-duration hybrid maize. *Environmental Science and Pollution Research*, **24**: 11459–11471.
- Webster JR, Jackson LF. 1993. Management practices to reduce lodging and maximize grain yield and protein content of fall-sown irrigated hard red spring wheat. *Field Crops Research* **33**: 249-259.
- Werner T, Motyka V, Strnad M, Schmölling T. 2001. Regulation of plant growth by cytokinin. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **98**: 10487-10492.
- Zaman M, Kurepin LV, Catto W, Pharis RP. 2014. Enhancing crop yield with use of N-based fertilizers co-applied with plant hormones or growth regulators. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **95**: 1777-1785.
- Zeboon NH, Hassan SAA, Bager HA. 2017. Response of Two Wheat Varieties to Irrigation Blocking and Ethephon Foliar Application. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences* **62**: 111-118.
- Zeevaart JAD, Creelman RA. 1988. Metabolism and Physiology of Abscisic Acid. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **39**: 439-473.
- Zhang W, Huang Z, Xu K, Liu L, Zeng Y, Ma S, Fan Y. 2019. The effect of plant growth regulators on recovery of wheat physiological and yield-related characteristics at booting

stage following chilling stress. *Acta Physiologiae Plantarum* **41** (133)
DOI:10.1007/s11738-019-2924-8.

Zheng G, Moskal LM. 2009. Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors. *Sensors* **9**: 2716-2745.

Zhu X, Skidmore AK, Wang T, Liu J, Darvishzadeh R, Shi Y, Premier J, Heurich M. (2018). Improving leaf area index (LAI) estimation by correcting for clumping and woody effects using terrestrial laser scanning. *Agricultural and Forest Meteorology* **263**: 276–286.

Zimin AV, Puiu D, Hall R, Kingan S, Clavijo BJ, Salzberg SL. 2017. The first near-complete assembly of the hexaploid bread wheat genome, *Triticum aestivum*. *GigaScience* **6** (gix097) DOI: 10.1093/gigascience/gix097.

Zimolka J, et al. 2005. Pšenice. Profí Press s.r.o., Praha.

9 Seznam použitých zkratk a symbolů

ABA – Kyselina absisová

BR – Brassinosteriody

FAR – Fotosynteticky aktivní záření

IPA – Isopentenyladenin

LAI – Index listové plochy

RPR – Rzihobakterie podporující růst

