



**Zvýšení výnosu a nutriční hodnoty vybraných genotypů hrachu
hnojením a agronomickou biofortifikací**

2022

Kolektiv autorů

Mendelova univerzita v Brně
Agritec Plant Research, s.r.o.

Autoři:

doc. Ing. Petr Škarpa, Ph.D. (Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně)
Ing. Jiří Antošovský, Ph.D. (Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně)
Ing. Marie Školníková (Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně)
Ing. Tomáš Křiška (Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně)
Ing. Daniel Klofáč (Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně)
doc. Ing. Pavel Horký, Ph.D. (Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně)
Ing. Eva Doleželová, Ph.D. (Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně)
Ing. Radmila Dostálová (Agritec Plant Research s.r.o.)
Mgr. Jiří Horáček, Ph.D. (Agritec Plant Research s.r.o.)
Ing. Iva Smýkalová, Ph.D. (Agritec Plant Research s.r.o.)

Dedikace:

Metodika je výstupem projektu QK1810072: Vývoj biofortifikovaných linií hrachu se sníženým obsahem kyseliny fytové, řešeného v rámci Programu aplikovaného výzkumu Ministerstva zemědělství na období 2017-2025 ZEMĚ.

Metodika byla v souladu s podmínkami MZe schválená ÚKZÚZ v Brně, který vydal osvědčení o uznání uplatněné certifikované metodiky č. UKZUZ 244149/2022.

Oponenti:

Ing. Jiří Kunte
SELGEN, a.s., Sibřina, Česká republika

Ing. Tomáš Mezlík
Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno, Česká republika

ISBN 978-80-7509-882-5

DOI: <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-882-5>



Open Access. Open Acces. Publikace „Zvýšení výnosu a nutriční hodnoty vybraných genotypů hrachu hnojením a agronomickou biofortifikací“ podléhá licenci CC BY-NC-ND 4.0

Obsah:

1	Cíl metodiky.....	3
2	Vlastní popis metodiky.....	3
2.1	Úvod.....	3
2.1.1	Luskoviny.....	3
2.1.2	Hrách setý.....	3
2.1.3	Výživa a hnojení hrachu.....	4
2.1.3.1	Fosfor ve výživě hrachu.....	4
2.1.3.2	Hořčík ve výživě hrachu.....	5
2.1.3.3	Síra ve výživě hrachu.....	5
2.1.3.4	Zinek ve výživě hrachu.....	6
2.2	Ověření účinku hnojení hrachu fosforem, hořčíkem, zinkem a sírou.....	8
2.2.1	Charakteristika pokusů.....	11
2.2.1.1	Ověření účinnosti půdní a mimokořenové aplikace fosforu a hořčíku.....	11
2.2.1.2	Efekt mimokořenové aplikace mikroelementů.....	11
2.2.1.3	Efekt mimokořenové aplikace síry.....	12
2.2.1.4	Vybrané kombinace hnojení hrachu.....	13
2.3	Ověření účinnosti hnojení hrachu fosforem a hořčíkem.....	15
2.4	Efekt mimokořenové aplikace mikroelementů na výnos a kvalitu hrachu.....	18
2.5	Efekt mimokořenové aplikace síry na zdravotní stav a produkci hrachu.....	20
2.6	Návrh metodiky výživy hrachu vybranými kombinacemi hnojení.....	22
2.7	Závěr.....	24
2.8	Doporučení pro praxi.....	25
3	Srovnání novosti postupů.....	25
4	Popis uplatnění metodiky.....	25
5	Ekonomické zhodnocení.....	26
6	Seznam použité související literatury.....	26
7	Seznam publikací, které předcházely metodice.....	30

1 Cíl metodiky

Metodika si klade za cíl seznámit pěstitele hrachu s postupy výživy této luskoviny při využití běžně dostupných fosforečných a hořečnatých hnojiv a hnojiv obsahujících síru a zinek a na základě dosažených výsledků z testování vybraných kombinací hnojení poskytnout doporučení k jejich aplikaci za účelem optimalizace výnosu a kvality semen.

2 Vlastní popis metodiky

2.1 Úvod

2.1.1 Luskoviny

Fabaceae (syn. *Leguminosae*) je třetí největší (Lewis et al. 2005), velmi rozmanitá a celosvětově pěstovaná, čeleď kvetoucích rostlin s více než 650 rody a 20 000 druhy. Její zástupci jsou charakterističtí výrazným plodem, označovaným jako lusk, který dal čeledi její název (Mikić et al. 2011). Řadíme sem jedny z nejdůležitějších plodin lidstva, jako například sóju, hrách, čočku, fazole či vikve (Smýkal et al. 2011, Graham a Vance 2003). Luskoviny jsou typické symbiózou se specifickými půdními bakteriemi, které jim umožňují vázat vzdušný dusík a zajistit si tak 80-85 % celkové potřeby (Vaněk 2012), čímž podporují udržitelné zemědělství (Kosev a Pachev 2010). Symbiotické bakterie je též mohou chránit před některými houbovými patogeny (Chakraborty et al. 2003). Také jejich fyto-sanitární a meliorační funkce je staví do role zlepšujících plodin a přerušovačů obilních sledů (Ludvíková a Griga 2022). Kromě toho jsou luskoviny významné především z hlediska celosvětové produkce potravin jakožto důležitý zdroj bílkovin, zejména v rozvojových zemích. S nárůstem populace se navíc stále více přesouvá pozornost od živočišných bílkovin právě k rostlinným proteinům (Kristjansson et al. 2014). Významnou roli sehráli zástupci luskovin také při studiu genetiky, šlechtění, biochemie či molekulární biologie (Fehr 1993, Gaikwad et al. 1999, Wen et al. 1999, Malysheva et al. 2001). Za zmínku zcela jistě stojí J. G. Mendel jakožto zakladatel genetiky, který si pro svůj slavný výzkum záměrně vybral rod *Pisum*, protože zjednodušeně splňoval jeho tři základní požadavky, a to stálost znaků v průběhu generací (šlechtění), ochranu před cizím pylem během kvetení a nenarušenou plodnost hybridů a potomstva (Schwarzbach et al. 2014).

2.1.2 Hrách setý

Hrách setý (*Pisum sativum*), považovaný za jednu z nejdříve domestikovaných a celosvětově rozšířených plodin (Zohary a Hopf 2000, Maxted a Ambrose 2001), je významný pro svůj vysoký obsah bílkovin, respektive dusíkatých látek (20-25 %), který je asi dvakrát vyšší ve srovnání s obilninami (Boye et al. 2010). Tento zdroj bílkovin lze velmi dobře zhodnotit jak ve výživě člověka, tak hospodářských zvířat (Dahl et al. 2012, Amarakoon et al. 2012). Pozitivní je také nízká koncentrace antinutričních látek, negativem (podobně jako u ostatních luskovin) je naopak přirozeně nižší zastoupení sirných aminokyselin (Schumacher et al. 2011). Hrách je také zajímavým zdrojem karotenoidů a škrobu, přičemž jeho obsah je závislý na genotypu a tvaru zrn (Bhattacharya et al. 1990, Wang a Hedley 1993). Značná část obsaženého škrobu (rezistentní škrob) se nevstřebává v tenkém střevě, ale prochází až do tlustého střeva, kde slouží jako substrát pro mikroorganismy a chová se tak jako vláknina, což má příznivý vliv na snížení rizika rakoviny tlustého střeva, snížení glykemického indexu, snížení akumulace tuků atd (Polesi 2011). Hrách lze tedy využít i ve farmaceutickém průmyslu, či například jako zdroj škrobu pro výrobu bio degradovatelných plastů. Podle FAO patří mezi největší producenty zeleného hrachu Čína (11,3 mil. t), Indie (5,7 mil. t), USA (0,28 mil. t) a Francie (0,27 mil. t), nejvyšší produkce žlutého (sušeného) hrachu pak připadá na Kanadu (4,6 mil. t), Rusko (2,7 mil. t) a Čínu (1,4 mil. t). Globálně na hrách připadá třetí pozice v pořadí pěstovaných luskovin, hned po fazolu a cizrně. V EU však představuje hrách nejdůležitější jarní luskovinu. Osevní plocha luskovin v České republice podle ČSÚ byla v roce 2021 43 080 ha,

v roce 2022 bylo zaseto 45 634 ha. Hrách přitom zaujímal 38 527 ha, respektive 40 627 ha. Zejména z hlediska živočišné výroby se pak u sklizených zrn hrachu zvyšují požadavky na další pokles již zmíněných antinutričních látek, především inhibitoru trypsinu a kyseliny fytové, které limitují stravitelnost bílkovin a některých minerálů, zejména fosforu (Raboy 2003). Šlechtěním nových odrůd hrachu je možné zabránit přeměně fosforu na kyselinu fytovou a snížit tak její obsah o 50-95 % (Raboy 2009, Wilcox et al. 2000, Warkentin, et al. 2012). Harmonickou výživou a hnojením, popřípadě agronomickou biofortifikací (Guindon et al. 2021), lze naopak zvýšit nutriční kvalitu a obsah požadovaných živin ve sklizených zrnech, což reflektuje narůstající požadavky dnešní společnosti na kvalitu potravin.

2.1.3 Výživa a hnojení hrachu

K hrachu, stejně jako ke všem luskovinám (s výjimkou bobu) se obvykle nehnojí organickými hnojivy. Výživa hrachu dusíkem je pak nutná v případě velmi nízkého obsahu minerálního dusíku po sklizni předplodiny, špatné nodulaci, často se využívá pro nastartování její tvorby a růstu hrachu v počátečním období. Další hnojení dusíkem je považováno za neefektivní, či dokonce neekonomické. Symbiotická fixace dusíku naopak přináší možnost ušetřit za minerální dusíkatá hnojiva, popřípadě snížit cenu pěstování meziplodin v případě využití hrachu na zeleno. Možnost podpořit tvorbu hlízek spočívá také v inokulaci osiva. Optimální podmínky pro rozvoj hlízkových bakterií je možné podpořit také udržením vhodného pH (slabě kyselé až neutrální), vápnění je doporučeno provádět k předplodině.

2.1.3.1 Fosfor ve výživě hrachu

Fosfor a jeho dostupnost je limitujícím faktorem světové produkce plodin zhruba na 30 % orné půdy (Tefsaye et al. 2007). Při jeho velkém deficitu v půdě může být dokonce minerálně dodaný fosfor přeměněn na organickou hmotu díky mikroorganismům, které jej primárně zabudují do své buněčné hmoty (Rady et al. 2008, Syers et al. 2008). Jeho dostatek je přitom esenciální pro růst a vývoj rostlin, pro správný průběh fotosyntézy či tvorby bílkovin (Mitran et al. 2018). Zejména hrách a ostatní luskoviny se navíc vyznačují zvýšenou potřebou fosforu v porovnání s obilninami, a to pro optimální tvorbu kořenových hlízek zajišťujících fixaci dusíku (Rotaru a Sinclair 2009), a tím i rozvoj biomasy. Literatura uvádí spotřebu fosforu okolo 6,6 kg na tvorbu 1 t zrna a odpovídajícího množství slámy (Kováčik a Ryant 2019). Díky dostatku fosforu (a draslíku) se vytváří mohutnější kořenový systém, čímž se zlepšují podmínky pro rozvoj hlízkových bakterií (Vaněk 2007). Správná výživa a hnojení fosforem také ovlivňuje výnos a kvalitu luskovin, což potvrzuje celá řada autorů (Ejaz et al. 2020, Agegnehu a Fessehaie 2006, Khadraji et al. 2020, Alene et al. 2021, Bi et al. 2019). Kromě toho může hnojení fosforem snížit obsah již zmíněné kyseliny fytové, a tím zvýšit utilizaci fosforu (Raboy a Dickinson 1993, Miller et al. 1980, Saneoka a Koba 2003). Výzkum také ukázal, že právě nově šlechtěné odrůdy hrachu se sníženým obsahem kyseliny fytové mohou díky tomu minerálně dodaný fosfor lépe využívat (Thavarajah 2013). Nedostatek P zpomaluje růst nadzemních orgánů a nepříznivě působí i na kořeny. Listy jsou malé, postupně odumírají a může docházet k hyperchlorofylaci listu, což je provázeno červenofialovým zabarvením způsobeným zvýšeným obsahem antokyanu. Primárně je fosfor dodáván formou minerálních hnojiv, a to již na podzim v rámci zpracování půdy po sklizni předplodiny, aby mohla být hnojiva zapravena do celého půdního profilu. Fosfor je nejčastěji aplikován ve formě vícesložkových hnojiv (NPK, Amofos), je možné však zvolit také hnojiva jednosložková (superfosfát). Podle řady studií je vhodná zejména opakovaná aplikace jednoduchého superfosfátu, který má reziduální efekt (Basak a Kundu 2002), prokazatelně zvyšuje výnos a obsah P v rostlině i půdě (Athokpam et al. 2016, Kumar 2011, Uddin et al. 2001), navíc zvyšuje půdní zásobu síry (Nguyen a Goh 1990). Na půdách s nízkým obsahem P je možné dávku rozdělit, a to 2/3 aplikovat na podzim a zbylou 1/3 na jaře v rámci předset'ového hnojení. Důvodem je nižší mobilita P v půdě, a tedy delší

období pro jeho zpřístupnění a přijatelnost pro rostliny. Část půdně aplikovaného fosforu také podléhá ztrátám erozí či vyplavením, čímž přispívá k eutrofizaci. Vhodná je též podpatová aplikace, kdy jsou granule hnojiva uloženy v blízkosti semen, což napomáhá lepšímu příjmu a využití. Možná je také foliární aplikace fosforu. Přestože je jeho potenciální příjem přes kutikulu rostlin považován za nízký, několik studií popisuje pozitivní vliv listové aplikace (Noack et al. 2011, Ling a Silberbush 2007, Mosali et al. 2006)

2.1.3.2 Hořčík ve výživě hrachu

Obsah přístupného hořčíku v půdě se snižuje, v našich podmínkách vykazuje nízkou zásobu Mg skoro 15 % orné půdy (Kováčik a Ryant 2019). Hořčík a jeho rovnoměrný přísun během vegetace pozitivně ovlivňuje celou řadu metabolických procesů. Mg ovlivňuje množství enzymatických a biochemických procesů, je považován za kofaktor a modulátor pro více než 300 enzymů. Taktéž je součástí Calvinova cyklu, podílí se na asimilaci CO₂. V rostlinách se Mg účastní především tvorby chlorofylu a syntézy bílkovin (Farhat et al. 2016), což je u luskovin, vyznačujících se jejich vysokým obsahem, zvláště důležité. U rostlin čeledi *Fabaceae* je hořčík důležitý také při zmiňované fixaci vzdušného dusíku, kde sehrává nezastupitelnou úlohu ve spojení s molekulami ATP na úrovni nitrogenázy. Z několika výzkumů je navíc patrný zvýšený výnos luskovin po aplikaci Mg (Vratic et al. 2006, Stagnari et al. 2009). Hořčík je také významným kofaktorem enzymatických procesů souvisejících s fosforylací a defosforylací a podílí se na stabilizaci nukleotidů. Literatura uvádí spotřebu hořčíku okolo 3,5 kg na tvorbu 1 t zrna a odpovídajícího množství slámy (Vaněk 2007). Deficience Mg se na rostlinách projevuje zvláště na kyselejších písčitéch půdách s nízkým obsahem vápníku a hořčíku. Symptodem je chloróza listů mezi žilnatinou. Tzv. intervenální chloróza starších listů se díky poměrně dobré schopnosti reutilizace objevuje později, postupně se mění na nekrotické světle hnědé skvrny (Marschner 2011). Pro přihnojení luskovin hořčíkem je možné využít více způsobů. Hořčík lze do půdy částečně dodávat formou dolomitických vápenců až dolomitů již v rámci vápnění půdy. Čistě hořečnatých hnojiv je málo, hořčík se většinou vyskytuje jako součást jiných hnojiv (LAD, Dumag, MgN-sol, Patentkali, Kainit). Před setím je možné aplikovat například hořečnaté hnojivo Kieserit, roztok hořké soli je vhodný pro přihnojení na list během vegetace.

2.1.3.3 Síra ve výživě hrachu

Právě hořká sůl je mimo jiné zdrojem síry, další esenciální živiny nezbytné pro správný růst a vývoj rostlin (Parker 2009). Dostatek síry ovlivňuje zabudování dusíku do proteinů a tvorbu esenciálních sirných aminokyselin. Síra také ovlivňuje redukci nitrátů (Salvagiotti et al. 2009), prokazatelně ovlivňuje využití dusíku, čímž zvyšuje výnos a kvalitu produktů všech hlavních luskovin (Fishmes et al. 2000, Tabak et al. 2020, Dubousset et al. 2010, Schnug et al. 1993, Salvagiotti a Miralles 2008, Pias et al. 2019, Cazzato et al. 2012). Nedostatečné hnojení sírou u krmných plodin může negativně ovlivnit nutriční hodnoty krmiv. Důležitým ukazatelem je kromě akumulace proteinů v zrna také poměr N:S a zastoupení esenciálních sirných aminokyselin. V neposlední řadě u luskovin síra podporuje fixaci vzdušného dusíku, při jejím nedostatku je celý proces výrazně redukován (Becana et al. 2018). Literatura udává, že síra z půdní zásoby je pro optimální průběh fixace dusíku u luskovin nedostatečná, je tedy potřeba ji rostlinám prostřednictvím hnojiv dodat (Scherer 2008). Současná polní produkce charakteristická vysokými výnosy v kombinaci s nízkou depozicí síry vede k vyčerpání zásoby síry v půdě, proto se její deficience u rostlin projevuje stále častěji (Notto a Weil 2018). Na tunu zrna a odpovídajícího množství slámy odčerpá hrách v našich podmínkách asi 5 kg síry (Klír et al. 2008), zahraniční literatura dokonce uvádí 8 až 12 kg/ha (Omer et al. 2020). Při poklesu obsahu síry pod její kritickou hladinu se symptomy deficience neprojeví hned

na rostlinách, ale dochází k redukci biosyntézy proteinů a v rostlinách se hromadí větší množství volných aminokyselin. Celkově dochází k inhibici všech metabolických procesů spojených se sírou. Typickým příznakem nedostatku síry je žloutnutí listů, které se na rozdíl od deficiencie dusíku objevuje na mladších listech a při trvalém nedostatku přechází i na další části. U rostlin z čeledi *Fabaceae* se v důsledku nedostatečného zásobení sírou sníží nebo úplně zastaví poutání vzdušného dusíku, redukován je také počet lusků na rostlině (Zhao a McGrath 1999). Přírodním zdrojem síry pro rostliny je půda, popřípadě ovzduší. Jedná se především o sírany, které rostliny přijímají z půdy kořenovým systémem, respektive oxid siřičitý prostřednictvím listů z ovzduší. Obecně však v souvislosti se snížením zdrojů emisí síry po roce 1990 klesly její depozice, v ČR na 5 kg/ha ročně (CHMI 2019). V našich podmínkách byl také pozorován významný pokles síry v půdě z průměrných 33 mg/kg půdy v roce 1981 na 8 mg/kg půdy zaznamenaných v roce 2017 (Zbiral et al. 2018), podobnou situaci je ale také možno sledovat v Evropě (Campbell a Smith 1996). Narůstající deficit síry je kromě již zmíněného odsíření spojován také s intenzifikací zemědělství spojenou především s dusíkatými hnojivy (s nízkým či žádným obsahem síry) a vyplavením. Většina sirných hnojiv dodávaných do půdy obsahuje síranovou formu síry, nejčastěji se přitom jedná o součást jiných hnojiv, například jednoduchý superfosfát, síran amonný, DASA, síran draselný, Kieserit či síran vápenatý (sádrovec). Vzrůstá také využití elementární síry, která se v přírodě vyskytuje v oblastech s vulkanickou aktivitou nebo v okolí horských pramenů. Pro využití elementární formy síry rostlinami je nutná její oxidace na síranovou formu, její působení je tedy pomalejší. Kromě půdní aplikace se jako vhodný zdroj nabízí také listová aplikace. S ní je totiž kromě dodání živin spojována tzv. sírou indukovaná rezistence, a to i u bobovitých rostlin (Williams a Cooper 2003). Výsledky výzkumů popisují pozitivní vliv foliárně aplikované síry na zdravotní stav rostlin, respektive omezení výskytu a růstu řady významných patogenů luskovin, například *Erysiphe pisi*, *Fusarium oxysporum*, *Pseudomonas syringae* pv. *Pisi* či *Ascochyta pisi* (Cooper 2004, Singh et al. 2013, Williams a Cooper 2003, Bretag et al. 2006).

2.1.3.4 Zinek ve výživě hrachu

Zinek se řadí mezi základní mikroelementy ve výživě rostlin (Gowariker a Krishnamurthy 2009). Rostliny jej přijímají ve formě Zn^{2+} nebo jako součást nízkomolekulárních sloučenin (Marschner 2012). V rostlinách je jeho zastoupení velmi nízké, do 0,01 % v sušině. Jedná se o prvek, který svými účinky působí na aktivitu enzymů a jejich katalytickou funkci (Pedler et al. 2000). Zaujímá nepostradatelnou úlohu z hlediska syntézy bílkovin (Fecenko a Ložek 2000), fotosyntetických pigmentů a strukturální celistvosti buněčných membrán (Procházka 1998). Je klíčovým mikroelementem pro korektní funkci a průběh fyziologických procesů. Především se jedná o fotosyntézu, metabolismus cukrů, opylení, vývoj semen, regulaci růstu a ochranu proti chorobám. Významná je role zinku z hlediska ochrany před oxidačním stresem a stresem způsobeným suchem (Marschner 1995). Nedostatečné zastoupení v rostlinách vede k poškození zmíněných procesů a ve finále ke snížení celkové produkce (Alloway 2002). Dochází také ke krnění stonku, kadeření mladých listů, odumírání listových špiček a chlorózám (Rout a Das 2009). Kvalita kvetení klesá, poškozují se pylová zrna, snižuje se tvorba chlorofylu a redukuje výnos (Yang et al. 2009). Mezi žilnatinou se na listech tvoří světlé a bílé skvrny, které se zvětšují a následně odumírají celé listy (Vitosh et al. 1994). Všechny tyto příznaky postihují především mladé části rostlin, protože mobilita zinku je v rostlině a zejména starých listech poměrně nízká. Zinek je však také charakteristický poměrně značnou fytotoxicitou, kdy při nadměrném příjmu může docházet k poškození rostlin a zhoršenému růstu (Chaney 1993, Cooke 1982, Paivoke 1983). U hrachu je dokumentován pozitivní efekt biofortifikace provedené pomocí jak listové aplikace Zn, tak v kombinaci s jeho aplikací do půdy, což se projevilo nárůstem obsahu zinku v zrnu hrachu (Poblaciones a Rengel 2016, Cakmak 2008). Mimokořenovou aplikací zinku je možné také snížit obsah fytátu a zvýšit tak jeho biologickou

dostupnost (Hussain et al. 2012). Pozitivní efekt aplikace zinku během vegetace na růst hrachu, tvorbu výnosu a zvýšení jeho obsahu v zrně popisují také další studie (Mukherjee et al. 2016, Kasturikrishna a Ahlawat 2000, Manzeke et al. 2017, Ibrahim a Ramadan 2015, Fageria et al. 2009). Podle dostupných výsledků je další vhodnou možností aplikovat zinek v době klíčení jakožto startovací hnojivo pro semena luskovin (Yilmaz et al. 1998), což zlepšuje životaschopnost a konkurenceschopnost, zvláště ve stresových podmínkách. Dostatek zinku během vegetace je pro hrách důležitý také z důvodu jeho úpravy před konzumací. Biologická dostupnost zinku z hrachových zrn se po mražení a vaření může totiž snížit až o 30 % (Poblaciones a Rengel 2016).

2.2 Ověření účinku hnojení hrachu fosforem, hořčíkem, zinkem a sírou

Předložená studie se zaměřuje na ověření účinku hnojiv s fosforem, hořčíkem, sírou a zinkem ve výživě vybraných odrůd hrachu ve vícero polních pokusech realizovaných v letech 2018 až 2022.

Hnojiva s uvedenými živinami byla testována formou maloparcelních experimentů na pokusných stanicích v Žabčicích (2018–2020), Šumperku (2019–2020) a Vatíně (2018–2022). Hlavním cílem pokusů bylo zjištění efektu hnojiv aplikovaných ve vybraných dávkách a kombinacích do půdy (P a Mg) a na list (P, Mg, S a Zn) na výnos a kvalitu hospodářsky významných odrůd hrachu.

Základní charakteristika pokusných lokalit

Školní zemědělský podnik Žabčice, Mendelova univerzita v Brně

- obec Žabčice (49.0226389N, 16.6154822E)
- 30 km jižně od Brna
- kukuřičná výrobní oblasti
- nadmořská výška: 184 m
- roční suma srážek: 480 mm
- průměrná roční teplota: 9,2 °C
- půdní typ: fluvizem, subtyp glejová
- půdní druh: převážně jílovitohlinitá až jílovitá půda



Výzkumná pícninářská stanice Vatín, Mendelova univerzita v Brně

- obec Vatín (49.5176269N, 15.9696028E)
- 6 km jižně od Žďáru nad Sázavou
- bramborářská výrobní oblast
- nadmořská výška: 560 m
- roční suma srážek: 617 mm
- průměrná roční teplota: 6,9 °C
- půdní typ: kambizem typická
- půdní druh: písčitohlinitá půda



Pokusné plochy Agritec Plant Research s.r.o., Šumperk

- obec Rapotín (50.0041661N, 17.0165356E)
- 5,5 km severovýchodně od Šumperka
- obilnářskobramborářská výrobní oblast
- nadmořská výška: 315 m
- průměrná roční teplota: 7,5 °C
- roční srážkový normál: 693 mm
- půdní typ: hnědozem
- půdní druh: písčitohlinitá



Základní údaje o povětrnosti v pokusných letech na jednotlivých lokalitách a jejich srovnání s dlouhodobým normálem 1990-2020 prezentují tabulky 1 až 6.



Tab. 1 Měsíční průměry denních teplot (°C): Žabčice

Měs.	N*	2018			2019			2020		
		2018	**	hodnocení	2019	**	hodnocení	2020	**	hodnocení
I	-0.7	2.1	2.8	nadnormální	-0.1	0.6	normální	-0.5	0.2	normální
II	0.9	-2.0	-2.9	podnormální	2.4	1.5	normální	4.8	3.9	silně nadnormální
III	5.1	2.4	-2.7	podnormální	7.0	1.9	normální	5.8	0.7	normální
IV	11.0	14.6	3.6	mimořádně nadnormální	11.8	0.8	normální	10.6	-0.4	normální
V	15.6	18.3	2.7	silně nadnormální	12.6	-3.0	normální	13.0	-2.6	silně podnormální
VI	19.2	20.1	0.9	normální	22.8	3.6	mimořádně nadnormální	18.3	-0.9	normální
VII	20.9	21.8	0.9	normální	21.0	0.1	normální	19.9	-1.0	podnormální
VIII	20.6	23.8	3.2	mimořádně nadnormální	21.7	1.1	nadnormální	21.3	0.7	normální
IX	15.4	16.6	1.2	nadnormální	15.6	0.2	normální	16.0	0.6	normální

* N – normál 1990-2020, ** odchylka od normálu

Tab. 2 Měsíční průměry denních teplot (°C): Šumperk

Měs.	N*	2019			2020		
		2019	**	hodnocení	2020	**	hodnocení
I	-3.6	-2.6	1.0	normální	-0.3	3.3	nadnormální
II	-2	1.5	3.5	silně nadnormální	3.8	5.8	mimořádně nadnormální
III	2.1	5.7	3.6	silně nadnormální	4.5	2.4	nadnormální
IV	7.5	9.7	2.2	nadnormální	8.6	1.1	normální
V	12.5	11.5	-1.0	normální	11.0	-1.5	normální
VI	15.6	17.1	1.5	nadnormální	16.9	1.3	nadnormální
VII	16.7	18.4	1.7	silně nadnormální	17.1	0.4	normální
VIII	16.2	19.2	3.0	mimořádně nadnormální	18.7	2.5	silně nadnormální
IX	12.8	13.5	0.7	normální	13.9	1.1	nadnormální

* N – normál 1990-2020, ** odchylka od normálu

Tab. 3 Měsíční srážkové úhrny (mm): Žabčice

Měs.	N*	2018			2019			2020		
		2018	**	hodnocení	2019	**	hodnocení	2020	**	hodnocení
I	21	46	219	silně nadnormální	27	128	nadnormální	14	68	podnormální
II	20	15	71	normální	24	120	normální	20	96	normální
III	30	16	52	normální	12	41	podnormální	20	68	normální
IV	28	10	35	silně podnormální	19	69	normální	11	39	silně podnormální
V	52	51	98	normální	79	151	nadnormální	82	157	nadnormální
VI	62	46	74	normální	67	109	normální	129	208	silně nadnormální
VII	69	36	52	podnormální	55	80	normální	44	64	normální
VIII	61	14	23	silně podnormální	72	118	normální	98	160	nadnormální
IX	54	115	213	silně nadnormální	46	85	normální	87	162	nadnormální

* N – normál 1990-2020, ** % normálu

Tab. 4 Měsíční srážkové úhrny (mm): Šumperk

Měs.	N*	2019			2020		
		2019	**	hodnocení	2020	**	hodnocení
I	55.4	52	94	normální	22	39	silně podnormální
II	39	22	56	podnormální	30	78	normální
III	44.1	64	145	nadnormální	52	117	normální
IV	36.3	18	48	podnormální	52	142	nadnormální
V	68.7	83	120	normální	66	96	normální
VI	82.6	103	125	nadnormální	73	89	normální
VII	77.5	37	48	podnormální	77	100	normální
VIII	74.4	95	128	normální	62	84	normální
IX	51.8	117	225	silně nadnormální	24	46	podnormální

* N – normál 1990-2020, ** % normálu



Tab. 5 Měsíční průměry denních teplot (°C): Vatín

Měs.	Normál*	2018			2019			2020			2021			2022		
		2018	**	hodnocení	2019	**	hodnocení	2020	**	hodnocení	2021	**	hodnocení	2022	**	hodnocení
I	-2.3	0.8	3.1	nadnormální	-3.1	-0.8	normální	-1.3	1.0	normální	-1.9	0.4	normální	-0.2	2.1	nadnormální
II	-1.4	-4.4	-3.0	podnormální	-0.2	1.2	normální	2.7	4.1	mimořádně nadnormální	-1.6	-0.2	normální	2.1	3.5	silně nadnormální
III	2.0	0.7	-1.3	normální	4.7	2.7	nadnormální	3.4	1.4	normální	1.7	-0.3	normální	2.3	0.3	normální
IV	7.5	12.5	5.0	mimořádně nadnormální	8.2	0.7	normální	7.8	0.3	normální	4.5	-3.0	podnormální	5.7	-1.8	podnormální
V	12.1	16.2	4.1	mimořádně nadnormální	9.2	-2.9	silně podnormální	10.1	-2.0	podnormální	9.7	-2.4	podnormální	13.1	1.0	normální
VI	15.7	16.6	0.9	normální	19.7	4.0	mimořádně nadnormální	15.6	-0.1	normální	17.9	2.2	silně nadnormální	17.8	2.1	silně nadnormální
VII	17.4	18.9	1.5	nadnormální	17.6	0.2	normální	16.8	-0.6	podnormální	18.0	0.6	normální	17.4	0.0	normální
VIII	17	20.5	3.5	mimořádně nadnormální	18.4	1.4	nadnormální	18.2	1.2	nadnormální	15.1	-1.9	silně podnormální	18.5	1.5	nadnormální
IX	12.1	13.9	1.8	nadnormální	12.7	0.6	normální	13.5	1.4	nadnormální	13.5	1.4	nadnormální			

* Normál 1990-2020, ** odchylka od normálu

Tab. 6 Měsíční srážkové úhrny (mm): Vatín

Měs.	Normál*	2018			2019			2020			2021			2022		
		2018	**	hodnocení	2019	**	hodnocení	2020	**	hodnocení	2021	**	hodnocení	2022	**	hodnocení
I	50.0	47.1	94.2	normální	104.4	208.8	silně nadnormální	21.4	42.8	silně podnormální	66.4	132.8	nadnormální	48.7	97.4	normální
II	35.2	16.9	48.0	podnormální	33.6	95.5	normální	97	275.6	mimořádně nadnormální	43.3	123.0	normální	39.6	112.5	normální
III	47.0	24.6	52.3	normální	68.2	145.1	nadnormální	32.6	69.4	normální	23.4	49.8	normální	16.5	35.1	podnormální
IV	33.8	24.0	71.0	normální	10.4	30.8	silně podnormální	16.8	49.7	podnormální	29.6	87.6	normální	30.4	89.9	normální
V	65.1	62.6	96.2	normální	98	150.5	nadnormální	82.1	126.1	normální	83	127.5	normální	108.3	166.4	nadnormální
VI	76.2	73.3	96.2	normální	108.9	142.9	nadnormální	200.3	262.9	mimořádně nadnormální	69.7	91.5	normální	68.7	90.2	normální
VII	91.2	22.0	24.1	silně podnormální	34.9	38.3	silně podnormální	84.9	93.1	normální	104.9	115.0	normální	46.7	51.2	podnormální
VIII	73.5	16.7	22.7	silně podnormální	97	132.0	nadnormální	103.9	141.4	nadnormální	91.3	124.2	normální	78.7	107.1	normální
IX	60.6	85.3	140.8	nadnormální	51.2	84.5	normální	62.4	103.0	normální	29.4	48.5	podnormální			

* Normál 1990-2020, ** % normálu

2.2.1 Charakteristika pokusů

2.2.1.1 Ověření účinnosti půdní a mimokořenové aplikace fosforu a hořčíku

Za účelem zjištění odezvy vybraných odrůd hrachu (Eso, Protecta, Abarth) a jedné odrůdy pelušky (Turnia) na přihnojení fosforem a hořčíkem byly založeny polní maloparcelní experimenty na lokalitách Vatín (2018–2019) a Šumperk (2019–2020). Schéma pokusů bylo na daných lokalitách v pokusných letech jednotné a uvádí jej tabulka 7.

Fosfor byl aplikován do půdy jednoduchým superfosfátem, mimokořenově hnojivem Folit P 500 SL. Hořčík byl dodán do půdy hnojivem Kieserit, jeho listová aplikace byla provedena pomocí roztoku hořké soli. Půdní aplikace hnojiv byla provedena před setím, mimokořenově byly živiny dodány ve fázi růstu odpovídající výšce prostu 25–30 cm (BBCH 35–37).

Tab. 7 Schéma pokusu s fosforem a hořčíkem

Varianta hnojení	Dávka živiny na ha	Hnojiva
Kontrola – nehnojeno	-	-
P1 půda	30 kg P	Superfosfát jednoduchý
P2 půda	50 kg P	Superfosfát jednoduchý
P list	1,9 kg P	Folit P 500 SL
Mg1 půda	20 kg Mg	Kieserit
Mg2 půda	40 kg Mg	Kieserit
Mg list	15 kg Mg	Hořká sůl

Listová hnojiva byla aplikována v dávce 250 l/ha vody.

Z hnojiv s uvedenými formami živin, dostupných na trhu, lze doporučit:

- P-hnojiva aplikovaná do půdy (Superfosfát jednoduchý, Superfosfát trojitý, Amofos, Hyperphosphat P29, Hyperkorn P26, Super Fos Dar 40),
- P-hnojiva pro listovou aplikaci (Folit P 500 SL, codafol P 54, CAMPOFORT Garant P)
- Mg-hnojiva aplikovaná do půdy (Kieserit, Dolokorn, Korn-Kali, Patentkali),
- Mg-hnojiva pro listovou aplikaci (Hořká sůl, YaraTera KRISTA, EPSO Top, Hořčík 140, EPSO Microtop, EPSO Combitop).

Polní pokus Žabčice



Polní pokus Žabčice



2.2.1.2 Efekt mimokořenové aplikace mikroelementů

V polních experimentech realizovaných v letech 2018–2020 na lokalitě Žabčice byl sledován vliv mimokořenové aplikace vybraných mikroelementů (zinek, železo) na výnos a kvalitu semen hrachu setého. Do pokusu byly zařazeny 3 odrůdy hrachu (Eso, Protecta, Abarth) a jedna odrůda pelušky (Turnia).

Železo bylo aplikováno ve formě síranu $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$ a chelátu $[\text{Fe-EDTA}]$, zinek jako síran $[\text{ZnSO}_4]$, oxid $[\text{ZnO}]$ a chelát $[\text{Zn-EDTA}]$. Dávky mikroelementů v g/ha uvádí tabulka 8. Hnojiva byla aplikována ve fázi růstu odpovídající výšce porostu 25–30 cm (BBCH 35–37).

Tab. 8 Schéma pokusu s mikroelementy

Varianta hnojení	Dávka živiny na ha	Hnojiva (chemikálie*)
Kontrola – nehnojeno	-	-
Fe ₂ (SO ₄) ₃ I	250 g Fe	FEROSOL
Chelát Fe I	250 g Fe	LISTER Fe Plus 80 SL
Fe ₂ (SO ₄) ₃ II	500 g Fe	FEROSOL
Chelát Fe II	500 g Fe	LISTER Fe Plus 80 SL
ZnSO ₄	300 g Zn	ZnSO ₄ *
ZnO	300 g Zn	ZnO*
Chelát Zn	300 g Zn	Zn-EDTA*

Hnojiva byla aplikována v dávce 250 l/ha vody.

Z hnojiv s uvedenými formami živin, dostupných na trhu, lze doporučit:

- hnojiva s železem ve formě síranu (FEROSOL), chelátu (LISTER Fe Plus 80 SL, Fertilon 13, FERTIACYL Green Extreme),
- hnojiva se zinkem ve formě oxidu (YaraVita Zintrac 700, Actiflow Zn 680), síranu (Zinek 120, ZINKOSOL Forte, Fixa Zn) a chelátu (Lister Zn 100 SL, Agroleaf Special Zn, CAMPOFORT Mikro Zn).

2.2.1.3 Efekt mimokořenné aplikace síry

V polních podmínkách byly založeny experimenty hodnotící vliv mimokořenné aplikace síry na zdravotní stav porostu, výnos a kvalitu semen. V roce 2020 byla na lokalitě Žabčice aplikována síra (elementární – ES; thiosíranová – TS; polysulfidická – PS) na třech odrůdách hrachu (AGT 2018.33, AGT 2018.38, Audit), podle schématu uvedeném v tabulce 9.

V letech 2021 a 2022 byl na lokalitě Vatín testován efekt listového přihnojení ES a TS ve shodných dávkách síry, u odrůd Eso, Protecta, Abarth a Turnia.

Listová hnojiva byla aplikována ve fázi růstu odpovídající výšce porostu 25–30 cm (BBCH 35–37).

Tab. 9 Schéma pokusu se sírou

Varianta hnojení	Dávka živiny na ha	Hnojiva
Kontrola – nehnojeno	-	-
Elementární síra (ES)	2400 g S	FOLIT Síra 800 SC
Thiosíranová síra (TS)	810 g S	FOLIT ThioSulf 760 SL
Polysulfidická síra (PS)	570 g S	Sulka K

Hnojiva byla aplikována v dávce 250 l/ha vody.

Z hnojiv s uvedenými formami živin, dostupných na trhu, lze doporučit:

- hnojiva s elementární sírou (FOLIT Síra 800 SC, Aktifer Element S 800, SULFOMAX, Feerti MK S 800 SC, SULFIKA SB–C),
- hnojiva s thiosíranovou sírou (FOLIT ThioSulf 760 SL, SK sol, LOVOSUR),
- hnojiva s polysulfidickou sírou (Sulka K, Sulka Ca, Sulka Extra).

Polní pokus Šumperk



Polní pokus Vatín



2.2.1.4 Vybrané kombinace hnojení hrachu

Na základě výsledků polních pokusů realizovaných na lokalitách Žabčice, Vatín a Šumperk z let 2018 až 2020 byly vybrány do testování kombinace hnojení hrachu (Eso, Protecta, Abarth) a pelušky (Turnia) fosforem, hořčíkem, sírou a zinkem, které uvádí tabulka 10. Pro testování byla zvolena lokalita Vatín, a to z důvodu přirozeně nízké půdní zásoby živin.

Hnojiva použitá do pokusu byla shodná s předešlým obdobím. Dávky živin se v případě fosforu, hořčíku a síry nelišily, množství mimokořenově aplikovaného Zn v chelátu bylo sníženo na 100 g/ha Zn.

Tab. 10 Schéma pokusu s vybranými kombinacemi hnojení P, Mg, S a Zn

Varianta hnojení	Dávka živiny na ha	Hnojiva (chemikálie*)
Kontrola – nehnojeno	-	-
P1 půda + Mg1 půda	30 kg P + 20 kg Mg	Superfosfát jednoduchý Kieserit
Mg1 půda + P list	20 kg Mg + 1,9 kg P	Kieserit Folit P 500 SL
P1 půda + Mg list	30 kg P + 15 kg Mg	Superfosfát jednoduchý Hořká sůl
P1 půda + Mg1 půda + Chelát Zn	30 kg P + 20 kg Mg + 100 g Zn	Superfosfát jednoduchý Kieserit Zn-EDTA*
P list + Mg list + Chelát Zn	1,9 kg P + 15 kg Mg + 100 g Zn	Folit P 500 SL Hořká sůl Zn-EDTA*
P1 půda + Mg1 půda + Chelát Zn + Thiosíranová síra (TS)	30 kg P + 20 kg Mg + 100 g Zn + 810 g S	Folit P 500 SL Hořká sůl Zn-EDTA* FOLIT ThioSulf 760 SL

Listová hnojiva byla aplikována v dávce 250 l/ha vody.

Agrotechnika pokusů

Testované varianty hnojení byly ve všech letech na všech lokalitách založeny ve 4 opakováních, formou náhodně rozmístěných parcel na pokusných pozemcích. Realizovaná agrotechnická opatření a technologie pěstování hrachu se od sebe lišily dle zvyklostí v daném regionu. Ošetření přípravky na ochranu rostlin bylo provedeno v závislosti na výskytu škodlivého činitele a dle zvyklostí na daných pokusných lokalitách.

Hodnocené parametry

Po sklizni semen hrachu v technologické zralosti byla zjištěna vlhkost semen a výnos (kg) z pokusných parcel, který byl přepočítán na t/ha.

Ze vzorků semen odebraných po sklizni byly stanoveny obsahy živin (P, Mg, Fe a Zn) podle metodiky Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (Zbíral 2021).

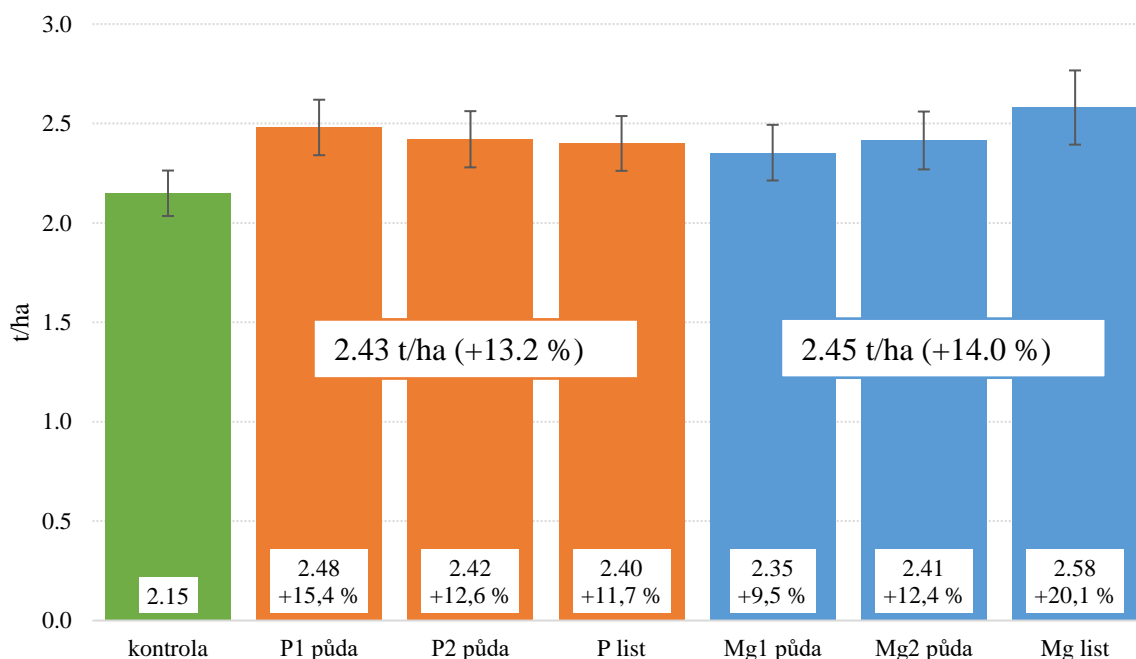
Statistické vyhodnocení

Vliv hnojení na výnos semen hrachu a kvalitu semen (obsah živin) byl statisticky vyhodnocen v programu STATISTICA 13 (StatSoft, 2021). Normalita a homogenita rozptylů byla ověřena pomocí Shapiro-Wilkova a Levenova testu shodnosti rozptylu $p \leq 0,05$. Efekt hnojení byl hodnocen pomocí vícefaktorové analýzy rozptylu ($p \leq 0,05$).

2.3 Ověření účinnosti hnojení hrachu fosforem a hořčíkem

Účinek hnojení hrachu fosforem a hořčíkem se v průměru všech sledovaných odrůd projevil nárůstem výnosu semen hrachu. Zvýšení výnosu se pohybovalo v rozmezí od 9,5 do 20,0 % (graf. 1).

Graf 1 Výnos semen hrachu (t/ha) po přihnojení fosforem a hořčíkem, Vatín 2018–2019 a Šumperk 2019–2020



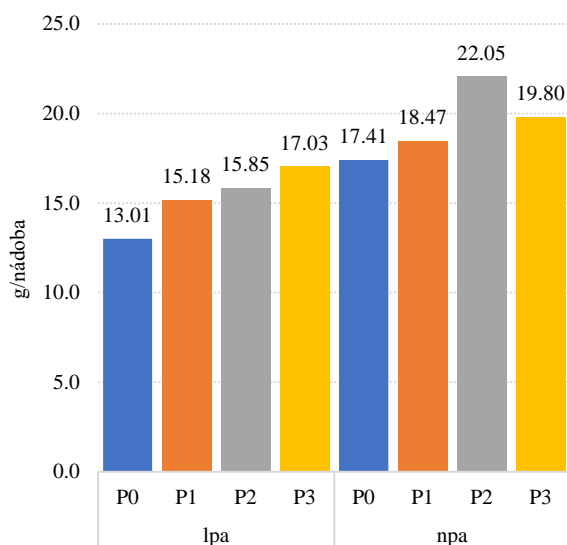
Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Odezvu pěstovaných odrůd hrachu na přihnojení fosforem vyjadřuje produkce semen, která se v průměru půdní i listové aplikace zvýšila oproti variantě nehnojené o 13,2 %. Reakce hrachu na hnojení hořčíkem byla podobná (zvýšená produkce semen o 14,0 %, graf 1).

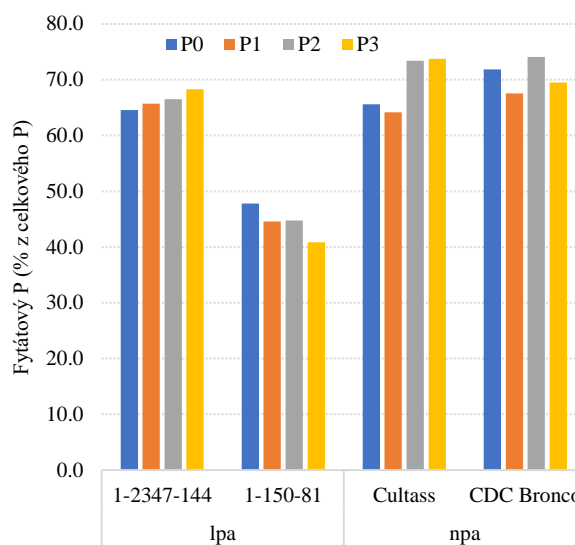
Jako nejvhodnější alternativou přihnojení hrachu fosforem se jeví půdní aplikace superfosfátu provedená před setím v dávce 30 kg/ha P (P1 půda). Výnosový efekt vyšší dávky fosforu hnojeného do půdy se neprojevil. Pro pěstitele hrachu může být velmi zajímavá alternativa přihnojení hrachu fosforem na list. Přestože z variant hnojených touto živinou přinesla foliární aplikace nejnižší efekt (nárůst výnosu oproti kontrole o 11,7 %), z pohledu nákladovosti se jeví mimokořenové hnojení ve srovnání s půdní aplikací jako velmi efektivní.

Listové přihnojení hrachu fosforem může přinést další benefity, a to v podobě ovlivnění kvality semen. Tento fakt potvrzují výsledky nádobového experimentu realizovaného s předpokladem, že listová aplikace fosforu nejen zvýší výnos odrůd a linií s normálním (npa) a nízkým obsahem fytátu (lpa) pěstovaných v podmínkách s nízkou zásobou půdního P, ale ovlivní i kvalitu semen v závislosti na schopnosti hrachu produkovat fytát (Škarpa et al. 2021). Odstupňovaná mimokořenová aplikace fosforu ve čtyřech dávkách: bez P (P0), 27,3 mg P (P1), 54,5 mg P (P2) a 81,8 mg P/nádobu (P3) realizovaná ve vývojových stádiích 6. pravého listu vedla k významnému zvýšení obsahu chlorofylu a fluorescenčních parametrů chlorofylu vyjadřujících rychlost asimilace CO₂. Hnojení významně zvýšilo výnos semen (graf. 2), s výjimkou nejvyšší dávky fosforu (P3), při které došlo ke snížení výnosu odrůd npa. Nejcitlivěji reagovaly na aplikaci P linie lpa, kdy dávka P3 zvýšila produkci jejich semen až o 31 %.

Graf 2. Efekt listové aplikace P na výnos lpa a npa genotypů hrachu, Brno 2020



Graf 3. Efekt listové aplikace P na obsah fyfátů v semeni hrachu, Brno 2020



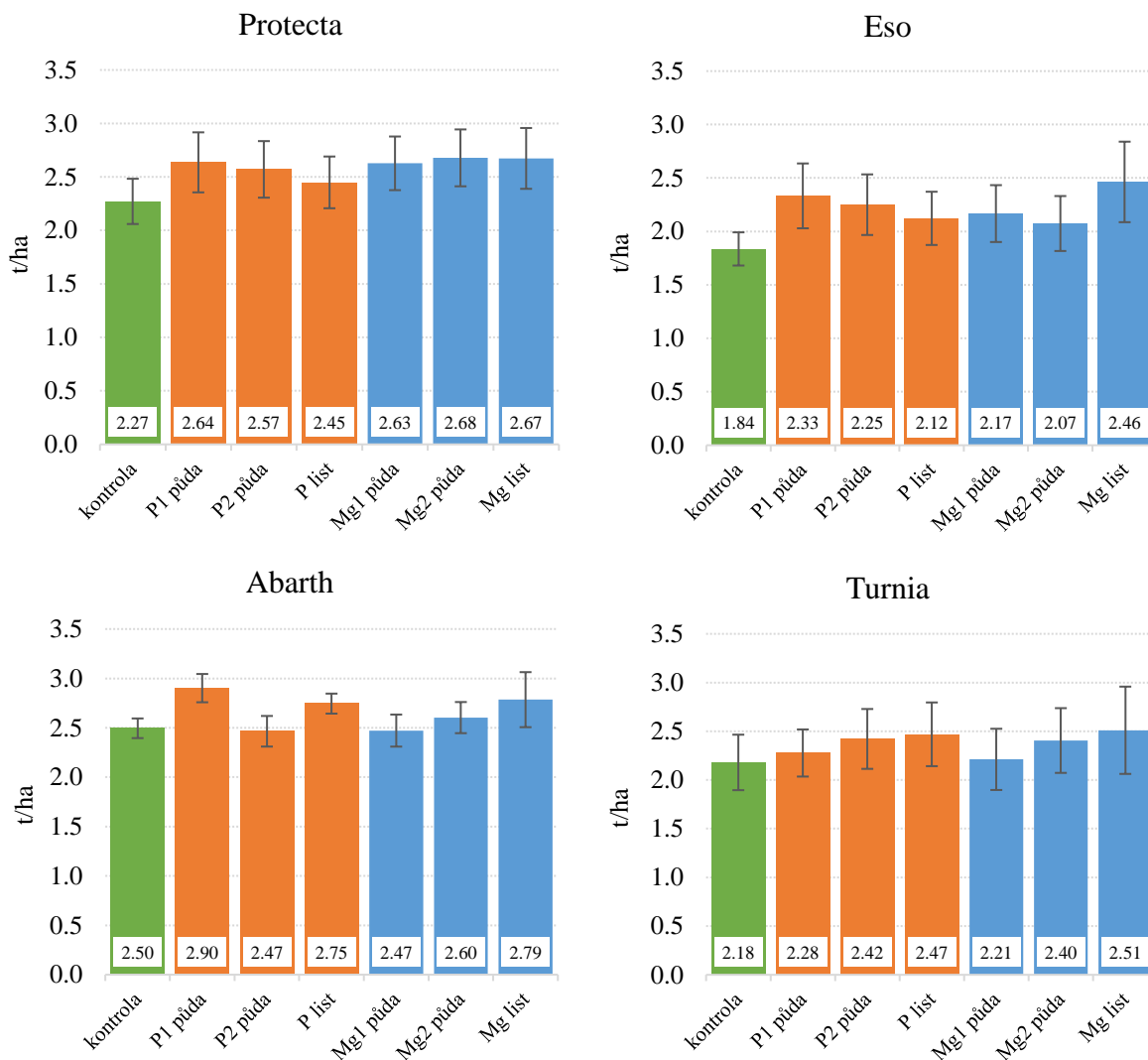
Listová aplikace fosforu má potenciál snížit zastoupení fyfátů v semeni hrachu, což dokazuje jeho klesající podíl v semeni lpa linie 1-150-81 při stupňované výživě P (graf 3). V této souvislosti je třeba připomenout, že kyselina fyfová je hlavní zásobní formou fosforu v semenech luštěnin a její soli (fyfáty) mohou vytvářet komplexy s bílkovinami a minerálními látkami, což snižuje stravitelnost fosforu. Uvedená studie potvrzuje, že listové hnojení hrachu fosforem lze považovat za účinný způsob optimalizace výživy rostlin pěstovaných v podmínkách nedostatku P s přímým vlivem na výnos a kvalitu semen.

Velmi zajímavě se na produkci semen hrachu podílel i hořčík (graf 1). Stupňovaná aplikace Kieseritu, provedená v polních podmínkách, zvyšovala produkci semen oproti kontrole o 9,5 % (20 kg/ha Mg, Mg1 půda) až 12,4 % (40 kg/ha Mg, Mg2 půda). Nejvyšší nárůst produkce však byl dosažen přihnojením roztokem hořké soli v dávce 15 kg/ha Mg (Mg list) aplikovaným při výšce porostu 25–30 cm. Jak bylo již uvedeno v úvodu, v rostlinách se hořčík zapojuje do metabolismu bílkovin, což je u luskovin, pro které je charakteristický jejich vysoký obsah, zvláště důležité.

Výnosovou odezvu testovaných odrůd hrachu na fosforečné a hořečnaté přihnojení prezentuje graf 4. Na aplikaci fosforu reagovaly odrůdy následovně (v závorce uveden nárůst výnosu vypočítaný jako průměr všech varianty hnojených P): Eso (+21,7 %) > Protecta (+12,3 %) > Turnia (+9,6 %) > Abarth (+8,4 %). U odrůd Eso, Abarth a Protecta měla na produkci semen nejvyšší efekt půdní aplikace 30 kg/ha P dodaného superfosfátem (P1 půda). Zvýšení výnosu semen činilo u těchto genotypů 27,2; 16,3; respektive 16,1 %. Vyšší dávka půdně aplikovaného fosforu (P2 půda) se uplatnila pouze u pelušky Turnia. Nicméně tento genotyp reagoval nejlépe na mimokořenovou výživu fosforem (Folit P 500 SL v dávce 5 l/ha, P list), a to nárůstem produkce semen o 15 %.

Sledované odrůdy je možné seřadit dle odezvy na hnojení hořčíkem takto: Eso (+21,7 %) > Protecta (+17,1 %) > Turnia (+9,0 %) > Abarth (+5,0 %). U všech testovaných genotypů se výnos semen zvýšil nejvýrazněji po listovém přihnojení hořkou solí (graf 4). V případě odrůdy Eso byla reakce na hořčík dodaný hnojivem enormní (z 1,84 t/ha na 2,46 t/ha). U odrůdy Protecta byla zvýšená produkce semen na této variantě (Mg list) srovnatelná s výnosem dosaženým po předset'ové aplikaci 40 kg/ha Mg hnojivem Kieserit (Mg2 půda).

Graf 4 Výnos semen jednotlivých odrůd hrachu (t/ha) po přihnojení fosforem a hořčíkem, Vatín 2018–2019 a Šumperk 2019–2020



Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Hnojení fosforem vedlo také k nárůstu obsahu P v semeni hrachu. Jeho množství se zvýšilo i na variantách s aplikací hořčíku, nicméně nejvyšší nárůst byl zaznamenán u rostlin hnojených fosforem na list (tab. 11). Oproti nehnojené kontrole se na této variantě v průměru sledovaných odrůd zvýšil obsah P v semenech o 11,4 %.

Tab. 11 Obsah fosforu v semeni hrachu hnojeného P a Mg hnojivy, Vatín 2018–2019 a Šumperk 2019–2020

Varianta hnojení	Protecta		Eso		Turnia	
	% P	rel. %	% P	rel. %	% P	rel. %
Kontrola	0.405±0.015	100.0	0.439±0.017	100.0	0.363±0.039	100.0
P1 půda	0.412±0.017	101.7	0.451±0.001	102.7	0.409±0.012	112.7
P2 půda	0.412±0.009	101.7	0.470±0.021	107.1	0.393±0.003	108.3
P list	0.440±0.010	108.6	0.485±0.004	110.5	0.418±0.028	115.2
Mg1 půda	0.412±0.002	101.7	0.475±0.008	108.2	0.399±0.009	109.9
Mg2 půda	0.387±0.008	95.6	0.438±0.016	99.8	0.361±0.032	99.4
Mg list	0.421±0.005	104.0	0.459±0.012	104.6	0.388±0.011	106.9

Průměr ± směrodatná odchylka.

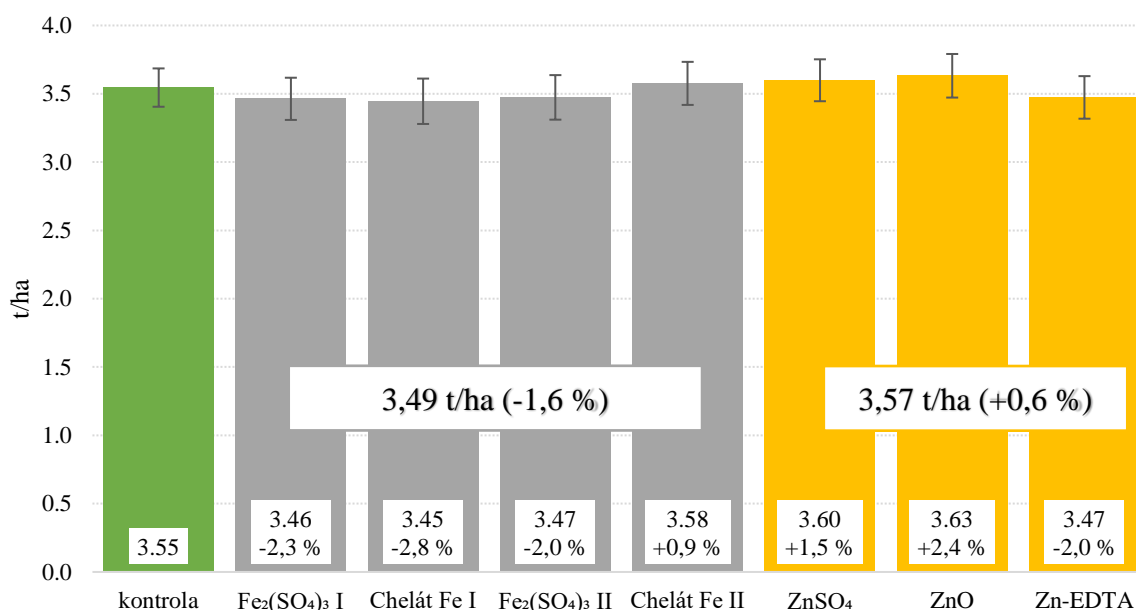
2.4 Efekt mimokořenové aplikace mikroelementů na výnos a kvalitu hrachu

V podmínkách dobré zásoby přístupných živin v půdě (P i Mg) byl na lokalitě Žabčice v období let 2018–2020 sledován vliv aplikace vybraných mikroelementů (Fe a Zn) na výnos a kvalitu produkce čtyř genotypů hrachu. Železo bylo přihnojeno ve dvou různých formách (síran, chelát), vybraná hnojiva byla aplikována do porostu/na list ve fázi BBCH 35-37 ve dvou dávkách (I a II).

Průměrná výnosová reakce hrachu na aplikaci železa za uvedené tříleté období (graf 5) naznačuje jeho nízkou účinnost. Pouze hrách přihnojovaný vyšší dávkou chelátu (chelát Fe II) zvýšil výnos oproti hrachu mikroelementy nehnojenému. V průměru všech variant hnojených železem však byl zaznamenán pokles výnosu semen, a to o 1,6 % oproti kontrole (graf 5).

Odezva hrachu na přihnojení zinkem byla výraznější. Ten byl aplikován ve stejné fázi jako železo, a to ve 3 formách (síran, oxid a chelát). Nárůst produkce semen na variantě hnojené 300 g Zn ve formách $ZnSO_4$ a ZnO představoval 1,5, respektive 2,4 %. Pokles výnosu hrachu hnojeného Zn v chelátu byl zřejmě způsoben jeho vysokou dávkou. Ta v kombinaci s vysokou intenzitou příjmu chelátů do rostliny (Škarpa, Antošovský 2017) pravděpodobně působila na hrách fyto toxicky. Z tohoto důvodu byla pro následné pokusy (2021 a 2020) dávka chelátového zinku snížena na 100 g/ha.

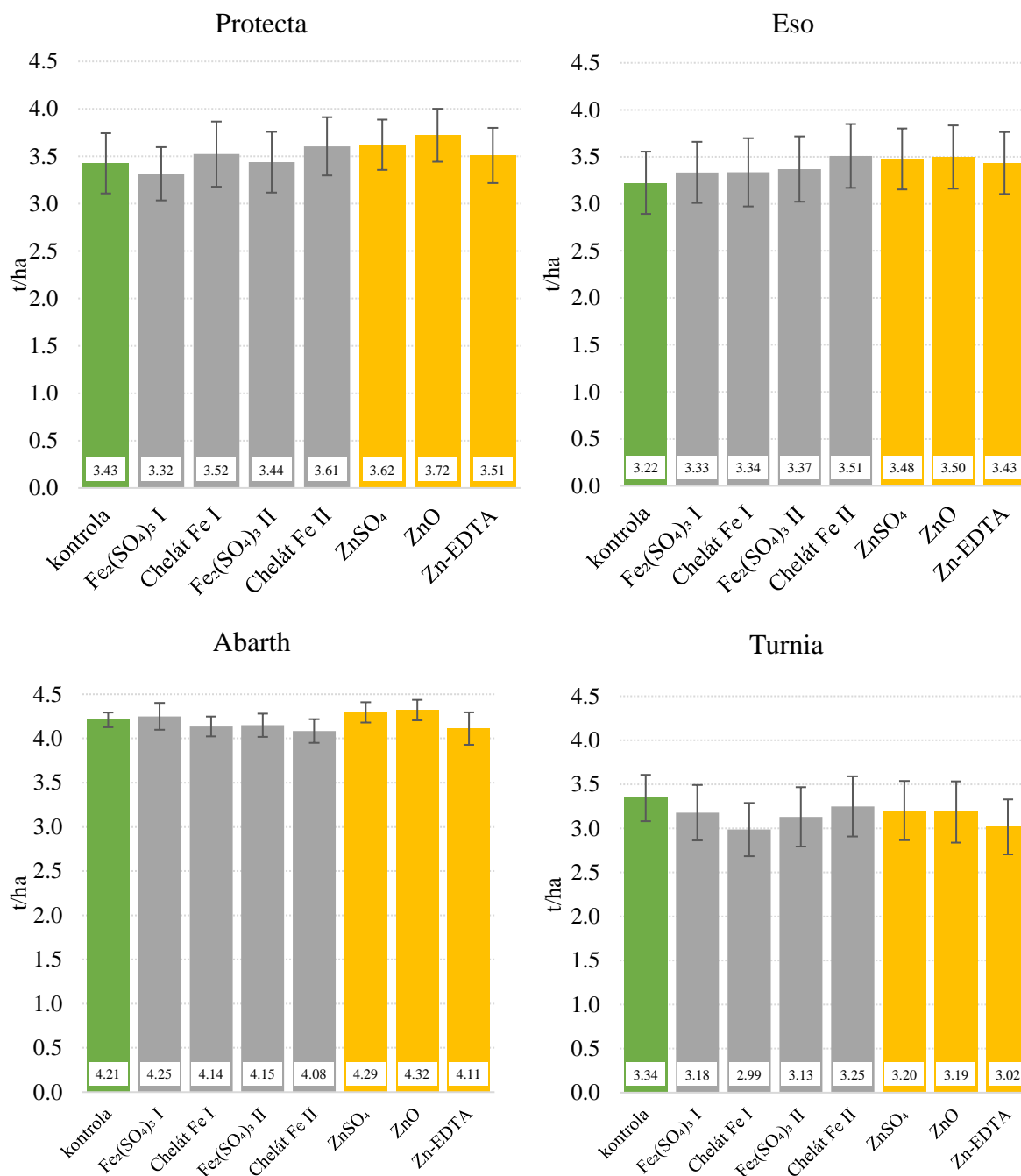
Graf 5 Výnos semen hrachu (t/ha) po přihnojení železem a zinkem, Žabčice 2018–2020



Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Přes uvedenou nízkou výnosovou odezvu hrachu na výživu mikroelementy je patrné, že v reakci na jejich mimokořenovou aplikaci nacházíme mezi testovanými odrůdami poměrně velké odlišnosti (graf 6). Zatím co Turnia snížila produkci semen u všech mikroelementy přihnojených variant, odrůdy Protecta a Eso reagovaly na listové hnojení zvýšenou produkcí semen. U těchto odrůd se uplatnila především aplikace Zn, kdy průměrný nárůst výnosu u variant hnojených touto živinou představoval 5,6 %, respektive 7,6 %. Pozitivní efekt mimokořenově aplikovaného zinku na růst hrachu, tvorbu výnosu a biofortifikaci semen popisuje celá řada studií (viz úvod), náš výzkum tyto výsledky potvrzuje.

Graf 6 Výnos semen jednotlivých odrůd hrachu (t/ha) po přihnojení železem a zinkem, Žabčice 2018–2020



Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Mimokořenová aplikace mikroelementů neměla jen dopad na výnos zrna pěstovaných hrachů, ale logicky zvýšila i jejich obsah v semeni (tab. 12). V rámci provedené agronomické biofortifikace se obsah Fe v semeni zvýšil nejvýrazněji po přihnojení chelátovým železem v dávce 500 g/ha Fe. Jeho nárůst oproti kontrole, vypočítaný jako průměr sledovaných odrůd, činil 6 %.

Obsah zinku, stanovený v semenech po sklizni hrachu, byl přihnojením zinečnatými hnojivy navýšen, v průměru testovaných odrůd následovně: kontrola (55, 62 mg/kg Zn) < chelát Zn (+3,6 %) < ZnO (+4,3 %) < ZnSO₄ (+6,0 %).

Tab. 12 Vliv hnojení mikroelementy na jejich obsah v semenech, Žabčice 2018-2020

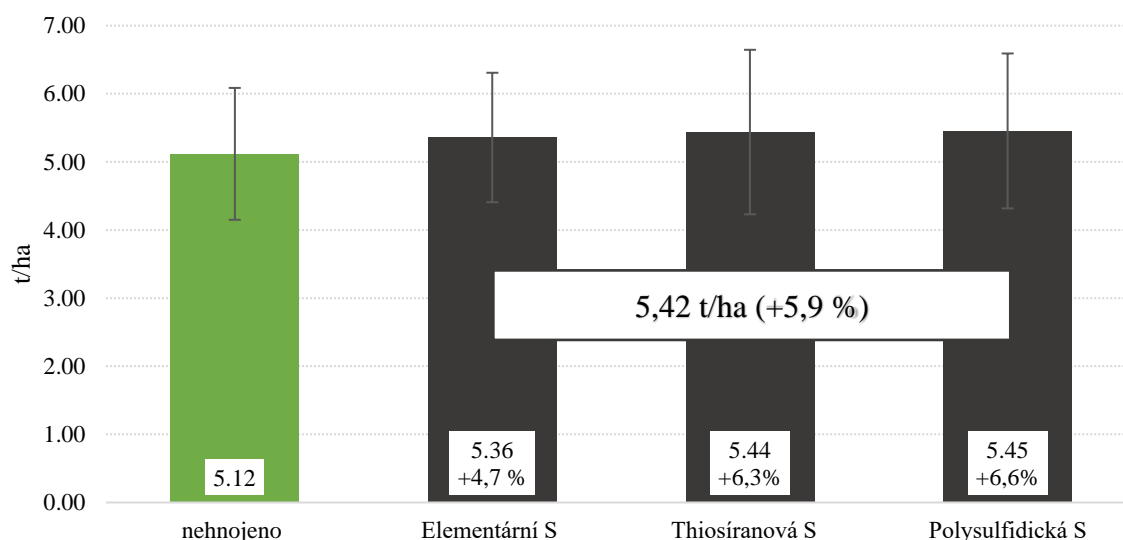
Varianta hnojení	Protecta		Eso		Turnia	
	mg/kg Fe	rel. %	mg/kg Fe	rel. %	mg/kg Fe	rel. %
Kontrola	43.45±0.32	100.0	49.17±1.05	100.0	46.18±0.44	100.0
Fe ₂ (SO ₄) ₃ I	46.20±0.74	106.3	48.30±0.61	98.2	48.18±0.76	104.3
Chelát Fe I	45.86±0.08	105.5	51.57±0.73	104.9	47.94±0.19	103.8
Fe ₂ (SO ₄) ₃ II	45.75±0.10	105.3	49.57±1.30	100.8	48.30±0.48	104.6
Chelát Fe II	44.55±0.71	102.5	53.10±0.86	108.0	49.58±0.84	107.4
Varianta hnojení	Protecta		Eso		Turnia	
	mg/kg Zn	rel. %	mg/kg Zn	rel. %	mg/kg Zn	rel. %
Kontrola	47.60±0.53	100.0	59.01±0.61	100.0	58.62±0.25	100.0
ZnSO ₄	50.94±2.38	107.0	62.65±0.60	106.2	61.53±0.93	105.0
ZnO	49.27±1.43	103.5	62.53±0.41	106.0	60.65±1.15	103.5
Chelát Zn	49.85±0.62	104.7	61.35±0.55	104.0	59.79±1.30	102.0

Průměr ± směrodatná odchylka.

2.5 Efekt mimokořenové aplikace síry na zdravotní stav a produkci hrachu

Výnosová odezva testovaných genotypů hrachu na mimokořenovou aplikaci síry byla zjišťována v polních pokusech na lokalitách Žabčice (2020) a Vatín (2021 a 2022). V polním experimentu realizovaném v Žabčicích byl v porostech 3 genotypů (Audit, AGT 2018.33 a AGT 2018.38) zjištěn pozitivní účinek aplikace síry na produkci semen všech sledovaných linií. V průměru se produkce zrna po aplikaci síry zvýšila o 5,9 % (graf 7). Z forem do pokusu zařazených byl nejvyšší výnosový efekt zjištěn u polysulfidické síry (Sulka K) a síry thiosíranové (FOLIT ThioSulf). Jejich aplikace přinesla průkazný nárůst výnosu semen hrachu, který byl, v porovnání s variantou kontrolní, navýšen o 6,6 %, respektive 6,3 % (graf 7).

Graf 7 Vliv mimokořenového přihnojení sledovaných forem S na výnos zrna (průměr linií), Žabčice, 2020



Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Z genotypů nejlépe reagovala na přihnojení S odrůda Audit (měřeno nárůstem výnosu), a to zejména při použití thiosíranové S (tab. 13). Přestože výsledky prezentují pouze jednoletý výzkum, jejich relevanci potvrzuje řada dalších studií uvedených v úvodu metodiky, které doporučují aplikaci síry jako vhodný doplněk výživy luskovin.

Tab. 13 Vliv aplikace síry na produkci hrachu, Žabčice 2020

Varianta hnojení	AGT 2018.33		AGT 2018.38		Audit	
	t/ha	rel. %	t/ha	rel. %	t/ha	rel. %
Nehnojeno	5.47±0.72	100.0	3.96±0.29	100.0	5.92±0.14	100.0
Elementární S	5.82±0.46	106.4	4.17±0.37	105.3	6.08±0.29	102.7
Thiosíranová S	5.60±0.49	102.4	3.98±0.15	100.5	6.73±0.15	113.7
Polysulfidická S	5.87±0.42	107.3	4.01±0.13	101.3	6.48±0.38	109.5

Síra je významnou rostlinnou živinou zapojující se do metabolismu dusíku a její užití u bílkovinných plodin má své opodstatnění. Zároveň její aplikace vede k potlačení houbových chorob. Známý je účinek spojený s funkcemi po přijetí do rostliny. Pozitivní efekt síry na zdravotní stav rostlin je definován jako tzv. „sírou indukovaná rezistence“. Ta je založena na produkci cysteinu, aminokyseliny obsahující thiolovou skupinu-SH, která tvoří významný prekurzor látek jako glutathion, glukosinoláty, H₂S a další. Tyto jsou přímo uvolňovány rostlinou a následně zapojeny do boje s patogeny z řad plísň a hub. Zároveň se uplatňuje samotná síra na povrchu rostlin, která zabraňuje růstu jejich spor.

Zdravotní stav rostlin byl v pokuse hodnocen s výsledky, které prezentuje tabulka 14. Po zhodnocení stupňů napadení je možné konstatovat pozitivní účinek listové aplikace síry thiosíranové a polysulfidické na zdraví rostlin, především pak na potlačení plísň hrachu (*Perenospora pisi*) u linií AGT 2018.33 a AGT 2018.38 a komplexu kořenových chorob, kde se podílela zejména síra elementární a thiosíranová.

Tab. 14 Vliv mimokořenového přihnojení sírou na zdravotní stav rostlin, Žabčice 2020

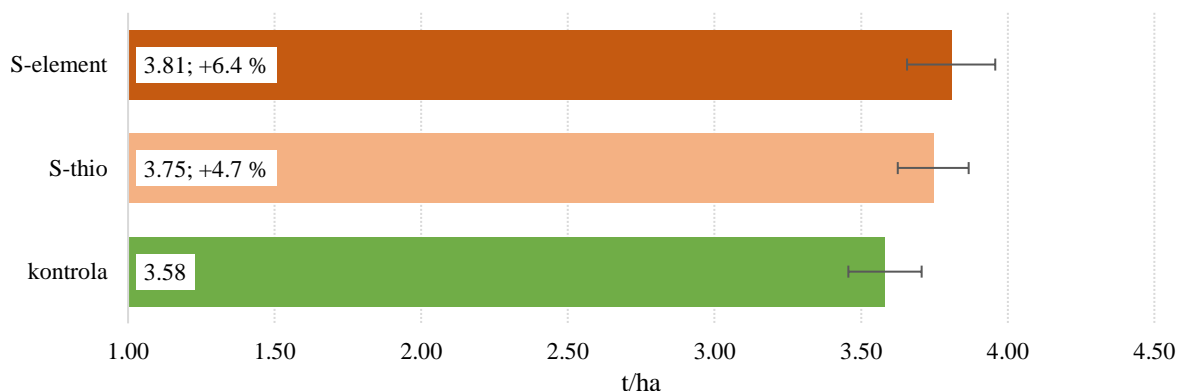
AGT 2018.33	Nehnoj.	Element. S	Thios. S	Polysulf. S
Strupovitost hrachu (<i>Ascochyta pisi</i>)	3	5	3	4
Padlí hrachu (<i>Erysiphe pisi</i>)	6	6	6	7
Plíseň hrachu (<i>Perenospora pisi</i>)	2	3	6	7
Komplex kořenových chorob	5	3	3	5
AGT 2018.38	Nehnoj.	Element. S	Thios. S	Polysulf. S
Strupovitost hrachu (<i>Ascochyta pisi</i>)	5	5	4	6
Padlí hrachu (<i>Erysiphe pisi</i>)	6	6	5	7
Plíseň hrachu (<i>Perenospora pisi</i>)	3	2	6	6
Komplex kořenových chorob	4-5	3	3	6
Audit	Nehnoj.	Element. S	Thios. S	Polysulf. S
Strupovitost hrachu (<i>Ascochyta pisi</i>)	6	6	6-7	5
Padlí hrachu (<i>Erysiphe pisi</i>)	4	4	3	4
Plíseň hrachu (<i>Perenospora pisi</i>)	7	7	6-7	6
Komplex kořenových chorob	4	4	3	3

Hodnoceno dle Metodiky zkoušek užitné hodnoty: Hrách polní (včetně pelušky) ZUH/8-2019, ÚKZÚZ

V polních podmínkách lokality Vatín byl v letech 2021 a 2022 studován vliv mimokořenové aplikace S-hnojiv, které byly vybrány na základě testování provedeného v Žabčicích (elementární a thiosíranová). Při výběru forem síry byla zohledněna nejen jejich účinnost, ale i dostupnost hnojiv obsahujících síru. Testování vlivu foliární aplikace síry proběhlo na odrůdách Protecta, Eso, Abarth a Turnia.

Průměrný efekt síry aplikované během vegetace hrachu (výška porostu 25 – 30 cm) uvádí graf 8. Z něj je patrný 4,7% nárůst výnosu semen po užití thiosíranové S a 6,4% zvýšení produkce způsobené účinkem síry elementární.

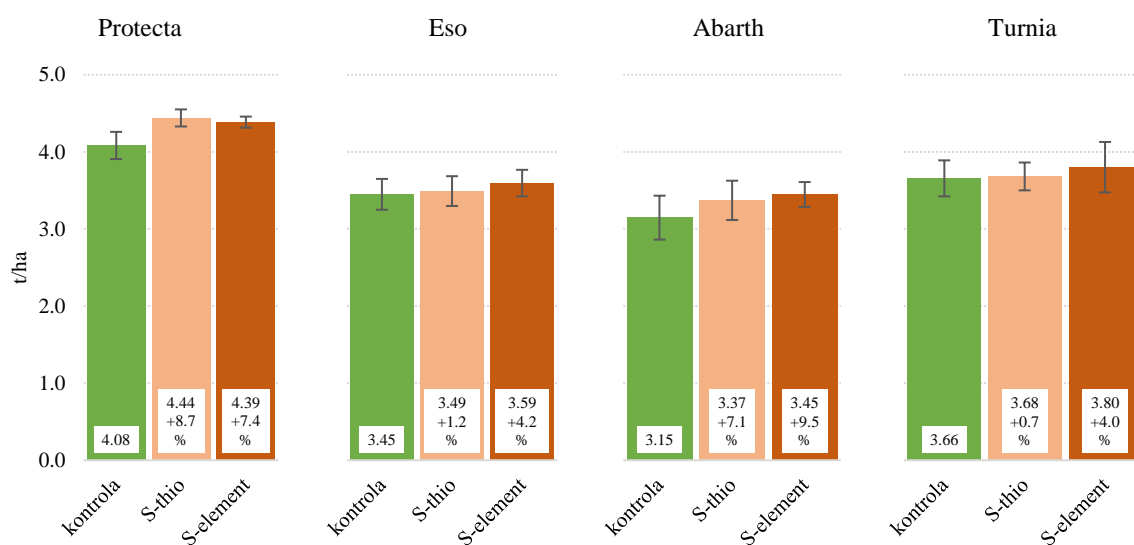
Graf 8 Vliv mimokořenového přihnojení sledovaných forem S na výnos zrna (průměr odrůd), Vatín, 2021–2022



Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Reakce odrůd na listovou aplikaci S je patrná z grafu 9. Nejvýrazněji na přihnojení sírou reagovala Protecta a Abarth, nárůst produkce semen vlivem aplikace ES byl 7,4 %, respektive 9,5 %. Tyto odrůdy zvýšily výnos i po aplikaci thiosíranové síry, její efekt nebyl zaznamenán u odrůd Eso a Turnia.

Graf 9 Výnos semen jednotlivých odrůd hrachu (t/ha) po mimokořenovém přihnojení sledovanými formami S, Vatín, 2021-2022



Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

2.6 Návrh metodiky výživy hrachu vybranými kombinacemi hnojení

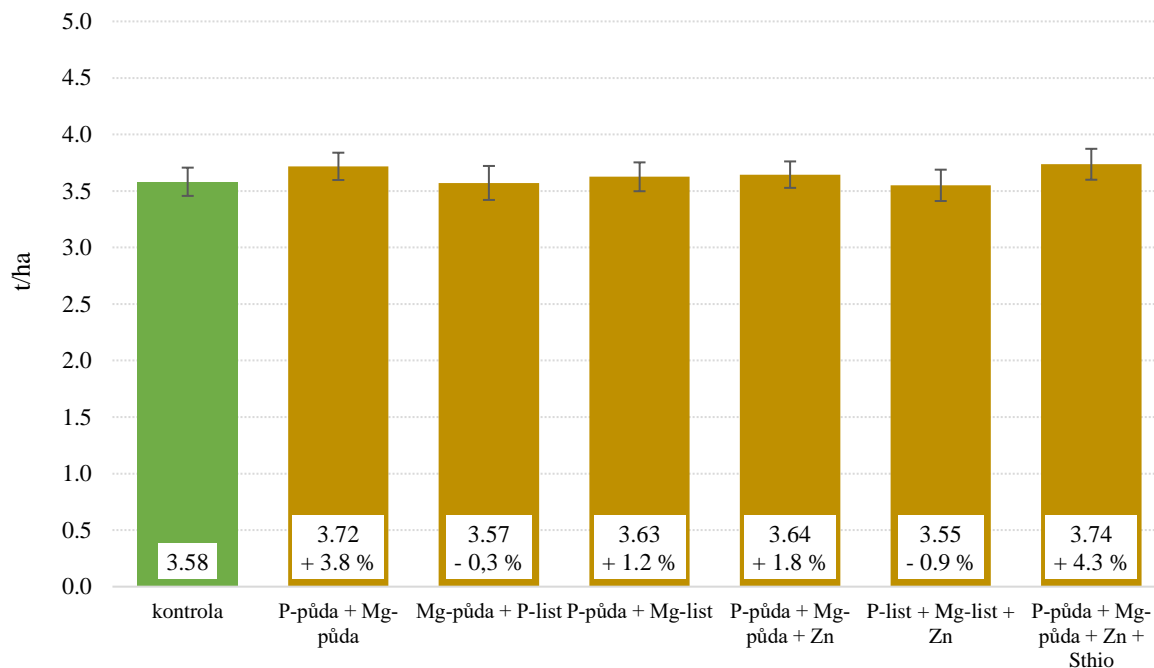
Na základě zhodnocení výsledků testování hrachu z let 2018–2020 byly vybrány kombinace hnojení s P, Mg, S a Zn hnojivý. Testování těchto vybraných variant hnojení bylo provedeno na lokalitě Vatín, která vykazovala nejnižší přirozenou půdní zásobu živin.

Cílem dvouletého testování bylo ověření vybraných kombinací hnojiv u 3 odrůd hrachu (Protecta, Eso, Abarth) a jedné odrůdy pelušky (Turnia) dle schématu uvedeného v tabulce 10.

Odezvu hrachu na hnojení, vyjádřenou průměrným výnosem do studie zařazených odrůd, prezentuje graf 10. Nejvyšší výnos byl dosažen u hrachu hnojeného před setím dávkou 30 kg/ha P s přihnojením hnojivem Kieserit v dávce 20 kg/ha Mg, navíc v kombinaci s mimokořenovou aplikací 100 g/ha Zn ve formě chelátu a 810 g/ha S aplikované v thiosíranu.

Uvedená kombinace hnojení přinesla zvýšení výnosu semen o 4,3 % v porovnání s variantou nehnojenou (graf 10). Ve shodě s předešlými ročníky reagovaly jednotlivé odrůdy hrachu na testované kombinace hnojení specificky (graf 11).

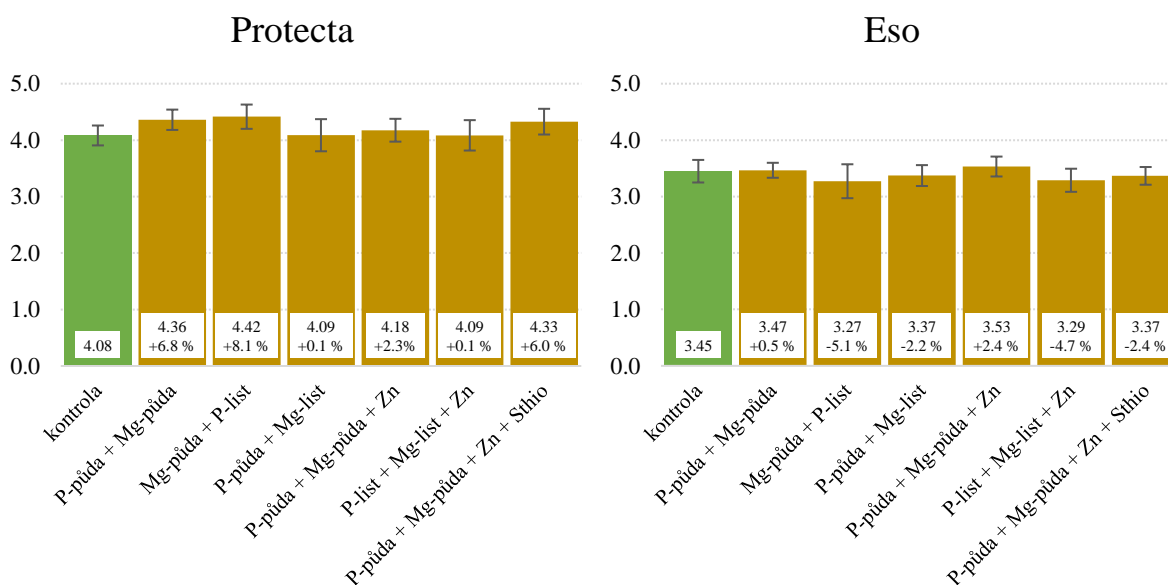
Graf 10 Výnos semen hrachu (t/ha) po přihnojení vybranými kombinacemi hnojiv

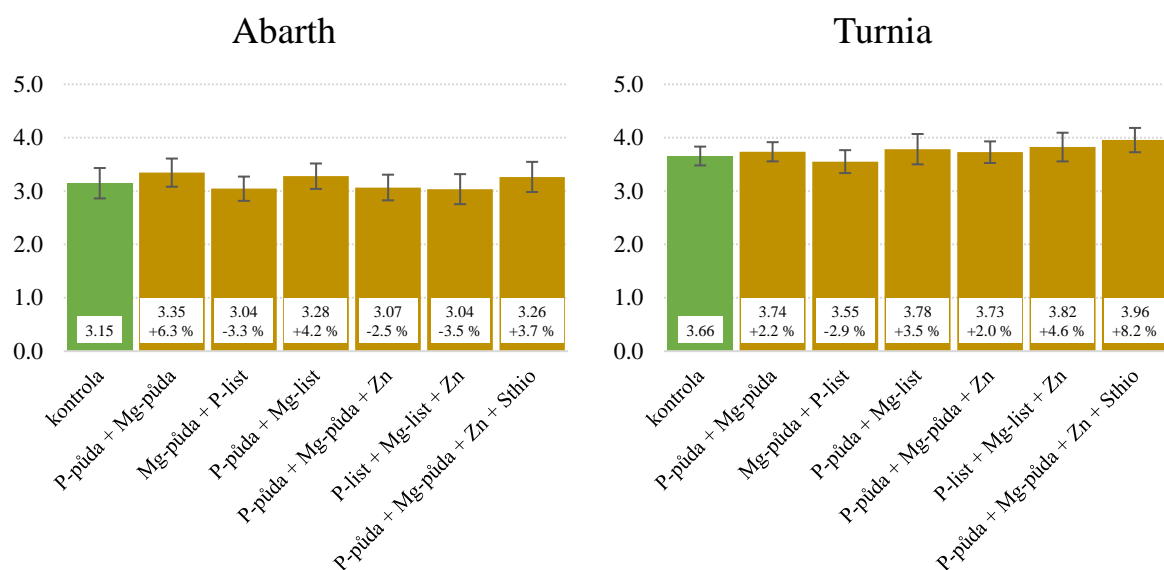


Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Nejvyšší nárůst u odrůdy Protecta byl zaznamenán na variantě hnojené hořčíkem do půdy s přihnojením fosforu na list. V případě Abarthu se nejvíce uplatnila půdní aplikace fosforu i hořčíku. Kombinace s půdní aplikací P i Mg a přihnojením zinku (chelát) a síry (thio) během vegetace přinesla nejvyšší efekt u Turnie. Eso reagovalo nejvyšším nárůstem produkce semen na půdní aplikaci P i Mg s přihnojením Zn-EDTA.

Graf 11 Výnos semen jednotlivých odrůd hrachu (t/ha) po přihnojení vybranými kombinacemi hnojiv, Vatín, 2021-2022





2.7 Závěr

Výsledky polního testování efektu hnojení hrachu fosforem, hořčíkem, sírou a mikroelementy ukazují pozitivní reakce této luskoviny, zvláště pokud je pěstována na půdách chudých na živiny (s nízkou a vyhovující zásobou P a Mg). Na základě zhodnocení 5letého výzkumu lze učinit níže uvedené závěry.

Efekt půdní aplikace a listového přihnojení fosforem a hořčíkem.

- Aplikace fosforu před setím v dávce 30 kg/ha P (superfosfát jednoduchý) zvyšuje produkci semen u odrůd hrachu Eso, Abarth a Protecta.
- Mimokořenové přihnojení fosforem (Folit P 500 SL), provedené v dávce necelých 2 kg/ha P, je vhodný doplněk výživy hrachu, zejména odrůdy Turnie.
- Hnojení hořčíkem před setím (20 kg/ha Mg, Kieserit) a zejména mimokořenová výživa Mg (15 kg/ha Mg, hořká sůl) významně zvyšuje produkci semen, zejména u odrůdy Eso.
- Mimokořenová aplikace fosforu (Folit P 500 SL) i hořčíku (hořká sůl) průkazně zvyšuje množství fosforu v semeni hrachu.

Efekt mimokořenového hnojení železem a zinkem.

- Listová aplikace železa výnos semen hrachu neovlivňuje.
- Nárůst výnosu semen hrachu hnojeného 300 g/ha Zn ($ZnSO_4$ a ZnO) při výšce porostu 25–30 cm představuje 1,5 %, respektive 2,4 %.
- Hnojení mikroelementy zvyšuje jejich obsah v semeni, v případě železa (chelát Fe, 500 g/ha Fe) a zinku ($ZnSO_4$, 500 g/ha Zn) o 6 % rel.

Efekt listového hnojení sírou

- Užití thiosíranové S aplikované mimokořenově v dávce 510 g/ha S (FOLIT ThioSulf 760 SL) zvyšuje výnos hrachu v průměru o 4,7 %, nárůst výnosu semen hrachu přihnojeném elementární sírou (2400 g/ha S, FOLIT Síra 800 SC) činí 6,4 %.
- Byl prokázán pozitivní účinek listové aplikace síry thiosíranové a polysulfidické na zdraví rostlin, především pak na potlačení plísně hrachu (*Perenospora pisi*) a komplexu kořenových chorob, kde se podílela zejména síra elementární a thiosíranová.

Návrh metodiky výživy hrachu vybranými kombinacemi hnojení

Nejvyšší nársůt výnosu semen hrachu byl dosažen po předset'ovém přihnojení 30 kg/ha P v kombinaci s Kieseritem aplikovaným v dávce 20 kg/ha Mg s doplněním o mimokořenově přihnojený zinek (100 g/ha Zn ve formě chelátu) a 810 g/ha S v thiosíranové formě, a to ve výšce prostu 25–30 cm.

2.8 Doporučení pro praxi

Z výsledků polního testování je zjevné, že hrách reaguje na přihnojení P a Mg nárůstem výnosu. Doporučení hnojení hrachu těmito živinami se vztahuje zejména na stanoviště s jejich nízkou, případně vyhovující zásobou. Z výsledků AZZP (cyklu 2016-2021) vyplývá, že nízký obsah P a Mg se vyskytuje na 26,5 %, respektive 14,1 % výměry orných půdy (OP), obsahy vyhovující jsou charakteristické pro 27,9 %, respektive 33,5 % výměry OP. Je nutné si uvědomit, že aplikace hnojiv s P a Mg provedená v pěstební technologii luskovin (před setím, případně podzimní aplikace se zapravením do půdy) přináší efekt nejen pro danou plodinu (hrách), ale i pro plodiny následné. Příčinou je poměrně nízká mobilita aplikovaných živin (zejména P).

Praktický dopad má také mimokořenové přihnojení sírou a zinkem. Síra je deficitní živina, ve stejném cyklu AZZP se její velmi nízký, nízký a vyhovující obsah pohyboval na výměře 14,6 %, 55,6 % a 18,5 %, což v součtu činí 70,2 %. Na rozdíl od P a Mg je síra v půdě velmi mobilní (vyplavuje se v podobě síranů) a její přihnojování formou listové aplikace je vhodným doplňkem výživy luskovin.

I když je zinku v půdách ČR poměrně značné množství (nízká zásoba na 7,1 %, střední na 57,5 % orných půd), jeho přijatelnost rostlinami je ovlivněna celou řadou faktorů, zejména půdní kyselostí. Jeho foliární aplikace na porosty pěstované na půdách neutrálních až alkalických přináší výnosový efekt.

Z dosažených výsledků testování vlivu P, Mg, S a Zn hnojení je proto možné využít různé kombinace výživy uvedenými živinami, a to zejména při zohlednění zásoby živin v půdě (zejména P a Mg) a její kyselosti (omezený příjem Zn na půdách s vyšší hodnotou pH/CaCl₂). Mimokořenové hnojení sírou je alternativa, která má potenciál nahradit fungicidní ošetření a zároveň dodat živinu nezbytnou pro tvorbu dusíkatých látek.

3 Srovnání novosti postupů

Metodika přináší nové postupy ve výživě hrachu, které jsou založeny na použití vybraných hnojiv obsahujících fosfor, hořčík, síru a zinek. Metodika prezentuje účinek jejich separátních aplikací a vybraných kombinací hnojení živin do půdy (P a Mg) a na list (P, Mg, S a Zn). Přináší zhodnocení víceletého srovnání optimalizace výživy uvedenými živinami v podmínkách 3 odlišných lokalit na výnos semen a jejich nutriční hodnotu. Žádná z předchozích metodik zaměřených na hnojení hrachu se obdobnou tematikou v podmínkách ČR nezabývala.

4 Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena především managementu podniků pěstujících hrách, dále zemědělským poradcům v zemědělství, organizacím sdružujícím pěstitele luskovin (např. APZL) za účelem poradenské činnosti a pracovníkům ve státní správě.

Metodika bude uplatněna v zemědělské prvovýrobě, zejména v podnicích pěstujících hrách setý. Certifikovaná metodika bude distribuována v tištěné formě na pořádaných konferencích, seminářích a polních dnech určených pro zemědělskou veřejnost. V elektronické podobě bude zveřejněna na webových stránkách Mendelovy univerzity v Brně a Agritec Plant Research s.r.o.

5 Ekonomické zhodnocení

Výnos a kvalita produkce hrachu setého jsou závislé na průběhu vegetace, který je ovlivňován celou řadou faktorů. Mezi ty hlavní, jejichž úroveň lze ovlivnit agrotechnickými zásahy pěstitelů, řadíme racionální výživu rostlin, při které se zaměřujeme na dodání živin s respektem k potřebám dané plodiny, při zohlednění půdní zásoby a přijatelnosti živin. Proto v případě nepříznivých vnějších podmínek (půdních, ale i klimatických) je doporučováno v rámci managementu pěstování optimalizovat výživný stav porostu použitím hnojiv obsahujících deficitní živiny. Náklady spojené s těmito vstupy mají přinést zvýšenou produkci a nárůst tržeb tak, aby bylo opatření rentabilní.

Je tedy nutné kalkulovat ceny vstupů (hnojiv, PHM, práce) a komodit, které se v čase významně mění, a na základě toho se relevantně rozhodnout, zda nabízené postupy budou v daném čase rentabilní/racionální.

Za účelem ekonomického zhodnocení použití hnojiv v systému hnojení hrachu byl vytvořen příklad finanční analýzy hnojení (efekt listové aplikace síry). Ekonomické zhodnocení polních pokusů je založeno na srovnání variabilních nákladů na hnojení (ceny hnojiva a jejich aplikace), bez započítání fixních nákladů, s tržbami, které přináší nárůst produkce semen způsobený hnojením (tab. 15).

Tab. 15 Příklad ekonomického zhodnocení mimokořenového hnojení hrachu sírou

Varianta hnojení	Výnos semen (t/ha)	Nárůst výnosu		Náklady na hnojení			Nárůst tržeb (Kč)
		t/ha	Kč	Hnojivo	Aplikace	Celkem	
Nehnojeno S	5.12						
Element. S	5.36	0.24	1 080 Kč	420 Kč	300 Kč	720 Kč	360 Kč
Thios. S	5.44	0.32	1 440 Kč	250 Kč	300 Kč	550 Kč	890 Kč
Polysulf. S	5.45	0.33	1 485 Kč	330 Kč	300 Kč	630 Kč	855 Kč

Ceny hnojiv a komodity vztaženy k roku experimentu (2020).

FOLIT Síra 800 SC = 140,- Kč/l (3 l/ha hnojiva), FOLIT ThioSulf 760 SL 100 Kč/l (2,5 l aplikace), Sulka K = 110,- Kč/l (3 l/ha hnojiva). Cena za aplikaci hnojiva postřikem: 300,- Kč/ha. Cena komodity hrách: 4500 Kč/t

Uvedený vzor ekonomického zhodnocení aplikace hnojiv je možné použít na další předkládané postupy hnojení.

6 Seznam použité související literatury

- Agegnehu, G. Response of faba bean to phosphate fertilizer and weed control on nitisols of Ethiopian highlands. Ital. J. Agron. 2006
- Alene, A.A., et al. Phosphorus use efficiency, yield and nodulation of mung bean (*Vigna radiata* L.) as influenced by the rate of phosphorus and *Rhizobium* strains inoculation in Metema district, Ethiopia. J. Plant Nutr. 2021
- Alloway, B.J. Zinc – the vital micronutrient for healthy, high-value crops. 2002
- Amarakoon, D., et al. Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: a potential food-based solution to global micronutrient malnutrition. J food compos anal. 2012
- AthokpamH, et al. Evaluation of some soil test methods in acid soils for available phosphorus for pea of senapati district of Manipur (India). Int. j. agric. environ. biotechnol. 2016
- Basak, R.K., Kundu, S. Efficiency of the mixture of rock phosphate and superphosphate in green gram-fodder maize-pea crop sequence in new alluvial soil. Ecol. Environ. Conserv. 2002

- Becana, M., et al. Sulfur transport and metabolism in legume root nodules. *Front. Plant Sci.* 2018
- Bhattacharrya, M.K. The wrinkled-seed character of pea described by Mendel is caused by a transposon-like insertion in a gene encoding starch-branching enzyme. *Cell.* 1990
- Bi, Y., et al. Interspecific interactions contribute to higher forage yield and are affected by phosphorus application in a fully-mixed perennial legume and grass intercropping system. *Field Crops Res.* 2019
- Boye, J., et al. Pulse proteins: processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food res. Int.* 2010
- Bretag, T., et al. The epidemiology and control of *Ascochyta* blight in field peas: a review. *Aust. J. Agric. Res.* 2006
- Cakmak. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification. *Plant Soil.* 2008
- Campbell, G.W., Smith, R.I. Spatial and temporal trends in atmospheric sulphur deposition to agricultural surfaces in the United Kingdom. *Proceedings of the fertiliser society.* 1996
- Cazzato, E., et al. Quality, yield and nitrogen fixation of faba bean seeds as affected by sulphur fertilization. *Acta Agric. Scand. A Anim. Sci.* 2012
- Cooke. Fertilizing for maximum yield. 1982
- Cooper, R.M. Elemental sulphur as an induced antifungal substance in plant defence. *J. Exp. Bot.* 2004
- Dahl, W.J, et al. Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). *Br J Nutr.* 2012.
- Dubousset, L., et al. Is there mobilization of S- and N-reserves for seed filling of winter oilseed rape modulated by sulphate restrictions occurring at different growth stages? *J. Exp. Bot.* 2010
- Ejaz, S. et al. Effects of inoculation of root-associative *Azospirillum* and agrobacterium strains on growth, yield and quality of pea (*Pisum sativum* L.) Grown under different nitrogen and phosphorus regimes. *Sci. Hortic.* 2020
- Fageria, F., et al. Foliar fertilization of crop plants. *J. Plant Nutr.* 2009
- Farhat, N., et al. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. *Acta Physiol. Plant.* 2016
- Fecenko, J., Ložek, O. Výživa a hnojení pol'ných plodín. 2000
- Fehr, W.R. Principles of cultivar development. 1993
- Fishmes, J., et al. Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. *Eur. J. Agron.* 2000
- Gaikwad, A., et al. Isolation and characterisation of the cDNA encoding a glycosylated accessory protein of pea chloroplast DNA polymerase. *Nucleic Acids Res. Spec. Publ.* 1999
- Gowariker, V., et al. The fertilizer Encyclopedia. 2009
- Graham, P., Vance, C. Legumes: importance and constraints to greater use. *Plant Physiol.* 2003
- Guindon, M.F., et al. Biofortification of pea (*Pisum sativum* L.): a review. *J. Sci. Food Agric.* 2021
- Hussain, R., et al. Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. *Plant Soil.* 2012
- Chakraborty, U., et al. Protection of soybean rot by *Bradyrhizobium japonicum* and *Trichoderma harzianum* associated with changes in enzyme activities and phytoalexin production. *J. Mycol.* 2003
- Chaney, R.L. Zinc phytotoxicity. *Zinc in Soils and Plants.* 1993
- CHMI. Atmospheric deposition in the territory of the Czech Republic. 2019.
- Ibrahim, E.A., Ramadan, W.A. Effect of zinc foliar spray alone and combined with humic acid or/and chitosan on growth, nutrient elements content and yield of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants sown at different dates. *Sci. Horti.* 2015

- Kasturikrishna, S. Ahlawat, I. Effect of moisture stress and phosphorus, sulphur and zinc fertilizers on growth and development of pea (*Pisum sativum*). Indian J. Agron. 2000
- Khadraji, A., et al. Effect of soil available phosphorus levels on chickpea (*Cicer arietinum* L.) - rhizobia symbiotic association. Legum. Res. 2020
- Klír, J., et al. Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. 2008
- Kosev, V., Pachev, I. Genetic improvement of field pea (*Pisum sativum* L.) in Bulgaria. Field Veg. Crop res. 2010
- Kováčik, P., Ryant, P. Agrochémia: (princípy a prax). 2019
- Kristjansson, M., et al. Functionality of purified yellow pea protein isolates for food application. Annu trans nordrheol soc. 2014
- Kumar, J. Effect of phosphorus and sulphur application on performance of vegetable pea (*Pisum sativum* L.) Legum. Res. 2011
- Lewis, G.B., et al. Legumes of the world. 2005
- Ling, F., Silberbush, M. Response of maize to foliar vs. Soil application of nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers. J. Plant nutr. 2007
- Ludvíková, M., Griga, M. Pea transformation: history, current status and challenges. Czech J Genet Plant Breed. 2022
- Malysheva, N.V., et al. Genetic transformation of pea (*Pisum sativum*). 2001
- Manzeke, M.G., et al. Zinc fertilization increases productivity and grain nutritional quality of cowpea (*Vigna unguiculata*) under integrated soil fertility management. Field Crop Res. 2017
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 1995
- Marschner, H. Marschner's mineral nutrition of higher plants, Elsevier science & technology. 2011
- Maxted, N., Ambrose, M. Peas (*Pisum* L.). 2001
- Mikić A., et al. The legume manifesto: (net)workers on *Fabaceae*, unite! Field and vegetable crops research. 2011
- Miller, G.A., et al. Effect of available soil-phosphorus and environment on the phytic acid concentration in oats. Cereal chem. 1980
- Mitran, T., et al. Role of soil Phosphorus on legume production. 2018
- Mosali, J., et al. Effect of foliar application of Phosphorus on winter wheat grain yield, Phosphorus uptake and use efficiency. J. Plant nutr. 2006
- Mukherjee, S., et al. Differential toxicity of bare and hybrid ZnO nanoparticles in green pea (*Pisum sativum* L.): a life cycle study. Environ. Eng. Sc. 2016
- Noack, S.R., et al. Potential for foliar phosphorus fertilization of dryland cereal crops: a review. Crop. Pasture Sci. 2011
- Notto, L., Weil, A.R. Sulfur fertilization improves both yield and protein quality of soybean. Soil Sci. Plant Nutr. 2018
- Omer, Z.S., et al. Effects of sulphur fertilization in organically cultivated faba bean. Agric. Food Sci. 2020
- Paivoke, A. The short-term effects of zinc on the growth, anatomy and acid phosphatase activity of pea seedlings. Ann. Bot. Fenn. 1983
- Parker, P. Nutrition and soil fertility. 2009
- Pedler, J.F., et al. Zinc deficiency-induced phytosiderophore release by the *Triticaceae* is not consistently expressed in solution culture. Planta. 2000
- Pias, O., et al. Crop yield responses to sulfur fertilization in Brazilian no-till soils: a systematic review. Rev. Bras. Cienc. Solo. 2019
- Poblaciones, M.J., Rengel, Z. Soil and foliar zinc biofortification infield pea (*Pisum sativum* L.): grain accumulation and bioavailability in raw and cooked grains. Food chem. 2016

- Polesi, L.F. Composition and characterization of pea and chickpea starches. Braz J Food Technol. 2011
- Procházka, S. Fyziologie rostlin. 1998
- Raboy, V. Approaches and challenges to engineering seed phytate and total phosphorus. Plant sci. 2009
- Raboy, V. Myo-inositol-1,2,3,4,5,6-hexakisphosphate. Phytochem. Lett. 2003
- Raboy, V., Dickinson, D.B. Phytic acid levels in seeds of *Glycine max* and *G. soja* as influenced by Phosphorus status. Crop. Sci. 1993
- Ray, R.W., et al. The nature and properties of soils. 2008
- Rotaru, V., Sinclair, T.R. Influence of plant phosphorus and iron concentrations on growth of soybean. J. Plant Nutr. 2009
- Rout, G.R., Das, P. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. Sustain. Agric. 2009
- Salvagiotti, F., et al. Sulfur efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field crop. Res. 2009
- Salvagiotti, F., Miralles, D.J. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. Eur. J. Agron. 2008
- Saneoka, H., Koba, T. Plant growth and phytic acid accumulation in seed as affected by phosphorus application in maize (*Zea mays* L.). Grassl. Sci. 2003
- Scherer, H.W. Impact of sulfur on N₂ fixation of legumes. Sulfur Assimilation and Abiotic Stress in Plants. 2008
- Schnug, E., et al. Impact of sulphur fertilization on fertilizer nitrogen efficiency. Sulphur in Agriculture. 1993
- Schumacher H., et al. Seed protein amino acid composition of important local grain legumes *Lupinus angustifolius* L., *Lupinus luteus* L., *Pisum sativum* L. and *Vicia faba* L. Plant Breed. 2011
- Schwarzbach, E., et al. Gregor j. Mendel – genetics founding father. Czech J Genet Plant Breed. 2014
- Singh, A.K., et al. Dynamics of powdery mildew (*Erysiphe trifolii*) disease of lentil influenced by sulphur and zinc nutrition. Plant Pathol J. 2013
- Smýkal, P., et al. Phylogeny, phytogeography and genetic diversity of the *Pisum* genus. Plant genet. resour. 2011
- Stagnari, F., et al. Response of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars to foliar applications of magnesium. Ital. J. Agron. 2009
- Syers, J.K., et al. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus: reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information. FAO fertilizer and plant nutrition bulletin. 2008
- Škarpa, P. Antošovský, J. Effectiveness of selected zinc forms in foliar nutrition of maize. *Agricultura Scientia Prosperitas. ČZU Praha 2017*
- Tabak, M., et al. Efficiency of nitrogen fertilization of winter wheat depending on sulfur fertilization. Agron. 2020
- Tesfaye, M., et al. Genomic and genetic control of phosphate stress in legumes. Plant physiol. 2007
- Thavarajah, D., et al. Changes in inositol phosphates in low phytic acid field pea (*Pisum sativum* L.) lines during germination and in response to fertilization. Am J Plant Sci. 2013
- Uddin, M.I., et al. Yield performance of garden pea (*Pisum sativum* L.) as affected by different row spacing and fertilization of phosphorus. Curr. Agric. 2001.
- Vaněk, V. Výživa polních a zahradních plodin. 2007
- Vaněk, V. Výživa zahradních rostlin. 2012

- Vitosh et al. Zinc determine of crop and soil. 1994
- Vrataric, M., et al. Response of soybean to foliar fertilization with magnesium sulfate (Epsom Salt). Cereal Res. Commun. 2006
- Wang, T.L., Hedley, C.L. Genetics and developmental analysis of the seed. 1993
- Warkentin, T.D., et al. Development and characterization of low-phytate pea. Crop. Sci. 2012
- Wen, F., et al. Effect of pectin methyl esterase gene expression on pea root development. Plant cell. 1999
- Wilcox, J.R., et al. Isolation of high seed inorganic P, low-phytate soybean mutants. Crop. Sci. 2000
- Williams, J.S., Cooper, M.R. Elemental sulphur is produced by diverse plant families as a component of defence against fungal and bacterial pathogens. Physiol. Mol. Plant Pathol. 2003
- Yang, et al.: Effects of B, Mo, Zn, and their interactions on seed yield of rapeseed. Pedosphere. 2009
- Yilmaz, E., et al. Effect of seed zinc content on grain yield and zinc concentration of wheat grown in zinc-deficient calcareous soils. Plant nutrition. 1998
- Zbiral, J., et al. Sulphur status in agricultural soil determined using the Mehlich 3 method. Plant soil environ. 2018
- Zhao, F.J., Mcgrath, S.P. Effects of sulphur nutrition on growth and nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). Plant and soil. 1999
- Zohar, D., Hopf, M. Domestication of plants in the old world 2000

7 Seznam publikací, které předcházely metodice

- Mikušová, D., Škarpa, P., Húska, D., Rankić, I. Foliar application of zinc in pea (*Pisum sativum*) nutrition. In: *MendelNet 2019: Proceedings of 26th International PhD Students Conference*. 1. vyd. Brno: Mendel University in Brno, 2019, s. 60–64. ISBN 978-80-7509-688-3.
- Škarpa, P., Dostálová, R., Školníková, M., Antošovský, J. Vliv hnojení na výnos a obsah živin hrachu a pelušky. *Úroda*. 2019, 67(3), 55-59. ISSN 0139-6013.
- Škarpa, P., Antošovský, J., Dostálová, R. Hořčík patří do systému hnojení luskovin. *Agromanuál*. 2020, 15(2), 104–105. ISSN 1801-7673.
- Škarpa, P., Antošovský, J., Uplatnění síry v listové výživě hrachu. *Agromanuál (ISSN 1801-7673)* 2021, 16(5), 94–95.
- Škarpa P., Antošovský J., Klofáč D., Křiška T. Výživa hrachu – výsledky pokusů, Poster. *Polní den MendelAgro 2021*, 15. a 17. června 2021, ŠZP Žabčice, Žabčice.
- Škarpa, P.; Školníková, M.; Antošovský, J.; Horký, P.; Smýkalová, I.; Horáček, J.; Dostálová, R.; Kozáková, Z. Response of Normal and Low-Phytate Genotypes of Pea (*Pisum sativum* L.) on Phosphorus Foliar Fertilization. *Plants* 2021, 10, 1608. <https://doi.org/10.3390/plants10081608>



Zvýšení výnosu a nutriční hodnoty vybraných genotypů hrachu hnojením a agronomickou biofortifikací.

Certifikovaná metodika č. UKZUZ 244149/2022.

Autoři: Petr Škarpa, Jiří Antošovský, Marie Školníková, Tomáš Křiška, Daniel Klofáč, Pavel Horký, Eva Doleželová, Radmila Dostálová, Jiří Horáček, Iva Smýkalová

Vydal: Mendelova univerzita v Brně
Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Česká republika.

Vydání: první, 2022

ISBN 978-80-7509-882-5

DOI: <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-882-5>