

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Příjem fosforu a zinku obilninami s ohledem na nutriční
hodnotu zrna**

Diplomová práce

**Bc. Kateřina Kubatková
Rostlinná produkce**

Ing. Ondřej Sedlář, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Příjem fosforu a zinku obilninami s ohledem na nutriční hodnotu zrna" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 26. 4. 2021

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu Ing. Ondřeji Sedlářovi, Ph.D. za příjemné, bezproblémové a obětavé vedení mé diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala společnosti ZS Slatina pod Hazmburkem a.s. za umožnění odebrání vzorků na jejích pozemcích. V neposlední řadě děkuji rodičům za podporu a vytvoření vhodných podmínek ke studiu.

Příjem fosforu a zinku obilninami s ohledem na nutriční hodnotu zrna

Souhrn

Pšenice ozimá (*Triticum aestivum*) je nejpěstovanější obilninou v České republice. Ječmen ozimý (*Hordeum vulgare*) je po pšenici ozimé druhou nejpěstovanější obilninou v České republice. Fosfor je pro rostliny důležitý makroprvek. Jeho funkce je stavební a zásobní. Je také důležitý pro přenos energie (součást ATP). Hnojení tímto prvkem během vegetace je téměř neúčinné, proto je třeba věnovat velkou pozornost zásobnímu hnojení a obsahu přístupného fosforu v půdě. Zinek je pro rostliny důležitým mikroprvkem. Aktivuje řadu enzymů, je nezbytný pro syntézu mnoha bílkovin. Dále ovlivňuje prodlužovací růst rostlin. Na rozdíl od fosforu jím lze úspěšně přihnojovat i během vegetace. Vysoký obsah fosforu v půdě negativně ovlivňuje příjem zinku rostlinou.

Vzorky půd a rostlinného materiálu byly odebírány z pozemků podniku ZS Slatina pod Hazmburkem a.s., tedy pozemků s alkalickými půdami v okrese Litoměřice. Odebírání vzorků rostlin proběhlo dvakrát během vegetace v roce 2020. Při prvním odběru byl také odebrán vzorek půdy do hloubky 30 cm a nadzemní biomasa pšenice ozimé a ječmene ozimého na počátku metání (BBCH 48-52). Při druhém odběru byla odebrána nadzemní biomasa pšenice ozimé a ječmene ozimého ve fázi plné zralosti.

Předpokládalo se, že obsah fosforu v rostlině významně ovlivňuje transport zinku do zrna. Dále se předpokládal vztah, mezi obsahem zinku v půdě stanoveným výluhem Mehlich 3 a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin. Souvislost mezi obsahem fosforu v rostlině a obsahem zinku v klasech byla potvrzena pouze u rostlin ječmene ozimého. Silná korelace mezi obsahem zinku v půdě stanoveným výluhem Mehlich 3 a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin byla také pozorována pouze u rostlin ječmene ozimého. Středně silná a silná korelace byla pozorována mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase rostlin ve fázi metání a obsahem zinku ve slámě a klasech sklizených rostlin u ječmene ozimého i pšenice ozimé. Závislost mezi poměrem P/Zn v půdě stanoveným výluhem Mehlich 3 a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin se podařilo prokázat pouze u ječmene ozimého ve fázi metání a u jeho klasů.

Klíčová slova: fosfor, ječmen, pšenice, půdní extrakce, zinek

Phosphorus and Zinc Uptake by Cereals with Respect to Nutritional Value of Grain

Summary

Winter wheat (*Triticum aestivum*) is the most grown cereal crop in the Czech Republic. Winter Barley is the second most grown cereal crop after wheat in Czech Republic. Phosphorus is an important macronutrient. Its functions are mainly structural and is also used in the storage mechanisms of the plant (It is a part of ATP). Fertilization with phosphorus during the vegetation period are mostly ineffective it is therefore necessary to pay attention to stock fertilization and P content in soils. Zinc is an important micronutrient for the plants. It activates a few enzymes which makes it necessary for protein synthetization. Furthermore, is affects the elongative growth. In contrast to phosphorus, zinc fertilization can be effectively used during the vegetation period. High soil Zn content negatively affects the Zn uptake by the plant.

Soil and plant samples were taken from the fields of ZS Slatina pod Hazmburkem a.s. These soils have a basic soil pH in the Litoměřice region. The sampling was carried out twice during the vegetation period in the year 2020. During the first sampling a soil sample to the depth of 30 cm was taken along with a sample of above-ground biomass of winter wheat and winter barley which were in the phases of BBCH 48-52. During the second sampling only the above-ground biomass was taken from the winter wheat and winter barley, this time it was at the phase of full ripeness.

It was assumed that the plant P content will significantly impact the transport of zinc into the grain. Further it was assumed that there would be a relation between the soil Zn content, which was extracted using the Mehlich 3 extraction reagent, and the Zn content of the plant above-ground biomass. A link between soil P content and grain Zn content was only found in the winter barley plants. A strong link between soil Zn content (extracted using Mehlich 3 extraction reagent) and Zn content in the above ground biomass was found only in the winter barley plants. Medium and a strong correlation was found in the P/Zn ratio in the above ground biomass of plants in the BBCH 48-52 phase and the Zn content in the ears and straw of the harvested plants of winter barley and winter wheat. A relation between the P/Zn ratio in soil extracted using Mehlich 3 extraction reagent and Zn content in the above ground biomass was proved only in the winter barley plants in the heading phase and in their ears.

Keywords: phosphorus, barley, wheat, soil extraction, zinc

Obsah

1	Úvod	7
2	Cíl práce	8
2.1	Hypotézy	8
3	Literární rešerše	9
3.1	Pšenice ozimá	9
3.1.1	Hnojení pšenice ozimé	9
3.2	Ječmen ozimý	10
3.3	Fosfor	10
3.3.1	Fosfor v půdě	10
3.3.2	Hnojení fosforem	11
3.3.3	Fosforečná hnojiva	11
3.3.4	Fosfor v rostlinách	12
3.3.5	Příjem fosforu rostlinami	13
3.3.6	Fosfor ve vztahu k ostatním prvkům	13
3.3.7	Fosfor ve výživě člověka	14
3.3.8	Způsoby učování fosforu v půdě	14
3.4	Zinek	14
3.4.1	Zinek v půdě	14
3.4.2	Hnojení zinkem	15
3.4.3	Zinek v rostlině	15
3.4.4	Zinek ve výživě člověka	16
3.5	Biofortifikace	16
4	Metodika	18
5	Výsledky	19
5.1	Ječmen ozimý	19
5.1.1	Zn v rostlině v závislosti na stavu výživy v metání	25
5.2	Pšenice ozimá	28
5.2.1	Zn v rostlině v závislosti na stavu výživy v metání	34
6	Diskuze	37
7	Závěr	39
8	Literatura	40

1 Úvod

Nedostatek mikroživin, známý také pod pojmem malnutrice, postihuje více než 40 % lidské populace. Tento problém se týká zejména obyvatelstva rozvojových zemí. Více než 3 biliony lidí, jejichž strava je založená zejména na základních plodinách, trpí nedostatkem mikroprvků, kterými jsou především jód, selen, zinek, železo a vitamín A (Yunfeng et al. 2011). Jako ostatní základní obiloviny, i pšenice obsahuje v zrnech minoritní zastoupení esenciálních živin, jako jsou železo a zinek. Biofortifikace těmito prvky u tak základních potravin jako je chléb, by mohla zmírnit nedostatek těchto živin u lidí (Lidon et al. 2015).

Zinek je pro rostliny důležitým mikroprvkem. Obsah zinku v sušině rostlin se pohybuje v rozmezí 20-100 ppm. Pohyblivost zinku v rostlině je nízká. Pohyblivost zinku v rostlinách ovlivňuje také obsah fosforu v rostlině (Vaněk et al. 2016). Zinek je pro rostliny nezbytným prvkem, jelikož je strukturním prvkem a kofaktorem řady enzymů a proteinů podílejících se na řadě biochemických procesů (Alloway 2009). Je součástí více než 300 enzymů, které se účastní metabolismu cukrů a dusíku (Trčková & Raimanová 2007). Má velký význam v replikaci a transkripci DNA (Marschner 2011). Je důležitý pro syntézu bílkovin v meristémích. Působí na metabolismus glycidů. Ovlivňuje prodlužovací růst rostlin. Je důležitým prvkem pro správnou integritu buněčných membrán. Souvisí s odbouráváním kyseliny indolyloctové (IAA) (Vaněk et al. 2016).

Fosfor se řadí mezi významné makroprvky. Jeho obsah v sušině nadzemní biomasy obilnin se průměrně pohybuje okolo 0,3 %. Je důležitou složkou řady sloučenin, jako je fytyl, nukleotidy, ATP atd. (Balík et al. 2002). Problém s příjmem tohoto prvku může nastávat na alkalických půdách, protože s vyšší hodnotou pH se snižuje rozpustnost vápenatých fosforečnanů (Richter & Hlušek 1994).

V této práci byla zkoumána síla korelace mezi obsahem fosforu a zinku v půdě a obsahem těchto dvou prvků v rostlině. Dále mezi poměrem P/Zn v půdě a obsahem zinku v rostlině. Zkoumány byly také korelace mezi obsahem fosforu v sušině nadzemní biomasy ječmene ozimého a pšenice ozimé a obsahem zinku ve slámě a klasech těchto dvou obilnin. Ke stanovení obsahů přijatelného zinku a fosforu v půdě byl použit výluh Mehlich 3 a vodný výluh. Vzorky rostlin byly odebírány v okrese Litoměřice na půdách s alkalickou reakcí. Vzorky půd byly odebírány do hloubky 30 cm při prvním odběru rostlin ve fázi metání. Při druhém odběru byly odebírány pouze rostliny ve fázi plné zralosti.

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo posoudit v polním provozu závislost mezi obsahem přijatelného fosforu v alkalické půdě a obsahem zinku v rostlinné biomase ozimého ječmene a ozimé pšenice.

2.1 Hypotézy

- Příjem fosforu v rostlině negativně ovlivňuje obsah zinku v nadzemní biomase rostlin včetně klasů ve fázi zralosti.
- Mehlich 3 je extrakční činidlo vhodnější pro hodnocení přijatelnosti fosforu a zinku v půdě než vodný výluh.
- Poměr P/Zn v půdě je významnějším faktorem ovlivňujícím obsah zinku v nadzemní biomase rostlin než obsah zinku v půdě
- Obsah zinku v klasu je významně ovlivněn obsahem zinku a fosforu v nadzemní biomase ve fázi metání.

3 Literární rešerše

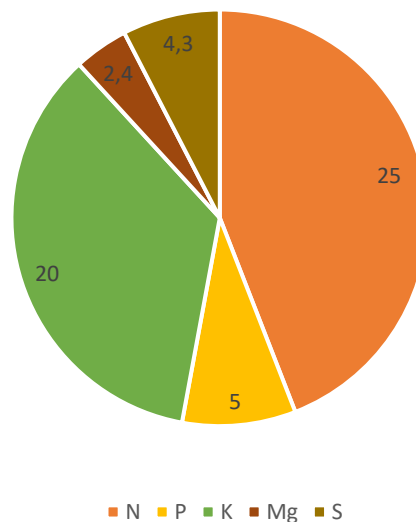
3.1 Pšenice ozimá

Pšenice ozimá je nejpěstovanější plodinou v ČR. Plochy oseté pro sklizeň v roce 2020 činily 758 699 ha (ČSÚ 2020). Ve světě se pěstuje asi ve stovce zemí. Nejvíce pěstebních ploch se nachází na severní polokouli mezi třicítkou a šedesátkou rovnoběžkou. Nejvýznamnějšími oblastmi pěstování jsou Severní Amerika, Asie, Evropa a Severní Afrika. V menší míře Austrálie, Argentina, Brazílie a Jižní Afrika (Bushuk & Rasper 1994). V České republice se tato plodina pěstuje ve všech výrobních oblastech, ale jejich výběr velmi ovlivňuje kvalitu produkce a výnos. V kukuřičné a řepařské oblasti záleží hlavně na úhrnu srážek za dobu vegetace, v ostatních výrobních oblastech záleží na průběhu teplot během vývoje a počasí při sklizni (Zimolka et al. 2005). V České republice patří pšenice ozimá mezi tzv. tržní komodity, které pozitivně ovlivňují ekonomiku většiny zemědělských podniků. Je pěstována pro potravinářské, krmivářské, technické a energetické účely (Křen 2001).

3.1.1 Hnojení pšenice ozimé

Tvorba výnosu zrna pšenice je ovlivňována mnoha faktory. Jedním z nejdůležitějších faktorů je bez pochyby výživa. Odběry jednotlivých živin zrnem jsou znázorněny v grafu č.1. Tuna slámy pšenice ozimé obsahuje 10 kg N, 1,5 kg P, 13 kg K, proto je potřeba při odvozu slámy z pozemku zahrnout tuto skutečnost do plánu hnojení (Vaněk et al. 2016). Pšenice ozimá intenzivně přijímá živiny hlavně v jarním období. Proto se na podzim hnojí zejména prvky, u kterých by bylo jarní přihnojení obtížné nebo neefektivní. Při podzimní aplikaci je věnována pozornost především fosforu, draslíku a hořčíku. Při výpočtu dávky je nutné zohlednit předpokládaný výnos plodiny a také zásobenost půdy daným prvkem (Škarpa et al. 2016).

Graf 1. Odběr živin výnosem zrna [kg/t] ozimé pšenice.



3.2 Ječmen ozimý

V roce 2020 byl v České republice sklizen ječmen ozimý z celkové plochy 114 633 ha. Jde tedy o třetí nejvýznamnější obilninu v České republice, co se týče osetých ploch. Z pohledu výnosů je ozimý ječmen druhou nejvýnosnější obilninou po pšenici ozimé (ČSÚ 2020). Ječmen je jedním z nejdéle domestikovaných druhů rostlin. Pěstuje se v mírném, i subtropickém klimatickém pásu. Využívá se pro potravinářské a krmivářské účely (Verstegen et al. 2014).

3.3 Fosfor

Fosfor je jedním z prvků, který ve výživě a hnojení rostlin dlouhodobě chybí a zároveň je jedním z klíčových ve výživě rostlin. Příjem a metabolismus fosforu pozitivně ovlivňuje řadu biochemických procesů probíhajících v buňkách kořenového systému i nadzemních částech rostlin. Při nedostatku fosforu jsou omezeny důležité procesy v rostlině související převážně s fotosyntézou. Z tohoto důvodu může být nedostatek fosforu příčinou nižších výnosů pěstovaných plodin (Čermák et al. 2019).

3.3.1 Fosfor v půdě

Zásoba přijatelného fosforu v půdách České republiky klesá a fosfor postupně limituje výnosy a kvalitu pěstovaných rostlin (Kunzová 2009). Velké množství lokalit trpí nedostatkem přijatelného fosforu v půdě, což je na těchto stanovištích hlavním omezujícím faktorem ve výnosu pěstovaných plodin (Bovill et al. 2013). Výživa rostliny fosforem závisí na několika faktorech, ať už je to jeho obsah v půdě, nebo forma. V půdě je obsah fosforu 0,01 – 0,15 % (Vaněk et al. 2007). V půdním roztoku, odkud je prvek přijímán rostlinou, je jeho obsah obvykle pod 1 ppm. Problém v příjmu může také způsobovat nízká mobilita fosforu v půdě. Většina celkového fosforu v půdě bývá pro rostliny nepřijatelná. Pro rostliny přijatelné formy tvoří sloučeniny odvozené od H_3PO_4 (kyseliny trihydrogenfosforečné), nebo v menší míře od $H_4P_2O_7$ (kyseliny pyrofosforečné) (Čermák et al. 2019). Pohyblivost fosforu v půdě do značné míry ovlivňuje i vlhlost půdy a podíl jílových částic (Bindraban et al. 2020). Ačkoliv transport fosforu difúzí je malý (1–6 kg/ha/rok), může mít značný dopad na kvalitu vody a eutrofizaci (Condrón 2004).

Celkový fosfor v půdě se obecně dělí na dvě základní formy, a to **organickou** (fosfolipidy, fytylin, NA, sacharidy) a **anorganickou** (vápenaté, železité, hlinité fosforečnany; fosforečnany dobře rozpustné ve vodě a ve slabých org. kyselinách; fosfor v minerálních horninách – apatitech). Podíl jednotlivých forem fosforu v půdě závisí na různých faktorech, ať už je to pH půdy, nebo obsah organické hmoty v půdě. Obecně platí, že v lehkých půdách je nižší obsah organického fosforu než ve středních a těžkých (Čermák et al. 2019).

Fosfor může být také v půdě sorbován, ať už biologicky v tělech půdních živočichů a mikroorganismů, tak chemicky. V půdách s nízkým pH dochází k chemické sorpci mezi fosfátovými ionty a ionty železa nebo hliníku. V půdách se zásaditou reakcí je za chemickou sorpci zodpovědný především vápník, se kterým tvoří fosfor málo rozpustné sloučeniny jako oktalciumfosfáty (Richter 2007). V zásaditých půdách je fosfor velmi málo přístupný (Akhter et al. 2019).

3.3.2 Hnojení fosforem

Hnojení fosforem je ovlivněno mnoha faktory. Pěstitel musí brát v úvahu odběrové normativy jednotlivých plodin, pH půdy i zjištěný obsah přijatelného fosforu v půdě. Fosforečná hnojiva se obvykle zapravují do země, je tedy vhodné jimi hnojit na podzim s přípravou půdy. Vyšší využitelnost fosforečných hnojiv rostlinou zaručuje aplikace hnojiv pod patu. Fosforem se obvykle hnojí na dva až tři roky dopředu a prvek se uvolňuje postupně. Využitelnost v prvním roce je obvykle 10–20 % (Čermák et al. 2019). Fosforem lze hnojit jak v minerální, tak v organické formě (Faměra 1993). Dostupnost fosforu pro rostliny pšenice ozimé je klíčová už na počátku vegetace (Grant et al. 2001). Ačkoliv na podzim je odběr fosforu velmi malý, pro rostliny je jeho příjem nepostradatelný. Fosfor se při klíčení a vzcházení rychle spotřebovává ze zásobních látek obsažených v semeni a jeho nedostatek na počátku vývoje může mít významný dopad na další vývoj porostu (Černý et al. 2014).

3.3.3 Fosforečná hnojiva

Zdroje fosforečných hnojiv jsou značně omezené. Největší zásoby mají státy Alžírsko, Maroko, Sýrie, Jordánsko, Čína a státy jižní Afriky. Problémem tedy v budoucnosti může být nedostatek těchto hnojiv, buď v souvislosti s vyčerpáním lokalit, nebo s politickou situací v těchto zemích (Čermák et al. 2019). Fosforečné minerály (především vápenaté) se dělí do dvou skupin, na měkké a krystalinické.

Měkké (fosfority) jsou amorfní. Vznikaly sedimentací na okrajích moří. Mají vyšší obsah doprovodných iontů (např. Cd) a jsou promíseny s jinými složkami. Jsou také lépe rozpustné. **Krystalinické** (jinak také tvrdé, apatity) mají původ tektonický. Při erupcích byly fosforečnany přetaveny se silikáty, tudíž obsahují i křemičitany. Tyto minerály mají na rozdíl od fosforitů krystalovou mřížku. Jsou málo rozpustné a odolávají zvětrávání. Většinou je tvoří tři molekuly fosforečnanu vápenatého a doprovází je chlor nebo fluor. Kvůli doprovodným prvkům se nazývají Cl-apatity a F-apatity.

Druhotnými zdroji fosforu mohou být kosti zvířat, které obsahují velký podíl fosforečnanu vápenatého. Vždyť i první superfosfáty byly vyráběny právě z kostí a už staří Egypťané hnojili obilniny popelem z kostí. Nějaké množství fosforu dále obsahují i železné rudy, tím pádem i odpadní látky z úpravy těchto rud, tzn. strusky a popele. Jelikož je fosfor ve fosfátech silně poutaný a téměř nepřístupný pro rostliny, upravuje se pro zvýšení rozpustnosti různými způsoby. Jde především o **rozklad silnými minerálními kyselinami** (sírovou, dusičnou, fosforečnou). Tato technologie se používá k výrobě superfosfátů a je rozhodující při výrobě hnojiv s fosforem rozpustným ve vodě. Dalším způsobem úpravy je jemné mletí (výroba mletých fosfátů), nebo tavení s alkalickými přísadami (termofosfáty) (Vaněk et al. 2016).

Jednoduchý superfosfát se vyrábí rozkladem fosfátů minerálními kyselinami (nejčastěji se používá kyselina sírová). Obsahuje 7,5 – 8,5 % fosforu. Fosfor se v tomto hnojivu nachází ve formě dihydrogenfosforečnanu vápenatého, kterého je v hnojivu 26–30 %. Jednoduchý superfosfát dále obsahuje 20 % vápníku a 10 % síry. Velká část fosforu je zde ve vodorozpustné formě, tzn. ve formě lehce přístupné pro rostliny. Toto hnojivo je také vhodné při nedostatečné zásobě síry v půdě. Toto hnojivo je vhodné pro většinu plodin a půd.

Aplikuje se do půdy při základním hnojení. Na půdách s dobrou zásobeností fosforem a s mírně kyselou nebo neutrální půdní reakcí se toto hnojivo může aplikovat před orbou nebo podmítkou. Pokud je půda málo zásobená fosforem je lepší lokální aplikace, tzv. pod patu při setí. Zvýšit účinnost hnojení superfosfátem lze přidáním k organickému hnojení, např. aplikace rozmetáním na hnůj, se zeleným hnojením, slámou, před zaorávkou jetelovin atd.

Trojité superfosfát se vyrábí rozkladem fosfátů kyselinou fosforečnou. Jeho výroba se skládá ze dvou fází. Nejprve se fosfát rozloží působením kyseliny (nejčastěji sírové). Uvolní se kyselina fosforečná a vznikne sádra. Kyselina fosforečná se ve druhé fázi použije k rozložení fosfátu, kde vznikne dihydrogenfosforečnan vápenatý. Trojitý superfosfát tak obsahuje 20–21 % fosforu, a to ve vodorozpustné formě. Trojitý superfosfát má podobné využití jako jednoduchý, avšak není zdrojem síry.

Hyperfosfát se vyrábí mletím měkkých fosfátů. Účinnost tohoto hnojiva závisí především na jemnosti mletí. Čím jemnější mletí, tím účinnější hnojivo. Zároveň ale platí, že čím jemněji je fosfát namletý, tím hůře se aplikuje. Obsahuje 12,8 % fosforu a 1,8 % hořčíku. Fosfor je velmi málo přístupný pro rostliny a působení tohoto hnojiva je tedy velmi pozvolné. Hyperfosfát je vhodný do kyselých půd. Využití fosforu je opět možné zvýšit v kombinaci s organickým hnojením (Baier & Baierová 1985).

Organická (statková) hnojiva jsou dalším možným způsobem, kterým se může fosfor dostat do půdy. Obsah živin v organických hnojivech záleží hlavně na druhu zvířat, jejich výživě a ošetřování a živinném režimu půd dané oblasti. Působení těchto hnojiv je většinou pozvolné a dlouhodobé. Kromě živin obohacují půdu o velké množství organických látek, což přispívá ke zvýšení půdní úrodnosti. Ze statkových hnojiv je fosfor nejvíce obsažen v drůbeží kejďe, kde zaujímá přibližně 0,28 %. Kejda od prasat obsahuje 0,13 % fosforu a od skotu 0,07 % fosforu. Nejvyšší podíl fosforu v hnoji má ten od skotu chovaného na hluboké podestýlce, a to 0,15 %. Z organických hnojiv stojí za zmínku také kompost, v jehož sušině při obsahu vody do 50 % lze nalézt okolo 0,7 % fosforu (Vaněk et al. 2016).

Oblíbenými hnojivy jsou také **vícesložková hnojiva**, která se používají především k základnímu hnojení. Nabídka těchto hnojiv je velmi široká. Většinou se aplikují v granulované formě. Jedná se především o Amofos, který obsahuje 12 % dusíku a 22,9 % fosforu, NPK s různými podíly dusíku, fosforu a draslíku, nebo Hyperkali s 9,7 % fosforu a 10 % draslíku (Vaněk et al. 2016).

3.3.4 Fosfor v rostlinách

Většina fosforu je v rostlinách koncentrována do semen. V semenech se nachází 40-80 % celkového fosforu v rostlině (Bindraban et al. 2020). Fosfor sehrává v rostlinách velmi důležitou funkci, ať už stavební, zásobní nebo v přenosu energie. Je základní složkou **nukleotidů**. Nukleotidy jsou stavebními jednotkami nukleových kyselin a tvoří tak podstatu genetického kódu. Dále aktivují meziproducty v řadě biosyntéz. Adenosinové nukleotidy jsou součástí kofaktorů některých enzymů. Nejznámější jsou nikotinamidové a flavinové nukleotidy (NADP⁺, FAD) účastníci se fotosyntézy (Vaněk et al. 2016). Nukleotidy jsou také významnou složkou ve výživě člověka. U dětí podporují růst, u staších osob rekonvalescenci po prodělání

nemocí a imunitu (Šíma 2008). V biologických systémech je fosfor součástí přenašečů energie – **nukleosidpolyfosfátů**, z nichž nejznámějším a nejvýznamnějším je adenosin trifosfát (ATP). Ten má klíčové postavení v energetice buněk všech organismů. Další významnou sloučeninou fosforu v rostlinách je **fytin**. Tvoří se a hromadí v semenech rostlin, jeho obsah v semenech obilnin je okolo 1 %. Obsah fosforu v semenech je z 60–80 % tvořen fosforem obsaženým právě ve fytinu. Jedná se o nízkoenergetickou zásobní látku. Je hlavním zdrojem fosforu pro klíčící semena. Do půdy se vrací v rostlinných zbytcích, ale také v organických hnojivech (Vaněk et al. 2016).

3.3.5 Příjem fosforu rostlinami

Fosfor je rostlinami přijímán ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné, převážně ve formě hydrogenfosforečné a dihydrogenfosforečné. Rostliny jsou schopné přijímat fosfor i při velmi nízké koncentraci v půdním roztoku. Příjem fosforu rostlinou je aktivní proces, který vyžaduje dostatek energie (ve formě ATP). Při nízkých teplotách mohou mít rostliny k dispozici málo energie pro příjem fosforu. Proto mohou rostliny po zimě vykazovat známky nedostatku fosforu. Tento stav je ale pouze přechodný (Vaněk et al. 2016). Příjem fosforu mohou rostliny do určité míry ovlivňovat, zvýšenou tvorbou kořenů, zvýšenou kořenovou sekrecí, která umožňuje zvýšení rozpustnosti fosforu v rizosféře (Mikanová & Šimon 2011).

3.3.5.1 Nedostatek fosforu v rostlinách

Za normálních podmínek jsou příznaky nedostatku fosforu nevýrazné, většinou se jedná o latentní nedostatek, kdy rostlina nevykazuje známky nedostatku živiny, ale nemohou probíhat všechny biochemické reakce na potřebné úrovni (Vaněk et al. 2016). Zpomaluje se růst nadzemní části rostliny. Rostoucí listy jsou zakrnělé a starší listy odumírají. Při výrazném poklesu fosforu pod optimální hodnotu může dojít k hyperchlorofylizaci listu, což značí černofialové zbarvení (velký obsah antokyanu), které postupně přechází z listů až k bázi stonku. (Richter 2004). Dále nedostatek fosforu způsobuje omezení odnožování (Rodríguez et al. 1999).

3.3.5.2 Nadbytek fosforu v rostlinách

V našich podmínkách není nadbytek fosforu v rostlinách častým problémem. Lze říct, že se téměř nevyskytuje. Vysoká dávka fosforu způsobuje krátkodobé snížení přijatelnosti některých kovů. Rozpustné fosforečnany se vážou na tyto kovy a tvoří nerozpustné sloučeniny. V takových případech se může projevit nedostatek zinku. V současnosti je ovšem kvůli omezenému použití fosforečných hnojiv toto působení málo pravděpodobné (Vaněk et al. 2016).

3.3.6 Fosfor ve vztahu k ostatním prvkům

Nedostatečný příjem fosforu rostlinou ovlivňuje i translokaci ostatních prvků v rostlině. Jedná se zejména o zinek, měď, vápník, hořčík, draslík a mangan. Lze říct, že translokace těchto prvků do zrna je ovlivněna obsahem fosforu v rostlinách. Hnojení fosforem pozitivně ovlivnilo obsah manganu, dusíku a fosforu v zrně. Naopak negativní efekt mělo hnojení na obsah vápníku,

hořčíku, sodíku, železa, mědi a zinku v zrně pšenice ozimé. Co se týče slámy, fosforečné hnojení podpořilo akumulaci sodíku a železa ve slámě. Koncentrace ostatních zmiňovaných prvků ve slámě se snížily (Uygur & Şen 2018). Že fosforečné hnojení může negativně ovlivňovat příjem manganu rostlinami a jeho transport do zrna uvádí i další studie (Adams 1980). He et al. (2021) zkoumal vztah mezi fosforem a zinkem na zásaditých půdách u vojtěšky seté a došel k závěru, že mezi těmito dvěma prvky je silná interakce, a že optimální hnojení fosforem by mohlo přispět k obohacení vojtěšky o zinek. Další studie uvádí, že hnojení fosforem může snížit obsah zinku v zrně pšenice ozimé až o 16,6 %. Zároveň uvádí, že hnojení fosforem sice neovlivňuje dostupnost zinku v půdě, ale snižuje obsah zinku v kořenech o 9,94 %, jelikož fosfor omezuje kolonizaci kořenů mykorrhizními bakteriemi (Zhang et al. 2021).

3.3.7 Fosfor ve výživě člověka

Fosfor má pro lidský organismus nepostradatelnou funkci. Společně s vápníkem je fosforečný iont základním prvkem kostí a zubů. Fosfor má také význam pro stabilitu červených krvinek. V lidské potravě se fosfor nachází zejména v mase, mléce, vejcích a luštěninách, ale i v zrnech obilnin. Nedostatek této živiny v lidském těle způsobuje poruchy stavby kostí a zubů. Dochází ke kazivosti zubů, k častému lámání kostí, bolesti a ztuhlosti kloubů (Štefánek neuvvedeno).

3.3.8 Způsoby určování fosforu v půdě

3.3.8.1 Mehlich 3

Metoda zjišťování obsahu fosforu v půdě pomocí výluhu Mehlich 3 byla vynalezena v roce 1984. Touto metodou lze také získat informace o obsahu jiných prvků, např. K, Ca, Cu, Mg, Na, Zn. Mehlich 3 je roztok, složený z 0,2 M kyseliny octové, 0,25 M dusičnanu amonného, 0,015 M fluoridu amonného, 0,013 M kyseliny dusičné a 0,001 M kyseliny ethylendiamintetraoctové (EDTA). Fosfor je extrahován kyselinou octovou a fluoridem amonným. Draslík, vápník, hořčík a sodík extrahuje dusičnan amonný a kyselina dusičná. EDTA pomáhá extrahovat další prvky, měď, zinek, mangan a železo (Sen Tran & R. Simard 1993).

3.4 Zinek

3.4.1 Zinek v půdě

Zinek se nachází v půdě především jako součást mřížky minerálů (biotit, augit, amfibol), část je vázána jako kationt Zn^{2+} , případně v sorpčním komplexu jako $ZnOH^+$. Malý podíl zinku v půdě je vázán v organických sloučeninách. Kromě ZnS jsou minerální sloučeniny zinku relativně rozpustné, ale to platí pouze v oblastech s kyselým pH. V neutrálních a alkalických půdách je větší část zinku v půdním roztoku vázána v chelátových vazbách, nebo na aminokyseliny a fulvokyseliny (Vaněk et al. 2016). Zinek je v půdě poměrně málo pohyblivý, obzvláště při vyšším pH a vyšším obsahu fosforu (Saeed 1977). Sníženou dostupnost zinku také způsobuje vysoká koncentrace sodíku, vápníku a hořčíku v půdě (Alloway 2009).

3.4.2 Hnojení zinkem

Studie, v níž byl zkoumán vliv půdní a listové aplikace zinku na obsah zinku v jednotlivých částech zrna (otruby, embryo, endosperm) uvádí, že aplikace $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ do půdy, měla pozitivní vliv pouze na půdách vyznačujících se nedostatkem tohoto prvku. Pozitivní vliv na obsah zinku ve všech částech zrna měla na všech stanovištích foliární aplikace $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$. Na stanovištích s nedostatkem zinku v půdě zvýšila kombinace půdního a listového hnojení obsah zinku v zrnu z 11 mg/kg na 27 mg/kg. Na půdách dostatečně zásobených zinkem mělo pozitivní vliv zvýšené hnojení dusíkem v kombinaci se dvěma foliárními aplikacemi zinku (např. ve fázích sloupkování a mléčné zralosti). Průměrný obsah zinku v zrnech se navýšil z 28 mg/kg na 58 mg/kg. Bylo zjištěno, že zinek je do endospermu transportován především pomocí floému (Cakmak et al. 2010).

3.4.3 Zinek v rostlině

Obsah zinku v sušině rostlin se pohybuje v rozmezí 20-100 ppm. U většiny rostlin je kritickou hranicí obsah 20 ppm zinku v sušině rostliny. Zjevné příznaky nedostatku se projevují pod 10 ppm. Pohyblivost zinku v rostlině je nízká, proto může zajistit příjem chybějícího zinku mimokořenová výživa. Pohyblivost zinku v rostlinách ovlivňuje také obsah fosforu v rostlině (Vaněk et al. 2016). Zinek je pro rostliny nezbytným prvkem, jelikož je strukturním prvkem a kofaktorem řady enzymů a proteinů podílejících se na řadě biochemických procesů (Alloway 2009). Je součástí více než 300 enzymů, které se účastní metabolismu cukrů a dusíku (Trčková & Raimanová 2007). Má velký význam v replikaci a transkripci DNA (Marschner 2011). Je důležitý pro syntézu bílkovin v meristémech. Působí na metabolismus glycidů. Ovlivňuje prodlužovací růst rostlin. Je důležitým prvkem pro správnou integritu buněčných membrán. Souvisí s odbouráváním kyseliny indolyloctové (IAA) (Vaněk et al. 2016).

3.4.3.1 Nedostatek zinku

Nedostatek zinku je nejčastějším problémem deficiencie mikroprvků ve světě. Miliony hektarů pěstovaných plodin jsou ovlivněny nedostatkem zinku. Nedostatečným příjmem zinku v potravě je ovlivněna také přibližně třetina světového obyvatelstva (Alloway 2009). Nedostatek zinku vyvolává poruchy v dělení buněk na špičkách kořenů, vegetačních vrcholech a v kambiálních pletivech. Je porušen normální růst rostlin, snížen počet chloroplastů, tím pádem nižší obsah chlorofylu a na rostlinách se objevují chlorotické skvrny mezi žilnatinou na listech. V chlorotických pásech se tvoří červenohnědě nekrotické skvrny, které se zvětšují a listy následně odumírají. Deficit zinku se může projevit zakrnělým růstem. Nedostatkem zinku může často trpět kukuřice, vinná réva, chmel, ovocné dřeviny nebo fazole. Obilniny nejsou na obsah zinku tolik choulostivé (Vaněk et al. 2016).

3.4.3.2 Nadbytek zinku

Nadbytek, případně toxické působení zinku, je v přírodních podmínkách ojedinělým jevem. Může k němu dojít v blízkosti průmyslových podniků a při nadměrné aplikaci odpadů obsahujících zinek. Vyšší obsah zinku mohou vykazovat také některá stájová hnojiva.

Nadměrný příjem zinku lze omezit vápněním. Při nadbytku zinku v prostředí rostliny špatně přijímají železo, špatně rostou a mají silné chlorózy (Vaněk et al. 2016).

3.4.4 Zinek ve výživě člověka

Zinek je pro člověka nepostradatelným prvkem. V lidském těle se nachází především ve svalech. Umožňuje růst vlasů a hojení ran. Napomáhá k produkci inzulínu ve slinivce břišní. Zinek také umožňuje přenos Vitamínu A z jater do oka. Bez tohoto prvku by lidské oko nedokázalo vnímat světlo ("Zinek a jeho význam pro organismus" 2015). Nedostatek zinku může způsobit vznik aterosklerózy, autoimunitních onemocnění a urychluje stárnutí (Chasapis et al. 2012).

3.5 Biofortifikace

Nedostatek mikroživin, známý také pod pojmem malnutrice, postihuje více než 40 % lidské populace. Tento problém se týká zejména obyvatelstva rozvojových zemí. Více než 3 biliony lidí, jejichž strava je založená zejména na základních plodinách, trpí nedostatkem mikroprvků. Nedostatkem klíčových mikroprvků, kterými jsou především jód, selen, zinek, železo a vitamín A, trpí v rozvojových zemích zejména ženy a děti. Tato skutečnost je také ovlivněna ekonomickou situací obyvatel. Deficiencí mikroprvků trpí hlavně chudší vrstvy obyvatel. Je to dáno tím, že si nemohou dovolit potraviny jako je maso, ryby a další potraviny živočišného původu. Biofortifikace je proces zvyšování biologicky dostupných živin v jedlých částech pěstovaných plodin. K tomuto procesu se často využívá agronomických zkušeností (zejména hnojení), ale také genetického inženýrství. Pšenice je hlavní obilninou v mnoha zemích světa. Přibližně 30 % obilovin zkonsumovaných na celém světě tvoří právě pšenice. Je důležité zaměřit se na zvýšení obsahu železa a zinku v zrnech, neboť to jsou podle WHO dvě hlavní nedostatečné živiny. Dále je to ještě vitamín A (Yunfeng et al. 2011)

Jako ostatní základní obiloviny, i pšenice obsahuje v zrnech minoritní zastoupení esenciálních živin, jako jsou železo a zinek. Biofortifikace těmito prvky u tak základních potravin jako je chléb, by mohla zmírnit nedostatek těchto živin u lidí. Zároveň je třeba ale zmínit, že zvýšení koncentrace těchto prvků v zrnech také ovlivní kvalitu mouky. Na druhou stranu, nadměrné hnojení těmito prvky se může projevit jako významný stresový faktor pro rostliny (Lidon et al. 2015).

Studie, v níž byl zkoumán vliv hnojení dusíkem a zpracování půdy na obsah zinku v zrně pšenice tvrdé uvádí, že koncentrace zinku v zrnech je ovlivněna z velké části přírodními podmínkami. Dominantní efekt měl druh půdy, na jílovitohlinitých půdách byla koncentrace zinku v zrnech vyšší než na písčitéch. Systém zpracování půdy se ukázal jako méně významný. Ačkoliv hnojení dusíkem má prokazatelně pozitivní vliv na celkový výnos zrna, jeho pozitivní vliv na obsah zinku v zrnech prokázán nebyl (Gao & Grant 2011). V další studii byl realizován výzkum pomocí bakterie z rodu *Pseudomonas*. Bylo prokázáno, že inokulace osiva touto bakterií má v kombinaci s hnojením zinkem pozitivní vliv na obsah zinku v zrnech pšenice. Inokulace těmito bakteriemi zlepšila fotosyntézu, zvýšila produkci organických kyselin v kořenových exudátech a zlepšila minerální složení zrna (Rehman et al. 2018). Pozitivní vliv

na obsah zinku v rostlinách má také foliární aplikace hnojiv obsahujících zinek (Shaoxia et al. 2019)

4 Metodika

Odběr půdních a rostlinných vzorků byl prováděn v roce 2020 u ječmene ozimého a pšenice ozimé. Vzorky byly odebrány z pozemků podniku ZS Slatina pod Hazmburkem, a.s. ($\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ 7,2), přesné polohy odběrových míst byly zaměřeny pomocí souřadnic navigace GPS.

Nadzemní biomasa plodin byla odebírána ve třech vývojových fázích: celá biomasa během fáze metání, sláma a samostatné klasy těsně před sklizní. Následně byl měřen obsah dusíku v nadzemní biomase metodou podle Kjeldahla na přístroji Vapodest 50s (Gerhardt, Spolková republika Německo). Rostlinný materiál byl mineralizován rozkladem na suché cestě (Mader & Čurdová 1997). Obsah živin v půdě a rostlinách byl stanoven optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji ICP-OES Agilent 720 (Agilent Technologies Inc., USA).

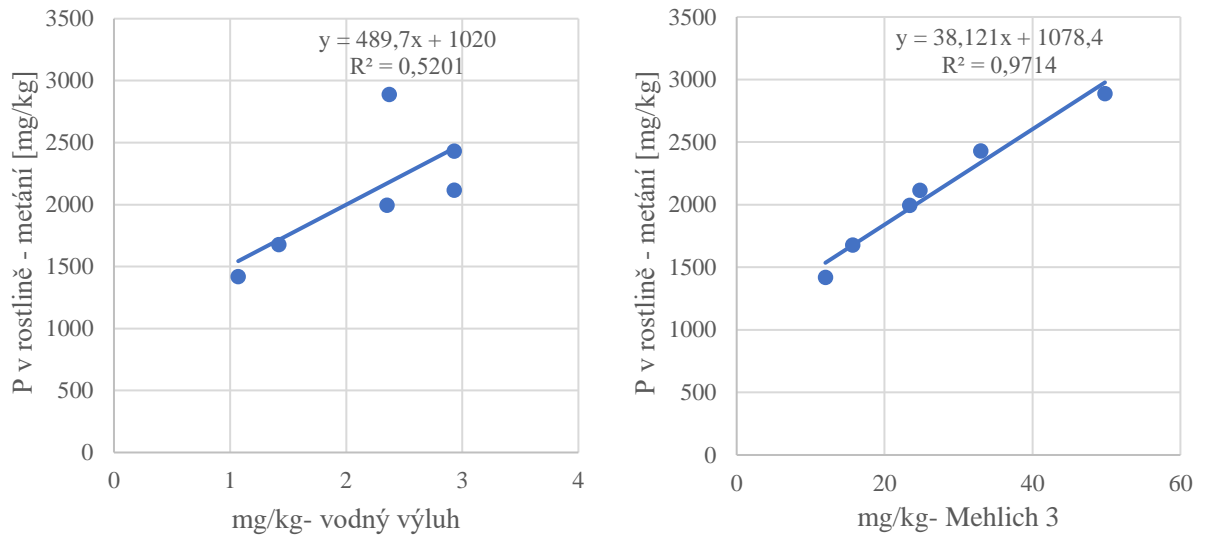
Sledovanými parametry byly: obsah fosforu a zinku v nadzemní biomase rostlin, obsah přijatelných forem fosforu a zinku v ornici.

Půdní vzorky byly odebrány vždy jen ve fázi metání obilnin, odebírán byl půdní profil 0–30 cm. Půda byla po vysušení při laboratorní teplotě zhomogenizována a přeseťta na sítu s velikostí ok 2 mm. Přístupný obsah živin v půdě byl stanoven vodným výluhem při vyluhovacím poměru 1/10 w/v, s dobou třepání 60 min (Kowalenko 2008). Dále byl přístupný obsah živin stanoven výluhem Mehlich 3 při vyluhovacím poměru 1:10 w/v, s dobou třepání 10 min (Mehlich 1984). Půdní reakce byla stanovena jako výměnné pH v 0,01 mol/l roztoku CaCl_2 (1:2,5 w/v), doba třepání 60 minut (Zbiral et al. 2016).

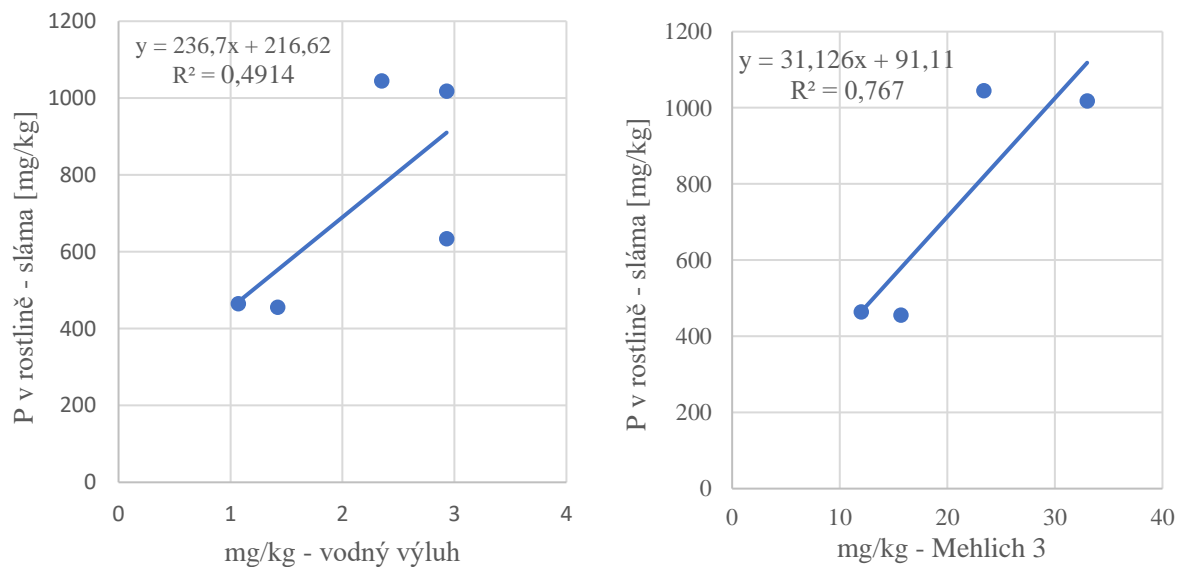
5 Výsledky

5.1 Ječmen ozimý

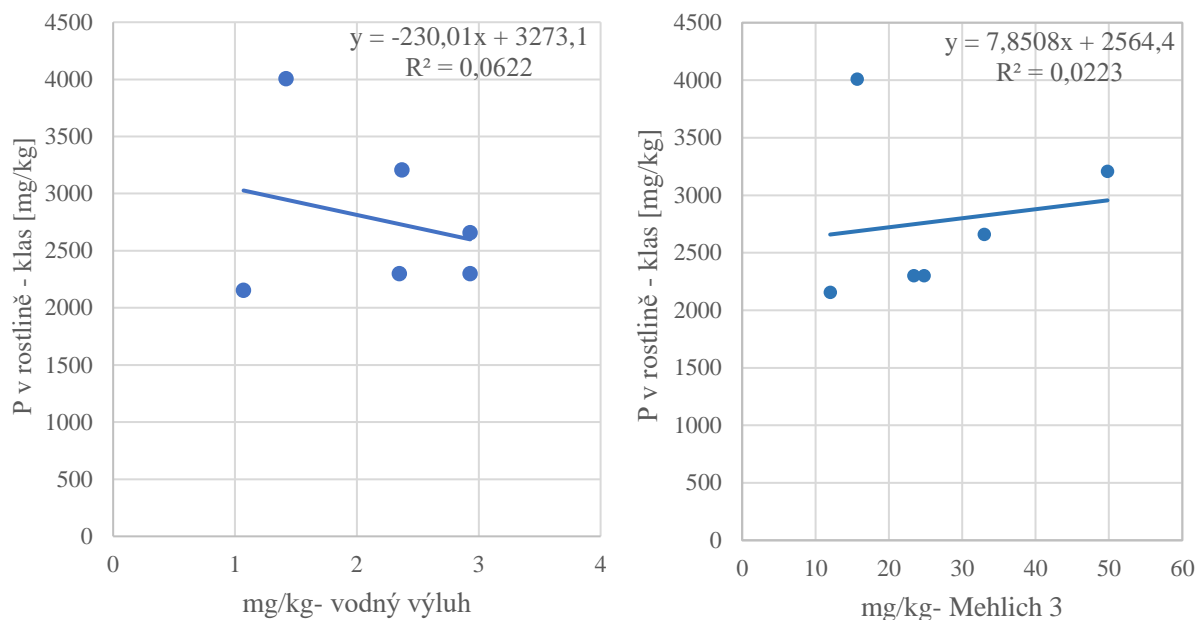
Graf č. 2. Korelace mezi obsahem fosforu v nadzemní biomase ječmene ozimého ve fázi metání a obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,72$ a (b) $r = 0,99$, tedy jde o silnou a velmi silnou korelaci.



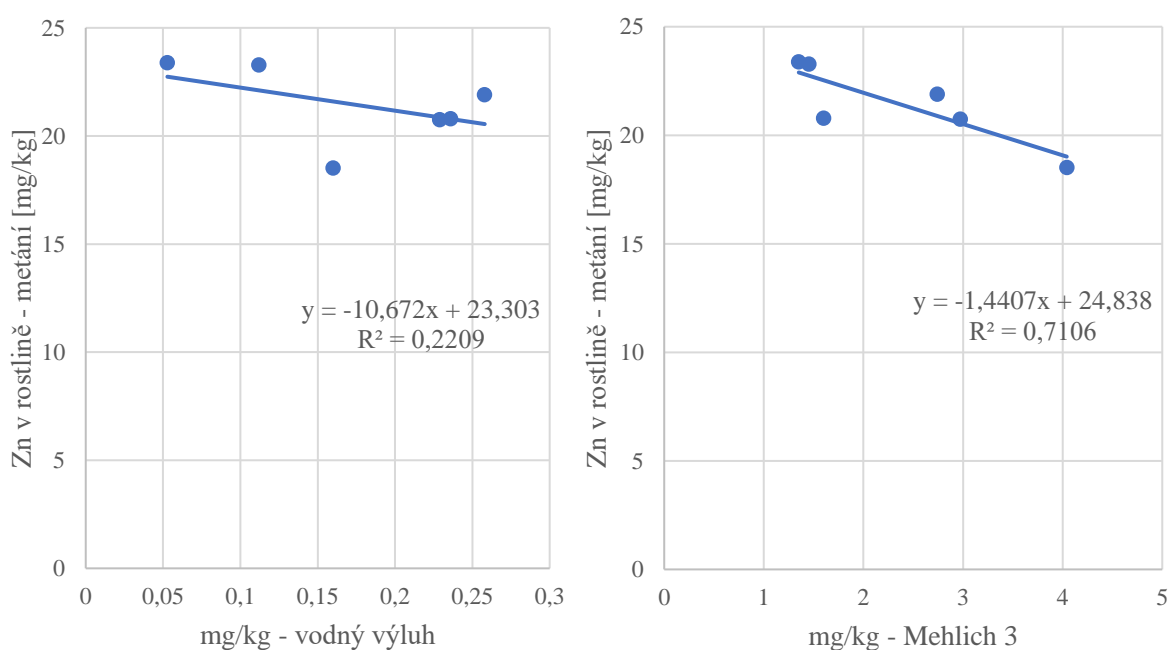
Graf č. 3. Korelace mezi obsahem fosforu ve slámě ječmene ozimého a obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,70$ a (b) $r = 0,88$, tedy jde o silnou a velmi silnou korelaci.



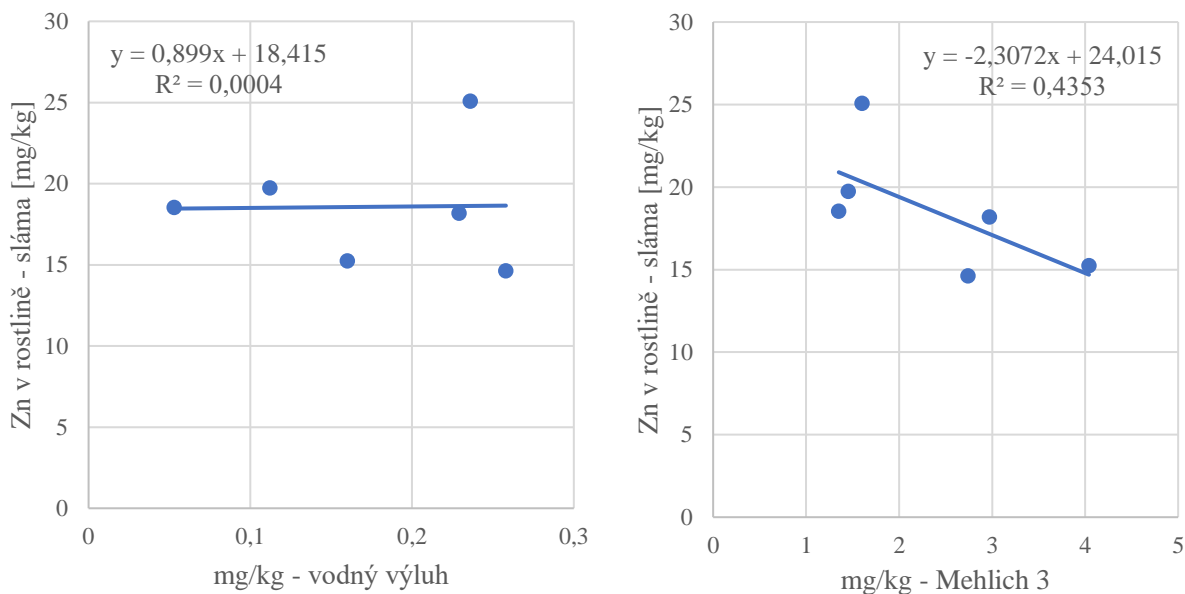
Graf č. 4. Korelace mezi obsahem fosforu v klasech ječmene ozimého a obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Korelace (a) je negativní, korelace (b) je pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = -0,25$ a (b) $r = 0,15$, tedy jde o silnou a velmi silnou korelaci.



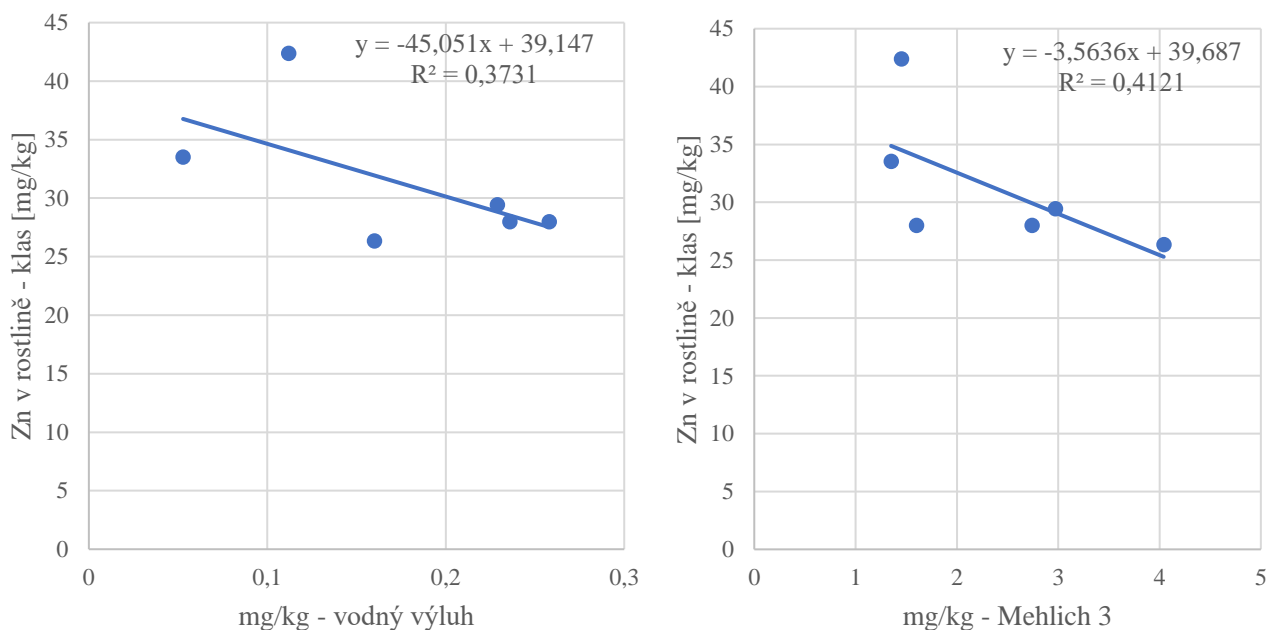
Graf č. 5. Korelace mezi obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého ve fázi metání a obsahem zinku v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou negativní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = -0,47$ a (b) $r = -0,84$, tedy jde o středně silnou a velmi silnou korelaci.



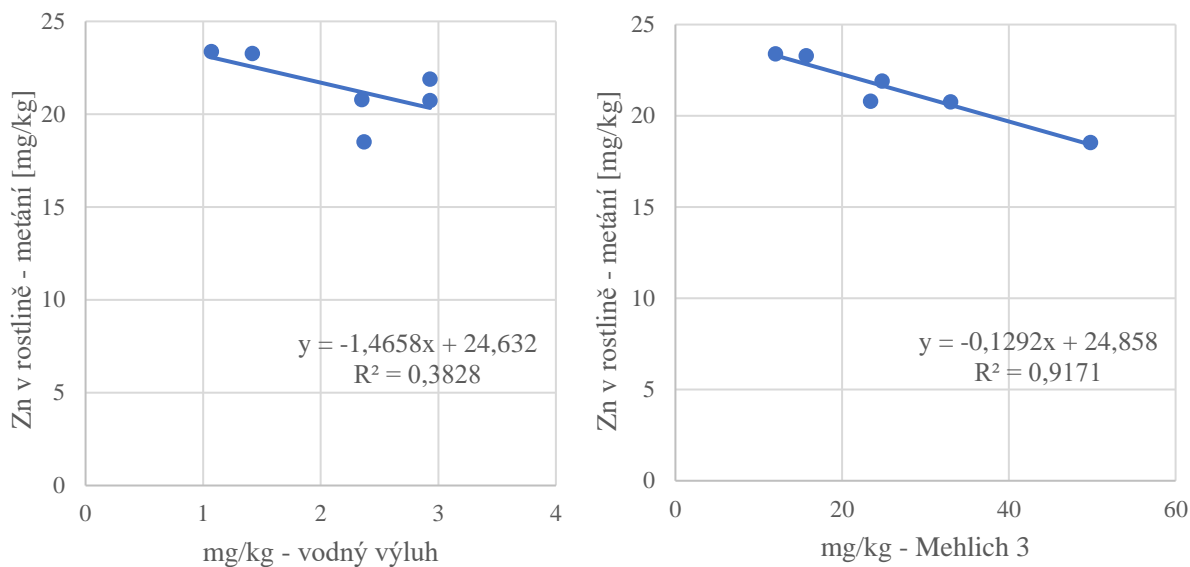
Graf č. 6. Korelace mezi obsahem zinku ve slámě ječmene ozimého a obsahem zinku v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Korelace (a) je pozitivní, korelace (b) je negativní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,02$ a (b) $r = 0,66$, tedy jde o silnou a velmi silnou korelaci.



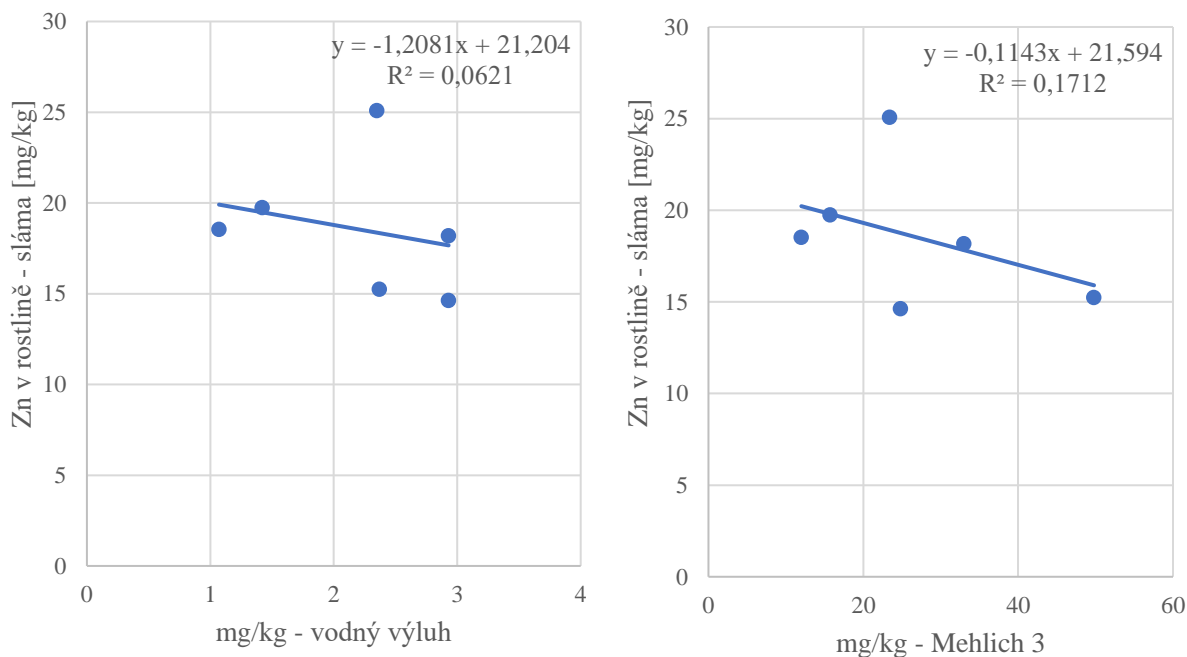
Graf č. 7. Korelace mezi obsahem zinku v klasech ječmene ozimého a obsahem zinku v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou negativní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = -0,61$ a (b) $r = -0,64$, tedy jde o silné korelace.



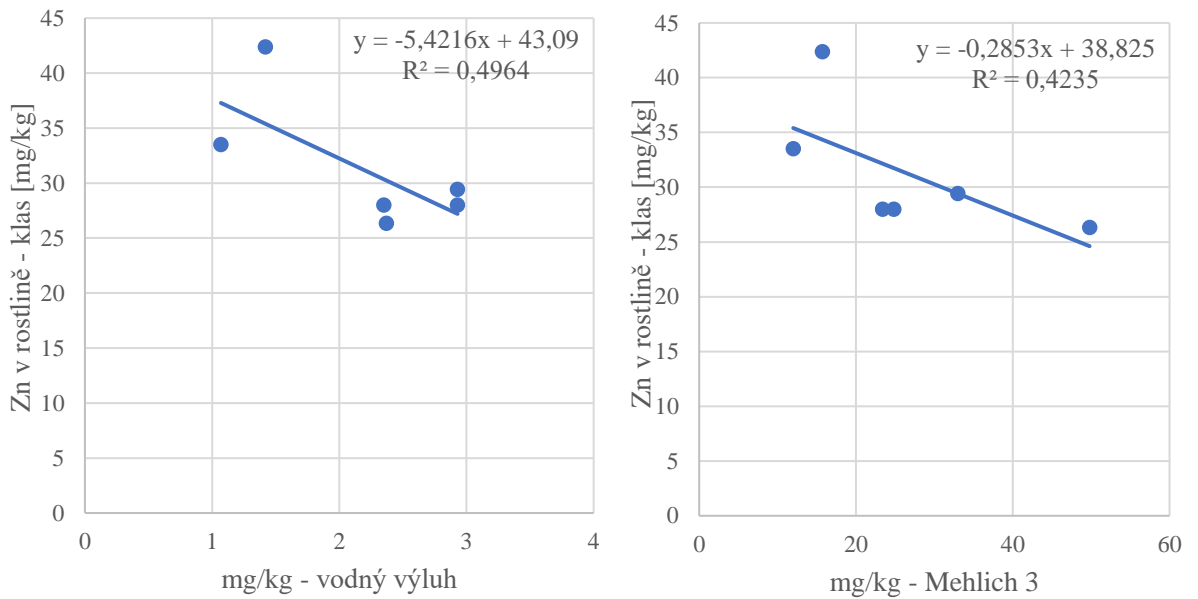
Graf č. 8. Korelace mezi obsahem zinku v nadzemní biomase ječmene ozimého ve fázi metání a obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou negativní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = -0,62$ a (b) $r = -0,96$, tedy jde o silnou a velmi silnou korelaci.



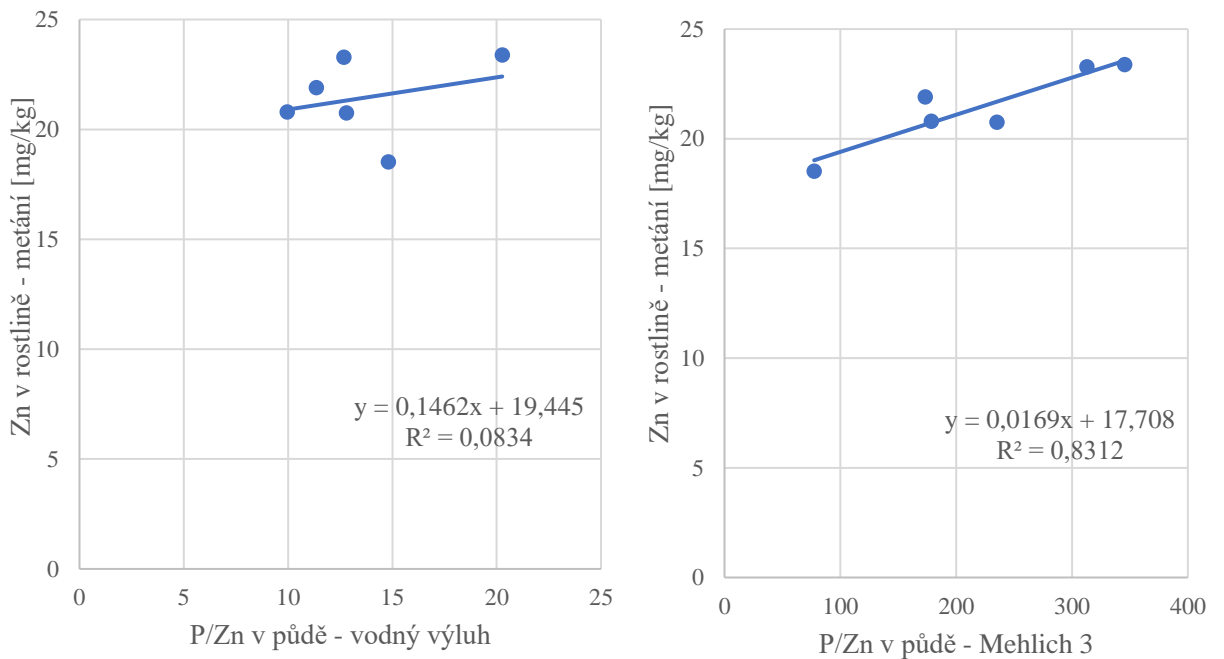
Graf č. 9. Korelace mezi obsahem zinku ve slámě ječmene ozimého a obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou negativní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = -0,25$ a (b) $r = -0,41$, tedy jde o slabou a středně silnou korelaci.



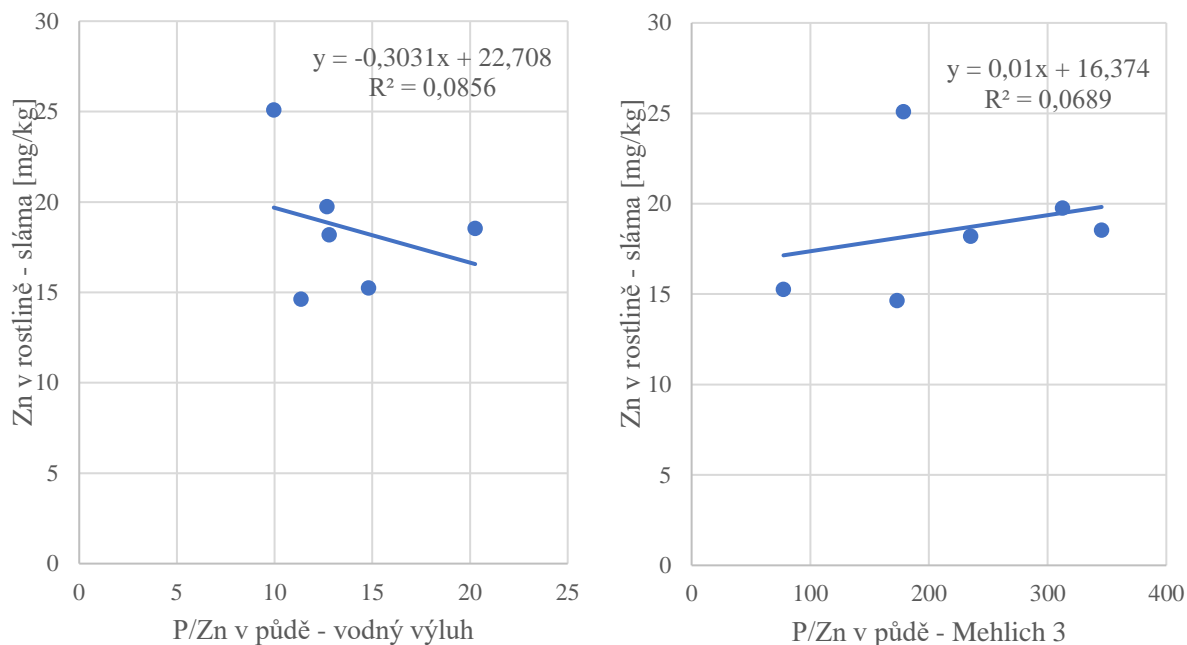
Graf č. 10. Korelace mezi obsahem zinku v klasech ječmene ozimého a obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou negativní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = -0,70$ a (b) $r = -0,65$, tedy jde o silné korelace.



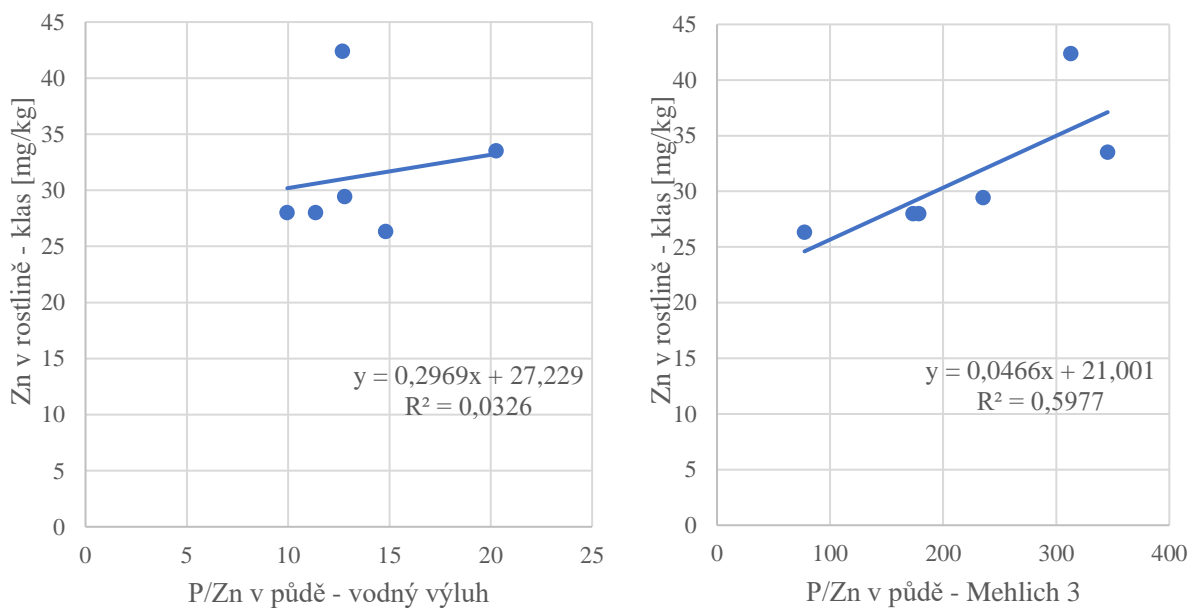
Graf č. 11. Korelace mezi obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého ve fázi metání a poměrem P/Zn v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,29$ a (b) $r = 0,91$, tedy jde o slabou a velmi silnou korelaci.



Graf č. 12. Korelace mezi obsahem zinku ve slámě ječmene ozimého a poměrem P/Zn v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Korelace (a) je negativní, korelace (b) je pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = -0,29$ a (b) $r = 0,26$, tedy jde o slabé korelace.

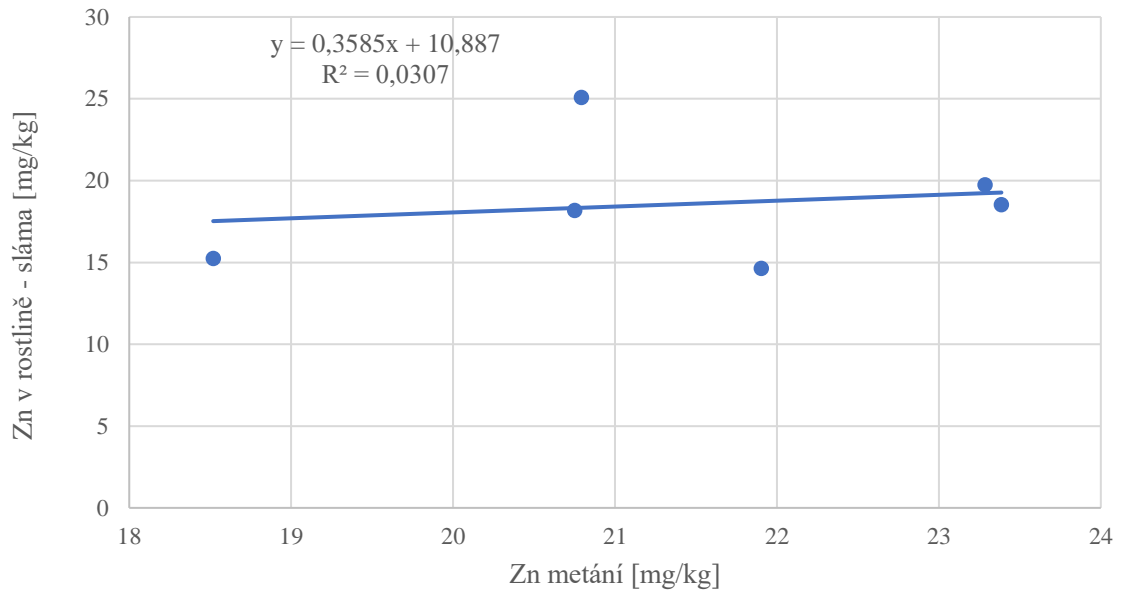


Graf č. 13. Korelace mezi obsahem zinku v klasech ječmene ozimého a poměrem P/Zn v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,18$ a (b) $r = 0,77$, tedy jde o velmi slabou a silnou korelaci.

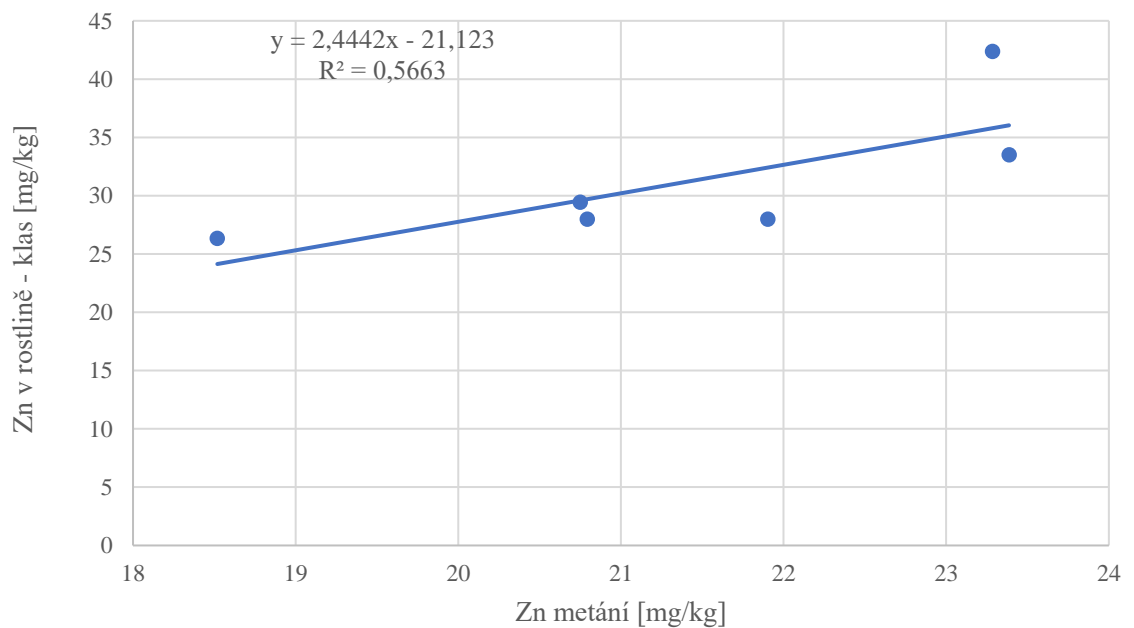


5.1.1 Zn v rostlině v závislosti na stavu výživy v metání

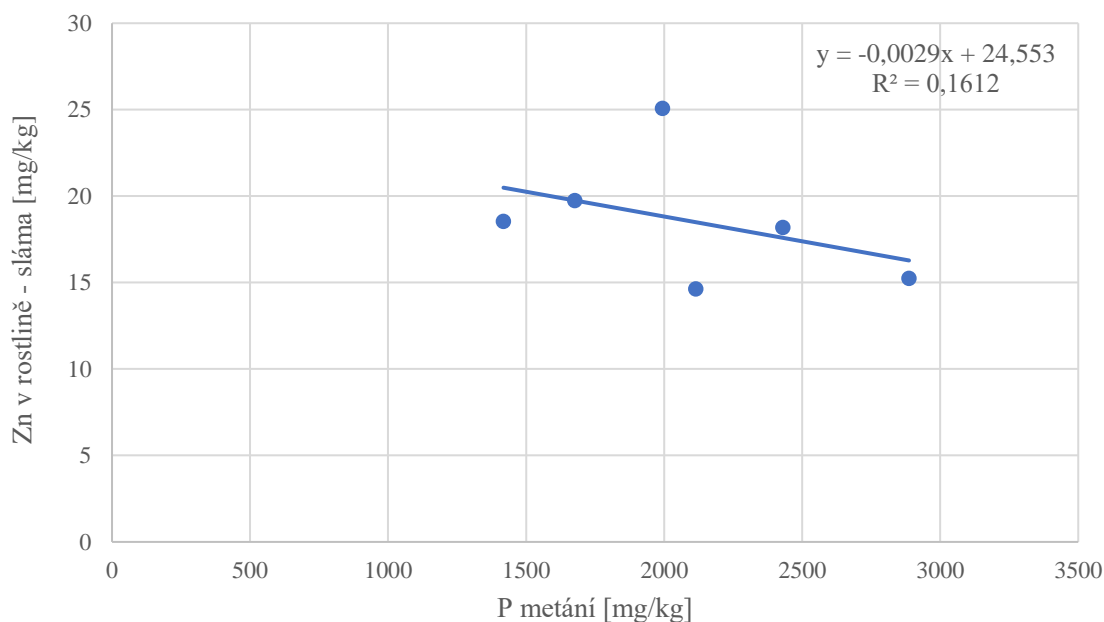
Graf č. 14. Pozitivní korelace mezi obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého ve fázi metání a obsahem zinku ve slámě rostlin ječmene ozimého. Korelační koeficient je $r = 0,18$, tedy jde o velmi slabou korelaci.



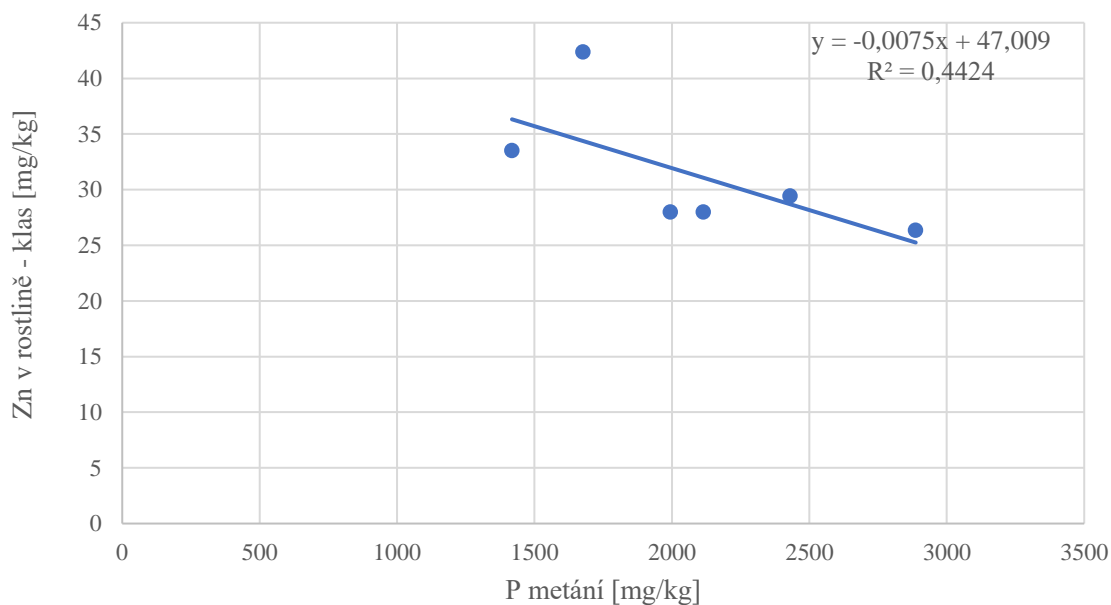
Graf č. 15. Pozitivní korelace mezi obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého ve fázi metání a obsahem zinku v klasech rostlin ječmene ozimého. Korelační koeficient je $r = 0,75$, tedy jde o silnou korelaci.



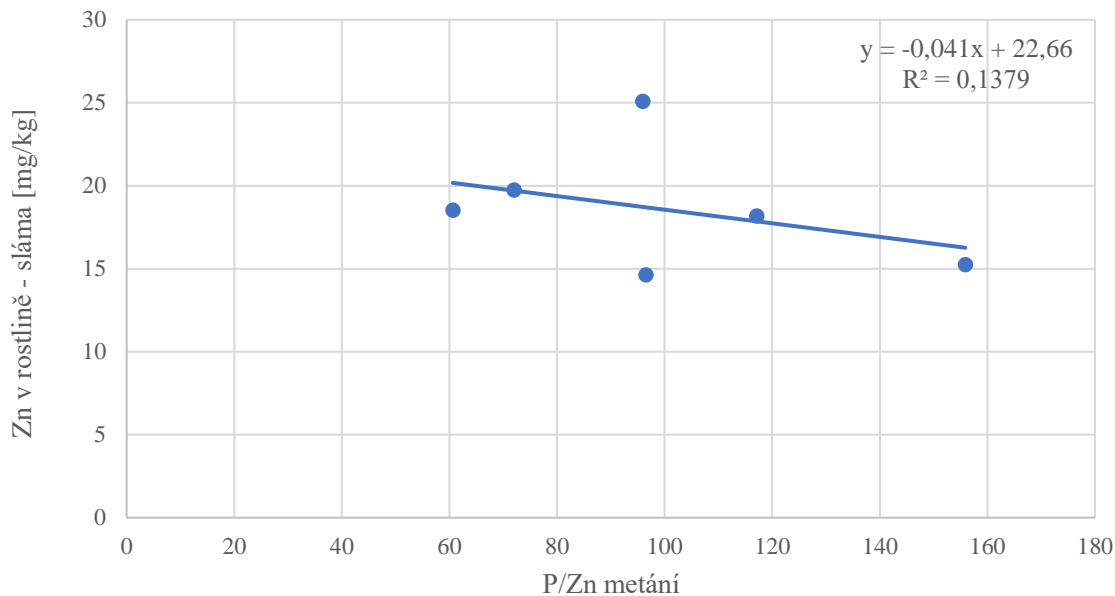
Graf č. 16. Negativní korelace mezi obsahem fosforu v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého ve fázi metání a obsahem zinku ve slámě rostlin ječmene ozimého. Korelační koeficient je $r = -0,40$, tedy jde o středně silnou korelaci.



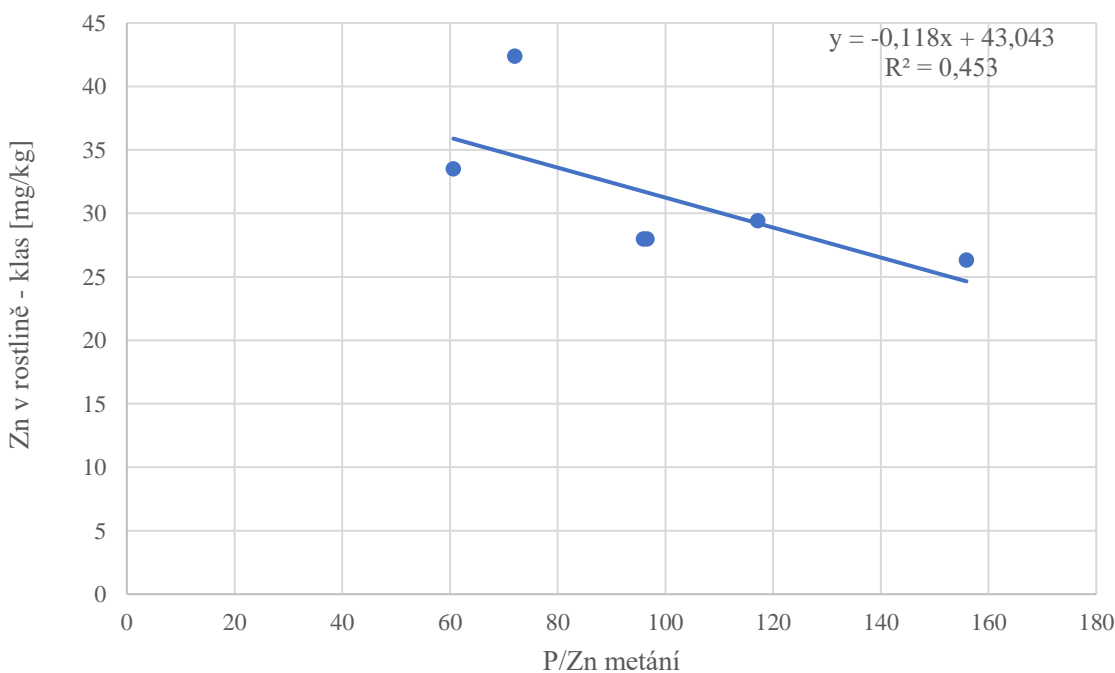
Graf č. 17. Negativní korelace mezi obsahem fosforu v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého ve fázi metání a obsahem zinku v klasech rostlin ječmene ozimého. Korelační koeficient je $r = -0,67$, tedy jde o silnou korelaci.



Graf č. 18. Negativní korelace mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého ve fázi metání a obsahem zinku ve slámě rostlin ječmene ozimého. Korelační koeficient je $r = -0,37$, tedy jde o slabou korelaci.

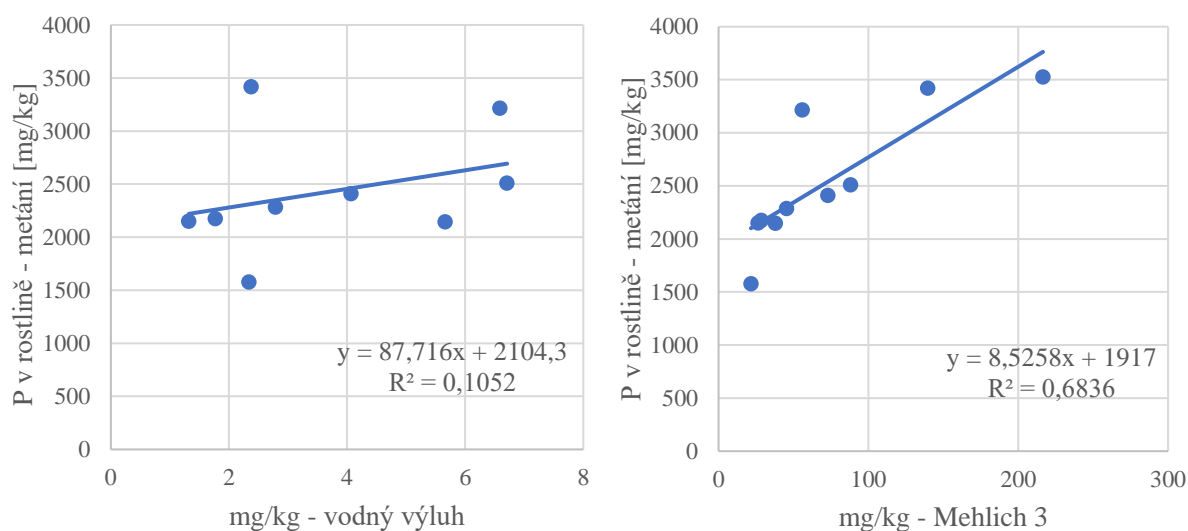


Graf č. 19. Negativní korelace mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého ve fázi metání a obsahem zinku v klasech rostlin ječmene ozimého. Korelační koeficient je $r = -0,67$, tedy jde o silnou korelaci.

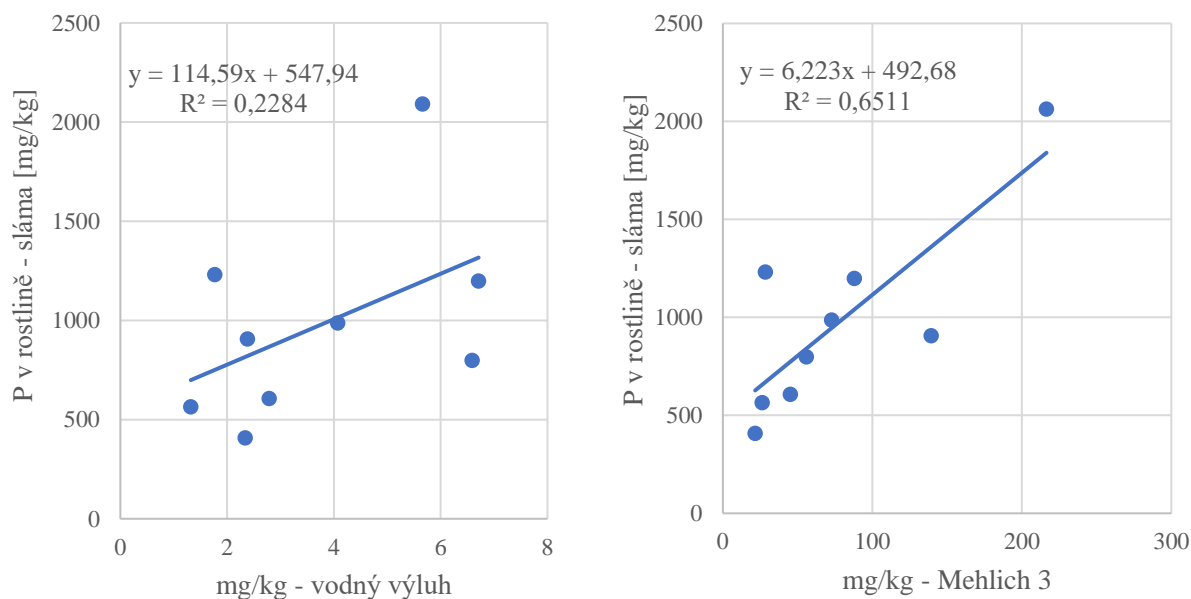


5.2 Pšenice ozimá

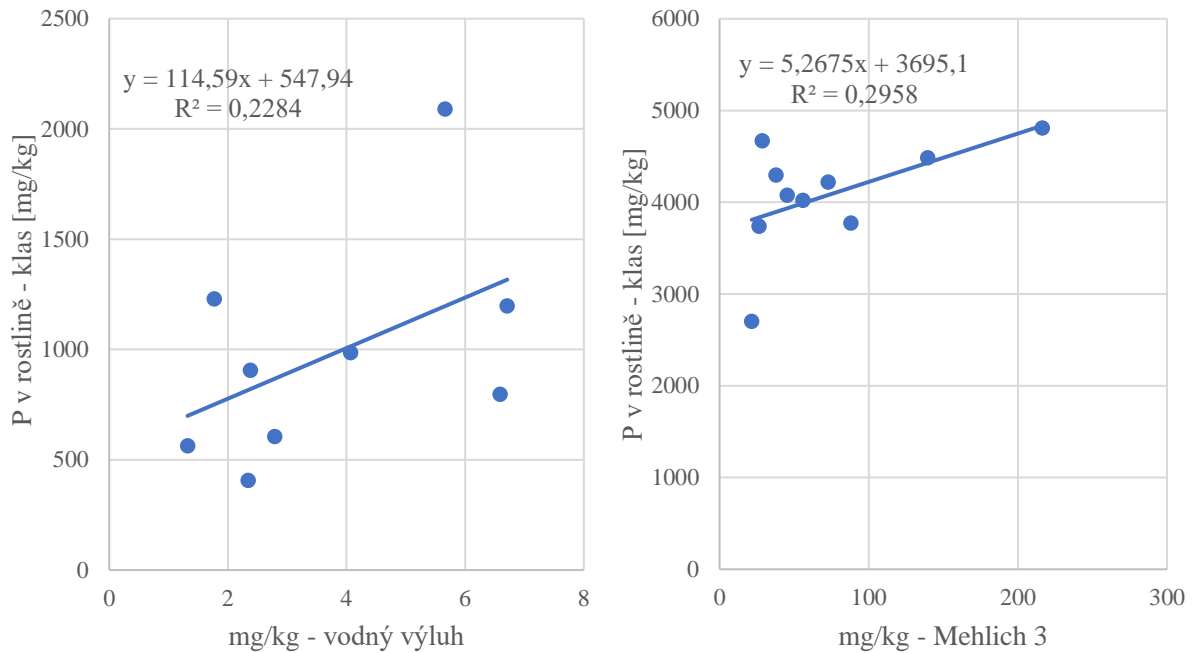
Graf č. 20. Korelace mezi obsahem fosforu v nadzemní biomase pšenice ozimé ve fázi metání a obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,32$ a (b) $r = 0,83$, tedy jde o slabou a velmi silnou korelaci.



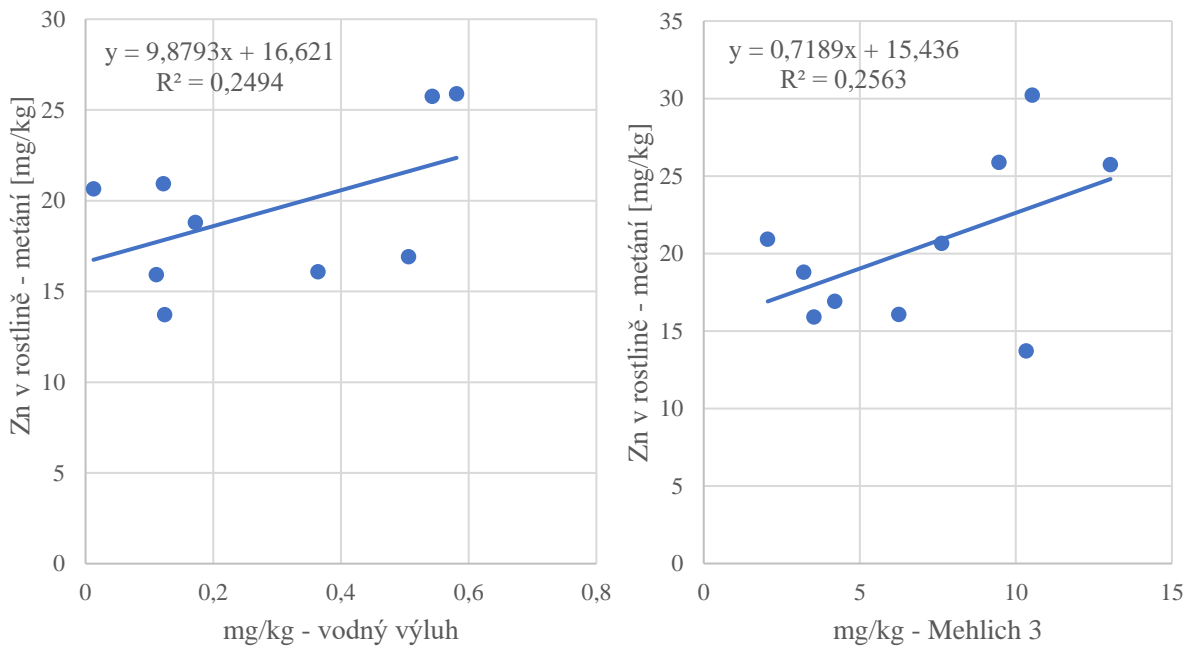
Graf č. 21. Korelace mezi obsahem fosforu ve slámě pšenice ozimé a obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,48$ a (b) $r = 0,81$, tedy jde o středně silnou a velmi silnou korelaci.



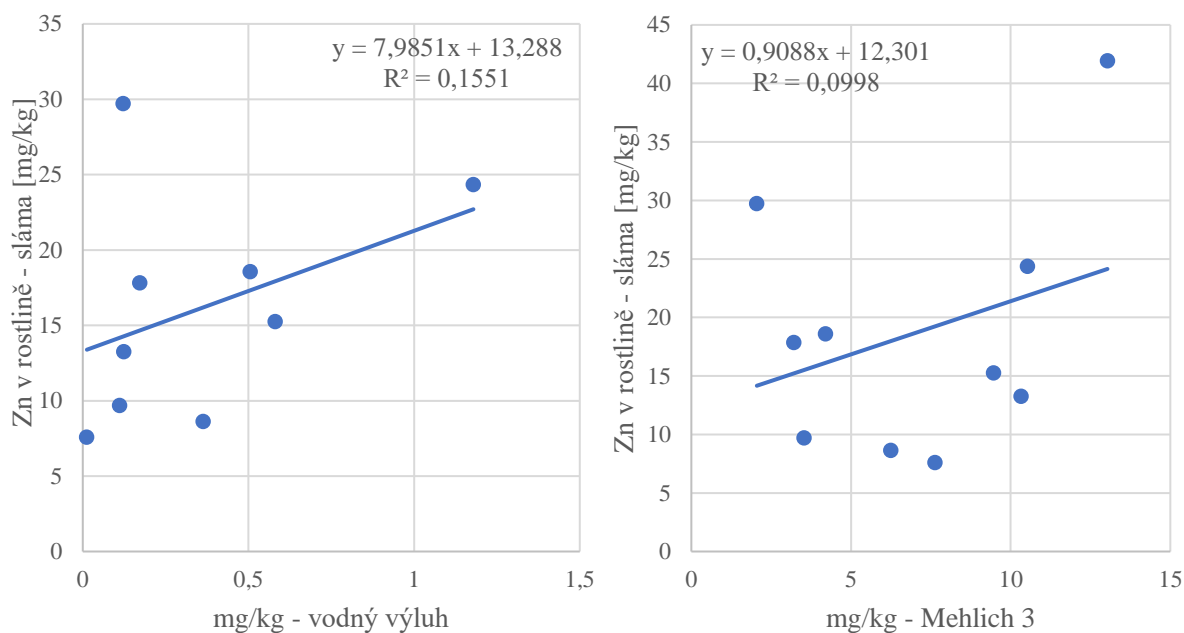
Graf č. 22. Korelace mezi obsahem fosforu v klasech pšenice ozimé a obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,48$ a (b) $r = 0,54$, tedy jde o středně silné korelace.



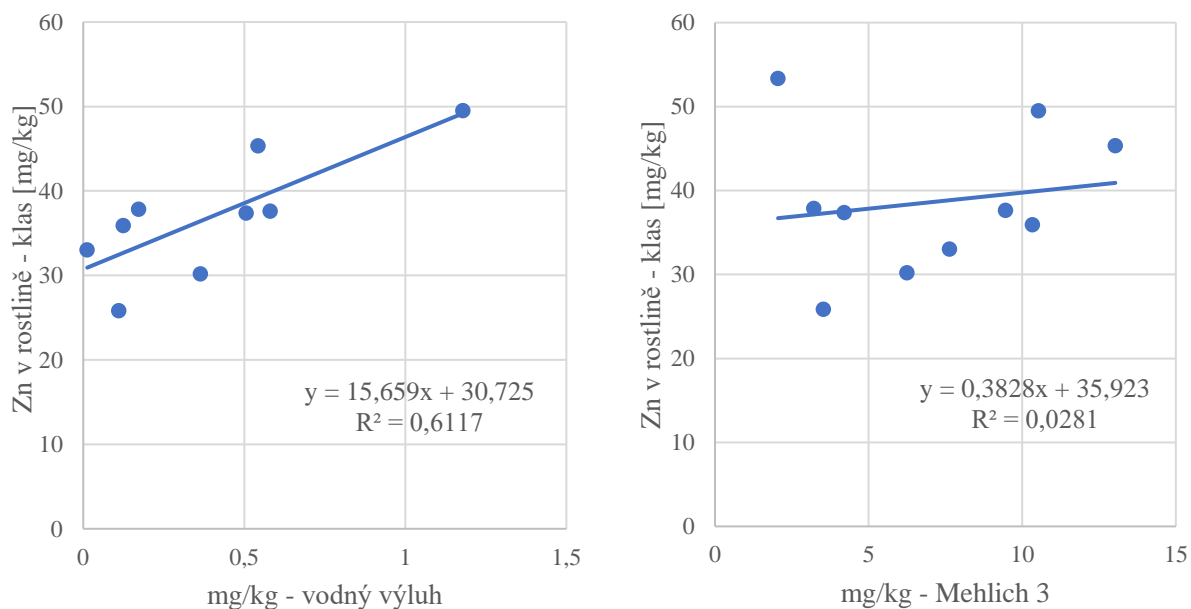
Graf č. 23. Korelace mezi obsahem zinku v nadzemní biomase pšenice ozimé ve fázi metání a obsahem zinku v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,50$ a (b) $r = 0,51$, tedy jde o středně silné korelace.



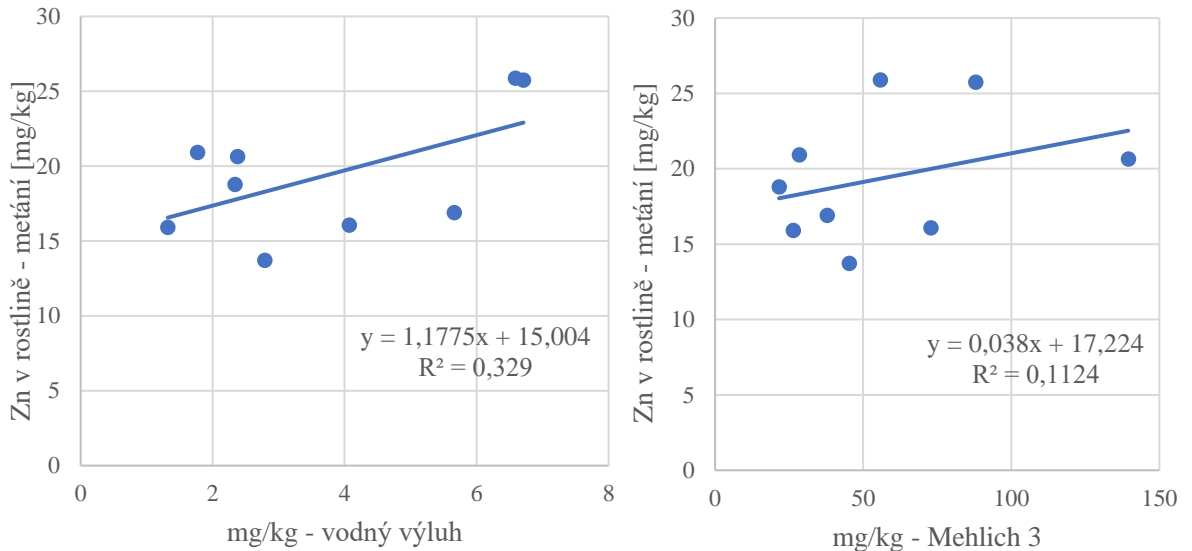
Graf č. 24. Korelace mezi obsahem zinku ve slámě pšenice ozimé a obsahem zinku v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,39$ a (b) $r = 0,71$, tedy jde o slabou a silnou korelaci.



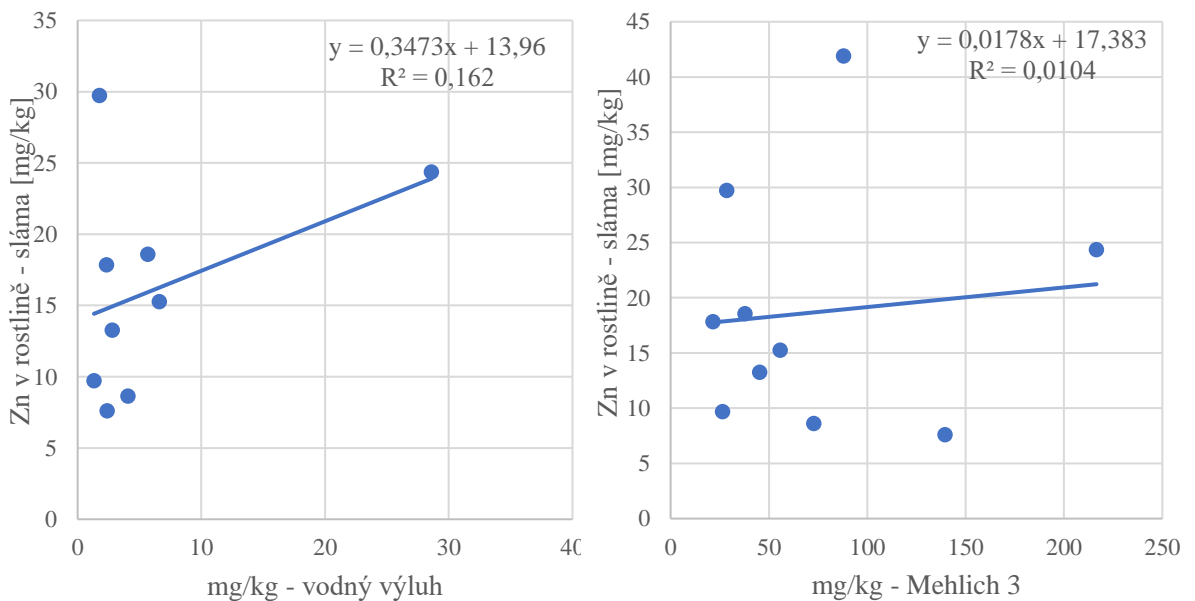
Graf č. 25. Korelace mezi obsahem zinku v klasech pšenice ozimé a obsahem zinku v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,78$ a (b) $r = 0,17$, tedy jde o silnou a velmi slabou korelaci.



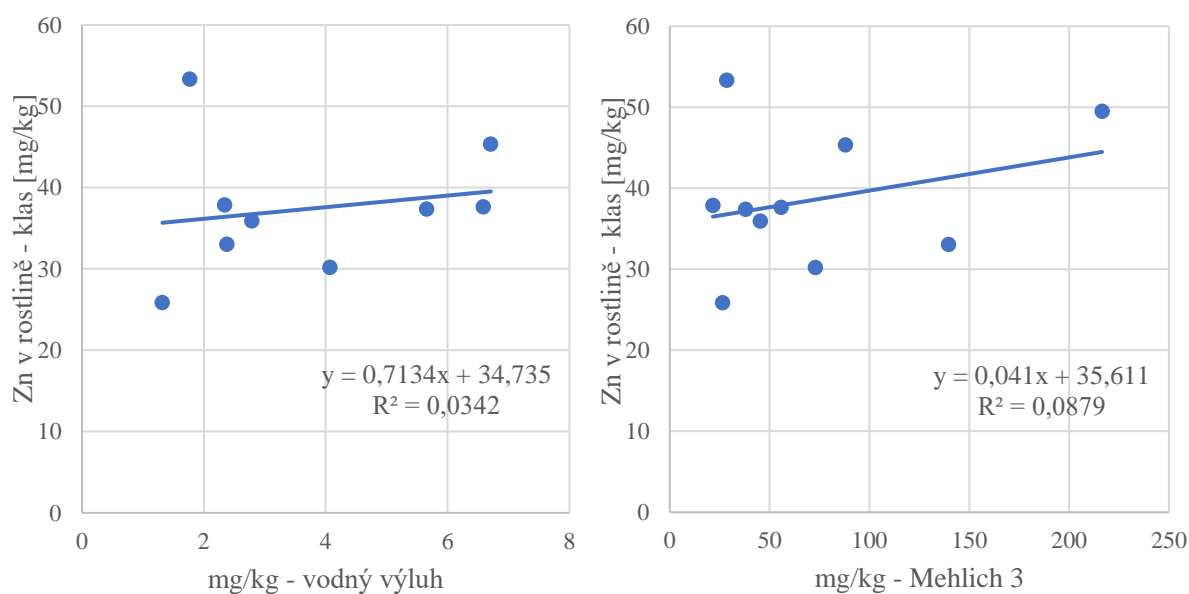
Graf č. 26. Korelace mezi obsahem zinku v nadzemní biomase pšenice ozimé ve fázi metání a obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,57$ a (b) $r = 0,34$, tedy jde o středně silnou a slabou korelaci.



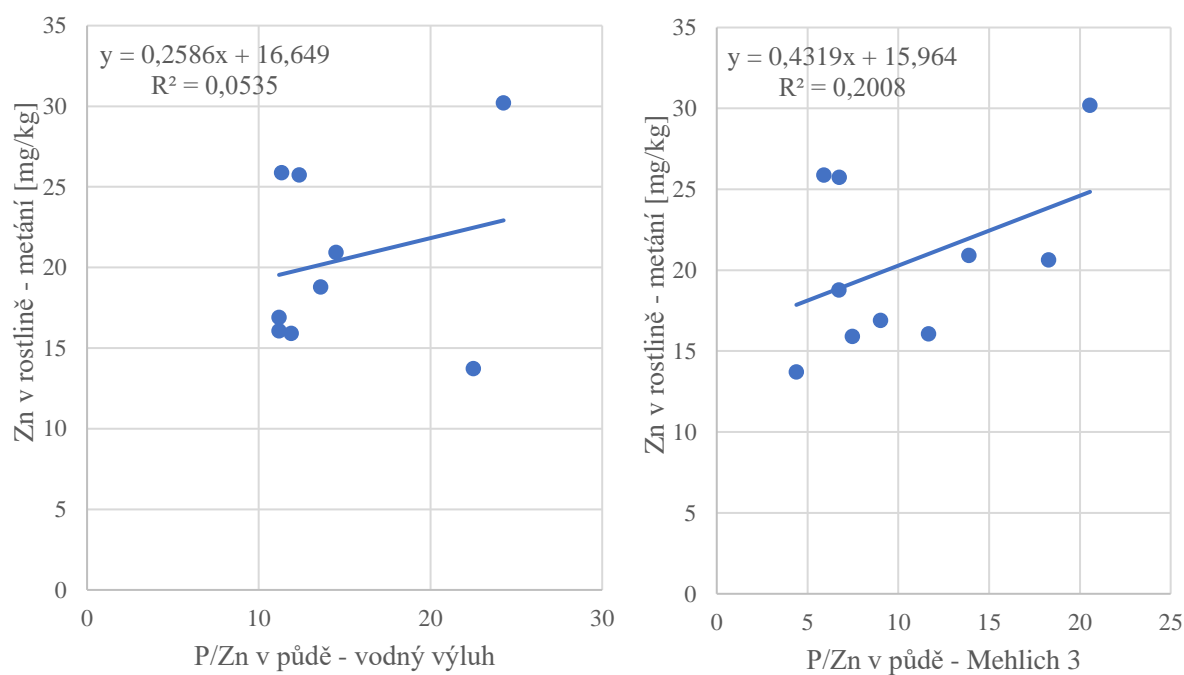
Graf č. 27. Korelace mezi obsahem zinku ve slámě pšenice ozimé a obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,40$ a (b) $r = 0,10$, tedy jde o středně silnou a velmi slabou korelaci.



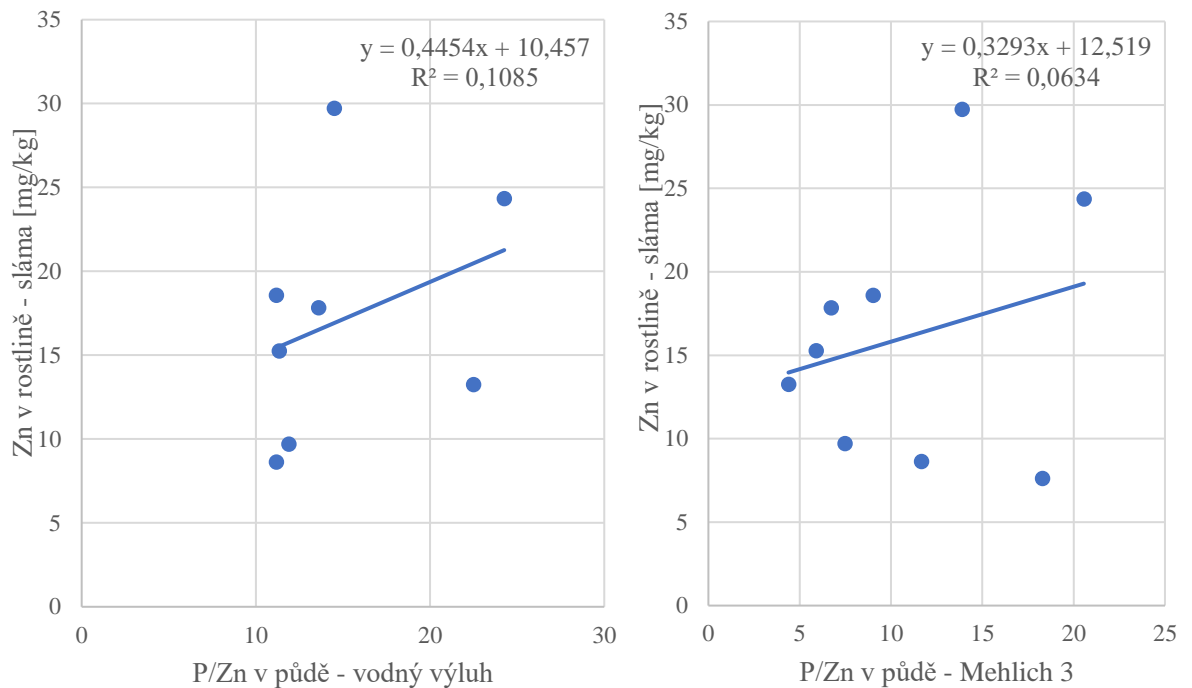
Graf č. 28. Korelace mezi obsahem zinku v klasech pšenice ozimé a obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,18$ a (b) $r = 0,30$, tedy jde o velmi slabou a slabou korelaci.



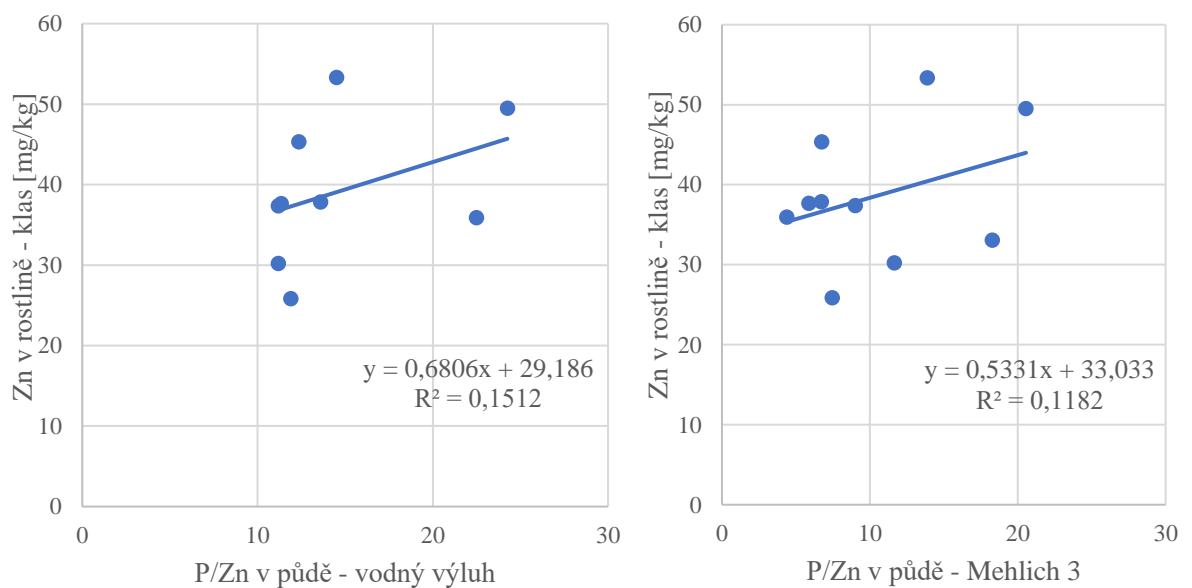
Graf č. 29. Korelace mezi obsahem zinku v nadzemní biomase pšenice ozimé ve fázi metání a poměrem P/Zn v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,23$ a (b) $r = 0,45$, tedy jde o slabou a středně silnou korelaci.



Graf č. 30. Korelace mezi obsahem zinku ve slámě pšenice ozimé a poměrem P/Zn v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,33$ a (b) $r = 0,25$, tedy jde o slabé korelace.

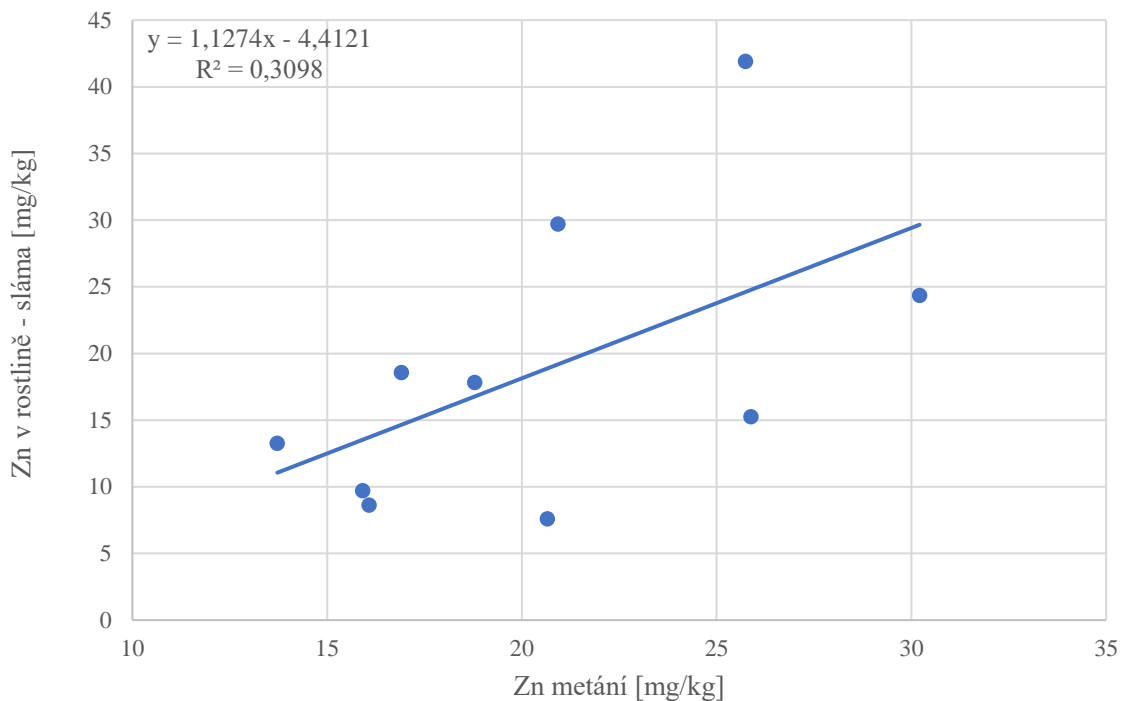


Graf č. 31. Korelace mezi obsahem zinku v klasech pšenice ozimé a poměrem P/Zn v půdě stanoveným vodným výluhem (a) a výluhem Mehlich 3 (b). Obě korelace jsou pozitivní. Korelační koeficienty jsou (a) $r = 0,39$ a (b) $r = 0,34$, tedy jde o slabé korelace.

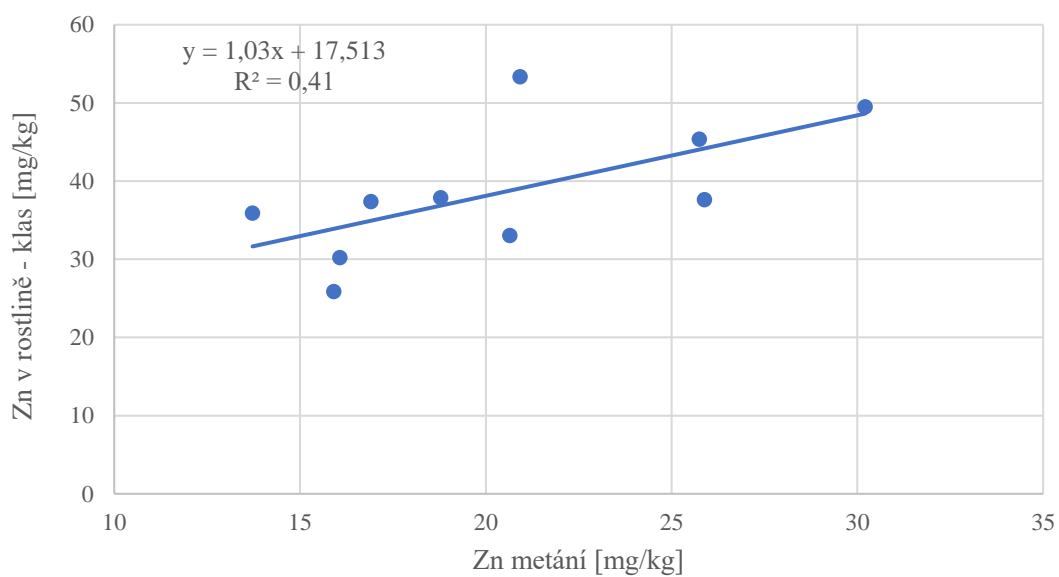


5.2.1 Zn v rostlině v závislosti na stavu výživy v metání

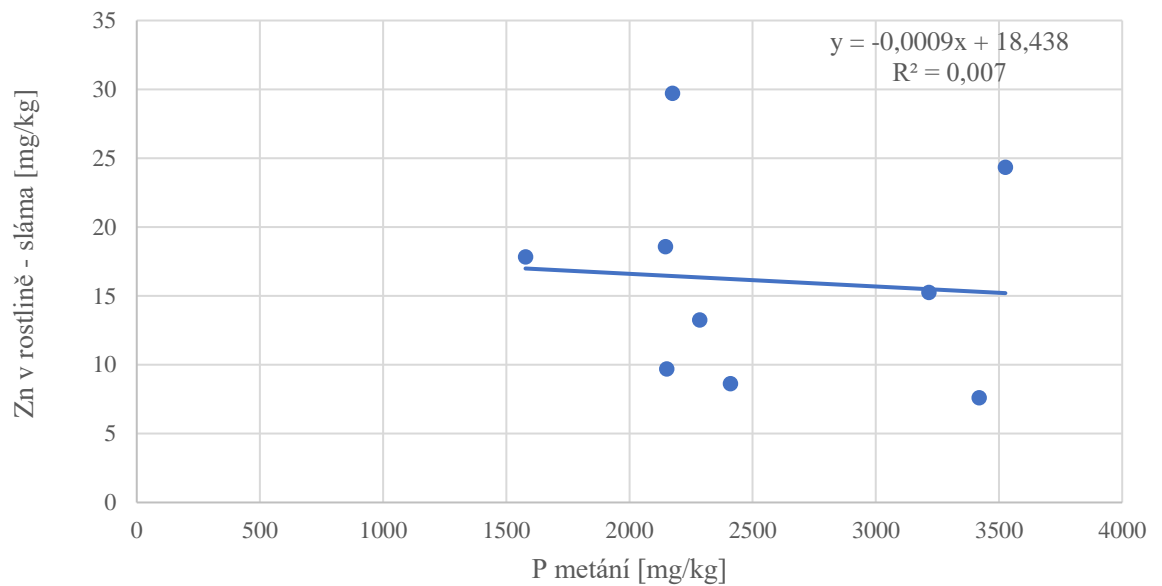
Graf č. 32. Pozitivní korelace mezi obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin pšenice ozimé ve fázi metání a obsahem zinku ve slámě rostlin pšenice ozimé. Korelační koeficient je $r = 0,56$, tedy jde o středně silnou korelaci.



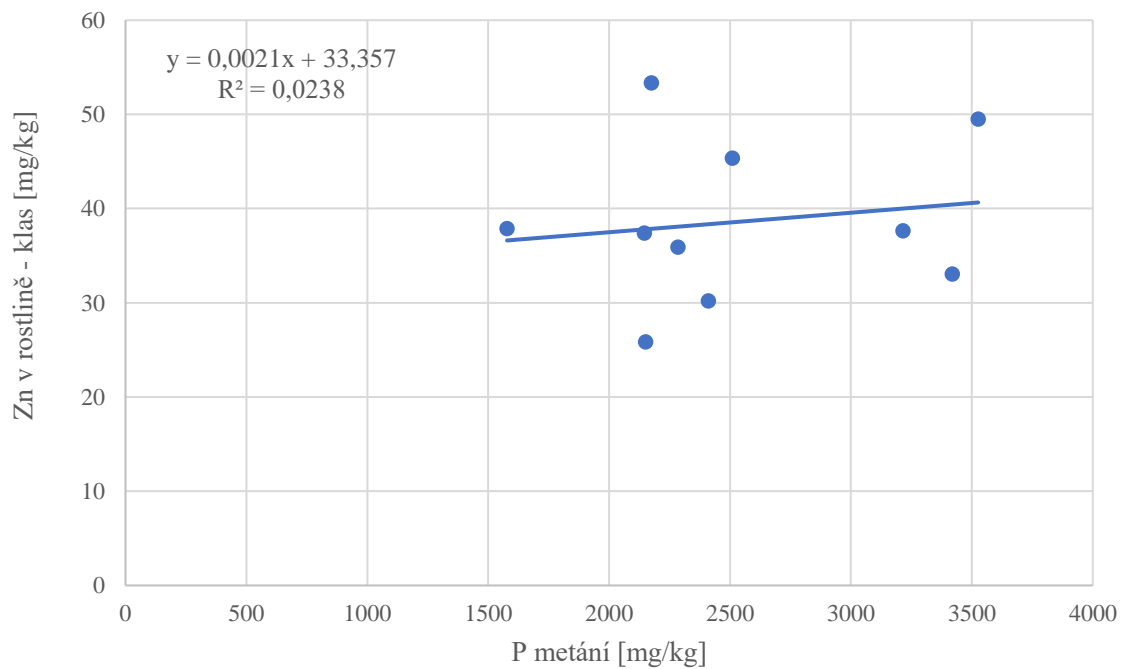
Graf č. 33. Pozitivní korelace mezi obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin pšenice ozimé ve fázi metání a obsahem zinku v klasech rostlin pšenice ozimé. Korelační koeficient je $r = 0,64$, tedy jde o silnou korelaci.



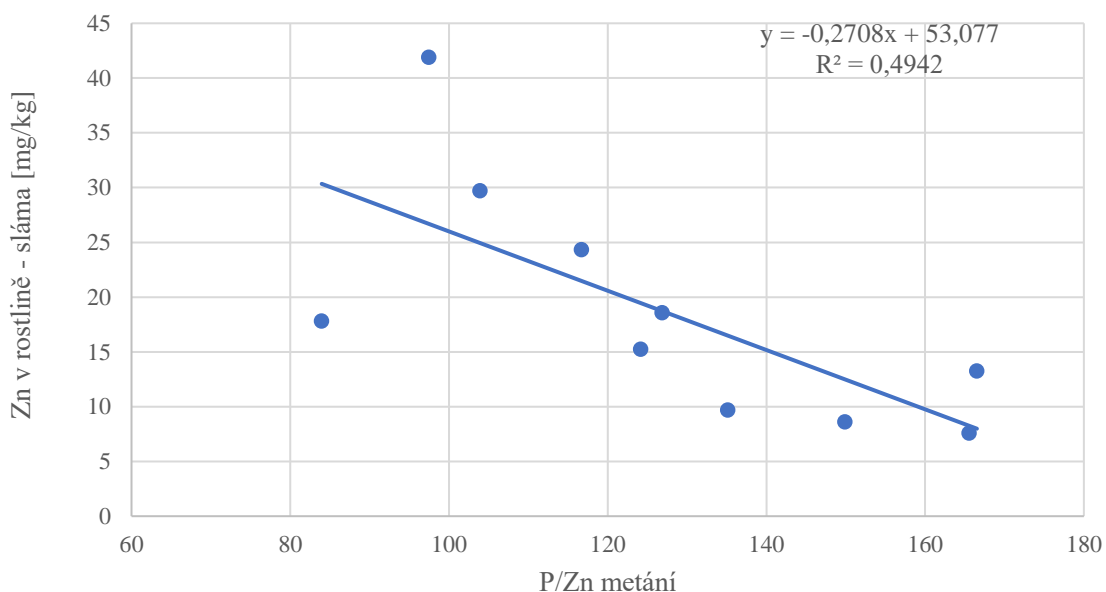
Graf č. 34. Negativní korelace mezi obsahem fosforu v nadzemní biomase rostlin pšenice ozimé ve fázi metání a obsahem zinku ve slámě rostlin pšenice ozimé. Korelační koeficient je $r = -0,08$, tedy jde o velmi slabou korelaci.



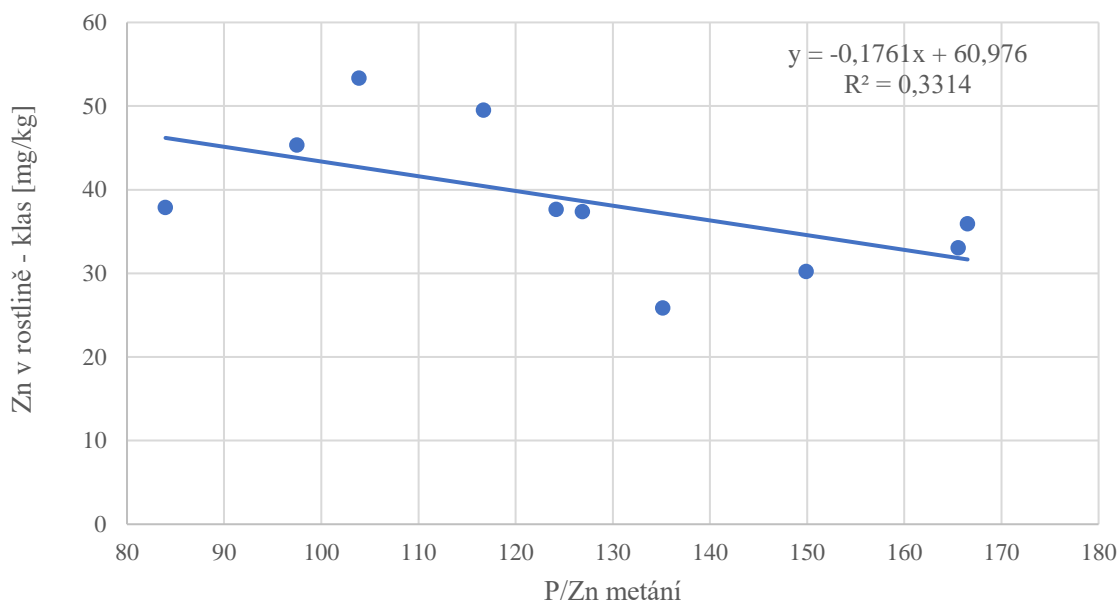
Graf č. 35. Pozitivní korelace mezi obsahem fosforu v nadzemní biomase rostlin pšenice ozimé ve fázi metání a obsahem zinku v klasech rostlin pšenice ozimé. Korelační koeficient je $r = 0,15$, tedy jde o velmi slabou korelaci.



Graf č. 36. Negativní korelace mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase rostlin pšenice ozimé ve fázi metání a obsahem zinku ve slámě rostlin pšenice ozimé. Korelační koeficient je $r = -0,70$, tedy jde o silnou korelaci.



Graf č. 60. Negativní korelace mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase rostlin pšenice ozimé ve fázi metání a obsahem zinku v klasech rostlin pšenice ozimé. Korelační koeficient je $r = -0,58$, tedy jde o středně silnou korelaci.



6 Diskuze

Jak uvádí Vaněk a kol. (2016), ječmen a pšenice ozimá mají vůbec nejhorší schopnost osvojovat si fosfor z pěstovaných kulturních plodin. Sledování probíhalo na alkalických půdách, v nichž je přijatelnost fosforu a zinku rostlinami také negativně ovlivněna vysokým pH (Sánchez-Rodríguez et al. 2021). Ke stanovení obsahu zinku a fosforu v půdě byl použitý vodný výluh a výluh Mehlich 3. Výluh Mehlich 3 byl použitý, protože se tato metoda běžně využívá i při agrochemickém zkoušení půd. Vodný výluh byl použitý, protože obsah fosforu v půdě stanovený vodným výluhem s obsahem fosforu v sušině nadzemní biomasy pšenice ozimé byl v silné korelaci (Kubatková 2019). V této práci se ovšem nepotvrdilo, že by fosfor v půdě vyluhovaný vodným výluhem koreloval silněji, než fosfor vyluhovaný z půdy pomocí výluhu Mehlich 3. Silná korelace byla pouze mezi obsahem fosforu v půdě stanoveným vodným výluhem a obsahem fosforu v sušině nadzemní biomasy ječmene ozimého ve fázi metání a obsahem fosforu ve slámě ječmene ozimého. U pšenice ozimé byla korelace slabá, respektive středně silná.

Yousaf et al. (2019) uvádí, že příjem zinku je značně omezen vyššími hodnotami pH a vyšším obsahem přístupného fosforu v půdě. Že je obsah zinku v zrnech obilnin ovlivňován obsahem přístupného fosforu v půdě uvádí také Zhang et al. (2021). Výsledky rozborů rostlin ječmene ozimého tato tvrzení potvrdily. Velmi silná negativní korelace byla zjištěna mezi obsahem fosforu v půdě stanoveným výluhem Mehlich 3 a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin ve fázi metání. Mezi obsahem fosforu v půdě stanoveným výluhem Mehlich 3 a obsahem zinku v klasech ječmene ozimého byla prokázána silná korelace ($r = -0,65$). Tyto výsledky se ovšem nepodařilo prokázat u pšenice ozimé, kde mezi těmito veličinami byla prokázána pouze slabá korelace.

Vaněk et al. (2016) uvádí, že pohyb zinku do vegetačních vrcholů omezuje obsah fosforu v rostlině a je tedy důležité sledovat poměr P/Zn v rostlině. Mezi obsahem fosforu v rostlinách ječmene ozimého ve fázi metání a obsahem zinku ve slámě sklizených rostlin byla středně silná korelace ($r = -0,40$). Silná korelace však byla prokázána mezi obsahem fosforu v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého ve fázi metání a obsahem zinku v klasech sklizených rostlin ($r = -0,67$). Tuto hypotézu se nepodařilo potvrdit u pšenice ozimé. Mezi obsahem fosforu v nadzemní biomase rostlin pšenice ozimé ve fázi metání a obsahem zinku ve slámě i klasech sklizených rostlin byla pouze velmi slabá korelace. Brodlaey et al. (2007) uvádí, že zinek se během vegetace v rostlině akumuluje do zrna. U obou zkoumaných obilnin se prokázala silná závislost, mezi obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin ve fázi metání a obsahem zinku v klasech pšenice ozimé i ječmene ozimého. Byl prokázán i vliv poměru P/Zn v rostlinách ve fázi metání na obsah zinku ve slámě a klasech pšenice ozimé a ječmene ozimého. U pšenice ozimé silně koreloval poměr P/Zn v nadzemní biomase ve fázi metání s obsahem zinku ve slámě sklizených rostlin ($r = -0,70$) a středně silně koreloval s obsahem zinku v klasech ($r = -0,58$). U ječmene ozimého byla prokázána slabá korelace mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase rostlin ve fázi metání a obsahem zinku ve slámě sklizených rostlin ($r = -0,37$). Silně koreloval poměr P/Zn v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého ve fázi metání s obsahem zinku v klasech sklizených rostlin ($r = -0,67$).

Sedlář et al. (2018) uvádí, že je významnější závislost mezi poměrem P/Zn v půdě a obsahem zinku v rostlině, než mezi obsahem zinku v půdě stanoveným výluhem Mehlich 3 a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin. Významná závislost mezi poměrem P/Zn v půdě a zinkem v rostlinách byla prokázána pouze u ječmene ozimého. Mezi poměrem P/Zn v půdě stanoveným výluhem Mehlich 3 a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého ve fázi metání byla prokázána velmi silná korelace ($r = 0,91$). Silná korelace byla také mezi poměrem zmiňovaných živin v půdě a obsahem zinku v klasech ječmene ozimého ($r = 0,77$). Tuto souvislost se nepodařilo prokázat u pšenice ozimé, u které byla středně silná korelace mezi poměrem P/Zn v půdě a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin ve fázi metání ($r = 0,45$). Mezi poměrem P/Zn v půdě a obsahem zinku v klasech pšenice ozimé byla pouze slabá korelace ($r = 0,34$). Mezi poměrem P/Zn v půdě stanoveným vodným výluhem a obsahem zinku v nadzemních částech rostlin ať už ve fázi metání, nebo ve fázi zralosti, byly pouze slabé nebo velmi slabé korelace. U ječmene ozimého se nepotvrdily výsledky Sedláře et al. (2018), že by poměr P/Zn v půdě silněji koreloval s obsahem zinku v rostlinách, než obsah zinku stanovený výluhem Mehlich 3. Mezi obsahem zinku stanoveným výluhem Mehlich 3 a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého ve fázi metání byla zjištěna velmi silná korelace ($r = -0,84$). Mezi obsahem zinku v půdě stanoveným výluhem Mehlich 3 a obsahem zinku ve slámě sklizených rostlin ječmene ozimého byla silná korelace ($r = -0,66$). Silná korelace byla rovněž zjištěna mezi obsahem zinku v půdě stanoveným výluhem Mehlich 3 a obsahem zinku v klasech sklizených rostlin ječmene ozimého ($r = -0,64$). U pšenice ozimé obsah zinku v půdě stanovený výluhem Mehlich 3 středně koreloval s obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin ve fázi metání ($r = 0,51$), s obsahem zinku ve slámě sklizených rostlin však koreloval slabě ($r = 0,32$) a velmi slabě koreloval s obsahem zinku v klasech pšenice ozimé ($r = 0,18$).

Junus & Cox (1987) uvádějí výluh Mehlich 3 jako spolehlivou metodu pro určení přijatelného zinku v půdě. Mezi obsahem zinku v půdě stanoveným výluhem Mehlich 3 a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin ve fázi metání byla u ječmene ozimého pozorována velmi silná korelace ($r = -0,84$). S obsahy zinku ve slámě a klasu sklizených rostlin ječmene ozimého koreloval obsah zinku v půdě stanovený výluhem Mehlich 3 silně. U pšenice ozimé takto silné korelace prokázány nebyly. Mezi zinkem v půdě stanoveným výluhem Mehlich 3 a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin pšenice ozimé ve fázi metání byla středně silná závislost ($r = 0,51$). Slabě koreloval obsah zinku v půdě s obsahem zinku ve slámě sklizených rostlin pšenice ozimé ($r = 0,32$). Mezi obsahem zinku v půdě a obsahem zinku v klasech rostlin pšenice ozimé byla patrná jen velmi slabá závislost ($r = 0,18$).

7 Závěr

- Že příjem fosforu v rostlině negativně ovlivňuje obsah zinku v nadzemní biomase rostlin včetně klasů ve fázi zralosti se podařilo prokázat pouze u rostlin ječmene ozimého. U pšenice ozimé se souvislost prokázat nepodařilo.
- Hypotéza, že výluh Mehlich 3 je vhodnějším extrakčním činidlem pro hodnocení přijatelnosti fosforu a zinku v půdě než vodný výluh, byla potvrzena pouze částečně. Tato hypotéza byla potvrzena při hodnocení přijatelnosti fosforu u pšenice ozimé i ječmene ozimého. V případě přijatelnosti zinku byla tato hypotéza potvrzena pouze u ječmene ozimého.
- Hypotéza, že poměr P/Zn v půdě je významnějším faktorem ovlivňujícím obsah zinku v nadzemní biomase rostlin než obsah zinku v půdě, byla prokázána pouze u ječmene ozimého. I tak lze považovat obsah zinku v půdě za významný faktor, jelikož mezi obsahem zinku v půdě a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin ječmene ozimého byla prokázána silná korelace.
- Hypotéza, že obsah zinku v klasu je významně ovlivněn obsahem zinku a fosforu v nadzemní biomase rostlin ve fázi metání, byla potvrzena pouze částečně. U pšenice ozimé i ječmene ozimého se prokázalo, že silně koreluje obsah zinku v nadzemní biomase rostlin ve fázi metání a obsah zinku v klasech. V případě fosforu v nadzemní biomase rostlin ve fázi metání a obsahu zinku v klasech byla silná korelace pouze u rostlin ječmene ozimého, u pšenice ozimé byla korelace naopak velmi slabá.

8 Literatura

- Adams F. 1980. Interactions of phosphorus with other elements in soils and in plants. Pages 655-680 in *The Role of Phosphorus in Agriculture*. ASA, CSSA, and SSSA Books, Wisconsin.
- Akhtar M, Yousaf S, Sarwar N, Hussain S. 2019. Zinc biofortification of cereals—role of phosphorus and other impediments in alkaline calcareous soils. *Environmental Geochemistry and Health* **41**:2365-2379.
- Alloway B. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health* **2009**:537–548.
- Baier J, Baierová V. 1985. *Abeceda výživy rostlin a hnojení*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Balík J, Vaněk V, Pavlíková D, Kulhánek M, Jakl M. 2002. Fosfor v půdě a jeho koloběh v přírodě. Pages 26 - 34 in *Racionální použití hnojiv: zaměřené na problematiku fosforu v rostlinné výrobě*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Bindraban P, Dimkpa C, Pandey R. 2020. Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils* **2020**:299-317.
- Bovill W, Huang C, McDonald G. 2013. Genetic approaches to enhancing phosphorus-use efficiency (PUE) in crops: challenges and directions. *Crop and Pasture Science* **64**:179-198.
- Broadley MR, White PJ, Hammond JP, Zelko I, Lux A. 2007. Zinc in plants. *New Phytologist* **173**:677-702.
- Bushuk W, Rasper V. 1994. *Wheat: Production, Properties and Quality*. Chapman & Hall, Suffolk.
- Cakmak I et al. 2010. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **58**:9092-9102.
- Condrón L. 2004. *Managing soil quality: challenges in modern agriculture. Phosphorus – Surplus and Deficiency*. CABI Publishing, Wallingford.
- Čermák P, Mühlbachová G, Lošák T, Hlušek J. 2019. Aktualizovaná kritéria hodnocení obsahu přístupného fosforu na karbonátových půdách pro harmonickou výživu rostlin. *Zahradnictví: Vědecká příloha XVIII*:229-235. Profi Press, Praha.
- Černý J, Shejbalová Š, Kovářík J, Kulhánek M. 2014. *Předset'ové a podzimní hnojení pšenice ozimé*. Agromanuál. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/predsetove-a-podzimni-hnojeni-psenice-ozime> (accessed 2021-04-18).
- ČSÚ. 2020. *Osevní plochy ozimých plodin pro sklizeň v roce 2020*. Český statistický úřad, Praha. Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/osevni-plochy-ozimych-plodin-pro-sklizen-v-roce-2020> (accessed 2021-03-10).
- ČSÚ. 2020. *Vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní zemědělských plodin*. Český statistický úřad, Praha. Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2020> (accessed 2021-04-25).
- Faměra O. 1993. *Základy pěstování ozimé pšenice, 1. vyd.*. . Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Praha.

- Gao X, Grant C. 2011. Interactive effect of N fertilization and tillage management on Zn biofortification in durum wheat (*Triticum durum*). *Canadian Journal of Plant Science* **91**:951-960.
- Grant C, Flaten D, Tomaszewicz D, Sheppard S. 2001. The importance of early season phosphorus nutrition. *Canadian Journal of Plant Science* **81**:211-224.
- He H, Wu M, Su R, Zhang Z, Chang C, Peng Q, Dong Z, Pang J, Lambers H. 2021. Strong phosphorus (P)-zinc (Zn) interactions in a calcareous soil-alfalfa system suggest that rational P fertilization should be considered for Zn biofortification on Zn-deficient soils and phytoremediation of Zn-contaminated soils. *Plant and Soil*. Early access. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s11104-020-04793-w> (accessed April 9, 2021).
- Chasapis C, Loutsidou A, Spiliopoulou C, Stefanidou M. 2012. Zinc and human health: an update. *Archives of Toxicology* **86**:521-534.
- Junus MA, Cox FR. 1987. A zinc soil test calibration based upon Mehlich 3 extractable zinc, pH, and cation exchange capacity. *Soil Science Society of America Journal* **51**:678-683.
- Kowalenko C. 2008. Extraction times and analysis methods influence soil test measurements of phosphorus and sulphur. *Canadian Journal of Soil Science* **88**:733-747.
- Křen J. 2001. Pěstování ozimé pšenice v České republice. Úroda. Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, Brno. Available from <https://www.uroda.cz/pestovani-ozime-psenice-v-ceske-republice/> (accessed 2021-04-18).
- Kubatková K. 2019. Příjem fosforu ozimou pšenicí na alkalických půdách. Bakalářská práce. Praha.
- Kunzová E. 2009. Výživa rostlin a hnojení fosforem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- Lidon F et al. 2015. Sequential zinc and iron biofortification of bread-wheat grains: from controlled to uncontrolled environments. *Crop and Pasture Science* **66**:1097-1104.
- Mader P, Čurdová E. 1997. Metody rozkladu biologických materiálů pro stanovení stopových prvků. *Chemické Listy* **91**:227-236.
- Marschner P. 2011. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Elsevier Books, London.
- Mehlich A. 1984. Mehlich-3 soil test extractant - a modification of Mehlich-2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **15**:1409-1416.
- Mikanová O, Šimon T. 2011. Alternativní výživa rostlin fosforem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- Rehman A, Farooq M, Naveed M, Ozturk L, Nawaz A. 2018. Pseudomonas-aided zinc application improves the productivity and biofortification of bread wheat. *Crop and Pasture Science* **69**:659-672.
- Richter R. 2004. Symptomy nedostatku a nadbytku fosforu. web2.mendelu.cz. MENDELU Brno, Brno. Available from http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/psymptomy.htm (accessed 2021-03-03).
- Richter R. 2007. Fosfor v půdě. web2.mendelu.cz. MENDELU Brno, Brno. Available from http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/puda_p.htm (accessed 2021-04-18).
- Richter R, Hlušek R. 1994. *Výživa a hnojení rostlin: Určeno pro posl. AF, ZF*. Vysoká škola zemědělská, Brno.

- Rodríguez D, Andrade F, Goudriaan J. 1999. Effects of phosphorus nutrition on tiller emergence in wheat. *Plant and Soil* **209**:283-295.
- Saeed M. 1977. Phosphate fertilization reduces zinc adsorption by calcareous soils. *Plant and Soil* **1977**:641-149.
- Sánchez-Rodríguez A, Marín-Paredes M, González-Guzmán A, Méndez J, Sánchez-Parra M, Sacristán D, Fuentes-García M, Barrón V, Torrent J, del Campillo M. 2021. Zinc biofortification strategies for wheat grown on calcareous Vertisols in southern Spain: application method and rate. *Plant and Soil* **early access**. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s11104-021-04863-7>.
- Sedlář O, Balík J, Kulhánek M, Černý J, Kos M. 2018. Mehlich 3 extractant used for the evaluation of wheat-available phosphorus and zinc in calcareous soils. *Plant, Soil and Environment* **64**:53-57.
- Sen Tran T, R. Simard R. 1993. Mehlich III-Extractable elements. Pages 43-49 in *Soil sampling and methods of analysis*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Shaoxia W, Meng L, Xiaoyuan Z, Peiwen F, Yanlong C, Jianglan S, Xiaohong T. 2019. Impact of foliar and root application of phosphorus on zinc concentration of winter wheat grown in China. *Crop and Pasture Science* **70**:499-508.
- Šíma P. 2008. Význam nukleotidů jako složky výživy pro růst, regeneraci a imunitu. *Interní medicína pro praxi* **10**:555-557.
- Škarpa P, Ryant P, Antošovský J. 2016. Základní hnojení pšenice ozimé. *Agromanuál*. Brno. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/zakladni-hnojeni-psenice-ozime> (accessed 2021-03-10).
- Štefánek J. neuvvedeno. Nedostatek fosforu. *Medicína, nemoci a studium na 1. LF UK*. Available from <https://www.stefajir.cz/nedostatek-fosforu> (accessed 2021-03-10).
- Trčková M, Raimanová I. 2007. *Stopové prvky ve výživě rostlin*. Zemědělec. Profi Press, Praha. Available from <https://www.zemedelec.cz/stopove-prvky-ve-vyzive-rostlin/> (accessed 2021-03-09).
- Uygur V, Şen M. 2018. The effect of phosphorus application on nutrient uptake and translocation in wheat cultivars. *International Journal of Agriculture, Forestry and Life Science* **2**:171-179.
- Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P. 2007. *Výživa polních a zahradních plodin*. Profi Press, Praha.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin*. Profi Press, Praha.
- Verstegen H, Köneke O, Korzun V, von Broock R. 2014. The world importance of barley and challenges to further improvements. *Biotechnological Approaches to Barley Improvement* **69**:3-19.
- Yousaf S, Akhtar M, Sarwar N, Ikram W, Hussain S. 2019. Sustaining zinc bioavailability in wheat grown on phosphorus amended calcisol. *Journal of Cereal Science* **90**. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521019302693> (accessed April 20, 2021).
- Yunfeng X, Diaoguo A, Hongjie L, Hongxing X. 2011. Review: Breeding wheat for enhanced micronutrients. *Canadian Journal of Plant Science* **91**:231-237.

- Zbiral J, Čižmarová E, Obdržálková E, Rychlý M, Vilamová V, Srnková J, Žalmanová A. 2016. Analýza půd. . Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.
- Zhang W, Zhang W, Wang X, Liu D, Zou C, Chen X. 2021. Quantitative evaluation of the grain zinc in cereal crops caused by phosphorus fertilization. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development* **41**. early access. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s13593-020-00661-0>.
- Zimolka J, Edler S, Hřivna L, Jánský J, Kraus P, Mareček J, Novotný F, Richter R, Říha K, Tichý F. 2005. Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press, Praha.
- Zinek a jeho význam pro organismus. 2015. Zinek a jeho význam pro organismus. Available from <https://www.kompavacz.cz/zinek-a-jeho-vyznam-pro-organismus> (accessed 2021-04-18).