

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Draslík a vápník ve výživě zahradních rostlin

Bakalářská práce

Autor práce: Kateřina Mlynářová

Obor studia: Zahradnictví

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Kulháněk, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Draslík a vápník ve výživě zahradních rostlin" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22. 4. 2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala mému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D. za užitečné rady a podněty při psaní mé bakalářské práce a za jeho pochopení a trpělivost. Také bych ráda poděkovala celé své rodině za podporu po celou dobu studia.

Draslík a vápník ve výživě zahradních rostlin

Souhrn

Tato práce se věnuje výživě rostlin draslíkem a vápníkem, a to od výskytu těchto makroživin v pěstebním substrátu a půdě až po možnosti hnojení zahradních rostlin těmito živinami.

Draslík je rostlinami přijímán jako kation K^+ především z půdy kořenovým systémem. Rostlina ho přijímá buď aktivně, nebo pasivně. Na jeho příjem má velký vliv řada vnějších podmínek, jako je např. přístup vzduchu, teplota nebo světlo. Je velmi významný v procesu fotosyntézy, dýchání a hospodaření s vodou.

V první části literární rešerše je popsán výskyt draslíku v půdě, jeho formy a vlastnosti. Draslík, který se vyskytuje v půdní zásobě, je zde rozdělen z hlediska přístupnosti pro rostliny. Je zde popsán a vysvětlen výskyt živiny v přírodě a podmínky, za kterých je přístupna rostlinám. Nalezneme zde také příjem draslíku rostlinou a funkci draslíku v rostlině, její význam, a jaké plní funkce. Dále jsou zde uvedena hnojiva a jejich použití. Na konci první části jsou uvedeny konkrétní příklady zahradních plodin a projevy nadbytku a nedostatku v nich.

Další část práce je věnována vápníku ve výživě zahradních rostlin. Vápník je rostlinami přijímán ve formě Ca^{2+} pasivně kořenovými špičkami a v rostlinách má omezenou pohyblivost. Jeho příjem může být ovlivněn přítomností jiných iontů, zvláště pokud se vyskytují v půdním roztoku ve větším množství. Dále pak na jeho příjem má vliv např. vlhkost, teplota a světlo. Je velmi významný pro stabilizaci buněčných stěn a membrán a jejich lepší semipermeabilitu, je ho potřeba v meristémech a má také vliv na tvorbu a růst kořenů.

Ve druhé části se práce zabývá vápníkem, kde se věnuje shodným tématům, tentokrát však zaměřeným na vápník. Rovněž zde je zřejmá významná role vápníku ve výživě zahradních rostlin, ať je to z hlediska citlivosti některých rostlin na přímé vápnění (plodová zelenina, petržel, salát aj.) nebo z hlediska rostlin náročných na vápník (košťálová zelenina, ředkev, špenát aj.).

Z uvedených poznatků lze konstatovat, že draslík i vápník jsou ve výživě zahradních rostlin nepostradatelné nejen jako živiny, ale i jako prvky ovlivňující do značné míry kvalitu výsledných produktů. Z tohoto důvodu by jim měla být stále věnována zvýšená pozornost.

Klíčová slova: Draslík; Vápník; Substráty; Ovoce a zelenina; Okrasné rostliny; Hnojiva

Potassium and calcium in the nutrition of horticultural crops

Summary

This work is focused on nutrition of plants with potassium and calcium, from the occurrence of these macronutrients in the substrate and soil to the possibility of fertilization of the garden crops with these nutrients.

The first part of the literature study describes the occurrence of potassium in the soil, its forms and properties. Potassium, which occurs in the soil supply, is divided here in terms of its accessibility to plants. The occurrence of nutrients in nature and the conditions under which it is accessible to plants are described and explained here. Next, the intake of potassium by the plant is presented as well as the roles of potassium in the plant, its importance and what functions it performs. Fertilizers and their application is also detailed. At the end of the first part, specific examples of the garden crops, and manifestations of abundance and scarcity of potassium in the selected examples is discussed.

The second part of the work is devoted to calcium in the nutrition of garden plants. Calcium is taken up by plants in the form of Ca^{2+} passively through the root tips and has limited mobility in plants. Its intake may be affected by the presence of other ions, in particular when they occur in larger amounts in the soil solution. Its intake is also affected by, for example, humidity, temperature and light. It is very important for the stabilisation of cell walls and membranes and for amendment of their semipermeability. Calcium intake is needed for meristems and it also has an effect on root formation and growth.

The second part of this work is focused on calcium. It deals with the same range of studies like the previous part, however focused on calcium in plants instead of potassium in plants. Even in this case, the important role for calcium in the nutrition of garden plants is obvious, whether in terms of the sensitivity of some plants to direct liming (fruit vegetables, parsley, lettuce, etc.) or in terms of calcium - intensive plants (chestnut vegetables, radish, spinach, etc.).

To conclude, the work demonstrated that potassium and calcium are indispensable in the nutrition of garden plants not only as pure nutrients, but also as elements influencing to a large extent the quality of the resulting agricultural products. This gives an additional motivation to any future research works focused on these two important elements.

Keywords: Potassium, Calcium, Soil Substrate; Fruits and vegetables. Ornamental plants, Fertilisers.

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce.....	2
3 Literární rešerše.....	3
3.1 Draslík	3
3.1.1 Draslík v půdě	3
3.1.2 Příjem draslíku rostlinou.....	6
3.1.3 Draslík v rostlině	6
3.1.3.1 Stavební a funkční význam draslíku.....	7
3.1.4 Projevy nedostatku draslíku	8
3.1.5 Projevy nadbytku draslíku	10
3.1.6 Možnosti hnojení draslíkem	10
3.1.6.1 Draselná hnojiva	11
3.1.7 Výživa zahradních rostlin draslíkem	13
3.2 Vápník	16
3.2.1 Vápník v půdě	16
3.2.2 Příjem vápníku rostlinou.....	17
3.2.3 Vápník v rostlině	17
3.2.4 Nedostatek vápníku	18
3.2.5 Nadbytek vápníku	19
3.2.6 Možnosti hnojení vápníkem	19
3.2.7 Vápenatá hnojiva	20
3.2.8 Výživa zahradních rostlin vápníkem	22
4 Závěr	25
5 Literatura.....	26

1 Úvod

Pod pojem „živiny“ zařazujeme látky, které organismus přijímá a požaduje k projevu všech svých životních funkcí. U zelených rostlin jsou to látky anorganické, které se stávají živinami většinou až v iontové formě.

Charakteristickým znakem živiny je:

- **Nezbytnost** – nepostradatelnost (esenciálnost), tudíž při její absenci v živném prostředí rostliny nemohou dokončit životní cyklus.
 - **Nezastupitelnost jinými živinami** (v jejím specifickém působení)
 - **Přímé zapojení do metabolismu rostlin** – např. jako komponent esenciálních rostlinných složek, jako jsou bílkoviny, enzymy, nukleové kyseliny apod.
- (Vaněk a kol. 2012)

Dle Vaňka a kol. (2012) z hlediska obsahu prvků v rostlině a jejich výskytu se dělí rostlinné živiny na několik skupin:

- **Makroprvky** vyskytující se v rostlinách od několika desetin do desítek procent.
- **Mikroprvky** a obsahem zpravidla nižším než 0,05 %.
- **Prvky užitečné**, jejichž obsah v rostlinách může dosahovat vysokých hodnot a charakteristické pro ně je, že je nepotřebují všechny rostlinné druhy.

Draslík a vápník jsou živiny, které se řadí do skupiny makroprvků (makroživin, makroelementů) a jsou tedy pro rostliny nezbytné.

Trendem dnešní doby je hnojit co nejméně, nicméně rostliny při svém růstu živiny z půdy čerpají a my musíme zajistit jejich zpětné doplňování, jinak živiny budou spotřebovány a nebude zachována dostatečná úrodnost půdy.

Je proto třeba se dobře seznámit s principy výživy rostlin, jejich potřebami a možnostmi půdního stanoviště. Ke stanovení potřeby hnojení se používají i údaje o předpokládaném odběru živiny rostlinami. Na základě těchto poznatků se musí zvolit vhodný způsob pravidelného doplňování živin do půdy.

2 Cíl práce

Cílem práce bylo vytvořit na základě dostupné literatury přehled o roli draslíku a vápníku ve výživě rostlin, výskytu těchto makroprvků v půdě, půdních substrátech a samotných rostlinách, a dále pak přehledně představit způsob příjmu těchto živin rostlinami a jejich roli metabolismu, současně s tím poukázat na projevy nedostatku nebo nadbytku těchto živin a možnosti prevence těchto jevů.

3 Literární rešerše

3.1 Draslík

Draslík je makroživina, která je klíčová pro zdravý růst rostlin. Dostupnost draslíku je však na zemědělských půdách často omezená, a v důsledku toho se snižují výnosy a kvalita plodin. Zlepšení účinnosti příjmu a transportu draslíku, a také jeho využití v rostlinách, je proto důležité pro udržitelnost zemědělství (Shin 2014).

3.1.1 Draslík v půdě

U většiny půd činí celkový obsah draslíku 0,5 – 3,2 %. Pouze písčité a rašelinové půdy obsahují menší množství. Draslík se nachází v půdě především v anorganických sloučeninách. V organických molekulách se vyskytuje zřídka, a proto celkové množství K v organické hmotě v ornici se pohybuje jen v hodnotách několika desítek kg K/ha. Draslík v půdách se vyskytuje hlavně v primárních a sekundárních křemičitanech. V půdě lze draslík rozlišit na tři kategorie:

- nevýměnný
- výměnný
- vodorozpustný

(Vaněk a kol. 2012)

Podobně Syers (1998) uvádí v souladu s dostupností draslíku pro rostliny dělení na 4 různé formy:

- půdní roztok
- vyměnitelný draslík
- pevně fixovaný draslík
- draslík krystalické mřížky minerálů

Vaněk a kol. (2012) výše uvedené formy popisují následovně:

1) Nevýměnný draslík: Do této kategorie patří všechny sloučeniny obsahující draslík, ze kterých ho nejde vytěsnit roztoky neutrálních solí. Tento podíl tvoří více než 95% draslíku, který se v půdě nachází. Nevýměnný draslík je přítomen ve strukturách primárních minerálů a také v mezivrstvách sekundárních jílových minerálů. Draslík je zde součástí krystalické mřížky, kde je pevně vázaný. Primární minerály, ve kterých je draslík obsažen, jsou hlavní zásobárnou draslíku v půdě. Patří sem hlinitokřemičitany, zejména živce a slídy (muskovit, ortoklas, biotit aj.), kde se přibližně 40 % draslíku nachází v živcích, 25 % ve slídách a 28 % v jílových materiálech (illit, glaukonit, vermikulit, montmorillonit aj.). Druhou formou nevýměnného draslíku je draslík fixovaný. Jedná se o schopnost půdy vázat draslík nebo ho uvolňovat postupným zvětráváním, případně mineralizací organické hmoty. U jílových minerálů se draslík včleňuje do krystalické mřížky těchto minerálů. Při zvětrávání minerálů, což je proces velmi pomalý, nicméně trvalý, se draslík postupně uvolňuje někdy až do půdního roztoku a stává se tím přístupnější pro rostliny. Zvětrávání může být jak fyzikální, tak např. chemické. Míra fixace je ovlivněna různými faktory – obsahem jílnatých částic, plošnou hustotou

záporných pozic v mezivrstvách, koncentrací K^+ a ostatních kationtů v půdním roztoku a půdní vlhkostí. Jednoděložné rostliny mají vyšší využití K_{fix} než dvouděložné.

2) Výměnný draslík: Z hlediska potenciální přístupnosti živiny se jedná o rozhodující formu draslíku. Jedná se o ionty K^+ , které jsou vázány fyzikálně chemickou sorpcí na povrchu půdních koloidů, odkud mohou být vytěsněny roztoky neutrálních solí. Draslík se ve vazbě na jílový minerál nachází ve třech různých pozicích, a to:

- Na povrchu koloidních micel (koloidy s malými vrstvami, např. kaolinit)
- Na hranách a okrajích mezivrstev
- Uvnitř vrstev (např. montmorillonit a illit)

Výměnný draslík má pro výživu rostlin mimořádný význam, je pro ně hlavní formou přijatelného draslíku. Jeho množství značně kolísá, protože je závislé na druhu a mineralogickém složení půdy, stupni zvětvávání, hnojení, koncentrací a druhem ostatních iontů, reakcí půdy a vodním režimem. Představuje asi 0,8 % (u písčítých půd) a až 3 % (u humózních půd) z veškerého draslíku nacházejícího se v půdě. U půd s malou sorpční kapacitou (lehkých půd) je proto snadněji odčerpáván rostlinami a bez dostatečného hnojení nemají takové půdy při nedostatku vody dostatek K, zvláště pro náročné rostliny. Z důvodu sorpční kapacity jsou lehké půdy poměrně rychle nasyceny draslíkem, a proto zde není možné hnojit vyššími dávkami, s přihlédnutím k možnému transportu draslíku v profilu se doporučuje hnojení až v jarním období. Naopak u středních a těžších půd je vhodné aplikovat vyšší dávky draslíku už na podzim. Při vysokém obsahu draslíku dochází k depresi v příjmu Mg, a proto by měl mít přibližně tříkrát vyšší poměr Mg:K. Mimořádný význam draslíku tkví také v tom, že takto vázané K^+ jsou z větší části snadno přístupné, nevyplavují se příliš rychle ani výrazně nezvyšují koncentraci solí v půdním roztoku. Stanovení obsahu přístupného draslíku v půdách České republiky je prováděno na základě zjištění obsahu výměnného draslíku.

3) Vodorozpustný draslík: Nachází se v půdním roztoku a je nejlépe přijatelným draslíkem pro rostliny. Jeho obsah by měl být přibližně 20 mg K/l. Podíl vodorozpustného draslíku je zhruba 1-10 % výměnného draslíku. Obsah vodorozpustného draslíku je závislý na obsahu vody v půdě, typu jílových materiálů, druhu a koncentraci jiných kationtů, odčerpávání draslíku rostlinami, hnojením, nebo mineralizací. Mezi jednotlivými formami draslíku v půdě platí rovnovážný stav, který má dynamický charakter. Ustavičně je narušován odběrem živin, vyplavováním živin, mineralizací, vlhkostí nebo hnojením. Po každém porušení se rovnováha znovu ustaluje. Množství odčerpaného draslíku sklízni je průměrně 80-250 kg K/ha. O množství vyplavení draslíku rozhoduje sorpční kapacita půdy, rozdělení a úroveň srážek. Ztráty za rok činí 13-60 kg K/ha, zde se výrazněji uplatňuje povrchový smyv. Draslík netvoří kovalentní vazby s organickými sloučeninami na rozdíl od dusíku, fosforu a síry. V živé buňce je aktivním iontem, ale v případě zániku buňky je rychle vyplavován z mrtvé organické hmoty (Troeh a Thompson, 2005).

Rozdíly v hustotě půdy mohou také ovlivnit dostupnost draslíku. Zhutnění půdy je spojeno s vyšším objemovým obsahem vody, a proto má tendenci usnadňovat transport K^+ na povrch kořene (Kuchenbuch a kol. 1986). Hustá půda však může také způsobit zkrácení délky kořene, takže vyšší objemová hmotnost nemusí nutně vést ke zvýšené akumulaci K^+ (Seiffert a kol. 1995). Petrofanov (2011) uvádí, že kvantitativní výměna draslíku mezi půdním roztokem

a pevnou fází půdy závisí na velikosti půdních částic a přítomnosti jílových minerálů. Zásoba přijatelného draslíku v půdách klesá a draslík se postupně stává dalším limitujícím prvkem výnosu a kvality produktu. Při současném omezeném hnojení statkovými hnojivými (např. hnůj), případně organickými hnojivými (např. kompost) a minerálními hnojivými dochází k odčerpání draslíku z půdy, které bilančně přesahuje vstupy, což má za následek snižování obsahu přístupného draslíku v půdě. S klesajícím hnojením se na všech druzích půd zastavil nárůst kategorií s vysokým a velmi vysokým obsahem přístupného draslíku a začal přechod do nižších kategorií zásobenosti (Kunzová 2010).

Půdní vlastnosti se prokazatelně mění i v čase. Například vzorky odebrané na konci léta a na počátku podzimu mají odlišné hodnoty pH a přístupného množství fosforu a draslíku pro rostliny oproti vzorkům odebraným v jiném ročním období (Brodský 2003).

Shin (2014) navrhuje čtyři strategie pro zlepšení účinnosti využití draslíku v rostlinách:

- zvýšení objemu kořenů
- zvýšení účinnosti příjmu draslíku z půdy a translokace v rostlinách
- zvýšení mobility draslíku v půdě
- molekulární šlechtění nových odrůd s vyšší účinností draslíku prostřednictvím selekce za pomoci markerů, která bude vyžadovat identifikaci a využití kvantitativních lokusů spojených s draslíkem.

Dále uvádí, že schopnost absorbovat K^+ z půdy je předpokladem pro přežití rostlin a schopnost efektivně absorbovat, transportovat a využívat K^+ je přímo spojena s kvalitou a výnosem plodin. Proto je zlepšení příjmu a využití K^+ v rostlinách hlavním cílem při vývoji nových kultivarů plodin. Na základě současných zlepšení účinnosti využití K^+ . První strategie je zaměřena na zvýšení objemu kořenů, aby se získal velký povrch kořene, který je v kontaktu s půdním roztokem. Druhá strategie si klade za cíl zlepšit příjem K^+ aktivací různých složek systému příjmu/přepravy K^+ . Třetí strategie zahrnuje zvýšení mobility K^+ v půdě. Předpokládá se, že zvýšení kořenových exudátů, které obsahují organické kyseliny, by zvýšilo výměnný a rozpustný K^+ v půdě. A konečně čtvrtá strategie se zaměřuje na použití lokusu souvisejícího s účinností K^+ v šlechtitelských programech. Kombinace navrhovaných strategií by mohla přispět k vývoji nových kultivarů, které by mohly efektivněji využívat makroživiny v případě, že zdroje jsou omezené.

Podle Yanai a kol. (1996) rostliny mohou získat K^+ pouze z půdního roztoku, jeho dostupnost závisí na dynamice živin a také na celkovém obsahu draslíku. Výměna draslíku mezi různými oblastmi v půdě je silně závislá na koncentraci dalších makroživin v půdním roztoku, například dusíku. Troeh a Thompson (2005) uvádí, že půdní roztok není pravděpodobně nikdy saturován draselnými ionty. Mnoho draselných sloučenin je vysoce rozpustných ve vodě a draselné ionty pak přecházejí z roztoku adsorpcí do sorpčního komplexu ještě předtím, než může být saturován půdní roztok. Mengel a Kirkby (2001) upozorňují na to, že množství K v půdě mimo jiné také závisí na typu jílových minerálů obsažených v půdě.

Draslík je v půdě pohyblivější než fosfor a méně pohyblivý než dusík. Způsob použití leží tedy mezi způsoby užívanými pro tyto živiny. V praxi se ale kloníme k zásadám používaným u fosforu (Neuberg 1998).

3.1.2 Příjem draslíku rostlinou

Draslík je přijímán rostlinami jako kationt K^+ . Jeho příjem se uskutečňuje jak aktivně (převládá při nižších koncentracích K v půdním roztoku), tak pasivně. Při vysokých koncentracích K v půdním roztoku převažuje pasivní příjem K , může docházet ke zvýšenému příjmu K a jeho hromadění v pletivech rostlin, což je nazýváno „luxusní konzum“ a vede k omezení příjmu jiných kationtů (Na , Mg , Ca). Vlastní příjem K je kromě jeho koncentrace v půdním roztoku ovlivňován výrazně vlhkostí, teplotou a intenzitou slunečního záření (Vaněk a kol. 2012).

Seiffert a kol. (1995) uvádí, že difúze je dominantním mechanismem dodávání K^+ na povrch kořene. Dle Vetterleina a Jahna (2004) nedostatek K^+ kolem kořene je proto nejčastěji pozorovaným jevem spojeným s poruchami příjmu draslíku v půdě vyvolanými rostlinami. Pokud je dodávka živin difúzí vždy spojena se snížením obsahu K^+ v oblastech přiléhajících k povrchu kořene, může naopak, při vysoké transpiraci, hmotový tok vést k akumulaci K^+ kolem kořene.

Dostupnost draslíku pro rostlinu je velmi variabilní v důsledku komplexní dynamiky půdy, která je silně ovlivněna interakcemi kořen – půda. Nízký stav rostlinného draslíku spouští expresi vysoce afinitních K^+ transportérů, reguluje některé K^+ kanály a aktivuje signální kaskády, z nichž některé jsou podobné těm, které se podílejí na zraňujících a jiných stresových reakcích. Mezi molekuly, které signalizují nízký stav K^+ v rostlinách patří reaktivní formy kyslíku a fytohormony, jako je auxin, ethylen a kyselina jasmínová. Kromě regulace transportních proteinů a úpravy metabolických procesů spouští nedostatek draslíku vývojové reakce v kořenech. Všechny tyto aklimatizační strategie umožňují rostlinám přežít a soutěžit o živiny v dynamickém prostředí s proměnlivou dostupností draslíku (Ashley a kol. 2006).

Vnitřní faktory jsou z větší části určeny dědičným základem rostliny. Charakteristickým znakem rostlinného druhu a v mnohých případech i odrůd je příjmová kapacita rostlin. Je dána především rozvojem kořenového systému. Pochopitelně bohatý kořenový systém má předpoklady pro intenzivnější příjem živin a tím lepší zásobování rostlin potřebnými živinami.

Vnější faktory zasahují velmi významně do příjmu živin. Mají vliv na tvorbu výnosu a kvalitu produkce. Jsou to především podmínky daného stanoviště určované polohou, povětrnostními a půdními podmínkami (Kalina 2001).

Nároky na výživu draslíkem během vegetace narůstají s tvorbou biomasy a většinou vrcholí před květem. Charakteristické je to, že převážnou většinu draslíku přijmou rostliny ve velmi krátké době (Vaněk a kol. 2007).

3.1.3 Draslík v rostlině

Koncentrace draslíku v rostlinách se pohybuje mezi 2-6 %. Nejvyšších hodnot dosahuje ve fázi kvetení a v období dozrávání dochází k jeho snížení v důsledku vylučování do živného prostředí (Čermák a kol. 2013). Uvolňování vyměnitelného draslíku je často pomalejší než rychlost získávání K^+ rostlinami (Sparks a Huang 1985).

3.1.3.1 Stavební a funkční význam draslíku

Draslík je nezbytný pro mnoho biochemických a biofyzikálních procesů. Nejsilnější je jeho vliv na vodní režim rostlin. Optimalizací stavu bobtnání chloroplastů působí příznivě na syntézu a akumulaci vysokomolekulárních glycidů. Ovlivňuje příznivě také syntézu bílkovin a aktivaci některých enzymů (Baier a Baierová 1985). Dnes je známo přes 40 enzymů, které ovlivňuje (Vaněk a kol. 2007). Draslík je základní makroživinou živých buněk a je nejhojnějším kationtem v cytosolu (Wang a kol. 2018).

Účinek draslíku na růst a vývoj rostlin zvyšuje obsah cukru, škrobu, celulózy a některých vitamínů. Snižuje skladovací ztráty hlíznatých a dužnatých plodů a zvyšuje odolnost rostlin proti napadení chorobami (Baier a Baierová 1985). Je významný pro transport uhlohydrátů. Vytváří pevné buněčné stěny a zvyšuje tak odolnost rostlin vůči mrazu a nemocem. To je důležité obzvláště u ovoce, ale také u kořenové zeleniny, tyto druhy mají tedy vyšší nároky na draslík (Hohenberger 1999).

Má vliv na buněčný turgor především v rychle se vyvíjejících buňkách, působí jako kationt k hromadění aniontů a zajišťuje také transport elektronů (Amtmann a kol. 2006; White a Karley 2010).

Nároky na draslík u jednotlivých druhů zeleniny jsou vysoké. Tato živina zvyšuje obsah cukru, škrobu, celulózy a některých vitamínů. Působí příznivě na vybarvení květů a plodů. Při dostatečné zásobenosti draslíkem se prodlužuje skladovatelnost zeleniny a rostliny jsou odolnější proti napadení chorobami. Draslík dále podporuje tvorbu sacharidů u zelenin a jejich přemísťování do zásobních orgánů (Hlušek a kol. 2002). Hlušek a kol. (2002) dále uvádí, že draslík má výrazný vliv na hospodaření s energií, zvyšuje čistý výkon fotosyntézy a má pozitivní vliv na vyzrávání dřeva a růst výhonů. Protože podporuje syntézu sacharidů a kyselin, ovlivňuje tím chuťové vlastnosti ovoce a u bobulovin příznivě ovlivňuje pevnost dužiny. Podle Gattward a kol. (2012) a Pettogrew (2008) dostupnost draslíku dramaticky ovlivňuje základní fyziologické procesy v rostlinách, např. fotorespiraci. Přiměřený růst ovocných dřevin a zdravá listová zeleň svědčí podle Hlušek a kol. (2002) o harmonické výživě a dobré zásobenosti draslíkem.

Podle Junga a kol. (2009) vede 28 hodinové vystavení rostlin *Arabidopsis* stavu nedostatku K^+ ke zvýšenému prodlužování kořenových vlásků. To je považováno za adaptivní odezvu ke zvýšení kořenového objemu pro lepší přístup k dostupnému K^+ .

Delší období nedostatku K^+ však vede ke snížení biomasy kořenového vlášení a vývoje primárních i postranních kořenů (Armengaud a kol. 2004). Zvýšená délka kořenových vlásků v reakci na nízký K^+ byla také pozorována u hrachu, červeného jetele, vojtěšky, ječmene, žita, jílku a řepky (Hogh-Jensen a Pedersen 2003). Proto je pravděpodobné, že se rostliny snaží zvětšit objem kořenů, aby se vyrovnaly s nízkou koncentrací K^+ v půdách. Tohoto zvýšení objemu kořenového vlášení by mohlo být dosaženo nadměrnou expresí transkripčních faktorů, které se přímo podílejí na jeho vývoji (Kirik a kol. 2004).

Zajímavostí je, že dle Guo a kol. (2002) je draslík nejen klíčovou živinou pro tabák, ale také zlepšuje hořlavost tabákových listů, a tak snižuje množství dehtu vznikajícího při hoření.

3.1.4 Projevy nedostatku draslíku

Příznaky a projevy nedostatku živin mohou mít svou příčinu nejen v tom, že ve výživném prostředí není přítomno dostatečné množství živin v dostupné formě, ale i v nedostatečné příjmové kapacitě rostlin (omezený rozvoj a aktivita kořenového systému) nebo v nadbytečném příjmu jiných živin (antagonismus, nevyváženost živin) (Baier a Baierová 1985).

Pokud panují nepříznivé podmínky na stanovišti (např. sucho nebo chlad) může se nedostatek draslíku projevit i na stanovišti, kde je ho relativní dostatek. U ozimých obilovin je nedostatek draslíku právě z důvodu chladného a vlhkého počasí v jarním období.

Nedostatek draslíku se projevuje žloutnutím listů, případně zčervenáním nebo zhnědnutím, poté dochází k opadu listů. Případně se na listech tvoří světlejší tečky a poté dochází k zasychání okrajů listů, nebo i celých listů. Později může dojít i k vadnutí celých rostlin (špatné hospodaření s vodou).

Je narušen vodní režim listů, popř. celých rostlin, takže mají povadlý vzhled. Chloróza okrajů listů (nejdříve starších) přechází později do nekrotizace. Listové vrcholy se někdy zkracují dovnitř. U obilnin a travin se zkracují internodia stonku, takže jsou rostliny nižší. Je omežován růst kořenové hmoty především redukcí počtu kořínků a délky kořenů. V klase se snižuje podíl fertálních zárodků, hmotnost 1000 zrn bývá nižší. Fotosyntéza je omežována nejen svým vlivem na stomata (průduchy), ale i redukcí listové plochy. Je snížena odolnost rostlin proti houbovým chorobám nejen během vegetace, ale i při uskladnění brambor, řepy nebo zeleniny. U ovocných plodin jsou plody malé, nemají dobrou chuť a nejsou trvanlivé (Baier a Baierová 1985).

Kromě dlouhodobého nedostatku mohou kořeny rostlin vykazovat přechodný nedostatek draslíku kvůli prostorové heterogenitě a časovým odchylkám v dostupnosti této živiny. Hlavním zdrojem heterogenity půdy jsou často samotné kořeny rostlin, jejichž transportní aktivita K^+ vytváří zóny se zvýšeným nebo sníženým obsahem živin (Ashley 2006).

Častým příznakem deficiencie K je předčasné vadnutí listů, k němuž může docházet v letních měsících jako důsledek špatného hospodaření rostlin s vodou. Taktéž byl pozorován malý obsah nektaru, který omezuje nálet včel a tím snižuje i výnos semen (Čermák a kol. 2013).

Při nedostatku draslíku se u rostlin vytvářejí slabá pletiva, takže například rajčata praskají a trpí tím trvanlivost plodů. Růst se zpomaluje. Při výraznějším nedostatku draslíku hnědnou okraje listů a následně zasychají (Hohenberger 1999). Příznaky nedostatku draslíku je možno pozorovat v případě, když v listech jádrevin klesne obsah draslíku pod 0,5 % a v listech peckovin se sníží pod 1 %.

Draslík představuje živinu, která významně ovlivňuje kvalitu, má vliv na chuť vína, dodává mu harmoničnost a prodlužuje jeho skladovatelnost. Zamezuje spále listů. Zvyšuje odolnost révy proti suchu a mrazuvzdornost (Hlušek a kol. 2002).

Nedostatek draslíku vyvolává změny v habitu obilovin:

- hlavní stonek není vzpřímený a dlouhý, ale zkrácený a vytváří boční výhony. Rostliny nabývají keřovitý nebo metlovitý vzhled. Příčinou je odumření hlavních výhonů od bazálních částí. Zvyšuje se také náchylnost k poléhání a zhoršuje se nebezpečí výskytu houbových chorob, dochází k snadnějšímu poškození rostlin mrazem a ke špatnému přezimování.
- Čepele listů jsou úzké, okraje se stáčí směrem dolů. Nekrózy listů se objevují od okrajů a rozšiřují se až ke střední ose – listová spála.

- Generativní fáze je nedostatkem draslíku méně ovlivněna, semena jsou zakrnělá.

U kukuřice se nedostatek draslíku vizuálně projeví okrajovým žloutnutím starších listů, jejich hnědnutím a následně nekrózou. Rovněž apikální část palice nebývá osázena semeny (Čermák a kol. 2013).

Nedostatek draslíku zvyšuje nebezpečí poškození révy mrazem v důsledku opožděného vyzrávání letorostů a snižuje obsah cukrů v hroznech. Dále vede ke zpomalení růstu, zkracování internodií a projevuje se atypickou okrajovou spálou listů. Příjem draslíku je zpomalován anionty chlóru, naopak sírany jeho příjem podporují. V případě chladného a deštivého počasí se draslík z listů vyplavuje, což může negativně ovlivnit celkový výživný stav touto živinou (Hlušek a kol. 2002).

K typickým příznakům deficiencie draslíku patří:

- rozpad chlorofylu v listech,
- okrajová nekróza listů, vodnaté skvrny na listech,
- předčasný opad listů,
- drobné plody a jejich špatné vybarvení,
- snížení syntézy cukrů, aromatických látek a špatné chuťové vlastnosti,
- náchylnost k vadnutí,
- snížená skladovatelnost ovoce.

Typické symptomy nedostatku draslíku u zelenin:

- rostliny mají světle zelené listy a opožďují růst,
- zhoršují se chuťové vlastnosti,
- nedostatek draslíku se promítá do potravního řetězce.

Snížený obsah K v zeleninách má nepříznivý vliv na hypertenzi u člověka a může docházet k hypokálii (Hlušek a kol. 2002).



Obr.3.1. Příznak nedostatku draslíku na listu révy vinné (Zdroj: izahradkar.cz)



Obr.3.2. Listy rybízu s příznaky nedostatku draslíku (Zdroj: izahradkar.cz)

3.1.5 Projevy nadbytku draslíku

Přehnojení zelenin draslíkem vede k jeho luxusnímu příjmu a může se projevit vedlejšími antagonistickými nebo synergickými účinky. Přebytek draslíku brzdí příjem hořčíku, vápníku, zinku, manganu aj. a v důsledku toho se mohou objevit symptomy deficience. Přehnojení naopak podporuje příjem nitrátového dusíku a chlóru (Hlušek a kol. 2002). Také může způsobovat zvýšenou náchylnost k poléhání a vyvracení rostlin (Hlušek a kol. 2002).

Dle Vaňka a kol. (2012) se s nadbytkem draslíku můžeme setkat v okolí míst, kde se vyskytují organická hnojiva (polní hnojiště, silážní jámy, místa s aplikací vysokých dávek močůvky, kejdy apod.).

3.1.6 Možnosti hnojení draslíkem

Hnojení ovlivňuje výnos hmoty, částečně, i když zřetelně méně, množství obsahových látek a jejich kvalitu. Důležitou úlohu hrají faktory vnějšího prostředí a genetický základ rostliny (Mitáček a kol. 2014). Abychom zajistili dobrý příjem živin rostlinou i dobré využití živin z aplikovaného hnojiva, musíme dodržet celý soubor hnojařských opatření v souladu s charakterem půdního stanoviště a s požadavkem plodin. Správně vedené hnojení plodin musí vždy zohledňovat tyto čtyři vzájemně se podmiňující činitele: dávku hnojiva, jeho účinnou formu, dobu aplikace a způsob aplikace hnojiva. Změnou jednoho činitele lze ovlivnit působení ostatních činitelů (Neuberg 1998).

Při hnojení draslíkem uplatňujeme zásadu, že se hnojí půda. Hnojením bychom měli vytvořit a udržovat vyhovující (střední) obsah přijatelných živin, zajišťující přiměřený a stabilní výnos. Dávky živin jsou určovány podle zásoby živiny v půdě a výnosové úrovně. Požadavky rostlin respektujeme jen tím, že přihlížíme k výnosové úrovni (Šnobl a kol. 2007). Draselnými hnojivy se hnojí výhradně na podzim (Neuberg 1998).

Draslík je kritickou rostlinnou živinou, která určuje kvalitu nesčetných plodin a zvyšuje produkční výnosy. Nadměrná aplikace různých typů draselných hnojiv však může snížit kvalitu potravin i výnosy, což se projevuje ekonomickými ztrátami a problémy s bezpečností potravin (Wang, a kol. 2022).

Při vyhovujícím obsahu živiny v půdě je doporučeným hnojením nahrazován odběr živin sklizní, při nízkém obsahu jsou dávky vyšší za účelem postupného zvýšení obsahu živiny v půdě a naopak, při vysokém obsahu živiny v půdě hnojíme menší dávkou, než je odběr, případně určité období nehnojíme vůbec (můžeme čerpat z půdních zásob) (Šnobl a kol. 2007), viz tabulka 3.1.1, kde je uvedeno hodnocení obsahu přijatelného draslíku v orné půdě.

TABULKA 3.1.1 Hodnocení obsahu přijatelného draslíku v orné půdě (metoda podle Mehlicha III) a doporučené každoroční dávky draslíku v kg K na ha (Šnobl a kol. 2007)

Obsah draslíku	Půda			Dopručená dávka draslíku při Výnosové úrovni obilovin 5–6 t zrna/ha (kg P na ha)
	Lehká	Střední	Těžká	
	Ppm K (mg K v 1 kg zeminy)			
Malý	do 100	do 105	do 170	135
Vyhovující	101–275	106–310	171–350	100
Vysoký	276–230	311–420	351–510	50
Velmi vysoký	nad 230	nad 420	nad 510	0

Udržení půdní úrodnosti jako předpokladu zajištění stabilních výnosů a kvality produkce zajistíme jediné přiměřenou náhradou odebraných živin a volbou vhodných agrotechnických zásahů. Znamená to vracet půdě všechny rostlinou odčerpané živiny ve formě různých hnojiv. Při sníženém hnojení nebo nehnojení dokáže půda svojí pufrací setrvačností zásobovat pěstované plodiny živinami, aniž by po určitou dobu, nám neznámou, došlo k výrazným poklesům výnosů a zhoršení kvality produkce. Důsledkem takového hospodaření je, že příjem draslíku rostlinou jde z počátku ze „staré půdní síly“, což je v rozporu s intenzivní výrobou a účinek „staré půdní síly“ je pouze dočasný (Kunzová 2010).

Kemble a kol. (2014) konstatuje, že v ekologické produkci je používání minerálních hnojiv z velké části zakázáno. V důsledku toho jsou ekologičtí pěstitelé závislí na využívání přírodních zdrojů, jako jsou hnůj, luštěniny, vedlejší produkty živočišného původu a přirozeně vytvořené minerály (což je většina draselných hnojiv).

3.1.6.1 Draselná hnojiva

Draselná hnojiva jsou chemické látky, které obsahují jako hlavní živinu draslík a pocházejí převážně z přirozených ložisek draselných solí. Jejich výroba je jednoduchá a jsou dobře rozpustné ve vodě. Kromě draslíku hnojiva obsahují i určité množství jiných prvků, hlavně sodík a hořčík. Vyskytují se ve dvou anionových formách a to jako sírany a chloridy (Kunzová 2010).

Při používání draselných hnojiv je třeba mít na zřeteli půdní vlastnosti, obsah přístupného draslíku v půdě a nároky pěstovaných plodin. Draselná hnojiva jsou ve vodě dobře rozpustná, draslík se váže na sorpční komplex a uvolňuje kationy do půdního roztoku. Na nasycených půdách se ze sorpčního komplexu vytěsňují hlavně kationy hořčíku a vápníku, a tím podporují okyselení půdy. Na sorpčně nenasycených půdách se ze sorpčního komplexu vytěsňuje vodíkový kation a půda se okyseluje. V obou případech je to hlavně chloridový ion. Nesmí se zapomínat na vápnění (na vyvážení 100 kg chloridového anionu z vodíkového kationu je v půdě zapotřebí 56,5 kg vápníku) (Kunzová 2010).

Dlouhodobý bilanční deficit v používání draselných hnojiv naznačuje zvýšené čerpání draslíku z půdy, čímž se snižuje její úrodnost. Snahou by mělo být takové hnojení draslíkem, aby nedocházelo k trvalému deficitu v půdě, které by následně ohrožovalo produkci rostlin. Tímto je i potlačena konkurenční schopnost rostlinné výroby v České republice. Tato může hrát velkou úlohu při dalším rozvoji českého zemědělství, ale i v procesu (zvyšování) konkurenceschopnosti České republiky v rámci evropského zemědělství (Kunzová 2010).

Vedlejší účinky draselných hnojiv:

Projevují se působením doprovodných aniontů (Cl^- , SO_4^{2-}) a doprovodných kationtů (Na^+ , Mg^{2+}). Z tohoto hlediska proto přihlížíme při hnojení draselnými hnojivy k tomu, že:

- některé plodiny jsou citlivé na chlór (tabák, vinná réva apod.) a většinou náročné na síru,
- některým plodinám chlór nevádí a některé naopak chloridy vyžadují (skupina tzv. halofytů, např. řepy),

- sodík je vítaný např. u travin, kde jeho zvýšený příjem odpovídá nárokům skotu (na druhé straně však svým peptizačním účinkem působí nepříznivě na rozrušování půdní struktury),
- hořčík je vítanou živinou pro většinu rostlin, ale i pro zlepšení některých složek půdní úrodnosti,
- nevítaným důsledkem intenzivního používání draselných hnojiv je zasolování půd, k němuž dochází především v sušších podmínkách a při používání nízkoprocentních solí (s vysokým podílem tzv. balastních solí),
- škody ze „zasolení“ se mohou vyskytnout u mladých rostlin při jednorázové vysoké aplikaci draselných hnojiv do povrchových vrstev před setím (extrémní příjem draslíku projevující se tzv. luxusním konzumem nepříznivě ovlivňuje výživu rostlin ostatními živinami – antagonismus),
- vliv na okyselování půdní reakce není tak výrazný, i když je při používání chloridových forem ornice ochuzována o vápník, který je třeba doplnit vápněním (Baier a Baierová 1985).

Dávku minerálního draselného hnojiva lze určit podle rozboru agrochemického zkoušení zemědělských půd, půdního druhu, statkového hnojení, zaorání posklizňových zbytků a zvětrávání půdního substrátu (Kunzová 2010). Velké dávky draslíku způsobují půdní disperzi, která má za následek pokles infiltrační schopnosti půdy, a tím zvýšení její náchylnosti k erozi (Auerswald a kol. 1996).

Největším nedostatkem přírodních draselných solí pro jejich agronomické využití je jejich poměrně malý obsah draslíku (kolem 9 %) a přítomnost velkého množství chlóru. Proto se z nich překrytím vyrábějí koncentrovaná draselná hnojiva.

Nežádoucí součásti surových draselných solí se oddělují na základě rozdílné rozpustnosti jednotlivých minerálů (Baier a Baierová 1985). Hlavním zdrojem surovin pro výrobu draselných hnojiv jsou přirozená ložiska draselných minerálů, jejichž podstatu tvoří chloridy a sírany draselné (Baier a Baierová 1985). Obsah draslíku v půdě se může zvýšit přihnojením popelem ze dřeva (Hohenberger 1999).

Podle doprovodného aniontu rozlišujeme dva typy draselných hnojiv:

- Chloridová draselná hnojiva, kde účinnou složkou je chlorid draselný (KCl).
- Síranová draselná hnojiva, kde účinnou složkou je síran draselný (K₂SO₄) (Vaněk a kol. 2012).

Chloridová draselná hnojiva

Draselná sůl 60 % krystalická i granulovaná, 50 % K

Jedná se o technický chlorid draselný (KCl) (Vaněk a kol. 2012). Draselné soli jsou téměř univerzálním draselným hnojivem používaným téměř ke všem plodinám na všech půdách, s výjimkou rostlin citlivých na chlór (např. tabák) a těžkých jílovitých půd náchylných ke kornatění (nepříznivý vliv sodíku). Lze je použít jak při předset'ové přípravě, tak i při orbě. Ve vlhčích podmínkách je aplikujeme v případě potřeby i během vegetace „na list“, popř. v menším množství i ve formě mimokořenové výživy postřikem. Jeteloviny a travní porosty hnojíme na drn v předjaří, nebo po sečích. Možná je i zimní aplikace na povrch půdy (i při menší sněhové pokrývce) bez zapravení, neboť se vodou snadno vsakují do orničního profilu.

Tam, kde by chlór, popřípadě sodík, mohl působit nepříznivě (antagonisticky) na příjem ostatních živin, používáme draselné soli v předstihu, aby se tyto složky mohly včas proplavit do spodních vrstev (Baier a Baierová 1985).

Kamex granulovaný 33 % K, Korn Kali 34 % K, 3,6 % Mg, draselná sůl 40 % K

Jedná se o velmi podobná hnojiva od různých výrobců. Kromě draslíku obsahují i hořčík (3,6 %). Použití mají podobné jako draselná sůl, zvláště na půdách s nedostatkem hořčíku (Šnobl a kol. 2007, Vaněk a kol. 2012).

Magnesia-kainit 7,5-9,1 % K a 2,5 % Mg

Je to směs síranu hořečnatého, síranu draselného, chloridu draselného a sodného a síranu vápenatého. Při aplikaci větších dávek hnojiva volíme raději delší interval před setím, nejlépe při orbě (Šnobl a kol. 2007).

Síranová draselná hnojiva

Síran draselný 42 % K

Pro nízký obsah chlóru je nejvhodnější k plodinám citlivým na chlór (tabák, chmel, réva vinná, brambory a mnohé zeleniny). Lze jej aplikovat na všech půdách. Na vápenatých půdách snižuje nadbytek vápníku v půdním roztoku (vazbou na CaSO₄). Nejvhodnější doba použití je při předset'ové přípravě nebo předsadbové přípravě půdy. Uplatní se však i při hnojení na list nebo rozpuštěn ve vodě při mimokořenové výživě rostlin postřikem (Baier a Baierová 1985).

Patenkali 24-25 % K a 6 % Mg

Hnojivo je směsí síranu draselného a oxidu hořečnatého. Jedná se o hnojivo, které je zdrojem draslíku, hořčíku a síry (Vaněk a kol. 2012). Hnojivo se používá k plodinám citlivým na chlór a náročným na hořčík. Je vhodný zejména pro zeleninu, drobné ovoce, peckoviny a okrasné dřeviny (Šnobl a kol. 2007).

3.1.7 Výživa zahradních rostlin draslíkem

Při použití chloridových hnojiv (60 % draselné soli a Kamexu) musíme brát v úvahu, že mnohé zahradní plodiny (**keřové drobné ovoce, plodová a cibulová zelenina a také okrasné rostliny**) mohou nepříznivě reagovat na přísun chloridů. Protože se chloridy poměrně rychle vyplavují z půdy, měli bychom tato hnojiva používat k citlivým rostlinám nejméně tři týdny před přípravou půdy nebo ještě lépe na podzim (Kalina 2001). Velmi špatně snášejí doprovodný chlór především tyto druhy: **červený rybíz, angrešt, maliník a jahodník**. V menší míře **ostružiník, třešeň, višně, jablň, švestka a broskvoň**. Zejména při hnojení první skupiny plodin se tedy vyhneme chloridovým formám hnojiv. Jsme-li nuceni je použít, zapravujeme je výhradně na podzim, a vyhneme se sdruženým dávkám na více let. Předzásobní hnojení draslíkem se také nedoporučuje na písčitých půdách (nebezpečí ztrát vyplavením (Neuberg 1998). Celková potřeba draslíku je u jednotlivých druhů rostlin značně rozdílná (Vaněk 2012).

- K plodinám příznivě reagujícím na chloridy patří **krmná řepa, celer a mangold**. Proto zde používáme přednostně chloridová hnojiva – 60 % draselnou sůl a Kamex.
- Plodiny, které chloridy snášejí, jsou **chřest**, druhy košťálovin pro pozimní a zimní spotřebu, **červená řepa a reveň**. Lze používat chloridová hnojiva (Kamex). Většina druhů zeleniny dává však přednost kvůli potřebě síry síranovým hnojivům. Do této skupiny patří také trvalé travní porosty a jetelotrávy, které hnojíme Kamexem a kainitem.

- K plodinám středně citlivým na chloridy řadíme **slunečnici, vinnou révu, jádrové ovoce, černý rybíz, rajčata, ředkvičky, kedlubny** a ostatní nejtravnější košťáloviny, **hrách, špenát, karotku, česnek, ředkev a čekanku**. Chloridová hnojiva (Kamex) lze použít včas před začátkem vegetace. Nejvhodnější jsou však Patentkali a síran draselný.
- K plodinám, které jsou velmi citlivé na chloridy, náleží **červený rybíz, angrešt, maliny, jahody, ostružiny, borůvky, peckoviny (zejména třešně), fazole, okurky, melouny, paprika, cibule, salát, raná zelenina**, všechny kultury pěstované pod sklem, konifery, květiny, okrasné rostliny a také semenáčky a sazenice většiny rostlin. Měli bychom k nim používat jen síranová hnojiva (Patentkali a síran draselný). Při hnojení přímo k seti, respektive ve stádiu klíčení, se vždy doporučuje použití síranových hnojiv (Kalina 2001).

Vysoké nároky a velký odběr vykazují plodiny, kde je sklizňovým produktem hmota vegetativního charakteru, a plodiny s dlouhou vegetační dobou, tedy některé zeleniny, především košťálová zelenina – **zelí, kapusta, květák**, dále **celer, brukvovité rostliny, řepka, tuřín a vodnice a řepa** (přes 220 kg K/ha). Malý odběr vykazují rostliny s nižší produkcí biomasy jako **hrách, fazol, ředkvička** a další (Vaněk a kol. 2012). A dále **čínské zelí, hlávková kapusta, křen, okurky, pozdní mrkev, reveň, růžičková kapusta a tykve** (Kalina 2001).

Draslík působí také příznivě na vybarvení květů a plodů u okrasných květin (Vaněk a kol. 2007).

Ke konci vegetace je snížena potřeba draslíku u většiny plodin, a dokonce omezený příjem draslíku u některých plodin urychluje fyziologické dozrávání, a tím zvyšuje kvalitu produkce, např. zlepšení kvality ovoce (Vaněk a kol. 2012).

Nedostatek draslíku u zahradních rostlin

Při nedostatku draslíku se se tvoří méně listenů v hlávkách **zelí**, hlávky jsou řídké a měkké (Vaněk a kol. 2012).

- **Brambory** na produkci hlíz spotřebují 65 kg draslíku (Šnobl a kol. 2007). Draslík podporuje u brambor výnos a kvalitu hlíz, obsah škrobu v nich a skladovatelnost. Dostatečné zásobení draslíkem snižuje a zpomaluje tmavnutí syrových brambor a zmenšuje jejich náchylnost vůči "modráním po nárazu", které je nepříjemným následkem poranění hlíz úderem (Kalina 2001). Z draselných hnojiv jsou k udržení jakosti nejvhodnější síranové formy – síran draselný, pro sadbové brambory Kamex (Špaldon a kol. 1982). Pro rané brambory se doporučuje 1,8 kg K₂O/100 m² (Kalina 2001). Při nedostatku draslíku se v hlízách brambor zvyšuje aktivita polyfenoloxidas, takže při jejich zpracování dochází na řezu k rychlému tmavnutí pletiv.
- **Salát a brukvovité rostliny** zvýšená koncentrace draslíku působí snížení klíčivosti a omezení vzcházlivosti u velmi citlivých rostlin.
- **Rybíz** - poškození listu rybízu nadbytkem Cl vykazuje podobné příznaky jako při nedostatku draslíku, případně vyšší koncentrace solí – dochází k okrajovým nekrotickým až k opadu spodních listů.
- **Jablka** - draslík při vyšším obsahu v plodech spolu s vlhkostí působí příznivě na vybarvení plodu, ale na druhé straně snižuje skladovatelnost plodu – jablka dříve dozrávají až moučnatí. Je to způsobeno tím, že draslík urychluje stárnutí pletiv, dužnina plodu ztrácí pevnost a rozpadá se (Vaněk a kol. 2007).

- **Ovocné stromy** - při nedostatku draslíku žloutnutí až hnědnutí listů (způsobené vyšším obsahem tříslovin) (Vaněk a kol. 2007) Z drasených hnojiv dáme přednost těm, která obsahují hořčík a jsou bez chloridů. Vysloveně citlivé vůči chloridům je **drobné ovoce, třešeň a réva vinná**.

Doporučené dávky K/100 m² jsou pro ovocné stromy dle Kalina (2001) následující:

- Do počátku plodnosti
 - vysoký obsah živin v půdě 0,66
 - dobrý až vyhovující obsah živin v půdě 0,83
 - nízký stav živin v půdě 1,00
- Plná plodnost
 - vysoký obsah živin v půdě 0,91
 - dobrý až vyhovující stav živin v půdě 1,00
 - nízký stav živin v půdě 1,25

Dle Vaněk a kol. (2012) jsou vysokým množstvím draslíku v půdním roztoku více poškozovány rostliny na počátku vegetace, kdy zvýšená koncentrace draslíku působí snížení klíčivosti a omezení vzcházelivosti semen u velmi citlivých rostlin jako je **salát nebo brukvovité rostliny**.

- **Hnojení okrasných rostlin** – zásobní hnojení draslíkem provádíme u trvalek a cibulovin podle zásad jako u středně náročných druhů zeleniny (Kalina 2001).

3.2 Vápník

Vápník je nejenom důležitou živinou pro rostliny, ale i nenahraditelným půdotvorným činitelem. Působí příznivě v chemických procesech, tvoří výhodné sloučeniny a vazby, které pozitivně působí na fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy (Neuberg 1998).

3.2.1 Vápník v půdě

Celkový obsah vápníku v půdě se pohybuje mezi 0,15 až 6 %, i více. Střední obsah je odhadován na 2%. Nejméně vápníku obsahují půdy písčité v humidnějších oblastech a nejvíce půdy karbonátové (až 28 %) (Richter 1997).

Reguluje půdní reakci, vytváří a udržuje příznivé vlastnosti organominerálního sorpčního komplexu, umožňuje příznivé výměnné reakce a zvyšuje využitelnost řady dalších živin (Neuberg 1998).

- Správné vápnění je důležité, protože vápník
- pufruje přebytečné kyseliny,
- podporuje tvorbu žádoucí drobtovité struktury,
- uvolňuje v půdě živiny potřebné pro rostliny,
- povzbuzuje činnost půdních organizmů,
- je rovněž důležitou rostlinnou živinou (Hohenberger 1999).

Půdní vápník je rozdělován podle jeho přístupnosti pro rostliny na výměnný a nevýměnný.

Vápník nevýměnný představuje největší podíl vápníku v půdě. V této formě se nachází jako stavební složka krystalové mřížky některých těžce rozpustných horninotvorných nerostů. Jsou to především alumosilikáty, apatity a v malé míře i některé jílové minerály (montmorillonit). Vápník vázaný v krystalové mřížce je uvolňován jen velmi pomalu v průběhu zvětrávacích procesů a má tedy pro bezprostřední výživu rostlin malý význam. Do skupiny nevýměnného vápníku řadíme také velmi slabě rozpustné sloučeniny: CaCO_3 a $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Uhličitan vápenatý (CaCO_3) je ve vodě prakticky nerozpustný, rozpustnost se zvyšuje ve vodě obsahující CO_2 , přičemž produkce CO_2 je silně závislá na biologické aktivitě. Nevýměnným vápníkem rozumíme také vápník poutaný v půdě biologicky, tj. v tělech rostlin, živočichů a mikroorganismů.

Vápník výměnný - tato forma představuje v půdě asi 1-2 % nevýměnného vápníku, byť jeho množství činí v sorpčně nasycených půdách 60-80 % všech výměnných kationtů. Výměnný vápník je poután hlavně fyzikálněchemickou sorpcí na povrchu půdních koloidů, a to úměrně jejich sorpční kapacitě (Richter 1997).

Přiměřený obsah Ca v půdním roztoku zaručuje dobré podmínky pro růst kořenů rostlin a zásobování rostlin vápníkem. Je také zárukou vyváženého příjmu ostatních iontů rostlinami. V případě vysokého obsahu vápníku nehrozí rostlinám poškození., V případě humidních stanovišť může ovšem dojít ke zvýšenému vyplavování vápníku z půdy.

Z hlediska výživy rostlin i půdní úrodnosti je významný vápník výměnný, vázaný na půdní koloidy výměnnou sorpcí. Množství výměnného vápníku v půdě kolísá podle nasycení koloidů a sorpční kapacity. Nasycení koloidů vápníku by mělo dosahovat 60-80 % sorpční

kapacity. Nižší hodnoty postačí pro lehké půdy s nízkou sorpční kapacitou a vyšší nasycení vyžadují půdy střední a těžké (Vaněk a kol. 2012).

Odběr vápníku rostlinami činí 5 až 150 kg vápníku na hektar/rok. V našich podmínkách je z orné půdy za rok vyplaveno od 30 do 350 kg vápníku na hektar. Oproti tomu množství vápníku dodané ve srážkách je velmi malé - přibližně 3 až 21 kg vápníku na hektar za rok. (Balík a kol. 2005)

3.2.2 Příjem vápníku rostlinou

Vápník je rostlinami přijímán v iontové formě. Vápník přijatý kořenovým systémem účinkem transpiračního proudu postupuje xylemem do nadzemních částí rostlin (Weil a Brady 2002).

Vlastní příjem probíhá hlavně pasivně kořenovými špičkami. Aktivní příjem vápníku a jeho průchod membránami je omezený. Také jeho pohyblivost a transport v rostlině jsou značně limitované, uskutečňují se téměř výhradně transpiračním proudem. Velmi málo je vápník transportován ve floému, a proto je malý obsah vápníku v zásobních orgánech. Ve starších buňkách a pletivech se vápník hromadí ve vakuole ve formě oxalátu nebo jiných rozpustných solí. Obecně málo spotřebují vápníku jednoděložné rostliny a vyšší spotřebu mají dvouděložné rostliny. Spotřeba a odběr vápníku se proto pohybují v širokém rozmezí, ale většinou jsou nižší než u draslíku (Vaněk a kol. 2007).

3.2.3 Vápník v rostlině

Vápník je základní strukturní, metabolický a signální prvek. Fyziologické funkce Ca^{2+} jsou umožněny jeho řízeným transportem přes buněčné membrány, zprostředkovaným Ca^{2+} permeabilními iontovými kanály (Demidchik 2018). Ca^{2+} signály jsou základním regulátorem fyziologie rostlinných buněk a buněčných reakcí na prostředí. Kanály, pumpy a nosiče, které jsou základem homeostázy Ca^{2+} , poskytují mechanický základ pro generování signálů Ca^{2+} regulací pohybu iontů Ca^{2+} mezi subcelulárními kompartmenty a mezi buňkou a jejím extracelulárním prostředím (Dodd a kol. 2010).

Iont vápníku (Ca^{2+}) je všestranný intercelulární posel. Poskytuje dynamickou regulaci velkého množství genových transkripcí, proteinkináz, transkripčních faktorů a dalších komplexních signálních kaskád (Kanchiswamy a kol. 2014). Aktivuje některé důležité enzymy a je stavební složkou důležitých sloučenin jako jsou fytyl a pektin. Snižuje přebytek organických kyselin v některých rostlinách (Neuberg 1998). Příznivě působí na růst kořenů (na meristematické pletivo), osmoregulační procesy a zesílení sací síly kořenů. Vápníkem dobře zásobené rostliny mají lepší předpoklady k opylování (Baier a Baierová 1985).

Vápník působí dvojitým způsobem, jednak přímo v rostlině a jednak v půdě. Je důležitou rostlinnou živinou, zpevňuje buněčné stěny a podporuje dělení buněk, takže je ho zapotřebí zejména ve vrcholcích stonků a v kořenových špičkách (Hohenberger 1999). Vápník je nezbytná rostlinná živina. Je vyžadován pro různé strukturální role v buněčné stěně a membránách (White a Broadley 2003). Svými dehydratačními vlastnostmi působí proti bobtnání vyvolanému především ionty draslíku. Jako kofaktor ovlivňuje řadu enzymatických systémů. Udržuje stabilitu a elasticnost buněčných stěn (Baier a Baierová 1985).

Rostliny jako přisedlé organismy jsou neustále vystaveny různému výskytu stresorů: biotickým a/nebo abiotickým faktorům. V důsledku toho závisí životaschopnost rostlin na jejich schopnosti vnímat změny, ke kterým dochází v jejich přirozeném prostředí (ať už prospěšné nebo škodlivé) a vhodně reagovat fyziologicky, biochemicky a z hlediska jejich vývoje překonat a čelit možným destruktivním účinkům (Delian a kol. 2014). Mikroorganismy způsobující choroby mohou napadnout rostliny prostřednictvím průduchů, které se po zjištění takového nebezpečí uzavřou rychlostí závislou na množství vápníku. V rostlinách fungují vápenaté ionty (Ca^{2+}) jako centrální signál pro různé podněty, od vnitřních vývojových podnětů po fyzické nebo biotické střezy, jako jsou např. infekce (Yoshioka a Moeder 2020). K uzavření průduchů při biotických a abiotických stresech dochází rychlým přílivem vápenatých iontů přes plazmatickou membránu (Thor a kol. 2020). Rostliny zahájí koordinovanou imunitní odpověď, aby utlumily potenciální infekci, jakmile zjistí invazi mikrobiálních patogenů nebo hmyzu. Přechodné a rychlé zvýšení koncentrace vápníku v cytosolu patří mezi základní časné buněčné odpovědi v rostlinné imunitě. Koncentrace volného Ca^{2+} v apoplastu je mnohem vyšší než v klidové cytoplazmě. Přesná regulace aktivit vápníkových kanálů po infekci je tedy klíčem k okamžitému a dynamickému přílivu Ca^{2+} ke spuštění následné signalizace (Xu a kol. 2022). Kanály propustné pro vápník byly zaznamenány v plazmatické membráně, tonoplastu, endoplazmatickém retikulu, chloroplastu a jaderných membránách rostlinných buněk (White 2000). Pochopení mechanismů signalizace Ca^{2+} tedy může vést k vývoji transgenních plodin se zvýšenou tolerancí vůči nepříznivým podmínkám prostředí (Kim 2013).

Podle Gillihama a kol. (2011) bylo u většiny plodin prokázáno, že největší podíl dálkového transportu vápenatých iontů rostlinnými pletivy sleduje apoplastické dráhy. Zásoba vápníku v pletivech je úzce spojena s transpirací. Jakmile je vápník uložen ve vakuolách, je zřídka redistribuován, což má za následek, že vysoce transpirující orgány shromažďují velké koncentrace vápníku.

Vápník stabilizuje strukturu a celistvost buněčných membrán, zpevňuje buněčnou stěnu. Podílí se na růstu buněk, které tvoří typickou celulózni stěnu (kořenové vlásky a pylové láčky) a bez vápníku vůbec nerostou. Neutralizuje a váže některé organické kyseliny (hlavně šťavelovou), což může mít detoxikační efekt. Významně ovlivňuje stabilitu a integritu pletiv, což má vliv na skladovatelnost plodů (Hlušek a kol. 2002).

Vápník je nutný zejména pro úpravu půdní reakce a fyzikálních vlastností půdy. V listech je jeho průměrný obsah v rozpětí 2-3 % (Hlušek a kol. 2002). Spotřeba a odběr vápníku rostlinami se pohybuje v širokém rozmezí, ale většinou jsou nižší než u draslíku. Obilniny odčerpávají okolo 20 kg vápníku z hektaru ročně. Více vápníku odčerpávají okopaniny a krmné plodiny a velkou spotřebu vykazují víceleté pícniny (vojtěška odčerpá okolo 150 kg vápníku z hektaru ročně) (Vaněk a kol. 2016).

3.2.4 Nedostatek vápníku

Nedostatek vápníku se projevuje nepřímo prostřednictvím ovlivnění půdních vlastností. Pokud se sníží množství vápníku v sorpčním komplexu, sníží se i hodnota pH a tím poklesne obsah vápníku v půdním roztoku, což zhorší podmínky pro růst rostlin. Při nedostatku vápníku je silně narušen kořenový systém (Neuberg 1998). Poškození začíná hnědnutím epidermu a korových buněk. Kořeny jsou krátké a odumírají směrem od špičky. Kořenové vlášení se

netvoří vůbec, kořeny slizovají a rozkládají se. Další příznaky se objevují na nejmladších listech (vápník je nepohyblivý). Vzniká chloróza a kropenatost. Významné poškození se projevuje na letorostech. Pletivo na vrcholu letorostu hnědne, až zčerná, buňky se rozpadají. Dojde k zaškrcení letorostu asi 5-10 cm pod vrcholem a ohnutí v tomto místě směrem dolů. I když vývoj květů probíhá normálně, tvorba plodů je brzděna. Pyl může být sterilní. (Hlušek, a kol. 2002).

3.2.5 Nadbytek vápníku

Příliš mnoho vápníku

- způsobuje alkalickou půdní reakci, která je pro většinu rostlin nevhodná,
- uvolňuje nadbytečné množství živin, které jsou poté vyplavovány,
- zapříčiňuje přílišnou degradaci humusu.

Pro mnohé rostliny je vápník přímo jedem, například pro rododendrony, azalky, borůvky a mnohé druhy vřesu (Hohenberger 1999).

„Převápnění“ v půdě se však může projevit snížením příjmu ostatních kationtů (Mg, K), ale zejména některých mikroživin. Toto nebezpečí vzrůstá u lehkých půd, písku, lehkých zahradnických substrátů a vodních kultur (Neuberg 1998). Nadbytek vápníku podporuje chlorózu tím, že brzdí příjem železa z půdního roztoku. Tato porucha může být buď projevem nedostatku přijatelného železa v půdě, nebo fyziologickou chorobou, která zabraňuje přesunu železa z žilnatiny do listového parenchymu (Hlušek, a kol. 2002). Chemie půdy a rostlinné symptomy ukazují, že fyziologické účinky rostlin vyvolané reaktivnějším zdrojem vápna, jako je hydroxid vápenatý, mohou hrát stejně významnou roli ve výsledku převápnění jako nedostatek živin (Bornman a kol. 1998).

3.2.6 Možnosti hnojení vápníkem

Vápnění

Rostliny přirozeně odebírají vápník z půdy, ale zároveň je i vyplavován přirozenou cestou. Dochází tedy k snižování jeho poměru v půdním roztoku. Pokud se nedoplní vápněním a je odebírán větší rychlostí, půda sama nedokáže doplnit jeho hladinu na potřebné množství (Weil a Brady 2002).

Potřebou vápnění se rozumí dávka alkalicky účinného vápníku, kterou je nutno použít k dosažení požadovaného pH (Neuberg 1998). Optimální reakce půdy závisí na více faktorech, ale v našich podmínkách je rozhodujícím hlediskem půdní druh (zrnitost) a kultura rostlin. Dávka vápenatých hnojiv se řídí zjištěnou hodnotou pH půdy a půdním druhem (Šnobl a kol. 2007).

Potřebnou dávku tvoří vždy dávka udržovací a v případě, že hodnota pH půdy je nižší než optimální, je třeba k dávce udržovací přičíst ještě dávku meliorační. Celkovou potřebu vápnění tvoří tedy buď dávka udržovací, nebo součet dávky udržovací a dávky meliorační (Neuberg 1998).

Dávka udržovacího vápnění představuje množství vápníku, které je potřebné k úhradě jeho každoročních ztrát z půdy (odběr sklizní, vyplavení) a k neutralizaci půdního okyselování (kyselá dešť, důsledek používání průmyslových hnojiv). V našich podmínkách byla vyčíslena na 25 g Ca/m² (Neuberg 1998). S ohledem na pěstované plodiny je doporučeno vápnit kyselejší

půdy jednou za tři až čtyři roky. Při pravidelném vápnění by pH nemělo u lehkých půd klesnout pod 5,0, u středně těžkých půd pod 5,5 a u těžkých půd pod 6,0 (Bujnovský a Holobradý 1997).

Dávky melioračního vápnění jsou odvozeny experimentálně. Stanoví se pro určitou kulturu (orná půda, travní porosty, chmel atd.) na podkladě zjištěné hodnoty pH a půdního druhu (Neuberg 1998). Meliorační vápnění má upravit nepříznivé hodnoty půdní reakce na hodnoty blízké optimu (Bujnovský a Holobradý 1997).

Pokud vychází potřeba vápnění vyšší než je přípustná maximální dávka, doporučenou dávku rozdělíme a aplikujeme ji během 2-3 let. Zvlášť opatrně je třeba vápnit páleným vápnem. S ohledem na malou rozpustnost většiny vápenatých hnojiv se účinnost vápnění projeví až za 2-3 roky. Proto také vápnění je opatření, které realizujeme v určitých časových etapách, tzn., že vápníme vždy jen některé pozemky (Šnobl a kol. 2007). Doporučené dávky melioračního vápnění jsou uvedeny v tabulce 3.1.2.

TABULKA 3.1.2 Doporučené dávky melioračního vápnění podle pH s půdního druhu (Šnobl a kol. 2007)

Půda	Dávka Ca ^x v t na ha					Maximální přípustná
	pH					Jednorázová dávka
	do 4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	Vápnění t Ca na ha
Písčítá	1,0	0,5	-	-	-	0,7
Hlinitopísčítá	2,5	1,8	1,0	0,5	-	1,1
Písčitohlinitá	4,5	2,7	2,0	1,2	-	1,4
Hlinitá - jíł	5,0	3,0	2,2	1,6	0,7	2,1

3.2.7 Vápenatá hnojiva

Vápenatá hnojiva obsahují vápník jako živinu buď v přijatelných kationtech Ca²⁺, nebo ve vazbách, z nichž se tyto rozkladem uvolňují (Baier a Baierová 1985). Slouží nejen jako zdroj vápníku pro rostliny, ale používají se také k úpravě půdních vlastností (zejména půdní reakce), čímž se vytvářejí příznivé podmínky pro výživu i ostatními živinami (Kalina 2001).

Nedostatek vápníku mají rostliny zpravidla na kyselých půdách. Neutralizací kyselosti vápněním proto vytváříme podmínky pro zlepšení výživy rostlin vápníkem. Vhodná volba hnojiva (vazby Ca²⁺) zvyšuje jeho účinek a snižuje ztráty vyplavením. Obecně platí, že čím hrubší je zrnitostní složení půdy, tím pozvolněji působící formu vápenatého hnojiva musíme volit. Přímé využití vápníku přes půdu je malé v důsledku jeho silné sorpce, popř. horizontálního pohybu. Ztráty vápníku z ornice průsakovými vodami se pohybují v širokém rozmezí asi od 50 do 350 kg Ca/ha ročně. Jsou závislé na množství vzdušných srážek, množství a kvalitě exhalátů, hladině podzemní vody, propustnosti půdy, stupni jejího nasycení, dávkách a druzích průmyslových hnojiv, zastoupení jednotlivých plodin v osevním postupu a způsobu obdělávání půdy (Baier a Baierová 1985). Nejvhodnější doba pro vápnění je pozdně letní až podzimní období, s ohledem na vyšší obsah oxidu uhličitého v půdní atmosféře (Bujnovský a Holobradý 1997).

Z hlediska hlavní funkce dělíme vápenatá hnojiva na dvě základní skupiny:

- hnojiva sloužící *k přímé výživě vápníkem* (obsahující vodorozpustné sloučeniny vápníku),
- hnojiva určená především *k otupení půdní kyselosti* (souhrnně označovaná jako vápna) (Baier a Baierová 1985).

Bujnovský a Holobradý (1997) dělí vápenatá hnojiva podle vazby vápníku na aniontovou složku takto:

- vápenatá hnojiva ve formě oxidové (CaO)
- vápenatá hnojiva ve formě uhličitanové (CaCO₃; CaMg(CO₃)₂)
- vápenatá hnojiva v jiných formách (např. křemičitanové, směsné apod.)

Autoři dále upozorňují, že vápenatá hnojiva ve formě oxidové jsou v případě okamžitého zapravení do půdy účinnější.

Pálené vápno, 57-60 % Ca

Získává se pálením vápence ve vápenkách při teplotách okolo 1000⁰ C. Je dodáváno většinou jako vápno mleté ve formě jemného prachu. Základ páleného vápna tvoří oxid vápenatý s oxidem hořečnatým (Vaněk a kol. 2012). Používáme ho přednostně na těžkých jílovitých kyselých půdách. Vhodné je i do středně těžkých půd s dostatečným sorpčním komplexem, pokud tyto půdy vyžadují vápnění. Vápníme jím i při obnově luk a melioraci těžkých půd. Použití vápenatých hnojiv k vápnění půd má charakter předzásobního nebo melioračního hnojení a proto mají být tato hnojiva zapravena rovnoměrně do celého orničního profilu k plodinám, které snášejí „čerstvé“ vápnění (vojtěška, jetel, cukrovka). Zejména u páleného či hašeného vápna je důležité včasné stejnoměrné hloubkové zapravení a volba vhodné plodiny. Mělké zapravení při předseťové přípravě, zejména při vyšších dávkách, a „žiravá“ forma hašeného vápna snadno poškodí klíčivost osiva a svou přechodně zvýšenou alkalitou rušivě zasahuje do příjmu živin (Baier a Baierová 1985).

Mletý vápenec, 30-38 % Ca

Získává se rozemletím přírodního vápence. K výrobě se používají suroviny s různým obsahem uhličitanu vápenatého (CaCO₃) (Vaněk a kol. 2012). Mletým vápencem lze vápnit prakticky všude. Vápník (či hořčík) v uhličitanové vazbě působí pozvolněji a trvaleji, což je s ohledem na „zásobní“ charakter vápnění v časovém odstupu několika let velmi výhodné. Tím jsou také omezovány ztráty vápníku vyluhováním, zejména na lehčích a středně těžkých půdách. Do těchto podmínek se proto mleté vápence přednostně doporučují. Mletý vápenec zapravujeme co nejrovnoměrněji do orničního profilu orbou, zpravidla ve středních dávkách jako udržovací vápnění a ve vysokých dávkách jako meliorační vápnění. Nejvhodnější dobou pro aplikaci a zapravení mletého vápence nastává po sklizni do počátku zimy. Také jej lze aplikovat na list (např. u brambor) (Baier a Baierová 1985).

Vápenatohořečnatá struska, 24-28 % Ca a 8 % Mg

Jedná se o jemně mletou ocelářskou strusku pro zemědělské účely. Obsahuje minimálně 48 % křemičitanu hořečnatého a vápenatého. Obsah vápníku činí 24-28 % a hořčíku asi 8%. Používá se obdobně jako mleté vápence (Vaněk a kol. 2012).

Síran vápenatý, 25 % Ca a 20 % S

Jako zdroje vápníku a síry je ho účelné využít na pozemcích, kde je nižší obsah síry a pěstuje se větší podíl plodin, které mají vysoké nároky na síru – brukvovité zeleniny, siličnaté rostliny a jeteloviny (Vaněk a kol. 2012).

3.2.8 Výživa zahradních rostlin vápníkem

Vápník je významný prvek, který v půdě ovlivňuje přijatelnost celé řady živin. U **zelenin** působí příznivě na růst a funkci kořenů a rovněž na kvalitu pylu. Aktivuje enzymy a neutralizuje přebytek organických kyselin v rostlinách (Hlušek a kol. 2002).

Vápník je významnou živinou zejména u **mrkve a celeru**, kde pozitivně ovlivňuje pevnost a barvu dužiny (Hlušek a kol. 2002).

Ovoce a plody zeleniny - vápník působí příznivě na stabilitu a integritu pletiv, což je významné hlavně u ovoce a plodů zeleniny (Vaněk a kol. 2007). Před vápněním musíme znát citlivost dané zeleniny na vápenatá hnojiva. Zatímco některé druhy dobře snášejí čerstvé vápnění, jiné druhy jsou citlivé. Citlivé druhy zeleniny vůči čerstvému vápnění pěstujeme pouze na těch plochách, které byly vápněny před začátkem předplodiny (Kalina 2001).

Přímé vápnění dobře snášejí **košťáloviny, červená řepa, ředkvička, ředkev, špenát, reveň, chřest a křen**.

Přímé vápnění naopak nesnášejí **okurky, rajčata, tykve, paprika, mrkev, petržel, černý kořen, hrách, fazole, salát a celer** (Kalina 2001).

U **jablek** je při dostatku vápníku v plodech jablek zajištěn pozvolný přechod plodů do konzumní zralosti (Vaněk a kol. 2007)

Nedostatek vápníku

Při nedostatku vápníku kořeny slabě rostou, nevětví se, černají a zahnívají. Podobné příznaky je možno pozorovat i u stonků, které se v zaškrceném místě ohýbají (**rajčata**). Květy tvoří sterilní pyl, semena jsou malá a zasychají (Hlušek a kol. 2002)

Rajčata při nedostatku vápníku trpí zasycháním a hnilobou rajčat. V místě květu (okvěti – vrcholová část plodu) je snížena integrita pletiv, pletivo postupně nekrotizuje a vytváří se nahnědlá souvislá skvrna. Pletivo je nekrotizováno jen v povrchových částech, plod je však znehodnocen. Za sucha nekrotizovaná část zasychá a za vlhka většinou podléhá hnilobám. Při mírném výskytu jsou zjevné příznaky většinou jen na nejranějších plodech a pozdější nemusí být již poškozeny. Hojný je výskyt tohoto poškození při pěstování rajčat na rašelinných substrátech, kde nebyl upraven poměr mezi draslíkem a vápníkem (Vaněk a kol. 2007). Nedostatek lze omezit mimokořenovou výživou. Je možné použít např. ledek vápenatý v 1 % koncentraci. Postřiky je nutné opakovat asi po 7-10 dnech (Vaněk a kol. 2007).

Papriky mají podobné příznaky, jako na plodech rajčat - pletivo nejčastěji od vrcholové části plodu hnědne až černá. Příčiny výskytu jsou stejné jako u rajčat. Vyskytuje se hlavně na přehnojených stanovištích, kde se používaly velké dávky statkových hnojiv a v půdě je vysoký obsah K a N. Četnější výskyt je při rychlení, tedy ve sklenících a pařeništích (Vaněk a kol. 2007).

Deficit vápníku u **křenu** vyvolává černání kořenů. Při pěstování **rajčat a papriky** v takovém případě zahnívají květy nebo se na zelených i zralých plodech objevují hnědočerné

skvrny. U salátu se objevují poruchy na listech, u **špenátu** deficit vápníku vyvolává zvýšený obsah kyseliny šťavelové v rostlině, což má za následek tvorbu žloutnoucích a natrpkých listů (Hlušek a kol. 2002).

Čínské a pekingské zelí má při nedostatku vápníku zpomalený růst a později nekrózu vrcholových částí listů, které při vyšší vlhkosti podléhají hnilobám (Vaněk a kol. 2007).

Bramborám se dobře daří na kyselých stanovištích, ale spotřebují velké množství Ca (Vaněk a kol. 2007). Na produkci 10 t hlíz brambory spotřebují 25 kg vápníku (Šnobl a kol. 2007). V případě potřeby vápníme mletým vápencem ke zlepšení struktury půdy a biotické činnosti v půdě po výsadbě až do výšky porostu asi 20 cm dávkou 10 až 20 kg na 100 m² (Kalina 2001).

Vinná réva patří ke kulturám náročným na vápník. Při vážnější deficienci odumírají vegetační vrcholy, réva slabě kvete, květy opadávají a střapce jsou řídké (Hlušek a kol. 2002). Nedostatek vápníku vyvolává vážné fyziologické poruchy při dozrávání a skladování **jablek**. Tyto poruchy mohou mít velmi pestré příznaky. Charakteristické je to, že pletiva plodů ztrácejí pevnost a integritu, předčasně dozrávají, moučnatí a mnohdy pukají, až se úplně rozpadnou (Vaněk a kol. 2016). Je známa hořká pihovitost (hnědé tečky na povrchu a hnědé žilky v dužnině) – „bitter pit“ (Hlušek a kol. 2002). Často jsou pozorovány barevné změny dužiny – hnědnutí s následnými hnilobami. Skvrny jsou také zpravidla místem, kde počíná rozpad plodu a jeho hniloba. Jsou patrné i odrůdové zvláštnosti – většina moderních odrůd má vyšší náchylnost k výskytu těchto poruch než starší krajové odrůdy – je to ovlivněno jednak geneticky, jednak větší jemností dužiny plodů (Vaněk a kol. 2007). K odstranění nedostatku vápníku u jablek je samozřejmě nutné se zaměřit na pěstování méně náchylných odrůd. Výskyt fyziologických poruch jablek je také značně podporován nadměrnou výživou N, a proto je nutné omezit i hnojení tímto prvkem (Vaněk a kol. 2007).



Obr.3.3. Příznak nedostatku vápníku u pekingského zelí (Zdroj: izahradkar.cz)



Obr.3.4. Hořká pihovitost u jablek jako projev nedostatku vápníku (Zdroj: izahradkar.cz)

Nedostatek vápníku je příčinou předčasněho dozrávání **peckovin**. Při pěstování ovoce na výdělek se z tohoto důvodu stromy během vegetačního období postříkují chloridem vápenatým, protože samotné vápnění půdy nestačí (Hohenberger 1999). Při nedostatku vápníku **peckoviny** a **skořápkoviny** trpí klejotokem a rakovinou (Baier a Baierová 1985).

Nadbytek vápníku

Nadbytek vápníku **zeleninám** v podstatě neškodí s výjimkou rostlin kalkofobních. U **celeru, červené řepy** vyvolává srdéčkovou hnilobu jako důsledek omezeného příjmu bóru (Hlušek a kol. 2002). Kalina (2001) nicméně uvádí, že **zelenina** dává v průměru přednost neutrální půdní reakci, to znamená hodnotě pH mezi 6,5 až 7,2. Na lehkých půdách lze tolerovat posun do slabě kyselé oblasti. Většina rostlin, včetně zeleniny, se může přizpůsobit až do určitého stupně půdní reakcí. Alkalickou reakci snášejí více **keříčkové a tyčkové fazole, hrách, salát a cibule**. Při kyselé reakci rostou ještě uspokojivě **tuřín, reveň a rajčata** (Kalina 2001).

4 Závěr

Cílem práce bylo vytvořit na základě dostupné literatury přehled o roli draslíku a vápníku ve výživě rostlin, výskytu těchto makroprvků v půdě, půdních substrátech a samotných rostlinách, a dále pak přehledně představit způsob příjmu těchto živin rostlinami a jejich roli metabolismu, současně s tím poukázat na projevy nedostatku nebo nadbytku těchto živin a možnosti prevence těchto jevů. Cíle se podařilo splnit na základě studia několika českých odborných monografií, ale také řady vědeckých publikací z mezinárodních impaktovaných vědeckých časopisů.

Z provedeného přehledu jednoznačně vyplynula nezastupitelná role draslíku a vápníku ve výživě rostlin. Autoři použitých odborných publikací také prakticky bez výjimky zdůrazňovali nutnost racionálního doplňování draslíku a vápníku do půdy nebo substrátu, a to v míře odpovídající spotřebě rostlin, buď ve formě minerálních, nebo statkových hnojiv. Z výsledků práce je zřejmé, že pečlivé dodržování správného množství živin výrazně zvyšuje kvalitu rostlinné produkce - jak z hlediska užitné hodnoty rostlin pro jejich skladování a pro naši spotřebu, tak z hlediska jejich vizuálních čistoty a kvality, což by mělo být i ekonomickou motivací pro řádnou a odbornou péči o rostliny v zemědělství i v zahradnictví.

5 Literatura

Amtmann A, Hammond JP, Armengaud P, White P J. 2006. Nutrient sensing and signalling in plants: Potassium and phosphorus. *Advances in Botanical Research*. 43. 209- 257.

Armengaud P, Breitling R, Amtmann A. 2004. The potassium-dependent transcriptome of *Arabidopsis* reveals a prominent role of jasmonic acid in nutrient signaling. *Plant Physiol* **136**:2556-2576.

Ashley MK, Grant M, Grabov A. 2006. *Journal of Experimental Botany* **57**(2):425–436.

Auerswald K, Kainz M, Angermuller S, Steindl H. 1996. Influence of exchangeable potassium on soil erodibility. *Soil Use and Management*. 12 (3). 117–121

Baier J, Baierová V. 1985. *Abeceda výživy rostlin a hnojení*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

Balík J, Vaněk V, Pavlíková D. 2005. Úloha Ca v rostlině a půdě. In: *Racionální použití hnojiv*, ČZU v Praze, s.14 -21. ISBN 80-213-1401-X.

Barber SA. 1985. Potassium availability at the soil–root interface and factors influencing potassium uptake. In: Munson RD, ed. *Potassium in agriculture*. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, 309–324.

Bornman JJ, Bornman L, Barnard RO. 1998. The effects of calcium carbonate and calcium hydroxide on plant growth during overliming. *Soil Science* **163**(6):498-507.

Brodský L. 2003. *Využití geostatistických metod pro mapování prostorové variability a agrochemických vlastností půd*. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. s. 120. ISBN: 80-213-1100-2.

Bujnovský R, Holobradý K. 1997. *Metodika úpravy kyslej pôdnej reakcie vápnem*. Výskumný ústav pôdnej úrodnosti. Bratislava. ISBN 80-85361-310

Čermák P, Lošák T, Hlušek J, Richter R, Škarpa P. 2013. *Hnojení polních plodin draslíkem a hořčíkem [metodická brožura výrobce a distributor hnojiv]*. K+S Kali CZ a.s., Praha.

Delian E, Chira A, Badulescu L, Chira L. 2014. Calcium alleviates stress in plants: insight into regulatory mechanisms. *AgroLife Scientific Journal* **3**(2):25-30.

Demidchik V. 2018. Calcium transport across plant membranes: mechanisms and functions. *New Phytologist* **22**(1):49-69

Dodd AN, Kudla J, Sanders D. 2010. The Language of Calcium Signaling. *Annual Review of Plant Biology* **61**(1):593-620.

Gattward JN, Almeida AAF, Souza JO, Gomes FP, Kronzucker HJ. 2012. Sodium–potassium synergism in *Theobroma cacao*: stimulation of photosynthesis, water-use efficiency and mineral nutrition. *Physiologia plantarum* **146**(3):350-362.

- Gilliham M, Dayod M, Hocking BJ, Xu B, Conn SJ, Kaiser BN, Leigh RA, Tyerman SD. 2011. Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow. *Journal of Experimental Botany* **62**(7):2233-2250.
- Guo L, Zhang F, Li C. 2002. Effects of decapitation on growth, uptake and distribution of potassium in tobacco. *China Agricultural University* **13**(7):819-822.
- Hlušek J, Richter R, Ryant P. 2002. Výživa a hnojení zahradních plodin. Vydáno redakcí odborných časopisů, Praha. ISBN: 80-902413-5-2.
- Hogh-Jensen H, Pedersen MB. 2003. Morphological plasticity by crop plants and their potassium use efficiency. *Journal of Plant Nutrition* **26**:969-984.
- Hohenberger E. 1999. Půda, kompost, hnojení. Knižní klub, Praha. ISBN 80-242-0032-5.
- Jung JY, Shin R, Schachtman DP. 2009. Ethylene mediates response and tolerance to potassium deprivation in Arabidopsis. *Plant Cell* **21**:607-621.
- Kalina M. 2001. Hnojení v zahradě, GRADA Publishing, Praha. ISBN 80-247-0173-1.
- Kanchiswamy CN, Malnoy M, Occhipinti A, Maffei ME. 2014. Calcium imaging perspectives in plants. *International journal of molecular sciences* **15**(3):3842-3859.
- Kemble JM, Quesada-Ocampo LM, Ivors KL, Jennings KM, Walgenbach JF. 2014. Southeastern US 2014 vegetable crop handbook. Virginia Cooperative Extension, Virginia.
- Kim KN. 2013. Stress responses mediated by the CBL calcium sensors in plants. *Plant biotechnology reports* **7**(1):1-8.
- Kirik V, Simon M, Huelskamp M, Schiefelbein J. 2004. The ENHANCER OF TRY AND CPC1 gene acts redundantly with TRIPTYCHON and CAPRICE in trichome and root hair cell patterning in Arabidopsis. *Developmental biology* **268**(2):506-513.
- Kuchenbuch R, Claassen N, Jungk A. 1986. Potassium availability in relation to soil moisture. *Plant and Soil* **95**(2):233-243.
- Kunzová E. 2010. Výživa rostlin a hnojení draslíkem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha.
- Mengel, K., Kirkby, E. A. 2001. Principales of plant nutrition. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherland. p. 833. ISBN: 1-4020-00008-1.
- Mitáček T, Neugebauerová J, Prášil J, Zadražilová I. 2014. Pěstování léčivých a kořeninových rostlin v ekologickém zemědělství. Bioinstitut, Olomouc. ISBN 978-80-87371-25-1.
- Neuberg J. 1998. Hnojení a výživa rostlin na zahradě. GRADA Publishing, Praha. ISBN 80-7169-496-7.
- Petrofanov VL. 2011. Role of the soil particle-size in the sorption and desorption of potassium. *Euroasian Soil Science*. 45 (6). 598-611.

- Pettigrew WT. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia plantarum* **133**(4):670-681.
- Richter R. 1997. Půdní úrodnost. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR. Praha. ISBN 80-7105-145-4.
- Seiffert S, Kaselowsky J, Jungk A, Claassen N. 1995. Observed and calculated potassium uptake by maize as affected by soil water content and bulk density. *Agronomy Journal* **87**:1070–1077.
- Shin, R. 2014. Strategies for improving potassium use efficiency in plants. *Molecules and Cells*, **37**(8): 575-584.
- Sparks DL, Huang PM. 1985. Physical chemistry of soil potassium. In: Munson RD, ed. Potassium in agriculture. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy 201–276
- Syers JK. 1998. Soil and plant potassium in agriculture. York: The Fertiliser Society.
- Šnobl J, Purkrábek J, Baranyk P, Faměra O, Fuksa P a kol. 2007. Základy rostlinné produkce. Tisk Power Print, ČZU v Praze, FAAPZ, Praha. ISBN 978-80-213-1340-8.
- Špaldon E, Andraščík M, Bechyně M, Belej J, Fric V a kol. 1982. Rostlinná výroba, Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Thor K, Jiang A, Michard E, George J, Scherzer S a kol. 2020. The calcium-permeable channel OSCA1.3 regulates plant stomatal immunity. *Nature* **585**(7826):569-573.
- Troeh RF, Thompson LM. 2005. Soils and Soil Fertility. (6th Edition). Blackwell Publishing. Ames, USA. p. 489. ISBN: 0-8138-0995-X.
- Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valtera J. 2012. Výživa zahradních rostlin, Nakladatelství Academia, Praha. ISBN 978-80-200-2147-2.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin, Profi Press s.r.o., Praha. ISBN 978-80-86726-79-3.
- Vaněk V., Balík J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin, Profi Press. Praha. s. 176. ISBN: 976-80-86726-25-0.
- Vetterlein D, Jahn R. 2004. Gradients in soil solution composition between bulk soil and rhizosphere—In situ measurement with changing soil water content. *Plant and soil* **258**(1):307-327.
- Wang M, Ye Youliang, Chu X, Zhao Y, Zhang S a kol. 2022. Responses of Garlic Quality and Yields to Various Types and Rates of Potassium Fertilize Applications. *HortScience* **57**(1):72-80.
- Wang X, Hao L, Zhu B, Jiang Z. 2018. Plant Calcium Signaling in Response to Potassium Deficiency. *International Journal of Molecular Sciences* **19**(11):3456.

Weil RR, Brady NC. 2017. *The Nature and Properties of Soils*. (15th Edition) Pearson Education. ISBN 978-0133254488.

White PJ. 2000. Calcium channels in higher plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes* **1465**(1-2):171-189.

White PJ, Broadley MR. 2003. Calcium in plants. *Annals of botany* **92**(4):487-511.

White PJ, Karley AJ. 2010. Potassium. In: Hell, R., Mendel, R. R. (eds.). *Cell Biology of Metals and Nutrients*. Springer, Berlin, pp. 199–224. ISBN: 978-3-642-10613-2.

Xu G, Moeder W, Yoshioka K, Shan L. 2022. A tale of many families: Calcium channels in plant immunity. *The Plant Cell*.

Yanai J, Linehan DJ, Robinson D, Young IM, Hackett CA, Kyuma K, Kosaki T. 1996. Effects of inorganic nitrogen application on the dynamics of the soil solution composition in the root zone of maize. *Plant and Soil* **180**:1–9.

Yoshioka K, Moeder W. 2020. Calcium channel in plants helps shut the door on intruders. *Nature* **7826**:507-508