

# Produkce plodin v zaplavených oblastech: důsledky záplav na fyziologické, chemické a mikrobiální procesy na polích

(Crop production in flooded areas: effects of flooding on physiological, chemical and microbial processes in fields)

Bleša Dominik, Matušinský Pavel, Leciánová Eva, Tvarůžek Ludvík  
Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, 76701 Kroměříž

**Souhrn:** Extrémní srážky a následné záplavy se stávají stále častějšími jevy v důsledku současných klimatických změn, které mají závažné důsledky pro zemědělskou produkci. Tento článek se zaměřuje na komplexní dopady zaplavení na fyziologické, chemické a mikrobiální procesy v půdním prostředí. Dlouhodobé zaplavení omezuje dostupnost kyslíku, narušuje klíčové fyziologické procesy v kořenovém systému plodin a mění chemické vlastnosti půdy, což vede k nižším výnosům a degradaci půdní struktury. Zároveň dochází k posunu v mikrobiálních společenstvech, zvyšuje se riziko výskytu patogenů a hromadění toxických látek. Ekonomické dopady těchto změn jsou značné, zahrnující sníženou kvalitu plodin a zvýšené náklady na regeneraci půdy.

**Klíčová slova:** Podmáčení půdy, klimatické změny, hypoxie, kvalita půdy, mikrobiom půdy, záplavy, anaerobní procesy

**Abstract:** Extreme rainfall and subsequent flooding are becoming increasingly common phenomena due to climate change, which has serious implications for agricultural production. This article focuses on the complex impacts of flooding on the physiological, chemical, and microbial processes in the soil environment. Prolonged flooding limits oxygen availability, disrupts key physiological processes in the root systems of crops, and alters the chemical properties of the soil, leading to reduced yields and soil degradation. Concurrently, shifts in microbial communities increase the risk of pathogen occurrence and the accumulation of toxic substances. The economic impacts of these changes are significant, including decreased crop quality and increased costs for soil restoration.

**Key Words:** Soil waterlogging, climate change, hypoxia, soil quality, soil microbiome, flooding, anaerobic processes

## Úvod

Extrémní srážky a následné záplavy jsou stále častějším jevem spojeným s klimatickými změnami, které mají závažný dopad na zemědělskou produkci. V posledních desetiletích je pozorován nárůst četnosti a intenzity extrémních srážkových událostí vedoucích k dlouhodobému zaplavení zemědělské půdy. Tyto záplavy způsobují komplexní změny v půdním prostředí, které mají negativní vliv na růst plodin a celkovou produktivitu zemědělských ekosystémů.

Zaplavené oblasti jsou problematické zejména kvůli nasycení půdy vodou, které omezuje dostupnost kyslíku v půdním profilu. Tento stav anoxie (nedostatek kyslíku) narušuje klíčové fyziologické procesy v kořenovém systému plodin, jako je například respirace a příjem živin. Kromě toho dochází ke změnám ve fyzikálních vlastnostech půdy, jako je snížení pórovitosti, zvýšení hustoty a tvorba nepropustných vrstev, které dále brání růstu kořenů a jejich schopnosti přijímat vodu a živiny. Dlouhodobé zaplavení také ovlivňuje mikrobiální společenstva v půdě a vede k hromadění toxických látek.

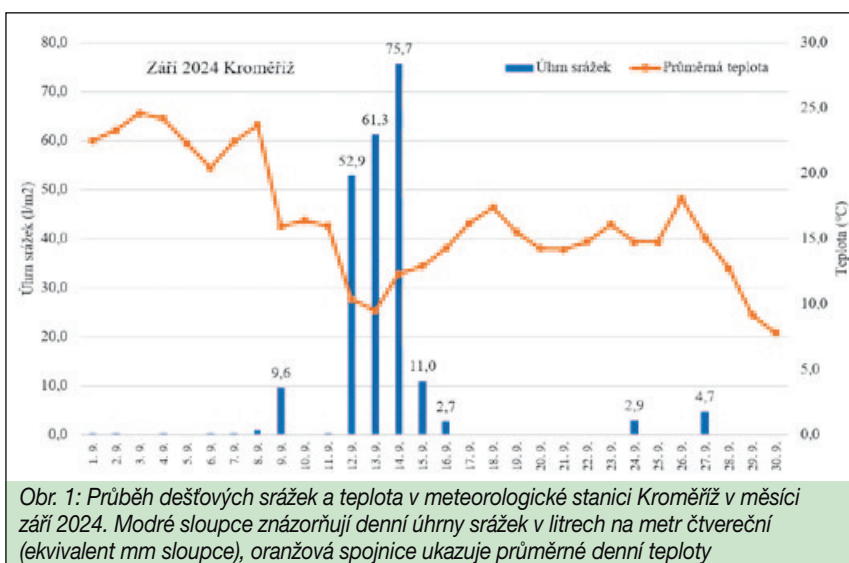
Ekonomické dopady těchto záplav mohou být značné. Snížená úroda, zhoršená kvalita plodin a zvýšené náklady na regeneraci půdy vedou k finančním ztrátám jak pro farmáře, tak pro širší zemědělský sektor. Dlouhodobé negativní vlivy mohou mít za následek degradaci půdy, což si vyžaduje nákladná meliorační opatření a snížení výnosnosti na několik sezón dopředu.

Tento článek popisuje důsledky záplav na fyziologii plodin, změny v chemickém složení půdy a dynamiku mikroorganismů v půdě.

## Hodnocení průběhu počasí na stanici Kroměříž v měsíci září 2024

V září roku 2024 došlo po varování meteorologů k extrémním deštovým srážkám na území střední Evropy, které způsobily rozsáhlé záplavy. Tyto události měly za následek zaplavení velkého množství lidských sídel, ztráty lidských životů, poškození majetku, nesčetně mnoho dalších ekonomických škod a proměnu socio-ekonomických vztahů. Tento text poskytuje přehled průběhu těchto nadměrných srážek se zaměřením na region Kroměřížska a přilehlé oblasti. Je důležité zdůraznit, že hodnocení neoslazuje závažnost lokálních dopadů a osobních tragédií způsobených touto přírodní katastrofou.

V první zářijový týden byly zaznamenány vysoké průměrné teploty kolem 23 °C, přičemž denní maxima překračovala 30 °C, a v tomto období nedošlo k žádným srážkám (Obrázek 1).



Obr. 1: Průběh deštových srážek a teploty v meteorologické stanici Kroměříž v měsíci září 2024. Modré sloupce znázorňují denní úhrny srážek v litrech na metr čtvereční (ekvivalent mm sloupce), oranžová spojnice ukazuje průměrné denní teploty

Mezi 12. a 14. zářím však stanice v Kroměříži zaznamenala téměř 200 mm srážek, přičemž déšť, i když méně intenzivní, pokračoval další dva dny. V horských oblastech, jako jsou Jeseníky a Beskydy, dosáhly srážkové úhrny ještě výrazně vyšších hodnot. Kvůli nasycení půdy a jejímu sníženému retenčnímu potenciálu začalo docházet k odtoku povrchové vody z polí a k přetížení vodních toků, které již nebyly schopny zadržet tuto enormní masu vody.

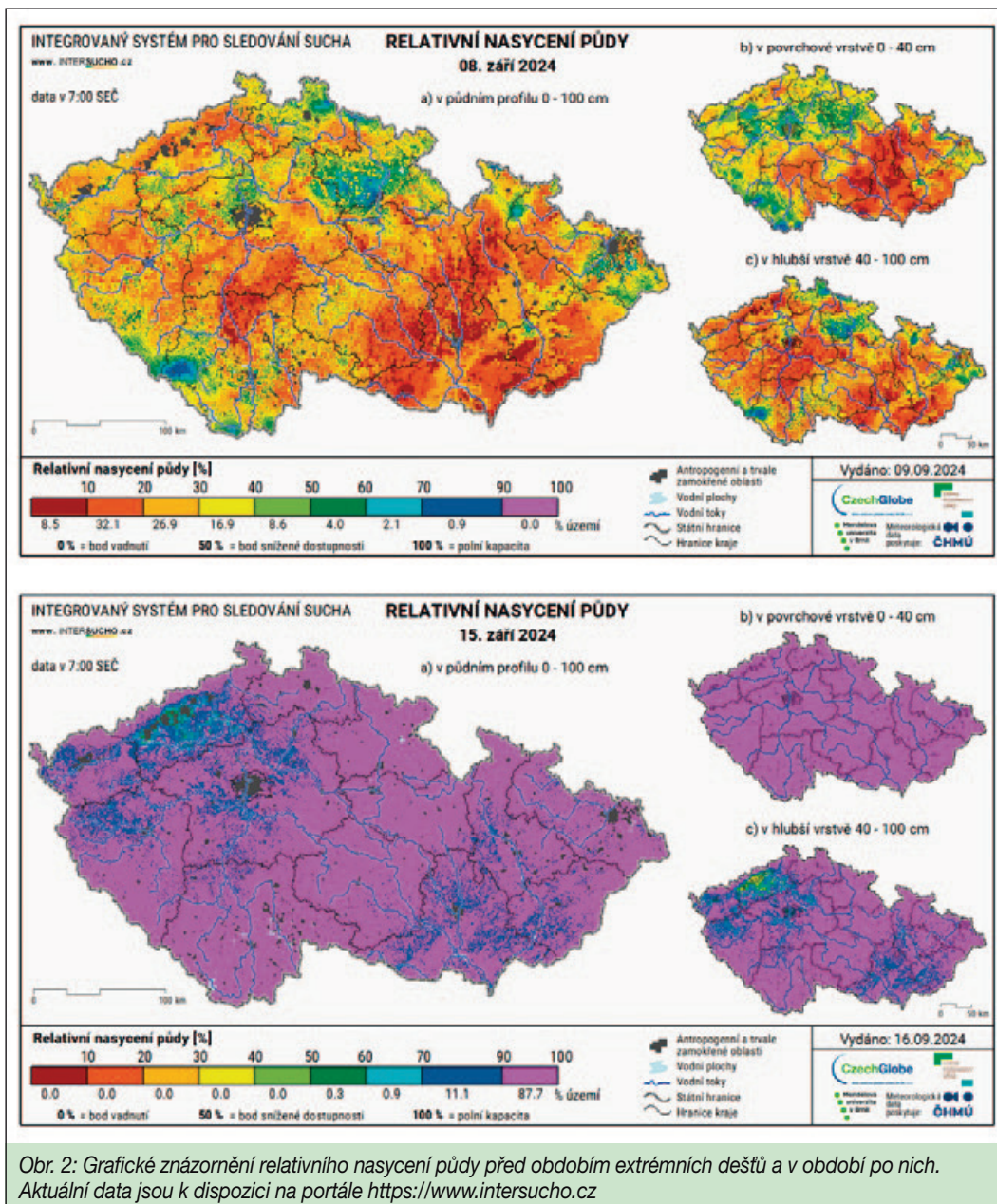
Tyto události podnítily srovnání s předešlými povodněmi, zejména s povodněmi z roku 1997. V roce 1997 byly srážky rozloženy do delšího časového období, ale povodňové vlny na řekách Moravě a Bečvě se setkaly v rozmezí několika hodin, což vedlo k jejich přelití a následným záplavám na velké části střední Moravy. V roce 2024 došlo k těmto intenzivním dešťovým srážkám v průběhu několika po sobě jdoucích dní. Přestože byly podmínky v tomto ohledu horší, škodám většího rozsahu bylo zabráněno díky časovému posunu kulminace toků Moravy a Bečvy. Částečnou ochranu regionu poskytlo i vyhlížení Moravy v oblasti Litavle, které snížilo tlak na dolní úseky toku. Přesto se v celém regionu vyskytly lokální problémy, zejména v důsledku

omezení odtoku menších vodních toků a vzestupu hladin podzemních vod (Obrázek 2).

Následkem vzestupu podzemních vod a omezeného povrchového odtoku došlo ke vzniku dlouhodobých vodních ploch na zemědělské půdě, které přetrvávají i měsíc po záplavách (Obrázek 3). Na těchto lokalitách se často nacházejí stojící porosty, u kterých není možné provádění běžných agrotechnických zásahů, sklizně a melioračních opatření.

### Fyzikální dopady nadbytku vody na půdu a rostliny

Zaplavení půdy má zásadní vliv na její fyzikální vlastnosti a tím i na růst plodin. Jedním z hlavních problémů je přesytení půdy vodou, které způsobuje několik nežádoucích jevů. Když je půda plně nasycena, výrazně se snižuje množství dostupného kyslíku, což vede k hypoxii nebo úplné anoxii v půdním prostředí. Kořeny rostlin vyžadují pro své metabolické procesy, včetně respirace, dostatek kyslíku, jehož přísun je za těchto podmínek omezen. Tento stav zpomaluje nebo úplně zastavuje růst kořenového systému a následně omezuje schopnost rostlin přijímat vodu a živiny. Následkem je snížená transpirace – proces, kterým



rostliny regulují svůj vodní režim. Kromě toho se zhoršuje mechanická stabilita půdy, což může vést k dalšímu poškození kořenového systému a k vyvrácení rostlin.

Dalším důležitým fyzikálním dopadem zaplavení je změna mikroklimatu v postižených oblastech. Zvýšená vlhkost vzduchu omezuje výpar a zhoršuje odvod přebytečné vody z ekosystému.



Obr. 3: Vzniklé vodní plochy na polích znemožňují vjezd agrotechniky a výsev ozimých plodin. Foto: Bleša (10. 10. 2024)

Dlouhodobé zaplavení půdy vede také k degradaci její struktury. Ztráta přirozené pórovitosti omezuje schopnost půdy absorbovat vodu po budoucích srážkách, a tím zvyšuje riziko opakovaných záplav. Po opadnutí vody je půda často náchylná k erozi, vedoucí k odplavování živin a organické hmoty, nezbytné pro udržení úrodnosti. Navíc může dojít k utužení povrchové vrstvy, což dále komplikuje obnovu půdní struktury a regeneraci rostlin. Tento kombinovaný proces půdní eroze a degradace výrazně snižuje její dlouhodobou produktivitu a vyžaduje nákladné meliorační zásahy pro obnovu její původní kvality.

#### Fyziologie rostlin na zaplaveném stanovišti

Nadbytek vody v substrátu představuje pro fyziologické fungování rostlin výzvu (Obrázek 4). Jedním z nejvýznamnějších stresových faktorů je hypoxie, tedy nedostatek kyslíku v půdě. Při extrémních srážkách bývá půdní prostředí rychle nasyceno, dochází k vytlačování vzduchových kapes z půdy a tím je omezena dostupnost kyslíku pro kořenový systém. Rostliny, které jsou přizpůsobeny aerobním podmínkám, jsou následně nuceny přejít na anaerobní metabolismus. Tento proces je výrazně méně účinný než aerobní respirace z hlediska produkce energie v buňkách kořenů. V důsledku toho je růst rostlin zpomalen a jejich schopnost absorbovat živiny výrazně snížena.

Hypoxie způsobuje stres z nedostatku kyslíku, který má přímý dopad na celkovou energetickou bilanci rostlin. Omezený přístup kyslíku narušuje dýchání rostlin a vede ke snížení tvorby adenosin trifosfátu (ATP), klíčového energetického zdroje buněk. Zároveň je omezená fotosyntéza, protože stresové podmínky v kořenovém systému

ovlivňují vodní bilanci a transport živin, který ovlivňuje schopnost rostlin syntetizovat organické látky z oxidu uhličitého.

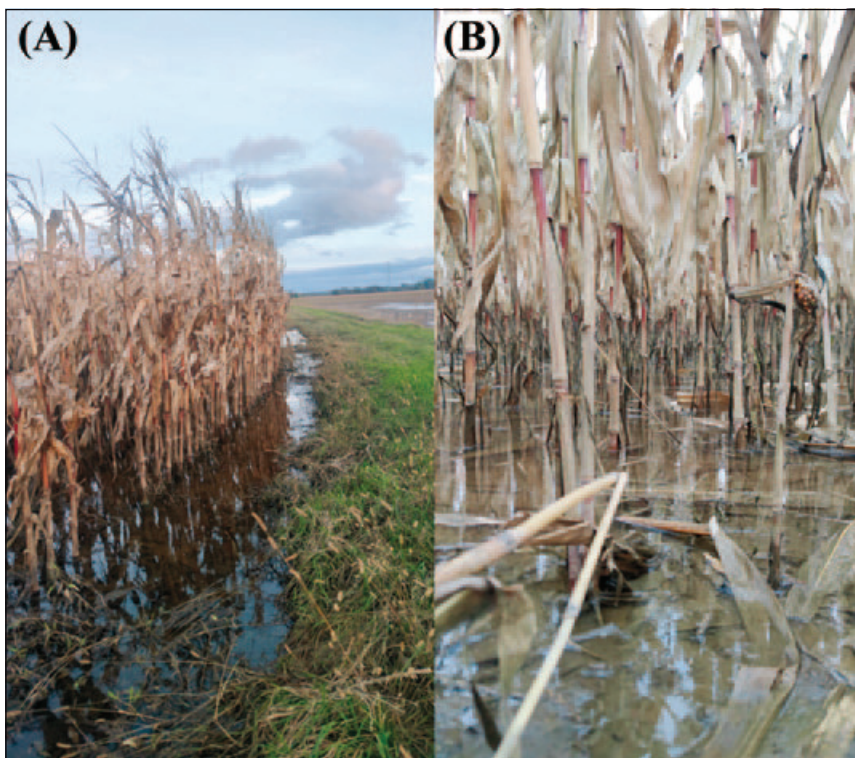
Zaplavení rovněž negativně ovlivňuje samotnou strukturu kořenového systému. Nedostatek kyslíku v půdě a hromadění toxických látek, jako jsou redukované sloučeniny železa nebo sirovodík a narušuje buněčné struktury kořenů. Rostliny v zaplavené vodě vytvářejí nejrůznější adaptace, například tvorbu aerenchymu, růst adventivních kořenů, tvorbu apoplastických bariér apod. Záleží ovšem na rostlinném druhu a fázi vývoje. Kromě toho jsou rostliny v zaplavených oblastech náchylnější k infekcím půdními patogeny, které prosperují v anaerobních podmínkách. Patogeny, jako jsou různé druhy hub a bakterií, napadají oslabený kořenový systém a způsobují snížení vitality rostlin nebo jejich odumření.

V reakci na záplavy rostliny aktivují různé stresové mechanismy. Významnou reakcí rostlin na záplavy je zvýšená produkce fytohormonu ethylenu. Tento hormon hraje klíčovou roli ve zvyšování citlivosti rostlin na stres a může způsobit předčasné stárnutí listů, opadávání květů a snížení celkové vitality rostlin. Etylen také reguluje růst kořenů a listů, což v kombinaci se záplavovými podmínkami může vést k dalšímu omezení růstu rostlin a jejich adaptivních schopností.

Na druhou stranu slouží jako signální molekula pro syntézu nových proteinů v rámci adaptivní odpovědi, které rostlině umožní překonat anaerobiózu.

#### Chemické změny v půdě

Záplavy výrazně mění chemické vlastnosti půdy, přičemž klíčovou roli hraje pokles redoxního potenciálu. Redoxní potenciál je míra schopnosti půdy přijímat nebo darovat elektrony, a je



Obr. 4: (A) Snímek zaplaveného okraje pole kukuřice (*Zea mays*); (B) přezrálé rostliny kukuřice v zaplavené lokalitě. Foto: Bleša (10. 10. 2024)

úze spojen s přítomností kyslíku. Při zaplavení dochází k rychlému vyčerpání dostupného kyslíku v půdě, což vede k přechodu do redukčních podmínek. Tento pokles redoxního potenciálu mění chování mnoha chemických sloučenin v půdě a způsobuje denitrifikaci – proces, při kterém dochází k redukci dusičnanů ( $\text{NO}_3^-$ ) na plynný dusík ( $\text{N}_2$ ) nebo oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Dalšími chemickými změnami jsou tvorba toxických látek, jako jsou sulfidy, metan nebo redukované sloučeniny železa a manganu ( $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Mn}^{2+}$ ), které mohou být škodlivé pro růst rostlin i pro mikrobiální život v půdě.

Jedním z důsledků dlouhodobého zaplavení půdy je také ztráta živin. Přebytek vody v půdě podporuje procesy vyluhování, při kterých jsou živiny, jako je dusík, fosfor a draslík, vyplavovány z povrchových vrstev půdy. To vede ke snížení jejich dostupnosti pro rostliny a má negativní dopad na jejich růst a výnosy. Změna pH a redoxního potenciálu může mít i za důsledek uvolňování těžkých kovů, jako jsou kadmium, olovo nebo zinek, které byly dříve fixovány v oxidačních formách.

### Mikrobiální ekologie a půdní organismy

Přemokření významně ovlivňuje mikrobiální společenstvo v půdě, přičemž jedním z hlavních dopadů je přechod z aerobních na anaerobní organismy. Za normálních podmínek dominují v půdě mikroorganismy, které vyžadují kyslík pro svůj metabolismus, včetně mnoha symbiotických hub a bakterií, jako jsou mykorrhizní houby a dusík fixující bakterie rodu *Rhizobium*. Tyto organismy hrají klíčovou roli v podpoře růstu plodin tím, že zlepšují příjem živin, zejména dusíku a fosforu. Nicméně, během záplav jsou tyto aerobní mikroorganismy vytlačeny anaerobními druhy, které jsou schopné přežít a prosperovat v prostředí s nízkým obsahem kyslíku. To vede k narušení symbiotických vztahů, se všemi důsledky pro ekosystém, například ke snížení dostupnosti živin pro rostliny.

Na druhé straně jsou některé mikroorganismy schopné se přizpůsobit anaerobním podmínkám a hrají důležitou roli při jejich adaptaci. Anaerobní bakterie provádějící denitrifikaci, jsou aktivovány, když v půdě dojde k poklesu kyslíku. Další skupinou významných mikroorganismů jsou methanogenní archaea, která produkují metan ( $\text{CH}_4$ ) jako vedlejší produkt svého metabolismu. Methanogeneze je dalším příkladem přizpůsobení mikroorganismů anaerobním podmínkám, avšak přispívá k uvolňování skleníkových plynů.

Záplavy rovněž vytvářejí příznivé podmínky pro růst mikroorganismů, které mohou vážně ohrozit zdraví rostlin. Anaerobní podmínky snižují odolnost rostlin proti napadení fytopatogenními druhy rodu *Pythium* nebo *Phytophthora*, které způsobují hnilobu kořenů a další choroby rostlin. Tyto patogeny mohou využít oslabené kořenové systémy rostlin vystavených stresu z hypoxie. Půda se tak stává nejen prostředím s omezenými zdroji živin, ale i potenciálním rezervoárem škodlivých organismů, které ztěžují regeneraci porostů po záplavách.

Neméně významné je i přemnožení bodavě-savého hmyzu, tedy komárů, ovádů a muchniček, kteří nemají v těchto zaplavených porostech přirozených nepřátel a často se v teplé vodě masivně rozšiřují jejich množství. Kromě nepříjemňování života člověku a dalším teplokrevným živočichům, jsou přenašeči závažných onemocnění.

Mikrobiální ekologie v zaplavených půdách tak hraje zásadní roli nejen při zhoršování podmínek pro růst rostlin kvůli ztrátě prospěšných organismů a nárůstu patogenů, ale také při chemických změnách, které ovlivňují dlouhodobou kvalitu a produktivitu půdy.

### Ekonomické dopady

Záplavy v zemědělských oblastech přinášejí značné ekonomické ztráty, především v podobě nižších výnosů plodin a snížení kvality produkce. Přímé ztráty jsou způsobeny neschopností rostlin efektivně růst v podmínkách s přebytkem vody vedoucí k výraznému poklesu výnosů. Kvalita plodin je také často zasažena – například nadměrná vlhkost zvyšuje riziko napadení plodin plísněmi a patogeny, přičemž snižuje jejich tržní hodnotu. Dalšími faktory je zamezení sklizně zaplavených plodin a nemožnost založení porostů nových (Obrázek 5).

Náklady spojené s obnovou půdy po záplavách jsou rovněž značné. Investice do revitalizace půdy a prevence dalších záplav zahrnují zlepšení drenážních systémů, obnovu půdní struktury, aplikaci hnojiv a dalších prostředků pro navrácení úrodnosti. Z dlouhodobého hlediska mohou opakované záplavy snížit hodnotu zemědělské půdy a zvýšit náklady na pěstování plodin, což ještě více ohrožuje ekonomickou stabilitu farmářů v postižených oblastech.

Biotechnologická řešení, jako je šlechtění plodin tolerantních k hypoxickým podmínkám, mohou zlepšit produktivitu v záplavových oblastech, v současné době se však spíše pozornost



Obr. 5: Víceletý porost vojtěšky seté (*Medicago sativa*) s postupně vysychající vodní plochou. Hnědé části pole jsou shnilé rostliny, které jsou zdrojem infekcí dalších porostů. Samovolná regenerace již není možná. Foto: Bleša (10. 10. 2024)

zaměřuje na odolnost ke stresu z nedostatku vody. Pro dlouhodobou revitalizaci půdy je nezbytná obnova její struktury a chemického složení, včetně aplikace organických hnojiv, mulčování a mikrobiálních aditiv, které podporují regeneraci půdní mikroflóry.

## Souhrn

Záplavy mají zásadní dopad na zemědělskou půdu i plodiny, přičemž snižují dostupnost kyslíku v půdě, narušují fyziologii rostlin a vedou ke změnám v chemických vlastnostech půdy. Tyto faktory přispívají k nižším výnosům, vyššímu výskytu chorob a degradaci půdní struktury. Změny v mikrobiálním společenstvu, které se přizpůsobují anaerobním podmínkám, dále zhoršují situaci a podporují růst patogenů, což vede k dlouhodobému snížení produktivity půdy.

S ohledem na budoucí vývoj klimatu, který pravděpodobně přinese více extrémních povětrnostních jevů, jako jsou častější a intenzivnější dešťové srážky, je nutné přizpůsobit zemědělské systémy a strategie na úrovni krajinného plánování. Klíčovými opatřeními jsou zlepšení vodního managementu v krajině, rozvoj biotechnologických řešení a zajištění dlouhodobé revitalizace půdních ekosystémů.

/Recenzováno/

## Poděkování

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO1123.

## Literatura a odkazy

- Nasyčení půdního profilu – portál Intersucho. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/cz/mapy/nasyzeni-pudniho-profilu/>. [cit. 2024-10-09].
- Literatura k tématu je k dispozici u autorů. Přesto přikládáme seznam stěžejních prací, které tvoří základ pro tento článek a poskytují hlubší pohled na problematiku vlivu záplav na půdu a plodiny.
- Conrad, R. (2007). Microbial ecology of methanogens and methanotrophs. *Advances in agronomy*, 96, 1-63.
- Fukao, T., & Bailey-Serres, J. (2004). Plant responses to hypoxia—is survival a balancing act?. *Trends in plant science*, 9(9), 449-456.
- Ricard, B., Couée, I., Raymond, P., Saglio, P. H., Saint-Ges, V., & Pradet, A. (1994). Plant metabolism under hypoxia and anoxia. *PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY-PARIS*, 32, 1-1.
- Sánchez-Rodríguez, A. R., Hill, P. W., Chadwick, D. R., & Jones, D. L. (2017). Crop residues exacerbate the negative effects of extreme flooding on soil quality. *Biology and fertility of soils*, 53, 751-765.
- Unger, I. M., Kennedy, A. C., & Muzika, R. M. (2009). Flooding effects on soil microbial communities. *Applied Soil Ecology*, 42(1), 1-8.
- Unger, I. M., Motavalli, P. P., & Muzika, R. M. (2009). Changes in soil chemical properties with flooding: A field laboratory approach. *Agriculture, ecosystems & environment*, 131(1-2), 105-110.

## Cordycipitaceae – méně známé houby agrosystémů jako kandidáti pro biologickou ochranu

(*Cordycipitaceae – less known fungi of agro-systems as candidates for biological control*)

Bleša Dominik, Antalová Zuzana, Matušinský Pavel, Zavřelová Marta  
Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, 76701 Kroměříž

**Souhrn:** Entomopatogenní houby rodu *Cordyceps* a jejich anamorfní stádia, jako *Beauveria bassiana* a *Lecanicillium lecanii*, jsou přirozenou součástí ekosystémů s vysokou úrovní biodiverzity, a to včetně zemědělských ekosystémů. V takových prostředích se mohou vyskytovat jako přirození regulátoři populací hmyzu. Tato vlastnost hraje klíčovou roli v udržování rovnováhy mezi škůdci a jejich predátory, čímž přispívají ke zdravému fungování ekosystému. Na polích s dostatečnou biodiverzitou se tyto houby mohou rozvíjet jako přirozená biologická agens regulující populaci škůdců, čímž snižují nutnost potřeby chemických pesticidů.

Často je můžeme nalézt jako endofytické organismy v pletivech rostlin, které chrání a podporují jejich růst. Také se stávají důležitou součástí půdního mikrobiomu. Přítomnost těchto hub zvyšuje celkovou odolnost agrosystému, protože zlepšují zdraví rostlin a snižují dopady environmentálních stresů. Výskyt hub rodu *Cordyceps* v produkčních systémech tak podporuje ekologickou stabilitu a dlouhodobou udržitelnost produkce.

**Klíčová slova:** *Cordyceps militaris*, *Lecanicillium lecanii*, *Beauveria bassiana*, biologická ochrana, endofytismus, biotechnologie, ekologie

**Abstract:** Entomopathogenic fungi of the genus *Cordyceps* and their anamorphic stages, such as *Beauveria bassiana* and *Lecanicillium lecanii*, are a natural part of ecosystems with a high level of biodiversity, including agricultural ecosystems. In such environments, they can occur as natural regulators of insect populations. This ability plays a key role in maintaining the balance between pests and their predators, thus contributing to the healthy functioning of the ecosystem. In fields with sufficient biodiversity, these fungi can be used as natural biological agents regulating pest populations, thus reducing the need for chemical pesticides.

They can often be found as endophytic organisms within the plant tissues, protecting and promoting plant growth. They also become an important part of the soil microbiome. The presence of these fungi increases the overall resilience of the agro-system by improving plant health and reducing the impact of environmental stresses. The presence of *Cordyceps* in production systems promotes ecological stability and the long-term sustainability of production.

**Key Words:** *Cordyceps militaris*, *Lecanicillium lecanii*, *Beauveria bassiana*, biological control, endophytism, biotechnology, ecology