

Výzkum environmentálně relevantních mikroplastů pomocí technik laserové spektroskopie

Plasty patří mezi nejrozšířenější antropogenní materiály současnosti a jejich fragmenty představují významnou složku znečištění všech abiotických i biotických složek životního prostředí. Mikroplasty byly již detekovány v pedosféře, hydrosféře i atmosféře a rovněž v široké škále organismů, od planktonu až po člověka. Zjištění mikroplastů v ovoci a zelenině (např. v jablkách, rajčatech či pšenici) naznačuje, že tyto částice mohou pronikat do rostlinných tkání a následně i do potravního řetězce člověka.

Přibližně 90 % dosud publikovaných studií se soustředí na jejich výskyt ve vodním prostředí a ve vodních organismech, zatímco pozornost věnovaná suchozemským ekosystémům, zejména rostlinám, zůstává relativně omezená. Právě rostliny přitom představují klíčovou biotickou složku, která zprostředkovává přenos látek mezi půdou, vodou a atmosférou a zároveň tvoří základ potravních řetězců.

Dosavadní výzkumy ukazují, že přítomnost mikroplastů může ovlivnit růst, klíčivost, fotosyntézu i metabolismus rostlin, přičemž mechanismy těchto interakcí a jejich ekologické důsledky zatím nejsou dostatečně objasněny. Studium mikroplastů v rostlinách je proto významným tématem environmentální analytické chemie, které vyžaduje využití pokročilých instrumentálních metod, zejména laserových spektroskopických technik.¹

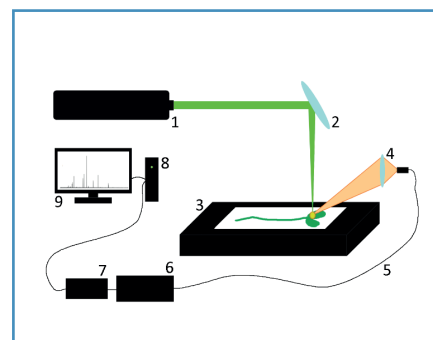
Mikroplasty jsou pevné polymerní částice o velikosti přibližně 1–1000 µm, které se v prostředí vyskytují v široké škále tvarů a morfologií – od vláken přes fragmenty až po sféry. Dělí se na primární mikroplasty, vznikající cílenou výrobou (např. v kosmetickém, farmaceutickém či průmyslovém sektoru), a sekundární mikroplasty, které pocházejí z degradace větších plastových výrobků vlivem fyzikálních, chemických a biologických procesů. Kromě samotného polymeru obsahují mikroplasty celou

řadu aditiv, např. změkčovadla, stabilizátory, barviva či zpomalovače hoření, která mohou výrazně ovlivnit jejich interakce s okolním prostředím, sorpční schopnosti i toxicitu. V důsledku těchto vlastností představují mikroplasty komplexní kontaminant s vysokou chemickou i fyzikální heterogenitou.²

Pro jejich identifikaci a klasifikaci se v současnosti nejčastěji využívají dvě spektroskopické metody, zejména Ramanova spektroskopie a infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR, z angl. Fourier Transform Infrared Spectroscopy), které umožňují přesné určení polymerního složení jednotlivých částic.³ V posledních letech se však rychle rozvíjejí i nové laserové analytické techniky schopné poskytnout doplňující informace o prvkovém složení, přítomnosti kontaminantů či interakcích mikroplastů s dalšími složkami prostředí.⁴

Mezi techniky, které nabízejí zajímavou alternativu v analýze mikroplastů, patří spektroskopie laserem buzeného plazmatu (LIBS, z angl. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy). Jedná se o prvkovou emisní metodu umožňující přímou analýzu pevných, kapalných i plyných vzorků (zjednodušené schéma instrumentace viz obrázek 1). Mezi hlavní přednosti techniky patří rychlost, nízké provozní i pořizovací náklady, minimální destruktivnost, možnost měření in-situ a schopnost analyzovat jednotlivé částice přímo v testované matici, například v rostlinných tkáních, bez nutnosti jejich izolace.

V analýze mikroplastů poskytuje LIBS informace nejen o typu polymeru, ale především o přítomných iontech pocházejících z aditiv či o adsorbovaných prvcích z okolního prostředí. Získaná spektra lze využít pro tzv. fingerprintingovou identifikaci jednotlivých druhů plastů a pro odlišení environmentálně modifikova-



Obrázek 1: Schematický obrázek typické LIBS měřicí sestavy. 1) laserový zdroj, 2) zaostřovací optika, 3) držák na vzorek, 4) sběrná optika, 5) optické vlákno, 6) spektrometr, 7) detektor, 8) počítač, 9) příklad prvkového spektra.

zdroj: Modlitbová a kolektiv, 2021⁶

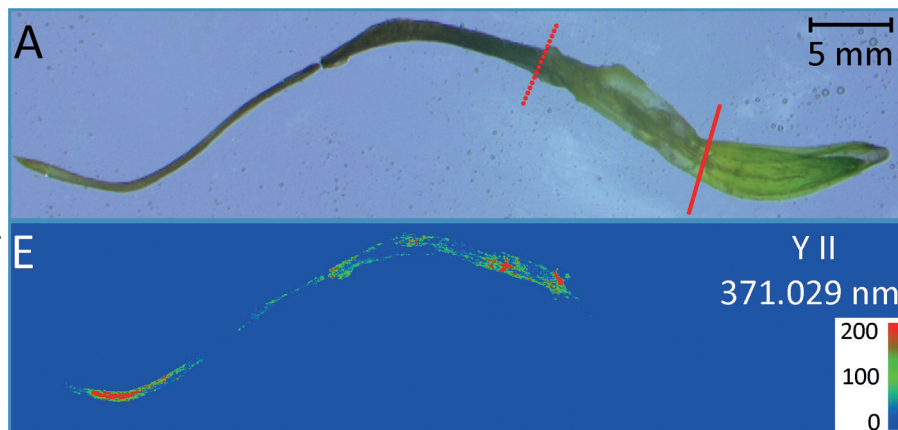
ných částic od původních („pristine“) mikroplastů. Významný pokrok v posledních letech přineslo zapojení pokročilých vícerozměrných metod zpracování dat, zejména analýzy hlavních komponent (PCA, z angl. Principal Component Analysis), která umožňuje efektivní třídění a interpretaci rozsáhlých spektrálních souborů.

V naší nejnovější práci jsme právě díky PCA vyhodnocení naměřených spekter dokázali rozlišit shodný typ mikroplastů, který byl, či naopak nebyl vystaven procesu stárnutí, a to jak v abiotických, tak v biotických podmínkách.⁵

Přehledový článek z roku 2025 dále systematicky shrnuje dosavadní využití techniky LIBS pro analýzu mikroplastů a dokumentuje její posun od modelových experimentů k environmentálně relevantním vzorkům a biologickým maticím.⁴ Bylo prokázáno, že laserové ablační metody umožňují detailní charakterizaci mikroplastů v různých typech matic, včetně biologických. Dosavadní experimenty potvrdily možnost spolehlivé identifikace polymerů, stanovení prvkového složení i detekce stopových kovů adsorbovaných na povrchu mikročástic. Kombinace Ramanovy spektroskopie a LIBS, případně

”

Přítomnost mikroplastů může ovlivnit růst, klíčivost, fotosyntézu i metabolismus rostlin.



Obrázek 2: A) Mikroskopický snímek rostliny *Zea mays* po 168hodinové expozici vodné disperzi foton-upkonverzních nanočástic obsahující yttrium. Plná červená čára odděluje podzemní a nadzemní část rostliny, tečkovaná červená čára odděluje kořen a koleoptil. E) LIBS mapa prostorového rozložení yttria (Y II 371,029 nm). Stupnice znázorňuje intenzitu emisních čar.

dalších technik, jako je laserová ablace s hmotnostní spektrometrií v indukčně vázaném plazmatu (LA-ICP-MS, z angl. Laser Ablation – Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), se ukázala jako mimořádně efektivní pro komplexní posouzení chemické a fyzikální transformace mikroplastů po jejich vstupu do životního prostředí.

Technika LIBS v poslední dekádě prokázala svůj významný přínos také pro prostorově rozlišenou prvkovou analýzu rostlin – například obrázek 2 ilustruje distribuci yttria v rostlinách po jejich krátkodobé expozici vybraným yttriovým nanočásticím.

Náš aktuální výzkum se zaměřuje na analýzu rostlin vystavených působení environmentálně relevantních mikroplastů

v hydroponických podmínkách v krátkodobých testech toxicity. V těchto experimentech jsou modelové rostliny (*Sinapis alba*, *Zea mays*) exponovány mikroplastům s přesně známým složením, tvarem a velikostí. Přesná charakterizace mikroplastů před a po expozici je klíčová pro pochopení jejich chování při kontaktu s kořenovým systémem rostlin ve vodné disperzi. Tyto informace jsou rovněž nezbytné pro optimalizaci parametrů měření experimentální sestavy, aby bylo možné spolehlivě rozlišit jednotlivé druhy mikroplastů. Stěžejní roli hraje příprava vzorku před samotným měřením, její optimalizace je nezbytná pro dosažení co nejlepších analytických výsledků s ohledem na opakovatelnost a reprodukovatelnost celé spektroskopické analýzy.



Laserové ablační metody umožňují detailní charakterizaci mikroplastů v různých typech matic.

Dalším směrem probíhajícího výzkumu je studium mikroplastů s navázanými ionty těžkých kovů či vybranými bakteriemi, které mohou působit synergicky a zvyšovat negativní účinky mikroplastů na rostlinné organismy. Cílem těchto studií je pochopit mechanismy transportu, bioakumulace a možné biochemické odpovědi rostlin a zároveň ukázat další přínosné možnosti využití technik LIBS a Ramanovy spektroskopie v analýze rostlin. Průběžné výsledky ukazují, že stěžejním vliv na chování mikroplastů v přítomnosti kořenového systému rostlin mají především jejich velikost a tvar a dále pak i druh testované modelové rostliny, detailní výsledky pak budou předmětem dalšího příspěvku.

ZDROJE A ODKAZY:

- [1] Shi Y, Shi L, Huang H, Ye K, Yang L, Wang Z, Sun Y, Li D, Shi Y, Xiao L and Gao S 2024 Analysis of aged microplastics: a review Environ. Chem. Lett. 22 1861–88
- [2] Fang C, Luo Y and Naidu R 2023 Microplastics and nanoplastics analysis: Options, imaging, advancements and challenges TrAC - Trends Anal. Chem. 166 117158
- [3] Toussaint B, Raffael B, Angers-Loustau A, Gilliland D, Kestens V, Petrillo M, Rio-Echevarria I M and Van den Eede G 2019 Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain Food Addit. Contam. - Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess. 36 639–73
- [4] Modlitbová, Pavlína, Brunnbauer, Lukas, Kalčíková, Gabriela, Fazlic, Aida, Limbeck, Andreas, Pořízka, Pavel. Kaiser J 2025 Laser ablation-based techniques for microplastic analysis: recent advances and applications 3044–62
- [5] Modlitbová P, Kočenda D, Holub D, Starin M, Novak J, Brunnbauer L, Limbeck A, Pořízka P, Putar U, Kalčíková G and Kaiser J 2026 Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for direct analysis of pristine and environmentally aged microplastics: A PCA-based approach 235
- [6] Modlitbová P, Střítežská S, Hlaváček A, Prochazka D, Pořízka P and Kaiser J 2021 Laser-induced breakdown spectroscopy as a straightforward bioimaging tool for plant biologists; the case study for assessment of photon-upconversion nanoparticles in Brassica oleracea L. plant Ecotoxicol. Environ. Saf. 214
- [7] Modlitbová P, Střítežská S, Hlaváček A, Šimoníková L, Novotný K, Pořízka P and Kaiser J 2022 The effects of co-exposures of *Zea mays* plant to the photon-upconversion nanoparticles; does the size or composition play an important role? Spectrochim. Acta - Part B At. Spectrosc. 197