

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov

Ústav rastlinnej produkcie

**doc. Ing. Katarína Olšovská, PhD.**

**EKOFYZIOLÓGIA RASTLÍN**

Nitra 2025

Vydala Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre  
vo Vydavateľstve SPU

**Autorka:** doc. Ing. Katarína Olšovská, PhD. (17,23 AH)

Ústav rastlinnej produkcie

FAPZ, SPU v Nitre

**Recenzenti:** prof. Ing. Peter Kováčik, CSc.

Ústav agrochémie a pôdoznanectva

FAPZ, SPU v Nitre

prof. Ing. Jaroslav Kmeť, PhD.

TU Zvolen

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 31. 3. 2025

ako skriptá pre študentov SPU v Nitre.

© K. Olšovská, Nitra 2025

ISBN 978-80-552-2851-8

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Obsah</b>                                                                          | <b>s.</b> |
| ZOZNAM SKRATIEK                                                                       | 5         |
| PREDHOVOR                                                                             | 7         |
| ÚVOD                                                                                  | 8         |
| 1. RASTLINY, PROSTREDIE A KLIMATICKÁ ZMENA                                            | 11        |
| 1.1. Distribúcia organizmov                                                           | 11        |
| 1.2. Komunikácia rastlín v premenlivom prostredí                                      | 12        |
| 1.3. Kompromisná povaha adaptačných reakcií                                           | 14        |
| 1.4. Adaptačné mechanizmy rastlín na klimatickú zmenu                                 | 16        |
| 1.5. Ekofyziologické reakcie rastlín na klimatickú zmenu                              | 18        |
| 2. PROCESY RASTU, PREMENY UHLÍKA A ENERGIE V RASTLINÁCH                               | 21        |
| 2.1. Fotosyntetická asimilácia uhlíka                                                 | 21        |
| 2.2. Fotosyntetické adaptácie rastlín na podmienky prostredia                         | 24        |
| 2.3. Dýchanie rastlín                                                                 | 32        |
| 2.4. Fotosyntéza individuálnych listov a porastu                                      | 34        |
| 2.5. Rast, prerozdeľovanie a alokácia biomasy v rastlinách                            | 36        |
| 2.6. Vplyv environmentálnych faktorov na rast rastlín                                 | 38        |
| 3. EFEKTÍVNOSŤ VYUŽITIA VODY RASTLINAMI                                               | 53        |
| 3.1. Rastliny, prostredie a voda                                                      | 53        |
| 3.2. Adaptácie rastlín na nedostatok vody                                             | 57        |
| 3.3. Regulácia strát vody v systéme pôda – rastlina – atmosféra                       | 60        |
| 3.4. Integrácia činnosti prieduchov v rámci celej rastliny: efektívnosť využitia vody | 62        |
| 3.5. Fyziologické faktory ovplyvňujúce efektívne využitie vody rastlinou              | 66        |
| 3.6. Agronomické a manažérske stratégie zlepšenia WUE                                 | 69        |
| 3.7. Produktivita vody                                                                | 74        |
| 4. VÝZNAM KOREŇA PRE ZÍSKAVANIE VODY A ŽIVÍN                                          | 80        |
| 4.1. Modifikácia rizosféry koreňmi                                                    | 81        |
| 4.2. Deficit kyslíka v koreňoch                                                       | 81        |
| 4.3. Vigorózný koreňový systém                                                        | 83        |
| 4.4. Získavanie fosforu koreňmi rastlín                                               | 90        |
| 4.5. Zmeny pH v rizosfére rastlín a prístupnosť živín                                 | 93        |
| 4.6. Alelopatický potenciál koreňov                                                   | 97        |
| 5. EKOFYZIOLOGICKÉ ASPEKTY MINERÁLNEJ VÝŽIVY RASTLÍN                                  | 101       |

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1. Príjem, transport a využitie N v rastlinách                          | 102 |
| 5.2. Faktory ovplyvňujúce príjem N                                        | 113 |
| 5.3. Príjem fosforu rastlinami                                            | 118 |
| 5.4. Príjem a transport draslíka koreňom                                  | 121 |
| 5.5. Tolerancia rastlín voči ťažkým kovom                                 | 124 |
| 5.6. Deficit vody alebo nedostatok svetla a deficit živín                 | 127 |
| 5.7. Ekologické aspekty minerálnej výživy rastlín                         | 129 |
| 6. EKOFYZIOLOGICKÉ VZŤAHY MEDZI RASTLINAMI A INÝMI ORGANIZMAMI            | 138 |
| 6.1. Symbióza koreňov rastlín s hrčkotvornými baktériami                  | 138 |
| 6.2. Vplyv endogénnych a exogénnych faktorov na biologickú fixáciu dusíka | 142 |
| 6.3. Vplyv minerálnych živín na biologickú fixáciu dusíka                 | 143 |
| 6.4. Mykoríza a získavanie živín                                          | 148 |
| 6.5. Úloha arbuskulárnej mykorízy vo výžive hostiteľskej rastliny         | 152 |
| 6.6. Sukcesia a koexistencia druhov v ekosystémoch                        | 155 |
| 6.7. Mykorízne vzťahy a kompetitívnosť druhov                             | 158 |
| 7. KOLOBEH UHLÍKA V EKOSYSTÉME A KLIMATICKÁ ZMENA                         | 163 |
| 7.1 Uhlík v systéme pôda – rastlina – atmosféra a jeho sekvestrácia       | 163 |
| 7.2. Pôdna organická hmota                                                | 166 |
| 7.3. Najdôležitejšie oblasti sekvestrácie uhlíka a ich potenciál          | 169 |
| 7.4. Vplyv klimatickej zmeny na pôdnu organickú hmotu a biodiverzitu      | 171 |
| 7.5. Vplyv klimatickej zmeny na pôdny organický uhlík                     | 173 |
| 7.6. Manažovanie pôdneho organického uhlíka v agroekosystéme              | 175 |
| 8. ZOZNAM LITERATÚRY                                                      | 179 |

## ZOZNAM SKRATIEK

ABA (abscisic acid) – kyselina abscisová

ASI (anthesis-silking interval) – rozdiel medzi kvitnutím samčích a samičích kvetenstiev kukurice vyjadrený v dňoch

ATP – adenosíntrifosfát

ATPáza – ATP syntáza

CAM (crassulacean acid metabolism) – metabolizmus C prevažne sukulentných druhov čeľade *Crassulaceae*

CdBP<sub>s</sub>-Cd fytochelát zo skupiny peptidov viažuci kadmium

$c_i$  – koncentrácia CO<sub>2</sub> v mezofyle listu

CUE (carbon use efficiency) – efektívnosť využitia uhlíka

ECM – ektomykoríza, resp. ektotrofná mykoríza

ET – aktuálna evapotranspirácia

ET<sub>0</sub> – potenciálna evapotranspirácia

FAO (Food Agricultural Organization) – Organizácia pre výživu a poľnohospodárstvo

FAR – fotosynteticky aktívna radiácia

GHGs (greenhouse gases) – skleníkové plyny

cHATS (constitutive high affinity transport system) – konštitučný vysoko-afinitný transportný systém

iHATS – (indukčný-i) vysoko-afinitný transportný systém

IAA (indoleacetic acid) – kyselina  $\beta$ -indolyloctová

IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change) – Medzivládny panel o klimatickej zmene

ITPS (Intergovernmental Technical Panel on Soil) – Medzivládny technický panel o pôde

KTK – kritický tlak kyslíka

LAI (leaf area index) – index listovej pokrývnosti

LAR (leaf area ratio) – relatívna listová plocha

cLATS (constitutive low affinity transport system) – konštitučný nízko afinitný transportný systém

LMR (leaf mass ratio) – relatívna hmotnosť listu

Mg – megagram (10<sup>6</sup> g)

MPa – megapascal (10<sup>6</sup> Pa) (jednotka tlaku)

MRT (mean resident time) – priemerný čas, počas ktorého N zostáva v rastline predtým, než dôjde k jeho strate odberom úrodou, opadom a pod.

NADH – nikotínamidadenínindinukleotid (redukovaná forma)

NADPH – nikotínamidadenínindinukleotid fosfát (redukovaná forma)

NADP<sup>+</sup> – nikotínamidadenín dinukleotid fosfát (oxidovaná forma)  
 NAR (net assimilation rate) – rýchlosť čistej asimilácie  
 NNI (nitrogen nutrition index) – dusíkový výživový index  
 NiR – nitrit reduktáza  
 NR – nitrát reduktáza  
 NUE (nitrogen use efficiency) – efektívnosť využitia dusíka  
 Pa (anorganický fosfor) – skratka pre anorganický fosfor  
 PFAL – plant factory with artificial light (rastlinná továreň s umelým osvetlením)  
 Pg – petagram; 1Pg C = 10<sup>15</sup>gC  
 PEPk – fosfoenolpyruvát karboxyláza  
 POC – pôdny organický uhlík  
 POH – pôdna organická hmota  
 ppm – part per milion = miliónť časť celku  
 PSII – fotosystém II  
 PT – produktivita transpirácie  
 PWP (permanent wilting point) – bod trvalého vädnutia  
 QTL – quantitative trait loci (kvantitatívne znaky na lokuse)  
 RC PSII – reaction center of photosystem II (reakčné centrum fotosystému II)  
 R/FR – pomer vlnovej dĺžky červeného ku vlnovej dĺžke dlhového červeného svetla  
 RGR (relative growth rate) – relatívna rýchlosť rastu  
 RMR (root mass ratio) – relatívna hmotnosť koreňa  
 ROS (radical oxygen species) – kyslíkové radikály  
 RT – rýchlosť transpirácie  
 RuBP karboxyláza – ribulózo-1,5-bifosfát karboxyláza  
 Rubisco – ribulózo-1,5-bifosfát karboxyláza/oxygenáza  
 RUE (radiation use efficiency) – efektívnosť využitia radiácie  
 SLA (specific leaf area) – špecifická listová plocha  
 SMR (stem mass ratio) – relatívna hmotnosť stonky  
 TCA (tricarboxylic acid) – kyselina trikarboxylová  
 TCH (touch-specific gene) – gény kódujúce mechanický dotyk  
 TK – transpiračný koeficient  
 UNEP (United Nations Environment Programme) – Environmentálny program OSN  
 UNEA-4 (United Nations Environment Assembly 4) – Environmentálny program OSN  
 VAM – vezikulárno-arbuskulárna mykoríza  
 WUE (water use efficiency) – efektívnosť využitia vody

## PREDHOVOR

Milí študenti, dostávajú sa vám do rúk skriptá „Ekofyziológia rastlín“, ktoré vyplňajú dlhoročnú medzeru v študijnej literatúre v tejto oblasti nielen v podmienkach SPU v Nitre, ale aj na Slovensku. Nájdete v nich mnohé aspekty života rastlín a ich správania v rôznom prostredí. Dozviete sa, ako rastliny realizujú svoje genetické založenie v konkrétnych environmentálnych podmienkach, ako rastú, vyvíjajú sa, ako získavajú a osvojujú si zdroje z prostredia, ktoré využívajú na stavbu a fungovanie svojho tela. Spoznáte tiež, ako reagujú na signály prichádzajúce z okolitého prostredia, ako ich transformujú cez svoju genetickú výbavu až do podoby regulačných nástrojov mobilizovaných v metabolizme buniek. Pomocou nich napokon optimalizujú všetky svoje fyziologické funkcie a procesy vo vzťahu k environmentálnym zmenám, ktoré na ne krátkodobo i dlhodobo pôsobia. Uvedomíte si, aké neuveriteľne flexibilné a plastické rastliny a celé rastlinné spoločenstvá sú a aké mechanizmy používajú, aby sa v každom momente svojej existencie dokázali prispôsobiť neustálym tlakom prichádzajúcim zvonka v podobe chorôb, škodcov, nepriaznivých fyzikálnych faktorov, či antropogénnej činnosti. Štúdiom zákonitostí ekofyziológie sa zároveň presvedčíte, aké potrebné sú rastliny pre náš život. Ľuďom i zvieratám poskytujú potravu, energiu a mnohé zdravotné benefity, ale plnia aj veľmi dôležité mimoprodukčné funkcie, prostredníctvom ktorých pôsobia ako stabilizátory zemských ekosystémov a atmosféry, aj ako regulátory klímy na globálnej i lokálnej úrovni. Sú dôležitou súčasťou kolobehu uhlíka a ďalších prvkov v systéme pôda – rastlina – atmosféra. Majme, prosím, neustále na pamäti, že náš pozemský život je založený na organickom uhlíku, pričom rastliny sú jeho dôležitým zdrojom!

Táto učebná pomôcka rozvíja poznatky o mechanizmoch fyziologických procesov rastlín, ktoré obohacuje o ekologický pohľad, s dôrazom na interakcie celistvých rastlín a rastlinných spoločenstiev s prostredím. V tomto kontexte je predmetná vedná disciplína posunutá skôr na úroveň celistvých rastlín až ekosystémovú úroveň, čo umožňuje odhaľovať potenciál a komplexnosť ekofyziologických interakcií a ich dopady na funkčnosť rastlín. Učebná pomôcka je určená predovšetkým pre študentov bakalárskeho a inžinierskeho stupňa štúdia FAPZ SPU v Nitre v rámci predmetov Ekofyziológia rastlín a Ekofyziológia plodín a drevín, ale uplatnenie si nájde aj u študentov doktorandského stupňa štúdia FAPZ SPU v predmete Ekofyziológia produkčného procesu.

Verím, že tento učebný text bude pre vás inšpiratívny a stane sa účinnou pomôckou pri vašom štúdiu prírodných a poľnohospodárskych ekosystémov.

V Nitre dňa 18. 3. 2025

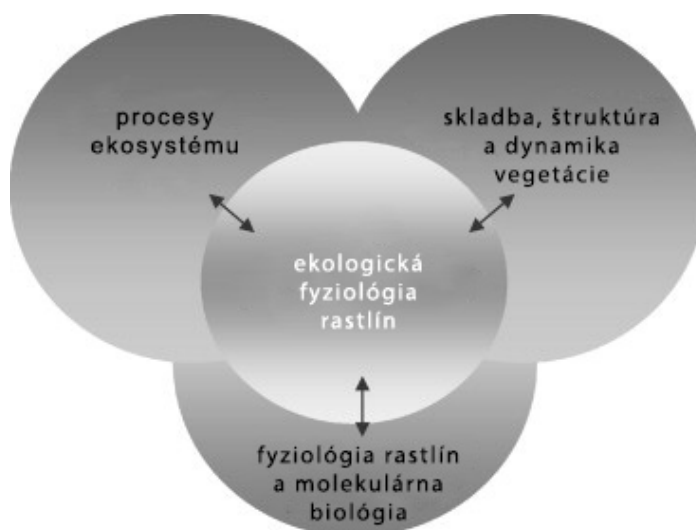
autorka

## ÚVOD

Rastlinná ekofyziológia je experimentálna veda, ktorá sa pokúša porozumieť fyziologickým mechanizmom, ktoré prebiehajú pri interakcii rastlín a rastlinných spoločenstiev s ich fyzikálnym, chemickým a biotickým prostredím.

Ekofyziológovia (označujú sa niekedy aj ako fyziologickí ekológovia) sa zaoberajú tým, akým spôsobom je kontrolovaný rast, reprodukcia, prežitie, početnosť a geografická distribúcia rastlín a ako sú tieto procesy ovplyvnené interakciami rastlín s ich prostredím. Tieto ekofyziologické vzorce a mechanizmy nám potom pomáhajú pochopiť funkčný význam špecifických znakov rastlín a ich evolučné dedičstvo.

Otázky kladené ekofyziológmi sú odvodené od vyššej úrovne integrácie, od ekológie v najširšom zmysle slova, vrátane praktických otázok vznikajúcich v poľnohospodárstve, záhradníctve, lesníctve a environmentálnom sektore. Na druhej strane ekofyziologické vysvetlenia a riešenia si často vyžadujú pochopenie mechanizmov na nižšej úrovni integrácie, pomocou fyziológie, biochémie, biofyziky a molekulárnej biológie (obr.1). Pre ekofyziológov je preto zásadné mať vysokú úroveň poznania ekologických otázok a problémov, ako aj biofyzikálnych, biochemických a molekulárnych metód a procesov. V ekosystémoch rastliny reagujú na prostredie predovšetkým fyziologickými procesmi na úrovni jedinca a jeho štruktúr, za ktorými stoja molekulárne mechanizmy a gény. Poznanie génov a manipulácia s nimi nám umožňuje zvládnuť regulačné procesy na úrovni metabolizmu a fyziologických procesov rastlín (Flexas, Gago, 2018). Takto moderní ekofyziológovia musia dobre rozumieť molekulárnym aspektom procesov prebiehajúcich v rastlinách a súčasne čo najpresnejšie vnímať fungovanie intaktných rastlín v ich environmentálnom kontexte.



Obr. 1. Integračné úrovne ekofyziológie rastlín (resp. fyziologickej ekológie rastlín)  
Zdroj: Beyschlag, Ryel, 2007

Avšak tie isté fyziologické procesy majú vážne účinky aj na samotné prostredie: zatieniajú pôdu, odstraňujú z pôdy živiny, transportujú vodu z pôdy do atmosféry, čím vysušujú pôdu a zvyšujú vlhkosť atmosféry. Tieto účinky rastlín sú rozsiahle a poskytujú základ pre vysvetlenie mechanizmov pôsobiacich vo veľkom merítke v komplexných štruktúrach, ako sú rastlinné spoločenstvá, ekosystémy a klimatické procesy (Chapin, 2003). Napríklad lesy, ktoré sa líšia len v druhovom zastúpení, sa môžu veľmi podstatne líšiť v produktivite a v rýchlosti kolobehu a obratu živín. Podobne rozdiely v priechodovej vodivosti a v hĺbke zakoreňovania medzi jednotlivými druhmi môžu významne ovplyvniť klímu na regionálnej až kontinentálnej úrovni.

Cieľom rastlinných ekofyziológov je teda poskytnúť vysvetlenie mechanizmov ekologických procesov súvisiacich s prežitím, distribúciou a početnosťou výskytu rastlín a ich interakciami s inými organizmami v danom prostredí (Dawson et al., 2020). Hľadajú odpovede na zásadné otázky, prečo napr. daný rastlinný druh žije práve tam, kde žije, akým spôsobom je schopný úspešne rásť a rozmnožovať sa práve tam a prečo sa v mnohých iných prostrediach tento druh vôbec nevyskytuje. Navyše aj riešenia mnohých sociálnych a ekonomických otázok súvisiacich s poľnohospodárstvom, zmenami životného prostredia a ochranou prírody tiež profitujú z ekofyziologických poznatkov.

V minulosti ako prví na tieto otázky poukázali geografi, ktorí aspoň čiastočne popísali globálnu distribúciu rastlín. Pozorujúc konzistentnosť morfológických znakov asociovaných s jednotlivými prostrediami dospeli k záveru, že rozdiely v morfológii rastlín musia byť dôležité pre ich distribúciu. Tieto pozorovania morfológických rozdielov dali podnet na skúmanie fyziologických znakov rastlín pochádzajúcich z kontrastných fyzikálnych prostredí (Larcher, 1984).

Druhý impulz pre rozvoj rastlinnej ekofyziológie vzišiel z potrieb praktického poľnohospodárstva a teoretickej fyziológie. Ešte aj dnes je poľnohospodárska produkcia v priemyselných krajinách redukovaná až do výšky 25 % jej potenciálu v dôsledku sucha, neúrodnej pôdy, chorôb a iných environmentálnych stresov. Hlavným cieľom poľnohospodárskeho výskumu bolo vždy vyvinúť plodiny, ktoré budú menej senzitívne na environmentálne stresy a aby boli schopné prekonať obdobia nepriaznivého počasia, alebo mohli byť pestované v menej priaznivých environmentálnych podmienkach. Z tohto dôvodu agronómovia a fyziológovia študovali mechanizmy, pomocou ktorých rastliny reagujú na environmentálne stresy. A pretože niektoré druhy rastlín rastú úplne prirodzene aj na extrémne chudobných, suchých alebo zasolených stanovištiach, ekofyziológov vždy zaujímalo poznanie mechanizmov, ktoré to umožňujú. Dnes ešte stále nevieme dobre odlíšiť pôsobenie rôznych spolupôsobiacich stresových faktorov (environmentálny stres ako kombinovaný stres) na fyziologické procesy rastlín. Nevieme dokonca ani poriadne vyhodnotiť dôležitosť jednotlivých morfológických a fyziologických adaptácií v reakcii na environmentálne stresy (Lombardini, Rossi, 2019).

Rastlinná ekofyziológia teda predstavuje štúdium fyziologických odoziev (reakcií) rastlín na prostredie, v ktorom žijú. Toto odvetvie vedy sa veľmi rýchlo vyvinulo ako relatívne dovtedy neprebádané rozhranie medzi ekológiou a základnou fyziológiou rastlín. Pritom ekológia hlavne nastoľuje otázky a fyziológia poskytuje nástroje umožňujúce popísať mechanizmy, pomocou ktorých sa na tieto otázky odpovedá. Úzku súvislosť medzi ekofyziológiou a fyziológiou reflektuje aj určitá variabilita názvu tejto disciplíny. Rastlinná ekofyziológia sa často synonymicky uvádza aj ako fyziologická ekológia rastlín, alebo ako tzv. vonkajšia ekológia rastlín (prevzatím z angličtiny často označovaná ako „outdórová“ fyziológia) (Lambers, 2008).

Početné množstvo vedcov ale aj organizácií dotujúcich rastlinný výskum sú toho názoru, že ekofyziológia rastlín už nie je takou dôležitou súčasťou ekologického výskumu, ako bola v minulom storočí. Na prelome miléníí ju skôr už považovali za rastlinnú autekológiu, v extrémnych prípadoch ju dokonca redukovali len na úroveň metodológie a poznatkov založených na meraniach výmeny plynov (gazometria). Pri bližšom nazretí do tejto vednej oblasti však zistíme, že jej zameranie na hierarchickú úroveň živých organizmov od celistvých rastlín, populácií, ekosystémov až po celú biosféru ju predurčuje na prepájanie práve tejto vyššej úrovne s úrovňou nižšou, t. j. celistvými rastlinami, fyziológiou rastlín až po molekuly a gény.

To znamená, že na otázky typu aký je vzťah medzi štruktúrou, distribúciou a dynamikou vegetácie a tokom látok a energie v spoločenstvách a ekosystémoch tejto vegetácie budeme vedieť odpovedať len vtedy, ak budeme poznať mechanizmy reakcií rastlín na prostredie, ich

vzájomné interakcie, ako aj interakcie s inými organizmami, s čím nám pomôže ekofyziológia rastlín. Na základe tohto zamerania môže mať ekofyziológia rastlín veľmi blízko k až experimentálnej ekológii, čo jej význam a potrebu pre ekologický výskum ešte znásobí (Beyschlag, Ryel, 2007). A určite sa nevyhne potrebe naďalej čerpať poznatky a skúsenosti aj z iných vedných disciplín, ktoré sú mimo typický ekologický, resp. ekofyziologický výskum.

Preto vedecký profil ekofyziológie rastlín (či fyziologickej ekológie rastlín) sa pre budúcnosť s najväčšou pravdepodobnosťou posunie do širšej perspektívy presahujúcej klasický ekologický vedecký výskum, teda do spektra zahŕňajúceho molekulárnu biológiu, rastlinnú fyziológiu, morfológiu, systematiku a mikrobiológiu, až po populačnú a systémovú ekológiu. Takýmto spôsobom vyrastie nová generácia ekológov s dostatočnou zásobou interdisciplinárnych poznatkov, ktorá im dovoľí objavovať ešte stále skryté poklady ekofyziológie rastlín, a tak dopĺňať chýbajúce poznatky do mozaiky pochopenia zákonitostí fungovania prírody a biosféry Zeme.

**Autorka:**

doc. Ing. Katarína Olšovská, PhD.

**Názov:**

EKOFYZIOLÓGIA RASTLÍN

Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Vydanie: prvé

Náklad: 100 ks

Rok vydania: 2025

Počet strán: 188

AH – VH: 17,23 – 17,51

Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU v Nitre.

**ISBN 978-80-552-2851-8**