

EKOFYZIOLOGICKÉ ASPEKTY NOVODOBÉHO ODUMIERANIA SMREČÍN V OBLASTI HORNÉHO SPIŠA A KYSÚC

Jaroslav Kmeť, Ľubica Ditmarová

Úvod

Je známe, že v oblasti Oravy, Kysúc, Tatier a Spiša sa v posledných rokoch zintenzívňuje hromadné odumieranie drevín, najmä smreka. Podobne postihnuté porasty sa nachádzajú aj v pohraničných oblastiach Poľska, ale aj v Českej republike, Nemecku a Taliansku. Sekundárne škodlivé činitele sa stávajú prvoradými a hospodársky závažnými v dôsledku toho, že pôsobia na fyziologicky oslabené stromy. Ich vplyv v slovenských lesoch sa napriek enormnému úsiliu vynaloženému na ich elimináciu neustále zvyšuje. Je tomu tak preto, lebo príčiny zhoršeného zdravotného stavu lesov nie sú zatiaľ presne známe. Len vo všeobecnosti sa predpokladá nepriaznivý vplyv komplexu faktorov, ako sú globálne zmeny klímy spojené so vzrastom priemerných teplôt ovzdušia a deficitom disponibilnej pôdnej vody, dlhodobé pôsobenie imisií pochádzajúcich z lokálnych ale i vzdialených zahraničných zdrojov, nízka stabilita rovnovekých, priestorovo málo diferencovaných monokultúr smreka, gradácia premnožovania biotických škodlivých činiteľov, najmä drevokazných húb, podkôrneho hmyzu a pod.

Priamou príčinou chradnutia lesných drevín je nesporne ich fyziologická nedostatočnosť, fyziologická porucha. Toto konštatovanie bezprostredne navodzuje otázku, čo je príčinou fyziologických porúch. Ucelené poznanie fyziológie chradnúcich stromov doteraz chýba. Je to zrejme dôsledok vedeckej zložitosti tejto oblasti a tiež atomizácie špecializácií, ku ktorej vývoj vedy dospel (KRÍSTEK 1996).

V rámci riešenia projektu APVV „Analýza príčin a návrh opatrení proti hromadnému odumieraniu smrečín v pohraničných oblastiach severného Slovenska“ bol uskutočnený multidisciplinárny výskum odumierania smrekových porastov v oblasti Horného Spiša a čiastočne Kysúc, pre ktorý bol prijatý predbežný pracovný názov „nešpecifické odumieranie smrečín“. Sledoval sa fyziologický stav smreka v rôznych vekových štádiách (sadenice, mladina a dospelé jedince) vo vzťahu k podmienkam prostredia so zameraním na asimilačné pigmenty, fluorescenciu chlorofylu *a* i minerálnu výživu.

Fotosyntetické pigmenty vo vzťahu k odumieraniu smreka

Na základe zhodnotenia získaných výsledkov koncentrácie chlorofylu u skúmaných vzorníkov dospelých jedincov smreka v rámci lokality Hliníky (Horný Spiš) a ich porovnania s výskumnou plochou na Prednej Poľane, kde sú stabilné smrekové porasty, môžeme konštatovať, že na zaťaženej lokalite v oblasti Spiša boli zistené výrazne nižšie koncentrácie chlorofylu v porovnaní s kontrolnou lokalitou na Poľane. Je to v súlade s poznatkami aj iných autorov (napr. MIKKELSEN *et al.* 1996, KIRCHGESSNER *et al.* 2003), ktorí uvádzajú, že s rastúcim priemerným stupňom poškodenia porastu klesá obsah chlorofylu i rýchlosť fotosyntézy a stúpajú hodnoty pomeru chl_a/chl_b. Zároveň i my môžeme konštatovať stúpajúce hodnoty pomeru chl_a/chl_b, nižšie hodnoty pomeru chlorofylov ku karotenoidom (C_{a+b}/C_{x+c}) na zaťaženej lokalite (Spiš) v porovnaní s kontrolnou plochou na Poľane. Pokles koncentrácie chlorofylov predstavuje „nižší potenciál“ pre fotosyntetické procesy a tým i produkciu daného porastu. Uvedené zistenie svedčí o horšom fyziologickom stave skúmaných dospelých jedincov smreka v oblasti Spiša v porovnaní s kontrolnou lokalitou na Poľane.

Ďalším výskumným zámerom bolo zhodnotenie úlohy fyziologického stavu stromu vo vzťahu k hynutiu a chradnutiu v rámci dvoch rozdielne postihnutých lokalít v regióne Spiša a Kysúc. Uskutočnili sme analýzu stresového zaťaženia jedincov smreka v rastovej fáze mladiny (vek asi 15 rokov) na dvoch lokalitách – Hliníky (Spiš) a Veľký Potok (Kysucké Beskydy).

Na základe zhodnotenia a porovnania získaných výsledkov koncentrácie chlorofylu u skúmaných vzorníkov v rámci i medzi jednotlivými experimentálnymi plochami môžeme konštatovať, že na výskumnej lokalite v oblasti Horného Spiša boli zistené o niečo nižšie koncentrácie chlorofylu v porovnaní s výskumnou lokalitou v oblasti Kysúc. Na základe uvedeného zistenia i na základe poznatkov opäť aj iných autorov (POLLE *et al.* 1992) môžeme znovu uviesť, že s rastúcim priemerným stupňom poškodenia porastu klesá koncentrácia chlorofylu i rýchlosť fotosyntézy a stúpajú hodnoty pomeru chl_a/chl_b.

Už v štádiu mladiny vykazujú smrekové porasty v oblasti Horného Spiša nepriaznivejšie hodnoty koncentrácie asimilačných pigmentov a ich vzájomných pomerov v porovnaní s lokalitou na Kysuciach, kde je problematika chradnutia a hynutia smrekových porastov tiež aktuálna.

Za účelom zhodnotenia zmien fyziologického stavu sadeníc smreka bol založený nádobový pokus v Arboréte Borová hora. Odobrali sme pôdny substrát z okraja porastu, kde už došlo k jeho intenzívnemu rozpadu (lokalita Hliníky, Horný Spiš) a tiež pôda z porastu buka z tejto oblasti (bez vplyvu smrekového opadu) ako porovnávaciu plochu (28. 4. 2004). Zároveň boli vyzdvihnuté sadenice smreka z plochy s akútnym rozpadom smrekového porastu na lokalite Hliníky v dvoch variantoch – s príznakmi žltnutia ihlič a relatívne zelené sadenice bez viditeľných príznakov depigmentácie. Ako základná porovnávacía báza boli použité voľnokorenné sadenice rovnakého veku zo škôlky v Smižanoch (Horný Spiš), evidenčné číslo 043448-020 (vek 1/2, trieda 20–25 cm). Cieľom tohto nádobového pokusu bolo sledovať predovšetkým vplyv pôdnych vlastností (tzv. „únavu“ pôdy) na fyziologický stav sadeníc smreka v horizonte dvoch rokov (2004–2005).

Na základe zhodnotenia a porovnania získaných výsledkov za rok 2004 a 2005 (sadenice boli vysadené do daného pôdneho substrátu v apríli 2004, odber ihlič sa uskutočnil v októbri 2004 a v septembri 2005) je zrejmé, že koncentrácie jednak chlorofylov *a*, *b* a tiež karotenoidov (karotény a xantofyly spolu) v mg.g⁻¹ sušiny boli vyššie vo všetkých variantoch, kde bola použitá pôda z bučiny (neovplyvnená priamo smrekovým opadom). Vyšší pomer chlorofylov ku karotenoidom bol taktiež zistený v sadenicích pestovaných v pôdnom substráte z bučiny. Platí to pre sadenice s príznakmi žltnutia asimilačných orgánov, pre relatívne zelené sadenice (bez viditeľnej depigmentácie ihlič) a tiež pre sadenice pochádzajúce zo škôlky v Smižanoch. Najvyššie priemerné hodnoty koncentrácií chlorofylov a karotenoidov boli zistené práve v sadenicích vyzdvihnutých v škôlke, ktoré boli následne vysadené do pôdneho substrátu pochádzajúceho z porastu buka na lokalite Hliníky (Horný Spiš). Je dôležité upozorniť najmä na nízke hodnoty celkového obsahu karotenoidov i pomeru chlorofylov ku karotenoidom najmä vo variantoch so substrátom spod smrekového porastu z hľadiska ich ochrannej funkcie asimilačného aparátu.

Výsledky získané na úrovni najnižšieho sledovaného vývinového štádia smrekových porastov – sadeníc smreka opäť svedčia o zníženej funkčnosti fotosyntetického aparátu u tých vzorníkov, ktorých rast bol priamo ovplyvnený substrátom zo zaťaženej plochy (lokalita Hliníky).

Fluorescencia chlorofylu *a* ako markér poškodenia jedincov smreka

Na tých istých konároch každého vzorníka dospelého smreka, z ktorých boli odoberané ihlice na analýzu asimilačných pigmentov, boli merané parametre rýchlej kinetiky fluorescencie chlorofylu *a*. Tieto parametre odrážajú stav a funkčnosť fotosyntetického aparátu ako jedného z najdôležitejších fyziologických systémov stromu. Metóda je založená na vysokej citlivosti fotosyntetického reťazca voči rôznym stresovým faktorom. Predmetom našich meraní boli kardinálne parametre rýchlej fázy fluorescencie javu (KMEŤ 1999), merané na ihliciach jednotlivých vzorníkov smreka priamo na mieste „in situ“, prenosným prístrojom – fluorimetrom Plant Efficiency Analyser (PEA, Hansatech Ltd., Kings Lynn, UK).

Na základe vlastných meraní so smrekom autori BOLHAR-NORDENKAMPF a GÖTZL (1992) uvádzajú konkrétne hodnoty vybraných parametrov fluorescencie chlorofylu *a* viažuce sa na fyziologický stav smreka (tab. 1).

Tabuľka 1 Príklad hodnôt F_v/F_m a F_0 v ihliciach smreka (BOLHAR-NORDENKAMPF, GÖTZL 1992)

	F_v/F_m	F_0
„Normal“	0,85	0,18
„Prahová hodnota porúch“	0,725	0,14
Centrá fotosyntézy deaktivované teplom		
Oblasť silných avšak reverzibilných porúch	>0,6	0,28
Inaktivované centrá		
Oblasť ťažkých, aj štruktúrnych porúch	>0,3	0,10

Na základe zhodnotenia základného parametra – pomeru variabilnej a maximálnej fluorescence (F_v/F_m) môžeme konštatovať postupne zhoršujúci sa fyziologický stav zostávajúceho asimilačného aparátu vybraných dospelých jedincov smreka, na ploche bez ako aj s príznakmi akútneho rozpadu daného porastu. Zistené výsledky potvrdzujú, že na oboch plochách (Hliníky) dochádza po predchádzajúcom fyziologickom poškodení ihlíc dospelých jedincov smreka k ich rýchlej defoliácii a ostávajúci asimilačný aparát, aj napriek tomu, že fotosyntetizuje, nedokáže zásobovať daný strom potrebnými organickými látkami. To potvrdili aj naše výskumy v rokoch 2004–2005, s výrazným vplyvom obdobia so zrážkovým deficitom (rok 2004). Tento negatívny proces prebieha v smrekových porastoch Horného Spiša veľmi rýchlo, čím sa sčasti aj odlišuje tento charakter odumierania smreka od oblasti Kysúc a Hornej Oravy.

Treba upozorniť, že v priebehu daného časového obdobia neboli zaznamenané fyziologické poruchy v priebehu primárnych procesov fotosyntézy u jedincov smreka v rastovej fáze mladiny. Na druhej strane, chronické zaťaženie aj mladých porastov smreka v tejto oblasti Spiša existuje (viď časť pigmenty a minerálna výživa).

Z priebehu kardinálného parametra rýchlej fázy fluorescence chlorofylu *a* (F_v/F_m) vyplýva, že predovšetkým spoločný účinok nepriaznivých pôdnych vlastností a nedostatku zrážok spôsobuje rýchle zhoršenie fyziologického stavu smreka už v štádiu sadeníc (v našom prípade hlavne v roku 2004).

Potvrdzuje to aj analýza variancie, kde predovšetkým pôdny substrát, dátum merania (predovšetkým vo vzťahu k zrážkam) a spoločný vplyv pôdneho substrátu a dátumu merania má štatisticky významný vplyv na pomer variabilnej a maximálnej fluorescence (F_v/F_m).

Minerálna výživa a jej podiel na zhoršovaní zdravotného stavu smrekových porastov

O rozsahu fyziologického poškodenia smreka v rôznych vekových štádiách v oblasti Horného Spiša vypovedá pomerne jednoznačne úroveň minerálnej výživy. Vychádzali sme z pomerne širokého spektra údajov autorov FIEDLER, HÖHNE (1985), BERGMANN (1988) a MAŇKOVSKÁ (1997).

V tabuľkách 2 a 3 sú zvýraznené (podčiarknuté hodnoty) nepriaznivé obsahy jednotlivých minerálnych prvkov a ťažkých kovov v ihliciach dospelých smrekov v oblasti Horného Spiša.

Tabuľka 2 Obsah minerálnych prvkov a ťažkých kovov v ihliciach dospelých jedincov smreka rastúcich na ploche s akútnymi príznakmi rozpadu daného porastu (Horný Spiš, dátum odberu: 27. 9. 2004, ročník ihlič: 2003)

Obsah minerálnych prvkov a ťažkých kovov v mg.kg ⁻¹ sušiny																	
Vzorník	N _T	S _T	P _T	K _T	Ca _T	Mg _T	Mn _T	Fe _T	Al _T	Zn _T	Cu _T	B _T	Ni _T	Cr _T	Cd _T	Pb _T	Hg _T
Sm 3	17 000	1 240	1 443	<u>2 339</u>	<u>3 832</u>	1 495	<u>1 587</u>	<u>248</u>	<u>274</u>	24,2	7,58	30,7	<0,20	0,282	0,048	1,48	0,056
Sm 32	14 000	1 020	1 322	<u>3 530</u>	4 021	<u>858</u>	1 239	<u>226</u>	<u>239</u>	17,7	6,46	28,4	3,18	0,119	0,096	1,88	0,063
Sm 36	12 500	1 930	1 193	<u>2 720</u>	<u>3 750</u>	1 037	1 236	167	<u>214</u>	19,1	6,18	24,2	3,73	0,157	0,105	<u>1,99</u>	0,061
Sm 37	15 200	1 490	1 456	<u>3 042</u>	4 002	1 209	1 458	<u>212</u>	<u>262</u>	16,8	6,74	28,8	4,42	0,209	0,034	0,86	0,054
Sm 38	16 500	1 390	1 709	<u>3 192</u>	8 002	1 075	<u>2 180</u>	<u>211</u>	<u>217</u>	24,9	5,37	23,8	1,07	0,404	0,068	<u>2,11</u>	0,063
Priemer	15 040	1 414	1 425	<u>2 965</u>	<u>4 721</u>	1 135	<u>1 540</u>	<u>213</u>	<u>241</u>	20,5	6,47	27,2	2,52	0,234	0,070	1,66	0,059

Tabuľka 3 Obsah minerálnych prvkov a ťažkých kovov v ihliciach dospelých jedincov smreka rastúcich na ploche bez akútnych príznakov rozpadu daného porastu (Horný Spiš, dátum odberu: 27. 9. 2004, ročník ihlič: 2003)

Obsah minerálnych prvkov a ťažkých kovov v mg.kg ⁻¹ sušiny																	
Vzorník	N _T	S _T	P _T	K _T	Ca _T	Mg _T	Mn _T	Fe _T	Al _T	Zn _T	Cu _T	B _T	Ni _T	Cr _T	Cd _T	Pb _T	Hg _T
Sm 10	19 500	1 830	<u>1 063</u>	<u>2 385</u>	<u>3 147</u>	915	<u>1 915</u>	65,5	133	11,9	3,80	22,3	2,36	0,102	0,071	0,84	0,042
Sm 13	15 800	1 110	1 349	<u>2 962</u>	5 685	1 147	<u>3 055</u>	165	<u>185</u>	33,3	6,03	23,6	<0,20	0,182	0,063	0,50	0,045
Sm 14	17 900	1 620	1 298	<u>2 091</u>	7 188	1 812	<u>3 508</u>	73,6	153	29,1	4,67	34,2	2,79	0,092	0,096	0,73	0,040
Sm 15	18 000	1 680	1 254	<u>2 745</u>	4 232	977	<u>3 182</u>	70,9	128	14,7	4,00	23,5	2,30	0,156	0,061	0,22	0,041
Sm 17	12 000	890	1 608	<u>2 930</u>	6 538	1 621	<u>3 445</u>	89,5	160	27,5	5,13	37,9	2,73	0,093	0,115	0,77	0,040
Priemer	16 640	1 426	1 314	<u>2 623</u>	5 358	1 294	<u>3 021</u>	92,9	152	23,3	4,73	28,3	2,08	0,125	0,081	0,61	0,042

Treba upozorniť na niekoľko závažných faktov. Snáď až na mladé jedince smreka vo veku 15 rokov, boli zistené vysoké obsahy mangánu (Mn_T), ktoré sa pohybujú v oblasti toxicity. Takto sa zo stopového prvku stáva škodlivý prvok. Takéto vysoké hodnoty boli zistené tiež v ihliciach sadeníc takmer vo všetkých variantoch pokusu, čo je veľmi zaujímavé.

Ďalším negatívnym zistením sú vysoké obsahy toxického hliníka, zvlášť v ihliciach dospelých smrekov na ploche s akútnymi príznakmi rozpadu porastu a tiež v ihliciach sadeníc, ktoré boli vysadené do pôdy pochádzajúcej z rovnorodého smrekového porastu. Je to odraz veľmi nízkeho pH/H₂O – 3,7 (pH/KCl – 3 až 2,8) a celkového vyčerpania pôdy spolu s nedostatkom prístupnej pôdnej vody. K rýchlemu rozpadu dospelých smrekových porastov prispieva aj nízky obsah bázických kationov (predovšetkým draslíka a čiastočne vápnika), čím nie je kompenzovaný toxický účinok mangánu a hlavne hliníka. Nízky obsah draslíka poukazuje tiež na nedostatočne fungujúci vodný režim ako pôdy tak aj jednotlivých jedincov smreka. Nebol potvrdený všeobecne predpokladaný nedostatok horčíka a tiež zvýšený obsah ťažkých kovov v ihliciach smreka rastúceho v oblasti Horného Spiša.

Podrobnejšie výsledky o charaktere minerálnej výživy (ale tiež o ďalších aspektoch rastu) v smrekových porastoch Kysúc budú známe v nasledujúcom výskumnom období (hlavne roky 2006 až 2007).

Záver

V rámci predbežného zovšeobecnenia niektorých výsledkov ekofyziologického výskumu odumierania smrekových ekosystémov je potrebné upozorniť predovšetkým na niektoré jeho aspekty:

- Totálne narušená minerálna výživa v oblasti Horného Spiša (vysoký obsah mangánu a hliníka, nízky obsah vápnika a predovšetkým draslíka v asimilačných orgánoch)
- Nízky obsah draslíka v ihliciach indikuje narušený vodný režim stromov
- Oslabený antioxidantný systém smrekových ihlíc ako v oblasti Horného Spiša tak i Kysúc (veľmi nízka koncentrácia karotenoidov), zvýšená citlivosť na “photochilling“ – troposférický ozón, nízke teploty a vysokú slnečnú radiáciu
- Nízka úroveň fotosyntetického procesu v zostávajúcom množstve ihlíc dospelých smrekov vedie k nedostatočnému zásobeniu asimilátmi jednotlivých jedincov smreka
- Vyčerpanie – „únava“ pôdy pod niekoľkými generáciami nepôvodných smrekových porastov v oblasti Horného Spiša je zrejmá
- Charakter fyziologického oslabovania smreka v jednotlivých rastových fázach (sadenice, mladina, kmeňovina) v oblasti Spiša má spoločné znaky, samozrejme svoju významnú úlohu tu zohráva časový faktor pôsobenia stresových faktorov.

Literatúra

- BERGMANN, W. 1988: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 762 pp.
- BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R., GÖTZL, M. 1992: Chlorophyllfluoreszenz als Indikator der mit der Seehöhe zunehmenden Stressbelastung von Fichtennadeln. FBVA-Berichte 67, p. 119 – 131.
- FIEDLER, H. J., HÖHNE, H. 1985: Mengen- und Spurenelementgehalt der Eibennadeln und Fichtennadeln in Abhängigkeit von biologischen und standortkundlichen Faktoren. In Mikronährstoffforschung. Publ. Ind. Pflanzenernährung Jena, p. 29 – 31.
- KIRCHGESSNER, H. D., REICHERT, K., HAUFF, R., STEINBRECHER, R., SCHNITZLER, J. P., PFÜNDEL, E. 2003: Light and temperature, but not UV radiation, affect chlorophylls and carotenoids in Norway spruce needles (*Picea abies* L. Karst.). Plant, Cell and Environment, 26, p. 1 169 – 1 179.

- KMEŤ, J. 1999: Fluorescencia chlorofylu ako indikátor stresového zaťaženia drevín a jej aplikácia v lesníctve. Vedecké štúdie, TU Zvolen, 67 pp.
- KŘÍSTEK, J., 1996: Chřadnutí lesů. Lesnická práce, 75(5): 166 – 167.
- MAŇKOVSKÁ, B. 1997: Koncentrácia nutričných a stopových elementov v asimilačných orgánoch smreka a buka ako environmentálny indikátor na Slovensku. Lesníctví, 43(3): 117 – 124.
- MIKKELSEN, N. T., HEIDE-JORGENSEN, H. S. 1996: Acceleration of leaf senescence in *Fagus sylvatica* L. by low levels of tropospheric ozone demonstrated by leaf colour, chlorophyll fluorescence and chloroplast ultrastructure. Trees, 10, p. 145 – 156.
- POLLE, A., MÖSSNANG, M., SCHÖNBORN, A., SLADKOVIC, P., RENNENBERG, H. 1992: Field studies on Norway spruce trees at high altitudes. New Phytol, 121, p. 89 – 99.

doc. Ing. Jaroslav Kmeť, PhD.

*Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen,
e-mail: kmet@vsld.tuzvo.sk*

RNDr. Ľubica Ditmarová, PhD.

Ústav ekológie lesa SAV, Štúrova 2, 960 53 Zvolen, e-mail: ditmarova@sav.savzv.sk
