

REAKCE SAZENIC A MLADŠÍCH POROSTŮ SMRKU ZTEPILÉHO A BOROVICE LESNÍ NA SIMULOVANÉ SUCHO

Eva Palátová
Oldřich Mauer

SUMMARY

RESPONSE OF NORWAY SPRUCE AND SCOTS PINE PLANTATIONS AND YOUNG STANDS TO SIMULATED DROUGHT

Reaction of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at juvenile stages of development to drought stress was studied in the experimental stock of different age: plants immediately after planting out (pot experiment), and twelve-year old stands of Norway spruce (localities in Bukovinka and Herálec) and Scots pine (Bílovice) *in situ*. Drought stress in the pot experiment was induced by the elimination of natural precipitation and by irrigation with controlled amount of water corresponding to 40% of irrigation dose in the control. Reduction of precipitation to 40% of its natural amount in the stands *in situ* was ensured by means of a special wooden structure with frames covered by transparent backed foil to drain excessive water outside the plots.

During the experiments lasting 2 to 4 years, common methods were used to measure parameters of shoot (height and diameter increment, needle length) and root system (biomass and vertical distribution of fine roots, mycorrhizal infection by the quantitative determination of glucosamin after acidic hydrolysis of chitin, and functionality of fine roots by the uptake of labelled phosphorus). Fine roots were sampled by the method of soil cores. Conclusions from the experiments were as follows:

- Drought stress evoked the response of both shoot and root system in the monitored tree species already after the first year of exposure with the growing effect in the following years. Norway spruce responded to the comparable stress more readily than Scots pine (pot experiment losses amounted to 58% in the course of 3 years).
- Drought caused height increment and stem diameter reduction, reduced needle length and impaired vitality of plants both in Norway spruce and in Scots pine.
- Drought stress markedly affected root system development both in Norway spruce and in Scots pine, causing reduction of fine roots biomass, impaired functionality and reduced mycorrhizal infection of fine roots.
- Drought stress was more readily responded to by non-adapted plants after planting out than by 12-year plantations which represent more stable ecosystems.
- Drought stress showed a greater impact on stands growing outside their ecological optimum and on stands occurring on sites not entirely suitable for spruce.

Although the drought does not need to have a lethal effect, it always results in the weakening of plants and can be a predisposition factor for the decline and dieback of Norway spruce and Scots pine stands.

ÚVOD

Dostatečné zásobení vodou patří mezi hlavní faktory kontrolující růst a vitalitu dřevin. Stres z nedostatku vody ovlivňuje řadu fyziologických procesů, což se projevuje obvykle snížením růstu. Růst nadzemní části může být redukován také omezením tvorby pupenů, ze kterých by se v následujícím roce vytvářely nové výhony (KOZLOWSKI 1971) a pozdějším rašením (KATTNER 1992). Snížený růst rostlin v důsledku sucha bývá přisuzován i sníženému příjmu živin ze suché půdy. Nodostatkem vody mohou být ovlivněny i kořenové

systemy dřevin. Podle FEILA et al. (1988) sucho způsobuje vyšší míru dormance kořenů a redukuje jejich prodlužování.

Účinky sucha mohou být zvyšovány spolupůsobením dalších faktorů, např. imisí a to jednak přímo - poruchami reakčních schopností průduchů v důsledku zvýšených koncentrací okyselujících látek v ovzduší, jednak i nepřímou - změnami na kořenových systémech vyvolaných acidifikací půdního prostředí nebo nerovnováhou živin (WOLZ a RICKLI 1987). Zejména zvýšené depozice dusíku mohou stres suchem prohlubovat v důsledku vyso-

kého poměru nadzemní části ke kořenům (PERSSON 1988; MAUER a PALÁTOVÁ 1996).

Uvedené reakce rostlin mohou být vyvolány jak trvalým nedostatkem vody, tak i přechodnými výkyvy v zásobení vodou. Pravděpodobnost výskytu takových situací se zvyšuje v souvislosti s diskutovanými změnami klimatu, které by mohly být ve středních zeměpisných šířkách provázeny prodloužením intervalů mezi srážkami a menším množstvím srážek ve vegetačním období (CHALUPA 1995). Protože globální změny klimatu by mohly významně ovlivnit vitalitu, odolnost a stabilitu lesních dřevin, je otázkám působení sucha na lesní ekosystémy v současné době věnována značná pozornost. To nás vedlo k založení experimentů, jejichž cílem bylo přispět k exaktnímu poznání reakce našich hospodářsky nejdůležitějších dřevin - smrku ztepilého a borovice lesní - na stres suchem.

MATERIÁL A METODY

Vliv simulovaného stresu suchem byl sledován na borovici lesní (*Pinus sylvestris* L.) a smrku ztepilém (*Picea abies* /L./ Karst.). Reakce rostlin na vystavení stresu suchem bezprostředně po výsadbě byla sledována v nádobových pokusech, reakce mladších porostů byla sledována *in situ*.

Nádobové pokusy

K založení nádobových pokusů byly použity 10 litrové nádoby naplněné zeminou ze smíšeného porostu. Zemina byla odebrána (po odstranění surového humusu) do hloubky 25 cm a před plněním do nádob byla řádně zhomogenizována. Semenačky smrku (2+0) a borovice (2+0) byly po výsadbě do nádob ponechány na volné ploše školky za účelem dobrého zakořenění a poté byly přeneseny do fóliových přístřešků pokrytých transparentní kaširovanou fólií. Přístřešky byly konstruovány tak, aby zcela eliminovaly možnost průniku atmosférických srážek, ale umožňovaly proudění vzduchu a tak příliš neovlivňovaly hydrotermální režim prostoru nadzemní části. Kontrolní rostliny byly v průběhu vegetační doby zavlažovány 2x týdně tak, aby celkové množství dodané vody za rok odpovídalo 800 mm atmosférických srážek u smrku a 500 mm u borovice (dále označováno Kontrola). Ve variantách, kde byly rostliny vystaveny stresu suchem (dále označováno Sucho), byl prodloužen interval mezi závlahami (závlaha 1x

za 2 týdny) a snížena závlahová dávka tak, že celkové množství dodané vody činilo 40 % Kontroly.

Porosty *in situ*

Reakce smrku ztepilého a borovice lesní na stres suchem byla sledována v mladších porostech.

Smrkový porost na ŠLP Křtiny - věk 12 let, nadmožská výška 535 m, lesní typ 4H1, expozice východní, pásmo ohrožení D. Porost byl založen rýhovým zalesňovacím strojem po předchozí brázdové přípravě půdy. K výsadbě byly použity tříleté prostokořenné semenačky smrku (3+0) místního původu (dále označováno Smrk – Bukovinka).

Smrkový porost na LS LČR Nové Město n. Moravě - věk 12 let, nadmožská výška 710 m, lesní typ 6K6, expozice severní, pásmo ohrožení C. Porost byl založen ručně jamkovou sadbou, k výsadbě byly použity čtyřleté sazenice smrku (2+2) místního původu (dále označováno Smrk – Herálec).

Borový porost na ŠLP Křtiny - věk 12 let, nadmožská výška 360 m, lesní typ 2S3, expozice severozápadní, pásmo ohrožení D. Porost byl založen rýhovým zalesňovacím strojem, k výsadbě byly použity dvouleté prostokořenné semenačky (2+0) místního původu (dále označováno Borovice – Bílovice).

V uvedených porostech byly vytyčeny plochy o rozměrech 20 x 20 m. V každém sledovaném porostu byla vždy na jedné z vytyčených ploch postavena mezi řadami stromů speciální dřevěná konstrukce, na které byly upevněny rámy potažené transparentní kaširovanou fólií (pokryto bylo 60 % plochy). Folie byla ve výškách 120 až 20 cm nad půdním povrchem. Voda zachycená fólií byla odváděna mimo plochu. Tímto opatřením byly redukovány atmosférické srážky o 60 % a navozen stres suchem.

Metodické postupy dílčích analýz

I když v centru našeho zájmu byla především reakce kořenového systému, sledovali jsme i některé parametry nadzemní části, které mají k rozvoji kořenového systému vztah.

Na nadzemní části byly běžnými postupy sledovány výškový přírůst, tloušťkový růst, délka jehlic a vyhodnocovány ztráty. Na kořenových systémech byly sledovány jemné kořeny (kořeny o průměru menším než 1 mm) a zjišťována jejich biomasa a vertikální distribuce. Mykorhizní infekce jemných kořenů

byla zjišťována kvantitativním stanovením glukózaminu po kyselé hydrolyze chitinu (PLASSARD et al. 1982; VIGNON et al. 1986) a funkčnost jemných kořenů příjmem značeného fosforu (LANGLOIS a FORTIN 1984). Jemné kořeny byly odebírány metodou půdních výkrojů a kořeny z nich separovány podle MAUERA a PALÁTOVÉ (1996). Výsledky analýz byly statisticky vyhodnoceny t-testem při hladině významnosti 95 %. Průkaznost výsledků je v tabulkách označena graficky: + rozdíl průkazný, - rozdíl neprůkazný.

VÝSLEDKY

Experimenty prokázaly, že simulovaný stres suchem vyvolal odezvu sledovaných dřevin již po prvním roce působení, přičemž dynamika ovlivnění nadzemní části a kořenového systému byla odlišná. S dobou působení stresu se jeho vliv většinou prohluboval (tab. 1 a 2).

Přírůst nadzemní části. Sucho vyvolalo redukci výškového přírůstu u borovice a smrku jak v porostech *in situ*, tak v nádobových pokusech. Na stres suchem reagoval rychleji smrk v nádobovém pokusu, kde došlo k poklesu výškového růstu zejména v 1. a 2. roce působení stresu. Borovice reagovala v nádobovém pokusu obdobně jako smrk, ale pomaleji (redukce výškového růstu borovice ve 3. roce odpovídala redukci výškového růstu smrku již ve 2. roce). Také ve smrkovém porostu mimo oblast přirozeného rozšíření (porost Bukovinka) byla reakce rychlá a 2. rokem působení sucha byl výškový přírůst poloviční ve srovnání s kontrolou. Reakce smrkového porostu v oblasti přirozeného výskytu smrku (porost Herálec) byl pokles výškového růstu podstatně pomalejší.

Tloušťkový růst. Na sucho reagovaly obě dřeviny shodně snížením tloušťkového růstu, který byl však ovlivněn podstatně méně než výškový přírůst nadzemní části. V nádobových pokusech reagoval smrk citlivěji než borovice. Reakce obou dřevin v porostech *in situ* byla srovnatelná. Statisticky významná odezva na stres suchem v tloušťkovém růstu se v porostech projevila teprve druhým rokem jeho působení.

Délka jehlic. Ovlivnění délky jehlic v obou experimentálních řadách bylo podobné. Jak v

nádobových pokusech, tak v porostech *in situ* reagoval smrk citlivěji než borovice.

Ztráty. Na simulovaný stres suchem reagovaly sledované dřeviny rozdílným rozsahem ztrát. Již po prvním roce působení sucha na smrk v nádobovém pokusu (rostliny po výsadbě) byly zaznamenány ztráty v rozsahu 18 %, které se po 3. roce působení zvýšily na 58 %. U borovice byly ztráty v nádobovém pokusu podstatně nižší (po prvním roce 2%) a po 3. roce se dosáhly pouze 4 %. V porostech *in situ* u žádné ze sledovaných dřevin ke ztrátám nedošlo.

Biomasa jemných kořenů. Sucho vyvolalo snížení celkové biomasy jemných kořenů smrku i borovice. Smrk reagoval ihned, a to jak v nádobovém pokusu, tak i v porostu na stanovišti méně vhodném pro smrk (porost Bukovinka). V porostu Herálec došlo k redukci jemných kořenů smrku teprve druhým rokem působení stresu. Borovice reagovala snížením biomasy jemných kořenů jak v nádobovém pokusu, tak v porostu *in situ* s roční prodlevou.

Mykorhizní infekce jemných kořenů. Na stres suchem reagovaly obě dřeviny snížením mykorhizní infekce. Smrk v nádobovém pokusu reagoval pomaleji než borovice. V porostech *in situ* byla reakce obou dřevin přibližně shodná a podstatně pomalejší než v nádobových pokusech.

Funkčnost jemných kořenů. Stres suchem rychle a silně negativně ovlivnil funkčnost jemných kořenů. Již po ročním působení stresu v nádobových pokusech obě dřeviny snížily funkčnost jemných kořenů téměř o polovinu (smrk o 40 %, borovice o 52 %) a v následujících letech se situace nezměnila. Obdobný trend byl zjištěn také v porostech *in situ*, i když zde míra snížení funkčnosti byla cca o 10 % nižší než v nádobových pokusech.

DISKUSE

Reakci borovice lesní a smrku ztepilého na sucho jsme sledovali jednak v nádobových pokusech, jednak v porostech *in situ*. Tento přístup jsme zvolili proto, abychom mohli posoudit, jak působí stres suchem na kultury bezprostředně po výsadbě a na mladší porosty.

K navození sucha v porostech *in situ* byly

použity speciální konstrukce pokryté transparentní folií, které zachycovaly a odváděly atmosférické srážky tak, aby jejich množství bylo redukováno o 60 % vzhledem ke kontrole. Při kalkulaci se braly v úvahu pouze vertikální srážky. Ve srovnání s nádobovými pokusy, kde bylo možno množství závlah udržovat konstantní a bez výkyvů, byla míra stresu v porostech *in situ* závislá na úhrnu srážek daného roku. I když nebyla průběžně monitorována vlhkost půdy, ambulantní šetření prokázala přibližně poloviční okamžitou vlhkost ve srovnání s nekrytými plochami. Míra redukce srážek (o 60 %) se jeví srovnatelná např. s experimentem Skogaby, kde byly srážky v porostu smrku redukovány o 2/3 (NILSSON a WIKLUND 1992).

Předmětem diskuse může být fakt, že rostliny byly vystaveny stresu suchem dlouhodobě. Předpokládanému scénáři klimatických změn by se více přibližovalo krátkodobější navození sucha ve vegetačním období (červen, červenec), jaké použili např. GUNDERSEN et al. (1995), což však nebylo v našich experimentech možné. Jmenování autoři zachycovali pomocí "střech" veškeré srážky a ty pak rozstříkali po ploše, s výjimkou uvedených letních měsíců. Eliminaci srážek v zimním období v našich experimentech je však třeba posuzovat střízlivě, neboť v případě větších srážek byl sníh s konstrukcí shrnován do mezípruhů, aby nedošlo k jejich prolomení. V nádobových pokusech byly nádoby s rostlinami zasypávány cca 5 až 10 cm vrstvou sněhu.

Rostliny obou sledovaných druhů reagovaly na navození stresu suchem změnami, detekovatelnými na nadzemní části a kořenových systémech. Výškový přírůst rostlin byl v nádobových pokusech i v porostech *in situ* suchem negativně ovlivněn. Rozdíl byl zaznamenán v rychlosti odezvy rostlin. Zatímco v nádobových pokusech se průkazná redukce přírůstu smrku i borovice začala projevovat hned po prvním vegetačním období, v porostech *in situ* byla zaznamenána až s roční prodlevou. Důvodem pro tento časový posun je vyšší míra stresu v nádobových pokusech již od prvního roku působení. Rozdíl byl způsoben i tím, že dvanáctileté porosty představují stabilnější ekosystémy, zatímco čerstvě vysazené rostliny trpí šokem z přesadby a mohou reagovat citlivěji. Snížení výškového přírůstu pod vlivem sucha bylo popsáno nejen v experimentálních podmínkách s uměle navozeným

suchem u smrku (BEIER et al. 1995; NILSSON a WIKLUND 1992), ale bylo zjištěno i u borovice jako důsledek klimaticky suchých roků (KRAUSS 1965). DILS a DAY (1952 ex LYR et al. 1967) zjistili, že i několikátýdenní letní suché periody mohou vést k průkaznému ovlivnění výškového přírůstu, který může být snížen o 30 - 70 %. U citlivých druhů se může snížený přírůst projevovat několik let a zotavení postupuje velmi pomalu. Zatímco reakce rostlin ve výškovém přírůstu nadzemní části byla velmi výrazná, na tloušťkový růst měl simulovaný stres suchem podstatně menší vliv. Průkazné snížení bylo zaznamenáno u smrku v nádobovém pokusu hned po prvním roce působení stresu, u borovice o rok později. V porostech *in situ* obou dřevin se začal negativní vliv sucha projevovat teprve od druhého roku působení. Průkaznou redukcí tloušťkového a výškového růstu smrku, vystaveného vodnímu stresu, zaznamenali BLANCK et al. (1995). Pokud působilo pouze přechodné letní sucho, k ovlivnění tloušťkového růstu nedošlo (BEIER et al. 1995). Nedostatek vody v průběhu léta nemusí podle autorů nutně redukovat růst, jestliže dodávka vody v ostatním období je dostatečná.

K indikaci stresu lze použít i změny na kořenových systémech, zejména na tzv. jemných kořenech, které mají rozhodující význam v příjmu živin a vody. Jemné kořeny reagovaly na navození stresu výrazně a nejrychleji ze všech sledovaných parametrů. I když v prvním roce působení sucha v nádobovém pokusu vyvolalo mírný nárůst celkové biomasy jemných kořenů borovice (který však nebyl průkazný), v následujících letech se množství jemných kořenů snižovalo. U smrku v porostech *in situ* i v nádobovém pokusu vyvolalo sucho snížení biomasy jemných kořenů. Redukce biomasy jemných kořenů v porostu Herálec (Českomoravská vysočina) byla při stejné době působení stresu podstatně nižší než v oblasti pro pěstování smrku ne zcela vhodné. Snížení tvorby jemných kořenů pod vlivem sucha zjistili u smrku (BLANCK et al. 1995). O tom, že kořenový systém smrku reaguje citlivě na sucho, svědčí i výsledky BEIERA et al. (1995), kteří zjistili snížení produkce jemných kořenů i pod vlivem přechodného krátkodobého sucha. Působení stresových faktorů může ovlivňovat také funkčnost jemných kořenů, tj. jejich schopnost přijímat živiny. Jak v nádobových pokusech tak v porostech *in situ* jsme u obou dře-

vin zjistili podstatné snížení absorpce značného fosforu kořeny ovlivněnými stresem suchem. Obdobný výsledek zjistili u smrku i CLEMENSSON-LINDELL a ASP (1994). V posledních deceniích dochází v Evropě ke zvýšení depozic dusíku. O dusíku je známo, že ovlivňuje alokaci uhlíku v rostlinách a to tak, že podporuje především růst nadzemní části, ale souběžně ve vyšších koncentracích negativně působí na kořenové systémy. Disproporce mezi rozvojem nadzemní části a kořenového systému by mohla citlivost rostlin k suchu zvyšovat. Z našich pokusů vyplynulo, že borovice, stejně jako smrk, nereaguje na sucho zvýšenou tvorbou jemných kořenů. Z toho vyplývá, že na lokalitách zásobených jen málo vodou a navíc postižených vysokými depozicemi dusíku, může být tato dřevina silně ohrožena v existenci. Naše experimenty prokázaly, že zatímco u smrku došlo po působení stresu suchem k posunu jemných kořenů do hlubších půdních vrstev, reagovala borovice na sucho přesunem jemných kořenů do svrchních vrstev půdy. Vezmeme-li v úvahu, že pod vlivem depozic dusíku dochází současně k mohutnému rozvoji trav (KOSS a MURACH 1996), jejichž kořeny jsou akumulovány ve svrchní vrstvě půdy, může vést vysoká spotřeba vody hustým travním porostem k dalšímu zhoršení zásobení borovic vodou a pravděpodobně i k jejich úhynu. Z uvedeného vyplývá, že klimatické extrémny se mohou stát spouštěcími mechanismy poškození lesů zejména tam, kde se vytvořila nerovnováha živin zejména v důsledku zvýše-

ných depozic dusíku.

Závěry

Z experimentů založených s cílem přispět k poznání reakcí smrku ztepilého a borovice lesní na simulované sucho vyplynuly tyto závěry:

Stres suchem vyvolal reakci nadzemní části i kořenového systému sledovaných dřevin již po prvním roce působení, v následujících letech se jeho vliv prohluboval. Smrk reagoval na srovnatelný stres rychleji než borovice (v průběhu 3 let v nádobovém pokusu dosáhly ztráty 58 %).

- Sucho vyvolalo snížení výškového přírůstu, tloušťky kmene, snížení délky jehlic a snížení vitality rostlin.
- Stres suchem výrazně ovlivnil rozvoj kořenového systému a vyvolal snížení biomasy jemných kořenů, snížení funkčnosti a mykorhizní infekce jemných kořenů.
- I když sucho nemusí působit letálně, vždy způsobuje oslabení rostlin a může být predispozičním faktorem chřadnutí a odumírání porostů smrku a borovice.
- Na stres suchem reagovaly citlivěji neadaptované rostliny po výsadbě než 12leté porosty, které představují stabilnější ekosystémy.
- Stres suchem jsou více ovlivněny porosty rostoucí mimo své ekologické optimum a porosty rostoucí na stanovištích pro smrk ne zcela vhodných.

Tab. 1: Reakce nadzemní části a kořenového systému sazenic smrku ztepilého a borovice lesní po výsadbě na simulované sucho - Nádobové pokusy

Dřevina	Smrk			Borovice			
Rok působení stresu	1. rok	2. rok	3. rok	1. rok	2. rok	3. rok	4. rok
Výškový přírůst (cm)							
Kontrola	11,8±4,0	10,1±5,9	7,4±4,7	19,4±4,5	26,6±7,4	36,3±4,9	32,3±5,1
Sucho	7,3±3,4+	3,0±2,9+	3,0±1,8+	17,4±4,2+	19,5±6,7+	15,5±4,9+	12,1±4,4+
Průměr kořenového krčku (mm)							
Kontrola	7,3±1,4	9,2±2,2	12,2±2,2	9,7±1,8	11,3±1,8	14,2±1,7	15,5±0,9
Sucho	5,3±0,8+	6,3±1,4+	8,0±1,3+	10,2±1,7+	9,9±1,7+	11,8±1,3+	12,1±1,4+
Délka jehlic (mm)							
Kontrola	16,5±3,9	13,2±3,2	12,3±3,2	50,0±8,2	42,3±6,4	32,8±7,3	31,2±6,1
Sucho	11,5±3,3+	9,7±4,6+	8,1±1,7+	38,2±7,8+	34,9±5,3+	27,8±4,4+	26,5±6,2+
Ztráty (%)							
Kontrola	0	2,3	5,2	0	0	0	0
Sucho	17,7	31,0	58,1	0	2	2	4
Biomasa jemných kořenů (g.100 ml půdy ⁻¹)							
Kontrola	0,0441±0,0037	0,1368±0,0088	0,2286±0,0123	0,0503±0,0065	0,1530±0,0118	0,2279±0,0251	0,3224±0,0295
Sucho	0,0324±0,0035+	0,0944±0,0187+	0,0837±0,0097+	0,0525±0,0064-	0,0803±0,0115+	0,0907±0,0038+	0,1726±0,0066+
Mykorhizní infekce (□g glukozaminu.g sušiny ⁻¹)							
Kontrola	3,99±0,21	8,45±0,97	17,29±0,68	25,43±0,50	23,07±0,49	25,28±0,33	27,44±0,59
Sucho	3,72±0,13+	6,89±0,37+	13,57±0,79+	10,55±0,61+	18,04±0,34+	14,33±0,40+	14,09±0,56+
Funkčnost jemných kořenů (mg KH ³² PO ₄ .mg sušiny ⁻¹)							
Kontrola	179,1±69,4	nejz.	110,9±8,9	0,1837±0,0265	0,0592±0,021	0,2128±0,0231	0,2218±0,0372
Sucho	92,1±24,3+	nejz.	65,3±15,7+	0,0873±0,0064+	0,0258±0,0033+	0,1215±0,015+	0,1290±0,0317+

Tab. 2: Reakce nadzemní části a kořenového systému mladých porostů smrku ztepilého a borovice lesní na simulované sucho - porosty *in situ*

Dřevina	Smrk						Borovice	
Lokalita	Bukovina				Herálec		Bílovice	
Rok působení stresu	1. rok	2. rok	3. rok	4. rok	1. rok	2. rok	1. rok	2. rok
Výškový přírůst (cm)								
Kontrola	nejz.	29,1±10,2	44,6±12,6	71,7±10,5	56,1±12,3	56,8±13,9	58,9±18,4	66,9±11,3
Sucho	nejz.	14,5±9,5+	29,5±10,5+	50,8±12,7+	53,1±12,0-	48,4±14,2+	61,7±17,5-	40,4±8,6+
Tloušťka kmene (mm)								
Kontrola	nejz.	49,1±17,2	65,6±17,2	73,4±15,4	34,0±8,6	38,2±10,7	38,0±13,3	54,3±12,2
Sucho	nejz.	48,9±15,5-	62,4±12,5-	65,0±11,1+	35,8±8,0-	34,8±11,5+	41,7±13,8-	48,1±13,1
Délka jehlic (mm)								
Kontrola	nejz.	11,1±2,3	15,1±2,1	16,3±1,9	10,7±2,0	12,8±1,7	47,2±9,0	58,6±8,8
Sucho	nejz.	10,1±3,4+	10,2±1,5+	10,8±2,3+	10,2±2,1+	10,3±2,6+	41,6±9,5	53,6±10,9+
Biomasa jemných kořenů (g.100 ml půdy ⁻¹)								
Kontrola	0,2355±0,0164	0,2135±0,0314	0,6239±0,0144	0,5593±0,0217	0,2278±0,0084	0,2278±0,0131	0,2053±0,0146	0,2156±0,0185
Sucho	0,1345±0,0144+	0,1142±0,0263+	0,2365±0,0153+	0,2548±0,0195+	0,2414±0,0071+	0,2037±0,0114+	0,1796±0,0018-	0,1895±0,0137+
Mykorhizní infekce (mg glukozaminu.g sušiny ⁻¹)								
Kontrola	15,32±1,06	9,14±0,67	14,56±0,46	12,24±0,62	16,09±0,46	11,57±0,48	20,03±0,50	18,3±0,57
Sucho	13,76±0,40+	9,37±0,29+	11,31±0,90+	14,22±0,35+	16,34±0,73-	11,41±0,43-	23,67±0,64+	16,11±0,77+
Funkčnost jemných kořenů (mg KH ³² PO ₄ .mg sušiny ⁻¹)								
Kontrola	nejz.	nejz.	137,1±20,3	50,2±3,3	nejz.	nejz.	0,5130±0,0337	nejz.
Sucho	nejz.	nejz.	35,3±3,6+	18,2±5,6+	nejz.	nejz.	0,3495±0,0144+	nejz.

Poděkování:

Příspěvek je součástí výzkumného záměru MSM 6215648902.

Seznam literatury

- BEIER, C., GUNDERSEN, K., RASMUSSEN, L.: Experimental manipulation of water and nutrient input to a Norway spruce plantation at Klosterhede, Denmark. II. Effect of tree growth and nutrition. *Plant and Soil*, 168-169, 1995, s. 613-622.
- BLANCK K., LAMERSDORF N., DOHRENBUSCH A., MURACH D.: Response of a Norway spruce forest ecosystem to drought/rewetting experiments at Solling, Germany. *Water, Air and Soil Pollution*, 85, 1995, s. 1251 –1256.
- CLEMENSSON-LINDELL, A., ASP, H.: Fine root vitality and uptake of ^{32}P and ^{35}S in a Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) stand subjected to various nutrient and water supplies. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Rapport 72*, 1994, s. 1-10.
- FEIL, W., KOTTKE, I., OBERWINKLER, F.: The effect of drought on mycorrhizal production and very fine root system development of Norway spruce under natural and experimental conditions. *Plant and Soil*, 108, 1992, č. 2, s. 221 – 231.
- GUNDERSEN, P., ANDERSEN, B. R., BEIER, C., RASMUSSEN, L.: Experimental manipulations of water and nutrient input to a Norway spruce plantation at Klosterhede, Denmark. I. Unintended physical and chemical changes by roof experiments. *Plant and Soil*, 168 - 169, 1995, s. 601 – 61.
- CHALUPA, V. : Předpokládané klimatické změny a jejich dopady na výběr dřevin pro zalesňování. Zpráva o řešení úkolu MZe ČR, MZe ČR, Praha, 1995, 25 s.
- KATTNER, D.: Der Einfluß von Trockenstreß auf die Besiedelung von Fichten-feinwurzeln (*Picea abies* Karst.) durch *Trichoderma viride* und andere endo-phytische Mikropilze. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 111, 1992, s. 383- 389.
- KOZLOWSKI, T.T.: Growth and development of trees. Vol. I. Seed germination, ontogeny and shoot growth. Academic Press New York and London 1971, 443 s.
- KOSS, H., MURACH, D.: Einfluß hoher Stickstoffeinträge auf Wurzelsysteme und Mykorrhiza. Am Beispiel der Kiefer. *AFZ/ Der Wald*, 51, 1996, č. 26, s. 1466 – 1468
- KRAUSS, H.H.: Auswirkung mehrmaliger jährlicher Düngung auf Ernährung und Wachstum einer Kiefern-Vollumbruchkultur. In: Internationales Symposium „Aktuelle Probleme der Kiefernwirtschaft“, 28. September bis 3. Oktober 1964 in Eberswalde, Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, 1965, s. 661 – 668.
- LANGLOIS, C.G., FORTIN, J. A.: Seasonal variation in the uptake of ^{32}P / phosphate ions by excised ectomycorrhizae und lateral roots of *Abies balsamea*. *Canadian Journal of Forestry Research*, 14, 1984, s. 412 - 415
- LYR, H., POLSTER, H., FIEDLER, H.J.: *Gehölzphysiologie*. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1967, 444 s.
- MAUER, O., PALÁTOVÁ, E.: Vliv zvýšených depozic dusíku a stresu suchem na vývoj kořenového systému smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.). Závěrečná zpráva grantového projektu GA ČR č. 501/93/0794, 1996, 173 s.
- NILSSON, L.O., WIKLUND, K.: Influence of nutrient and water stress on Norway spruce production in south Sweden - the role of air pollutants. *Plant and Soil*, 147, 1992, s. 251-265.
- PLASSARD, C.S., MOUSAIN, D.G., SALSAC, L.E.: Estimation of mycelial growth of Basidiomycetes by means of chitin determination. *Phytochemistry*, 21, 1982, s. 345- 348
- VIGNON, C., PLASSARD, C.S., MOUSAIN, D.G., SALSAC, L. : Assay of fungal chitin and estimation of mycorrhizal infection. *Physiologie végétale*, 24, 1986, s. 201 - 207
- WOLZ, R., RICKLI, R.: Zum Ausmaß der Trockenheit von Juli bis October 1985 aus klimatologischer Sicht. Meotest, Bundesamt für Forstwesen und Landschaftschutz, Bern, 1987, 36 s.

Adresa autorů:

Doc. RNDr. Ing. Eva Palátová, Ph.D., Ústav zakládání a pěstění lesů, LDF, MZLU v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, e-mail: evapal@mendelu.cz

Prof. Ing. Oldřich Mauer, DrSc., Ústav zakládání a pěstění lesů, LDF, MZLU v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, e-mail: omauer@mendelu.cz