

## **Tvorba kořenového systému a výnos zrna ječmene jarního v odlišných vláhových podmínkách**

The yield and root system development of spring barley in different soil  
moisture conditions

*Jana Klimešová, Tomáš Středa, Hana Středová*

*Mendelova univerzita v Brně*

### **Abstrakt**

Vlastnosti kořenového systému a výnos zrna ječmene jarního (*Hordeum vulgare* L.) v závislosti na vláhových podmínkách byly hodnoceny v nádobovém pokusu. V dvouletém pozorování, ve čtyřech variantách závlahy (nestresovaná varianta, mírně stresovaná varianta, stresovaná varianta, varianta s přirozeným úhrnem srážek) byly u odrůd Aksamit, Aktiv a Blaník hodnoceny znaky: (i) hustota prokořenění (RLD – root length density), (ii) specifická délka kořenového systému (SRL – specific root length) soil–core metodou s následnou digitální analýzou obrazu, (iii) velikost kořenového systému (VKS) byla stanovena metodou měření jeho elektrické kapacity, (iv) výnos sušiny biomasy. Tvorba kořenového systému byla významně ovlivněna ročníkem (36 – 44 %), méně genotypem odrůdy a jejich interakcemi. Výnos byl determinován z velké části variantou (36,8 %). Varianta bez stresu produkovala nejvíce nadzemní i podzemní biomasy.

**Klíčová slova:** Kořenový systém, výnos, vlhkost půdy, sucho, ječmen

### **Abstract**

The root system traits and yield of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) depending on soil moisture conditions were evaluated in a pot experiment. The characteristics of barley varieties (Aksamit, Aktiv, Blaník) in a two-year observation in four different irrigation treatments (non-stress treatment, mild drought stress, severe drought stress and treatment with natural precipitation) were evaluated: (i) root length density (RLD), (ii) specific root length (SRL) determined by soil–core method with subsequent digital image analysis, (iii) the root system size (RSS) detected by measuring its electrical capacity, (iv) dry matter yield. Development of the root system traits was significantly affected by year (36 – 44%), less by variety and their interactions. The yield was largely determined by treatment (36.8%). The highest values of dry matter yield and root biomass were detected in non-stress conditions.

**Keywords:** Root system, yield, soil moisture, drought, barley

## Úvod

Stres suchem je jedním z nejdůležitějších abiotických stresorů ovlivňujících výnos plodin. Vliv stresu suchem na růstové a vývojové projevy rostlin je dán jeho intenzitou, dobou trvání a počátkem působení. Nedostatek vody v generativní fázi vegetace může způsobit zřetelné výnosové ztráty. Významnou roli hraje kořenový systém a jeho schopnost získávat v kritických obdobích vodu a živiny. Hloubka pronikání kořenů je geneticky determinována a způsobilost získat vodu z méně dostupných míst může být esenciální vlastností rostlin pro přežití déletrvajících přísušků. Lynch (1995) považuje vhodně rozložený kořenový systém v půdě za klíč ke zvýšení produktivity rostliny. Dostupnost zdrojů determinuje také poměr podzemní a nadzemní části rostliny a mění tak strategii rostlin, která je projevem jejich genetických předpokladů v úzké souvislosti s požadavky prostředí (Noordwijk a kol., 1998). Poměr root/shoot lze tedy považovat za indikátor stresu suchem a kritérium pro hodnocení jeho účinků.

## Materiál a metody

Nádobový pokus se třemi odrůdami ječmene jarního (*Hordeum vulgare* L.) Aksamit, Blaník a Aktiv byl veden v letech 2011 a 2012 v Brně (jižní Morava, Česká republika, kukuřičná výrobní oblast). Rostliny byly pěstovány v plastových nádobách o objemu 0,2 m<sup>3</sup> s rozměry 72×54×51 cm. V nádobách byly v půdě udržovány 4 odlišné vláhové podmínky: nestresovaná varianta na úrovni přesahující 65 % využitelné vodní kapacity půdy – VVK (2), mírně stresovaná varianta na úrovni 65 % VVK (3), stresovaná varianta na úrovni bodu vadnutí (4) a varianta s přirozeným úhrnem srážek (1), ve dvou opakováních. Vlhkost v nádobách byla kontinuálně zaznamenávána čidly VIRRIB. V průběhu vegetace byla zjišťována velikost kořenového systému (VKS) metodou měření jeho elektrické kapacity (Chloupek, 1977). Elektrická kapacita (nF) byla měřena od fáze sloupkování (BBCH 30) v týdenních intervalech (7×) LCR metrem (Extech Instruments) při frekvenci 1 kHz. Vzorky půdy a kořenů byly odebírány soil – core metodou (Böhm, 1979; Středa a kol., 2013) ve fázi plnění zrn (BBCH 70) do hloubky 20 cm. Vzorky kořenového systému byly následně vyhodnoceny metodou digitální analýzy obrazu - naskenovány a analyzovány programem WinRHIZO (Régent Instruments Inc., Quebec, Kanada). Dále byly zjištěny délka (cm) a plocha (cm<sup>2</sup>) kořenů pro výpočet indexů – hustoty prokořenění v půdním profilu (RLD – root length density) a specifické délky kořenů (SRL – specific root length). Hmotnost kořenového systému byla stanovena po vysušení do konstantní hmotnosti. Uvedené parametry kořenového systému byly vypočteny pro vrstvy půdního profilu 0 – 10 cm, 10 – 20 cm a 0 – 20 cm. V závěru vegetační

doby (BBCH 70) byl stanoven výnos sušiny nadzemní biomasy (g) a poměr hmotnosti kořenového systému k hmotnosti nadzemní části rostlin – root/shoot ratio. Data byla zpracována v programu STATISTICA 10. Následné testování analýzy variance bylo provedeno Tukeyovým HSD testem na hladině významnosti  $p \leq 0,05$ .

### Výsledky a diskuze

Analýza variance pro vybrané znaky kořenového systému (RLD, SRL a VKS) prokázala průkazný vliv všech pokusných faktorů – ročník, odrůda, varianta na variabilitu znaků. Nejvíce ovlivnil sledované znaky ročník, až 43,6 % u RLD, méně byla ovlivněna VKS (30,5 %), hodnoty SRL nebyly ročníkem průkazně ovlivněny. Důležitým faktorem byla u VKS varianta, která se podílela z 34,6 % na variabilitě znaku (vyplývá z principu metody měření VKS pomocí elektrické kapacity). Stres suchem (varianta) se významně projevil snížením výnosu biomasy a změnou poměru root/shoot. Parametry kořenového systému jím nebyly průkazně ovlivněny, ale byl patrný výrazný vliv odrůdy. Odrůda z velké části způsobila proměnlivost hodnot RLD (22,4 %) a SRL kořenů (28,7 %). Vliv odrůdy na sledované znaky popisuje Tab. 1.

Tab. 1: Analýza variance a následné testování sledovaných parametrů.

odrůda	Výnos biomasy	odrůda	Root/shoot	odrůda	SRL (0-20 cm)	odrůda	RLD (0-20 cm)
Aksamit	19,17a	Blaník	0,049a	Aksamit	164,37a	Aksamit	6,05a
Blaník	19,56a	Aktiv	0,057a	Aktiv	196,12ab	Blaník	7,05ab
Aktiv	21,91a	Aksamit	0,057a	Blaník	222,26b	Aktiv	8,41b

Pozn.: Statisticky odlišné páry  $p \leq 0,05$  jsou označeny rozdílnými písmeny

Výnos nadzemní biomasy byl významně ovlivněn ročníkem (18,3 %). Efekt varianty byl větší než u znaků kořenového systému (36,8 %). Byl rovněž zjištěn vliv interakce mezi jednotlivými faktory, kdy interakce faktorů ročník × odrůda nejvíce ovlivnila výnos biomasy (11,8 %). Ročník × varianta pak poměr root/shoot (17,2 %). Interakce varianta × odrůda byla ve všech případech neprůkazná. Interakce pokusných faktorů se výrazně podílely na variabilitě znaků kořenového systému, viz Tab. 2.

Vlhkost půdy ve variantě pozměnila způsob utváření kořenového systému rostlin – hustotu prokořenění a jemnost kořenů. Nejvyšší hodnoty RLD a SRL byly zaznamenány ve variantě 3 (mírný stres suchem). Nejnižší hodnoty uvedených znaků byly ve variantě 4 (silný stres suchem) a 2 (kontrolní varianta). Tyto rozdíly nebyly statisticky průkazné.

Tab. 2: Vliv pokusných faktorů (v %) na vybrané znaky nadzemní a podzemní biomasy ječmene jarního.

Faktor	Výnos biomasy	Root/shoot poměr	RLD (0 – 20cm)	SRL (0-20cm)	VKS
Odrůda	8,3	9,0	22,4*	28,7*	8,6*
Rok	18,3*	2,7	36,3*	3,6	30,5*
Varianta	36,8*	45,0*	9,5	10,9	34,6*
Odrůda × rok	11,8*	7,6	1,8	3,9	10,3*
Odrůda × varianta	4,6	6,3	11,0	10,4	2,7
Rok × varianta	7,0	17,2*	7,3	14,6	6,1
Varianta × rok × odrůda	7,3	5,7	3,8	15,9	3,7

Pozn.: Statisticky významné hodnoty  $p \leq 0,05$  jsou označeny hvězdičkou \*

Silně se projevil vliv vlhkosti především na tvorbu sušiny nadzemní biomasy. Rostlina v kontrolní variantě (2) vytvořila průměrně 28,54 g sušiny, kdežto rostlina v mírně stresované variantě (3) 82 % sušiny ve srovnání s kontrolní variantou, ve variantě (4) pouze 62 % a ve variantě s přirozeným úhrnem srážek (1) pouze 38 % sušiny biomasy. Rostliny z varianty 1 se ale zároveň vyznačovaly druhými nejvyššími hodnotami RLD a SRL a poměrem root/shoot. Lze se domnívat, že přirozený přísun srážek v letech 2011 – 2012 byl pro rostliny více stresujícím než pravidelná záливka na úrovni silného stresu (vlhkost půdy blízka bodu vadnutí). Rostliny vystavené stresu suchem (vegetační období ječmene v letech 2011 a 2012 bylo srážkově podnormální a teplotně nadnormální) tak tvořily větší kořenový systém a méně nadzemní biomasy. Tento jev popisuje Hamblin a kol. (1990), kdy rostliny pšenice vykazovaly větší prokořenění v suchých ročnících ve srovnání s roky srážkově bohatými. Rovněž Gregory (2006) uvádí, že s ubývajícími srážkami se mění poměr root/shoot ve prospěch kořenového systému. Výnos nadzemní hmoty byl také z 11,8 % ovlivněn interakcí faktorů ročník × odrůda. Výnos odrůdy Aksamit kolísal silně v závislosti na ročníku. Odrůdy Blaník a Aktiv se vyznačovaly stabilním výnosem v obou letech. Nižší výnos byl dosažen v suchém roce 2012.

Poměr hmotnosti sušiny kořenového systému k hmotnosti sušiny nadzemní biomasy (root/shoot ratio) byl ovlivněn průkazně variantou (45,0 %) a interakcí ročník × varianta (17,2 %). Ve srovnání s ostatními hodnocenými ukazateli je efekt varianty nejvýraznější. Poměr root/shoot odráží chování kořenového systému a výnosu sušiny v reciprokém poměru. Hodnoty root/shoot ve variantách dobře zásobených vodou (2) a (3) nebyly průběhem počasí v sledovaných letech ovlivněny. Naopak root/shoot rostlin ve variantách suchem stresovaných (4) a (1) byl k povětrnostním vlivům více vnímavý. Nejnižší hodnota root/shoot byla zjištěna v kontrolní variantě (2) 0,036, nejvyšší v přirozených podmínkách (1) 0,092. Značný vliv

intenzity závlahy na produkci biomasy a poněkud nevýrazná reakce kořenového systému naznačuje, že poměr root/shoot mohl být více ovlivněn snížením výnosu nadzemní biomasy než zvýšenou produkcí kořenů.

Odrůda Aktiv se vyznačovala vyšší hustotou prokořenění a zároveň dosáhla vyššího výnosu biomasy. Naopak u odrůdy Aksamit byla pozorováno statisticky průkazně nižší prokořenění půdního profilu i nižší výnos. Mezi odrůdovými rozdíly v poměru root/shoot nebyly statisticky významné. Relativně nízké hodnoty root/shoot = 0,05, zjištěné v nádobovém pokusu, jsou dány specifiky nádobového pokusu a metodou odběru kořenové biomasy. Mají tak vypovídací hodnotu pouze v rámci relativního srovnání.

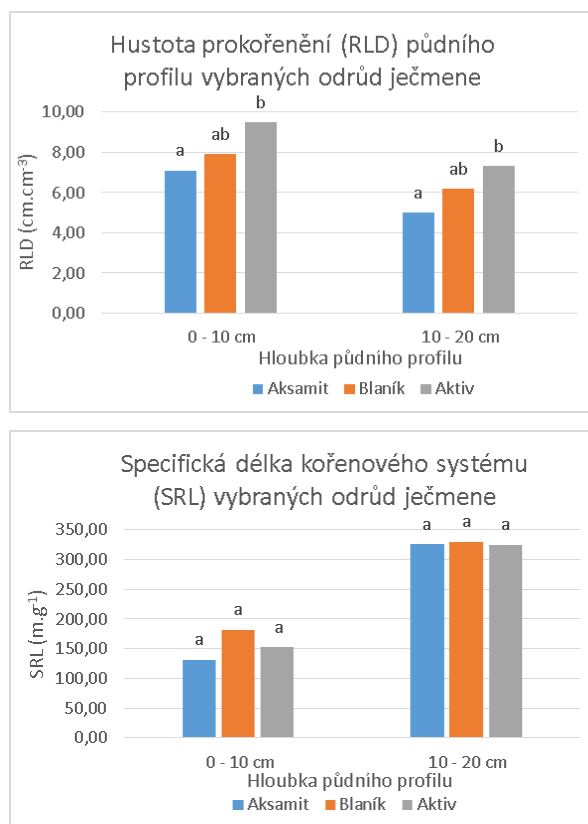
Množství kořenů v půdním profilu neboli hustota prokořenění je vyjádřena indexem RLD „Root length density“ a udává délku kořenů na jednotku objemu půdy [ $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]. Typické hodnoty pro svrchní vrstvu půdy do hloubky 10 cm se udávají pro trávy  $20\text{ cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ , pro plodiny mírného pásma  $5 - 10\text{ cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ , konkrétně u pšenice  $2 - 10\text{ cm}\cdot\text{cm}^{-3}$  (Manske, Vlek, 2002). Tyto hodnoty následně klesají s hloubkou půdního profilu. Produkce kořenů ječmene byla rozdílná při povrchu půdy (0 – 10 cm) a v hlubších vrstvách (10 – 20 cm). V hloubce 0 – 10 cm se významně projevil efekt ročníku (43,6 %) a odrůdy (17,7 %). V roce 2011 rostliny vytvořily statisticky průkazně více kořenů ( $\text{RLD} = 9,9\text{ cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) ve srovnání s rokem 2012 ( $\text{RLD} = 6,43\text{ cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), obdobné chování bylo pozorováno i ve vrstvě 10 – 20 cm, kde však byla intenzita prokořenění nižší, především v roce 2011, a vliv ročníku nebyl průkazný. Ve všech půdních vrstvách byla produkce kořenové biomasy významně kontrolována genotypem odrůdy (17,7 – 22,7 %). Nejvyšší množství kořenů vytvořil v celém profilu Aktiv ( $\text{RLD} = 8,41\text{ cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), nejnižší Aksamit ( $\text{RLD} = 6,05\text{ cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ ). Změny RLD způsobené rozdílnou dostupností vláhy v pokusných variantách nebyly statisticky průkazné. Chování kořenového systému se lišilo v obou vrstvách půdy. V povrchové vrstvě bylo nejvíce kořenů zjištěno v kontrolní variantě (2), kde produkce biomasy rostlin závisela na intenzivní závlaze, nejméně v suchém stresované variantě (4), kde byla tvorba limitována dlouhodobým nedostatkem vody. V hlubší vrstvě 10 – 20 cm bylo zjištěno nejnižší prokořenění ve variantě (2) a nejvyšší ve variantě s mírným deficitem vody (3) a ve variantě s přirozeným úhrnem srážek (1). Rostliny v těchto podmínkách čerpaly vláhu ze zásob v hlubších vrstvách půdy. V této vrstvě se na variabilitě hodnot RLD více podílely interakce pokusných faktorů ročník  $\times$  varianta (14,8 %) a odrůda  $\times$  varianta (12,4 %).

Hodnoty specifické délky kořenů „Specific root length“ (SRL) jsou vyjádřeny jako délka kořene na jednotku hmotnosti kořene [ $\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$ ] a popisují tedy jemnost kořenového systému.

Typické hodnoty pro obilniny se pohybují kolem  $200 \text{ m.g}^{-1}$ , pro jemně kořenící trávy  $400 \text{ m.g}^{-1}$  (Noordwijk, Brouwer, 1991).

SRL ječmene v profilu 0 – 20 cm byla statisticky průkazně ovlivněna odrůdou z 28,7 %. V jednotlivých vrstvách půdy odrůda působila na utváření kořenového systému v interakci s ročníkem i variantou (8 – 20 %, statisticky neprůkazný vliv). Jemnost kořenů se se snižující hloubkou profilu zvyšovala. Při povrchu půdy rostliny vytvářely  $155 \text{ m.g}^{-1}$  kořenů, ve vrstvě 10 – 20 cm zdvojnásobily délku kořenů ve srovnání k jejich hmotnosti (SRL =  $327 \text{ m.g}^{-1}$ ). Vysoké hodnoty SRL naznačují vyšší schopnost kořenů získávat živiny, nejvyšší hodnoty proto nacházíme u mladých kořenů (Fitter, 2002).

Překvapivě nebyla jemnost kořenového systému průkazně ovlivněna zálivkou, avšak byl pozorován trend, kdy se s omezováním extrémních vláhových poměrů půdy (stres suchem i vysoké hodnoty vlhkosti půdy) zvyšovaly hodnoty SRL. Nejvyšší hodnoty byly stanoveny ve všech vrstvách půdy ve variantě 3. Efekt odrůdy byl patrný v celém profilu. Nejjemnější kořenový systém vytvářela odrůda Blaník v kontrastu s odrůdou Aksamit, jejíž kořenový systém dosáhl nejnižších hodnot SRL. Meziodrůdové rozdíly SRL a RLD popisuje obr. 1.



Obr. 1: Meziodrůdové rozdíly hustoty prokořenění (RLD) a jemnosti kořenového systému (SRL) pro dvě vrstvy půdního profilu (Statisticky odlišné páry  $p \leq 0,05$  jsou označeny rozdílnými písmeny).

## **Závěr**

Vliv stresu suchem na sledované znaky kořenového systému a nadzemní biomasy ječmene jarního (*Hordeum vulgare* L.) byl hodnocen v nádobovém pokusu. U tří odrůd byly v dvouletém pozorování ve čtyřech variantách závlahy (nestresovaná varianta, mírně stresovaná varianta, stresovaná varianta, varianta s přirozeným úhrnem srážek) hodnoceny znaky: indexy hustoty prokořenění - RLD a specifické délky kořenů - SRL (stanovení soil – core metodou s následnou digitální analýzou obrazu); velikost kořenového systému (zjištěna metodou měření jeho elektrické kapacity); výnos sušiny nadzemní biomasy a poměr root/shoot. Na variabilitě znaků kořenového systému se podílel ročník (36 – 44 %) a odrůda (18 – 29 %). Menší část variability byla ovlivněna interakcemi uvedených faktorů (statisticky neprůkazné). Hustota prokořenění se snižovala v kontrastu s nárůstem hodnot SRL s rostoucí hloubkou profilu půdy. Výnos nadzemní biomasy a poměr root/shoot byly ovlivněny z velké části variantou (36,8 % a 45,0 %; průkazný vliv). Ročník působil nejvíce na výnos (18,3 %; průkazný vliv). Varianta bez stresu produkovala nejvíce nadzemí i podzemní biomasy v hloubce 0 – 10 cm. Nicméně root/shoot poměr byl v této variantě nejnižší. Rozdílné vláhové podmínky tedy ovlivnily tvorbu nadzemní hmoty a částečně i kořenového systému a jejich vzájemný poměr. Rostliny z varianty s přirozeným úhrnem srážek měly ve srovnání se zavlažovanými variantami vyšší hustotu prokořenění (neprůkazné rozdíly), menší množství nadzemní biomasy (průkazné rozdíly) a nejvyšší poměr root/shoot (průkazný rozdíl). Tyto výsledky naznačují významný vliv rozložení srážek během vegetační doby na tvorbu biomasy kořenového systému a nadzemní části rostlin.

## **Použitá literatura**

Böhm, W.: *Methods of Studying Root Systems*. Springer, Berlin 1979, 188 s.

Fitter, A.: Characteristics and functions of root systems. In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. (eds.): *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker Inc., New York, 2002, s. 15 – 32.

Gregory, P.: *Plant roots, growth, activity and interaction with soils*. Blackwell Publishing, Oxford, 2006, 318 s.

Hamblin, A., Tennant, D., Perry, M. W.: The cost of stress: dry matter partitioning changes with seasonal supply of water and nitrogen to dryland wheat, *Plant and Soil*, 122, 1990, s. 47 – 58.

Chloupek, O.: Evaluation of the size of a plant's root system using its electrical capacitance. *Plant and Soil*, 48, 1977, s. 525 – 532.

Lynch, J.: Root architecture and Plant Productivity, *Plant Physiology*, 109, 1995, s. 7 – 13.

Manske, G. B., Vlek, P. L. G.: Root Architecture – Wheat as a Model Plant, 2002, In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. (eds.): *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker Inc., New York, s. 249 – 260.

Noordwijk, M., Brouwer, G.: Review of quantitative root length data in agriculture. In: Persson, H., McMichael, B. L. (eds.): *Plant Roots and Their Environment*. Elsevier, Amsterdam, 1991, s. 515 – 525.

Noordwijk, M., Martikainen, P., Botner, P., Cuevas, E., Rouland, C., Dhillion, S. S.: Global change and root function, *Global Change Biology*, 4, 1998, s. 759 – 772.

Středa, T., Hajzler, M., Chloupek, O.: Kořenový systém jako faktor tvorby výnosu a kvality polních plodin. In: Bláha, L. (ed.): *Význam celistvosti rostliny ve výzkumu, šlechtění a produkci*. VÚRV, v.v.i., CVGZ AV ČR, v.v.i., Praha, 2013. s. 75 – 96.

### **Poděkování**

Práce vznikla za finanční podpory výzkumného projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum (NAZV) QJ1230056 a QJ1220054.

### **Kontakt:**

Ing. Jana Klimešová  
Mendelova univerzita v Brně  
Zemědělská 1, 613 00 Brno – Černá Pole  
jana.klimesova@mendelu.cz