

Rizika výskytu fuzarióz pro produkci bioetanolu z pšenice

RISKS OF THE FUSARIUM INFESTATION FOR BIOETHANOL PRODUCTION FROM WHEAT

Ivana Capouchová¹, Marta Kostelanská², Daniela Erhartová¹, Evženie Prokinová¹, Jana Hajšlová²
Alena Škeříková¹, Jaroslav Salava³, Kateřina Pazderů¹

¹Česká zemědělská univerzita v Praze; ²Vysoká škola chemicko-technologická; ³Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i.

Cíle Evropské unie jednoznačně směřují ke zvýšení podílu biopaliv na trhu. V roce 2020 by měla biopaliva dle EU tvořit až jednu pětinu ze spotřeby klasických pohonných hmot (1, 2). Směrnice EU č. 2003/30/EC z 8. 5. 2003 uložila členským státům, tedy i ČR, zákonnou povinnost učinit další opatření ke zvýšení podílu biopaliv na trhu. Tento závazek přijala vláda Česká republika svým usnesením ze 6. 8. 2003 v rámci programu „Podpora výroby bioetanolu pro jeho přimíchávání do automobilových benzinů“. Povinnost přimíchávat bioetanol do automobilových benzinů platí v ČR od 1. 1. 2008 (nejméně 2 % obj. z celkového objemu motorových benzinů). Od roku 2009 se počítalo se zvýšením přídavku bioetanolu do benzínu na 3,5 % obj. a od roku 2010 až na 5,75 % obj. (1, 2). V současné době se v ČR do benzínu přimíchává 4,1 % obj. bioetanolu.

Na základě výše uvedených skutečností významně vzrostl zájem o pěstování pšenice pro tento způsob nepotravinářského využití. I přesto v ČR doposud nebyla registrována žádná odrůda speciálně k využití pro produkci bioetanolu. Rovněž nejsou jednoznačně definována šlechtitelská kritéria pro tuto kategorii pšenic, i když lze předpokládat obdobné požadavky jako v případě pšenic určených pro produkci škrobu (1). Výkupní organizace pracují s individuálními kritérii, zahrnujícími vedle standardních požadavků na přijímané zrno (vlhkost, obsah příměsí a nečistot, hodnoty čísla poklesu a objemové hmotnosti) rovněž požadavky na minimální obsah škrobu v sušině zrna. Ten by měl být vyšší, než 65 %, optimálně nad 67 %.

Výrobcům bioetanolu může působit řadu problémů kontaminace zrna lihovarnické pšenice různými toxigenními houbami a jejich metabolity – mykotoxiny. K nejvýznamnějším v podmínkách ČR patří houby rodu *Fusarium*. Ty produkují řadu mykotoxinů, z nichž k nejznámějším a nejrozšířenějším patří deoxynivalenol (DON). Na jeho produkci se nejčastěji podílí *F. graminearum* a *F. culmorum* (3, 4). Je známo, že infekce *Fusarium* spp. v době květu obilnin vede ke snížení hmotnosti zrna a ke tvorbě scvrklých zrn, častý je rovněž výskyt hluchých klásků, případně celých klasů – to vede k významným výnosovým ztrátám (5). Navíc může být kontaminace zrna toxigenními houbami a jejich mykotoxiny i významným inhibičním faktorem procesu fermentace (6).

Nařízením Komise (ES) č. 1881/2006 z prosince 2006 jsou určeny maximální limity kontaminujících látek v obilovinách, včetně vybraných mykotoxinů (např. limit pro DON v nezpracovaných obilovinách pro potravinářské využití je 1 250 µg.kg⁻¹ zrna). Pro pšenici k výrobě bioetanolu doposud žádné limity obsahu mykotoxinů stanoveny nejsou; to však neznamená,

že by se k těmto účelům mělo využívat podřadné, „zaplísňené“ obilí – to je zcela nevhodné i pro tento způsob využití.

Kontaminace zrna pšenice houbami *Fusarium* spp. a jimi produkovanými mykotoxiny byla dosud studována zejména z pohledu ovlivnění potravinářské, pekařské jakosti. Informací o vlivu klasových fuzarióz na kvalitu lihovarnické pšenice je doposud k dispozici velmi málo.

Cílem naší práce bylo zhodnotit vliv různé intenzity kontaminace zrna ozimé pšenice houbami *Fusarium* spp. na obsah deoxynivalenolu v zrně, výtěžnost bioetanolu, výnos zrna, produkci bioetanolu z hektaru a další parametry, které slouží pro posuzování obilovin k lihovarnickým účelům – obsah škrobu a číslo poklesu.

Metody a materiál

Soubor vzorků tří odrůd ozimé pšenice (Meritto, Akteur a Eurofit), použitý pro hodnocení, pocházel z přesného polního pokusu, vedeného v letech 2007/08 a 2008/09 na Výzkumné stanici ČZU Praha v Uhřetěvsi (295 m nad mořem, průměrná roční teplota 8,4 °C, průměrný roční úhrn srážek 575 mm). V rámci polního pokusu byly využity různé varianty umělé



LISTY CUKROVARNICKÉ a ŘEPAŘSKÉ

Tab. 1. Intenzita kontaminace zrna pšenice *Fusarium* spp.

Varianta	Odrůda	2008		2009	
		<i>F. culmorum</i>	<i>F. graminearum</i>	<i>F. culmorum</i>	<i>F. graminearum</i>
I	Meritto	++	+	+	+
	Akteur	++	-	+	-
	Eurofit	++	-	-	+
II	Meritto	+	-	+	-
	Akteur	+	-	+	-
	Eurofit	-	-	+	-
III	Meritto	+++	+	++	+
	Akteur	+++	+	++	+
	Eurofit	++	+	++	+
IV	Meritto	++	-	+	-
	Akteur	++	-	+	-
	Eurofit	++	-	+	-
V	Meritto	+	-	+	-
	Akteur	+++	+	++	-
	Eurofit	+	-	+	-
VI	Meritto	++	-	+	-
	Akteur	++	+	+	-
	Eurofit	++	-	-	-
VII	Meritto	+++	+	++	+
	Akteur	+++	+	++	+
	Eurofit	++	-	++	-
VIII	Meritto	++	+	+	-
	Akteur	++	-	+	-
	Eurofit	++	+	+	-

+ vzorek pozitivní, nízká úroveň infekce; ++ střední úroveň infekce; +++ vysoká úroveň infekce; - vzorek negativní.

inokulace pšenice *Fusarium* spp. a současně různé varianty fungicidního ošetření, s cílem získat širokou škálu vzorků s různou úrovní kontaminace. U variant s kombinací umělé

inokulace a preventivního fungicidního ošetření fungicidem Prosaro 250 EC (aktivní látka prothioconazol + tebuconazol), byl postřik v dávce 0,75 l.ha⁻¹ proveden dva dny před umělou inokulací. Pokus zahrnoval varianty:

- neošetřená kontrola,
- ošetřeno fungicidem Prosaro,
- umělá inokulace na počátku kvetení,
- umělá inokulace na počátku kvetení + Prosaro,
- umělá inokulace na konci kvetení,
- umělá inokulace na konci kvetení + Prosaro,
- umělá inokulace na počátku i konci kvetení,
- umělá inokulace na počátku i konci kvetení + Prosaro.

Vlastní inokulace byla provedena postřikem suspenzí spór *F. culmorum* a *F. graminearum* v poměru 1:1, hustota inokula 10⁷ spór.ml⁻¹, 2 l suspenze na parcelu (12 m²).

Po sklizni byl zjištěn výnos a byly odebrány vzorky zrna pro hodnocení intenzity kontaminace zrna *Fusarium* spp., stanovení obsahu deoxynivalenolu v zru, dále hodnocení výtěžnosti bio-etanolu a stanovení obsahu škrobu v sušině zrna a čísla poklesu.

Pro hodnocení přítomnosti *Fusarium* spp. ve vzorcích pšenice byla použita PCR analýza s využitím specifických primerů. DNA byla extrahována z pšeničného zrna prostřednictvím DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN, Hilden Germany), vlastní postup detekce *F. culmorum* a *F. graminearum* byl shodný s postupem, který uvádí SCHILLING ET AL. (7).

Pro stanovení deoxynivalenolu v zru pšenice byl použit UPLC-TOF MS systém (Ultra-Performance Liquid Chromatography – Acquity, Waters, USA ve spojení s hmotnostním spektrometrem LCT Premier, Waters, USA).

Laboratorní kvasná zkouška byla provedena dle SEDLAČKA a HORČIČKY (8). Pro stanovení etanolu byl použit spektrofotometr Tecan Sunrise (UV spektrofotometrické stanovení s využitím škály standardů, obsažených v použitém etanol-kitu „Megazyme ethanol assay“). Výsledky byly vyhodnoceny prostřednictvím speciálního software KIM.

Obsah škrobu v sušině zrna byl stanoven polarimetricky dle Ewarse (ČSN ISO 56 0512-16), číslo poklesu bylo stanoveno dle ČSN ISO 3093.

Výsledky byly statisticky hodnoceny analýzou varian-
ce vícenásobného třídění (ANOVA) v kombinaci s Tukey
HSD testem a korelační analýzou programem SAS.

Výsledky a diskuze

Podle očekávání byla v obou letech zaznamená-
na nejvyšší míra napadení *Fusarium* spp. u varianty
s umělou inokulací na začátku kvetení (varianta III.)
a dále u varianty s umělou inokulací na začátku i na
konci kvetení (varianta VII.). Ve druhém pokusném
roce byla celkově intenzita napadení pšenice *Fusari-*
um spp. nižší, než v roce předchozím, díky suchému
a horkému počasí v době květu pšenice, které bylo
nepříznivé pro vznik infekce (tab. I.). Přestože pro
umělou inokulaci byla použita suspenze spór *F. cul-*
morum a *F. graminearum* v poměru 1:1, na výsled-
ném napadení zrna výrazně převažovalo *F. culmor-*
um. Výsledky výsledné kontaminace zrna tedy nereflek-
tovaly procentické složení použitého inokulátu. Tyto
výsledky jsou v souladu se závěry, které zaznamenali
PRANGE ET AL. (9), kteří použili pro umělou inokulaci
pšenice „koktejl“ složený ze čtyř druhů *Fusarium*
spp. a zjistili značné rozdíly ve výsledném zastoupení
těchto druhů na inokulované pšenici. *F. culmor-*
um však převažovalo i u variant bez umělé inokulace.

Podle některých autorů může být aktivní ochrana
proti klasovým fuzariózám problematická. Použití
fungicidu musí být provedeno preventivně ještě před
výskytem symptomů, a to ve správný čas. Přestože je
známá řada fungicidů s dobrým účinkem proti fuza-
riózám, jejich účinnost je limitována dávkou a dobou
aplikace (10). Jak však vyplývá z našich výsledků,
preventivní ošetření pšenice fungicidem Prosaro vedlo
v naprosté většině případů ke snížení úrovně konta-
minace zrna *Fusarium* spp. (tab. I.).

Obsah deoxynivalenolu v zrna pšenice kolísal
v prvním pokusném roce 2008 ve velmi širokém
rozmezí, mezi 4,1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (varianta II. – bez umělé
inokulace, preventivně ošetřeno fungicidem Prosaro)
až po 6 559,0 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (varianta VII. – s umělou inoku-
lací na začátku i konci květu). U variant s kombinací
umělé inokulace a fungicidního ošetření Prosarem
(var. IV, VI. a VIII.) došlo k významnému snížení
obsahu deoxynivalenolu (ca o 40–60 %) oproti uměle
inokulovaným variantám bez fungicidního ošetření
(III., V., VII.). V roce 2009 byl trend obdobný, obsah
deoxynivalenolu byl celkově nižší (tab. II.).

Ve výtěžnosti etanolu byly v roce 2009 rozdíly mezi jedno-
tlivými variantami ve většině případů statisticky neprůkazné; v roce
2008 však došlo u uměle inokulovaných variant se silnou inten-
zitou kontaminace *Fusarium* spp. a vysokým obsahem deoxyni-
valenolu k průkaznému snížení výtěžnosti etanolu, a to přibližně
o 4–5 l.100 kg^{-1} zrna oproti kontrole (tab. II.). Současně byly za-
znamenány statisticky průkazné kladné korelace mezi výtěžností
etanolu a výnosem zrna, produkcí etanolu z hektaru, obsahem
škrobu a číslem poklesu a vysoce významná, záporná korelace mezi
výtěžností etanolu a obsahem deoxynivalenolu v zrna (tab. V.).

Je zřejmé, že snížení výtěžnosti etanolu souviselo s napa-
dením pšenice klasovými fuzariózami. Působení houby v zrna

Tab. II. Průměrný obsah deoxynivalenolu v zrna pšenice a výtěžnost etanolu
(Tukey, $\alpha = 0,05$)

Faktor		Obsah deoxynivalenolu ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)			Výtěžnost etanolu (l.100 kg^{-1})		
		2008	2009	průměr	2008	2009	průměr
Odrůda	Meritto	2 436,1 a	633,3 a	1 534,7 a	39,89 a	41,99 a	40,94 a
	Akteur	2 579,0 b	881,9 b	1 730,5 b	39,12 b	39,65 b	39,38 b
	Eurofit	1 934,0 c	406,3 c	1 170,2 c	39,89 a	41,40 c	40,64 c
Varianta	I	209,1 a	131,4 a	170,3 a	41,46 a	41,11 a	41,29 a
	II	4,1 b	127,0 a	65,6 b	41,48 a	41,01 ab	41,25 a
	III	5 446,3 c	599,5 b	3 022,9 c	37,17 b	41,03 ab	39,09 b
	IV	2 082,0 d	957,2 c	1 519,6 d	39,40 c	41,05 ab	40,23 c
	V	970,3 e	951,9 c	961,1 e	40,77 d	40,95 ab	40,86 d
	VI	469,0 f	97,2 d	283,1 f	41,45 a	41,08 ab	41,27 a
	VII	6 559,0 g	1 446,6 e	4 002,8 g	35,91 e	40,89 b	38,40 e
	VIII	2 795,7 h	813,0 c	1 834,3 h	39,43 c	40,94 ab	40,18 c
Ročník	2008			2 316,4 a			39,63 a
	2009			640,5 b			41,00 b

Tab. III. Průměrný obsah škrobu a číslo poklesu (Tukey, $\alpha = 0,05$)

Faktor		Obsah škrobu v suš. zrna (%)			Číslo poklesu (s)		
		2008	2009	průměr	2008	2009	průměr
Odrůda	Meritto	66,36 a	67,54 a	66,95 a	287,75 a	318,00 a	302,88 a
	Akteur	65,00 b	64,15 b	64,58 b	304,83 b	355,54 b	330,19 b
	Eurofit	65,67 b	65,71 c	65,69 b	304,25 b	315,54 a	309,90 a
Varianta	I	66,59 a	65,80 a	66,20 a	382,67 a	354,56 a	368,61 a
	II	66,42 ae	65,83 a	66,13 a	384,89 a	347,00 ac	365,94 a
	III	64,29 b	65,78 a	65,04 b	221,89 b	326,56 bc	274,22 b
	IV	66,07 c	65,84 a	65,96 c	260,44 c	341,78 ac	301,11 c
	V	65,09 d	65,79 a	65,44 d	315,33 d	309,67 b	312,50 c
	VI	66,25 e	65,81 a	65,53 d	333,89 d	333,00 c	333,44 d
	VII	65,15 df	65,77 a	65,46 d	224,11 b	310,67 bc	267,39 b
	VIII	65,44 f	65,79 a	65,62 cd	268,33 c	314,33 bc	291,33 c
Ročník	2008			65,67 a			298,94 a
	2009			65,80 a			329,69 b

dokládá i zvýšená amylolytická aktivita, charakterizovaná u silně
kontaminovaných variant výrazným snížením hodnot čísla po-
klesu, a to opět zejména v roce 2008 (avšak vzhledem k tomu,
že v tomto roce dosahovalo číslo poklesu u neinokulovaných
variant mimořádně vysokých hodnot, ca 380 s, nebylo číslo
poklesu ani u silně kontaminovaných variant extrémně nízké
a pohybovalo se těsně nad 220 s) (tab. III.). Jak dále vyplývá
z tab. III., došlo současně v roce 2008 u uměle kontaminovaných
vzorků (zejména varianty III. a VII.) ke statisticky průkaznému
snížení obsahu škrobu v sušině zrna oproti kontrole, a to o cca
2 %. Snížení obsahu škrobu u silně kontaminovaných variant by
odpovídalo závěrům autorů (11), podle kterých *Fusarium* spp.

Tab. IV. Průměrný výnos zrna a produkce etanolu (Tukey, $\alpha = 0,05$)

Faktor		Výnos zrna (t.ha ⁻¹)			Produkce etanolu (hl.ha ⁻¹)		
		2008	2009	průměr	2008	2009	průměr
Odrůda	Meritto	8,15 a	7,38 a	7,77 a	32,51 a	30,98 a	31,81 a
	Akteur	5,96 b	7,01 b	6,49 b	23,31 b	27,79 b	25,55 b
	Eurofit	7,92 c	8,08 c	8,00 c	31,59 c	33,45 c	32,51 a
Varianta	I	7,86 a	7,64 a	7,75 a	32,58 a	31,40 a	31,99 ae
	II	8,85 b	7,93 b	8,39 b	36,70 b	32,52 b	34,60 b
	III	6,36 c	7,49 c	6,93 c	23,64 c	30,73 a	27,08 c
	IV	7,24 d	7,31 d	7,28 d	28,52 d	30,00 c	29,28 d
	V	7,45 e	7,37 d	7,41 e	30,37 e	30,18 c	30,27 ad
	VI	7,75 a	7,94 b	7,85 a	32,12 a	32,61 b	32,39 e
	VII	6,68 f	7,31 d	7,00 c	23,98 c	28,37 d	24,88 f
	VIII	7,20 d	7,94 b	7,57 f	28,38 d	29,92 c	29,17 d
Ročník	2008			7,34 a			29,08 a
	2009			7,49 b			30,70 b

napadá škrobová zrna a působí jejich destrukci; škrob současně slouží houbě jako živný substrát. Pouhé snížení obsahu škrobu v sušině zrna, které ostatně nebylo příliš výrazné, však pravděpodobně nebylo jedinou příčinou snížení výtěžnosti etanolu. Domníváme se, že se zde projevilo i určité inhibiční působení přítomných mykotoxinů a tím negativní ovlivnění vlastního fermentačního procesu, jak zmiňují i CHARLENE a WOLF-HALL (6).

Z tab. III. dále vyplývají odrůdové rozdíly v obsahu škrobu, které byly výraznější v roce 2009, kdy odrůda Meritto z jakostní skupiny B dosáhla v průměru poměrně vysoké hodnoty 67,54 % obsahu škrobu v sušině zrna a odrůda Eurofit z jakostní skupiny A v průměru 65,71 %. Obsah škrobu v sušině zrna odrůd ozimé pšenice z jakostní skupiny C (tedy odrůd nevhodných pro pekařské využití, u kterých se předpokládá nejvyšší obsah škrobu a vhodnost k produkci bioetanolu), které hodnotili v rámci svého výzkumu autoři (1), se pohyboval v průměru v rozmezí 65,99–66,77 %, obsah škrobu v sušině zrna u odrůd z jakostní skupiny B v rozmezí 65,49–65,95 % a u odrůd z jakostní skupiny A mezi 65,23 % a 66,84 %. Odrůda Cubus z jakostní skupiny A, tedy odrůda k pekařským účelům, dokonce v průměru dosáhla nejvyššího obsahu škrobu v sušině zrna z celého hodnoceného souboru. I z našich předchozích výsledků (12) zpravidla nevyplývaly výrazné rozdíly v obsahu škrobu v sušině zrna mezi potravinářskými a nepotravinářskými odrůdami. I mezi odrůdami z jakostní skupiny A či B se tak mohou vyskytovat odrůdy, které jsou v obsahu škrobu a výtěžnosti etanolu takřka srovnatelné s odrůdami z jakostní skupiny C. Nesporně větší vhodnost odrůd pšenice z jakostní skupiny C pro produkci bioetanolu bude podle našeho názoru spočívat nejen ve vyšší výtěžnosti etanolu, ale zejména ve vyšší výnosnosti a výnosové stabilitě těchto odrůd, a tím i ve vyšší produkci etanolu z 1 ha; přitom tyto odrůdy jsou zpravidla schopné dosahovat vysokých výnosů i v méně příznivých půdně klimatických podmínkách.

Infekce pšenice *Fusarium* spp. může vést k významným výnosovým ztrátám, následkem tvorby drobnějšího zrna a výskytu hluchých klásků, případně celých klasů (5). Z našeho hodnocení výnosů zrna (tab. IV.) je patrné, že zatímco v roce

2009 nebyly rozdíly ve výnosech mezi jednotlivými variantami příliš významné a v řadě případů byly statisticky neprůkazné, v roce 2008 bylo zaznamenáno výrazné snížení výnosu u uměle inokulovaných variant – varianta III s inokulací na počátku kvetení dosáhla v průměru 80 % výnosu kontrolní varianty (I) a varianta VII (inokulace na počátku i konci kvetení) dosáhla 85 % výnosu kontrolní varianty. Preventivní ošetření fungicidem Prosaro opět prokázalo pozitivní efekt – varianta II (bez inokulace, ale s fungicidním ošetřením) dosáhla o 12 % vyššího výnosu, než neošetřená kontrola, a u variant s kombinací umělé inokulace a fungicidního ošetření (IV, VI, VIII) došlo k navýšení výnosu o 4–13 % oproti inokulovaným variantám bez fungicidního ošetření.

Posledním sledovaným parametrem byla produkce etanolu z 1 ha. Právě tento parametr patří k těm, které mají nejvyšší vypovídací schopnost o vhodnosti odrůdy pro lihovarnické účely, neboť v sobě zahrnuje jak výtěžnost etanolu, tak i výnos zrna (13). Zaznamenali jsme pozitivní, vysoce průkaznou korelaci mezi produkcí etanolu z hektaru a výtěžností etanolu a rovněž pozitivní, vysoce průkaznou korelaci mezi produkcí etanolu z hektaru a výnosem zrna (tab. V.). Zejména v roce

2008 byly zjištěny průkazné rozdíly mezi jednotlivými pokusnými variantami (tab. IV). Produkce etanolu kolísala od 23,64 hl.ha⁻¹ (varianta III s umělou inokulací na počátku kvetení) do 36,70 hl.ha⁻¹ (varianta II – bez umělé inokulace, ale s ošetřením fungicidem Prosaro). V roce 2009 byly hodnoty produkce etanolu vyrovnanější. V obou pokusných letech dosáhla v průměru nejvyšší produkce etanolu z 1 ha odrůda Eurofit z jakostní skupiny A, následovala odrůda Meritto z jakostní skupiny B a Akteur z jakostní skupiny E.

Závěr

Na základě získaných výsledků je možné konstatovat, že v důsledku kontaminace zrna ozimé pšenice houbami *Fusarium* spp. došlo k negativnímu ovlivnění všech hodnocených parametrů: výtěžnosti etanolu, obsahu škrobu, čísla poklesu, výnosu zrna i produkce etanolu z hektaru. U silně kontaminovaných vzorků byl současně zaznamenán vysoký výskyt mykotoxinu deoxynivalenolu – to by mohlo působit problémy zejména v případě využití lihovarnických výpalků ke krmným účelům, neboť výrobní proces bioetanolu DON neničí, ale ve skutečnosti jej koncentruje právě ve výpalcích. Je proto třeba, aby lihovary vyžadovaly pouze kvalitní a nepoškozenou surovinu a vyvarovaly se silně kontaminovaného a zaplísňeného zrna.

Práce vznikla za podpory projektu MSM 2B08049 a výzkumného záměru MSM 6046070901.

Souhrn

V přesném polním pokusu s odrůdami ozimé pšenice Meritto, Akteur a Eurofit, vedeném v letech 2008 a 2009 na Výzkumné stanici ČZU v Praze-Uhřetěvesi a zahrnujícím 8 pokusných variant, v rámci kterých byly využity umělé inokulace pšenice *Fusarium* spp. i různé varianty fungicidního ošetření proti klasovým fuzariózám, jsme hodnotili vliv různé intenzity kontaminace zrna *Fusarium*

spp. na obsah deoxynivalenolu, výtěžnost bioetanolu, obsah škrobu, číslo poklesu, výnos zrna a produkci etanolu z hektaru. Kontaminace zrna ozimé pšenice *Fusarium* spp. vedla k negativnímu ovlivnění všech hodnocených parametrů, a to zejména v případě silně kontaminovaných vzorků v roce 2008. Výtěžnost bioetanolu se pohybovala v rozmezí mezi 35,91 (uměle inokulovaná varianta, silně kontaminovaná *Fusarium* spp.) a 41,46 l.100 kg⁻¹ zrna (kontrola). U silně kontaminovaných variant současně došlo ke snížení obsahu škrobu v sušině zrna (cca o 2 %), hodnoty čísla poklesu (cca o 150 s), výnosu zrna o 1,5–2,5 t.ha⁻¹, tj. o 24–30 % ve srovnání s kontrolou, resp. s fungicidně ošetřenou variantou. Produkce etanolu z ha se pohybovala v rozmezí od 23,64 (silně kontaminovaná, uměle inokulovaná varianta) po 31,40 hl.ha⁻¹ (kontrola) a 36,70 hl.ha⁻¹ (varianta s preventivním fungicidním ošetřením).

Klíčová slova: pšenice, *Fusarium* spp., bioetanol, škrob, výnos.

Literatura

- DVOŘÁČEK, V. ET AL.: Efektivní postupy pěstování pšenice pro produkci pšeničného škrobu a bioetanolu. *Listy cukrov. řepář.*, 126, 2010 (4), s. 142–145.
- DVOŘÁČEK, V. ET AL.: Vliv odrůdy, technologie pěstování a lokality na produkci škrobu a bioetanolu u vybraných odrůd pšenice seté. *Listy cukrov. řepář.*, 123, 2007 (12), s. 380–382.
- CLEAR, R. M.; PATRICK, S. K.: *Fusarium* head blight pathogens isolated from *Fusarium*-damaged kernels of wheat in western Canada, 1993 to 1998. *Canad. J. Plant Pathology*, 2000 (22), s. 51–60.
- DESJARDINS, A. E.; PROCTOR, R. H.: Biochemistry and Genetics of *Fusarium* toxins. In SUMMERELL, J. F. ET AL. (eds.): *Fusarium – Paul E. Nelson Memorial Symposium*. St. Paul, Minnesota, USA: APS Press, 2001, s. 50–69.
- EGGERT, K.; WIESER, H.; PAWELZIK, E.: The influence of *Fusarium* infection and growing location on the quantitative protein composition of (Part II) naked barley (*Hordeum vulgare nudum*). *Eur. Food Res. Technol.*, 2010 (230), s. 893–902.
- CHARLENE, E.; WOLF-HALL, C. E.: Mold and mycotoxin problems encountered during malting and brewing. *International J. Food Microbiology*, 119, 2007 (1–2), s. 89–94.
- SCHILLING, A. G.; MOLLER, E. M.; GEIGER, H. H.: Polymerase chain reaction-based assays for species-specific detection of *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* and *F. avenaceum*. *Phytopathology*, 86, 1996, s. 515–522.
- SEDLÁČEK, T.; HORČÍČKA, P.: Wheat wort density as a tool for prediction of ethanol yield. *J. Agrobiologie*, 26, 2009 (2), s. 69–74.
- PRANGE, A. ET AL.: *Fusarium*-inoculated wheat: deoxynivalenol contents and baking quality in relation to infection time. *Food Control*, 16, 2004 (8), s. 739–745.
- CROMEY, M. G. ET AL.: Control of *Fusarium* head blight of wheat with fungicides. *Australian J. Plant Pathol.*, 30, 2001, s. 301–308.

Tab. V. Korelační vztahy mezi hodnocenými parametry

Parametr	DON v zrně	Výtěžnost etanolu	Výnos zrna	Produkce etanolu z 1 ha	Obsah škrobu	Číslo poklesu
DON v zrně	1					
Výtěžnost etanolu	-0,75**	1				
Výnos zrna	-0,63**	0,62**	1			
Produkce etanolu z 1 ha	-0,75**	0,85**	0,94**	1		
Obsah škrobu	-0,32*	0,54**	0,18	0,46*	1	
Číslo poklesu	-0,81**	0,63**	0,38*	0,52**	-0,05	1

- BOYACIOGLU, D.; HETTIARACHCHY, N. S.: Changes in some biochemical components of wheat grain that was infected with *Fusarium graminearum*. *J. Cereal Sci.*, 21, 1995, s. 57–62.
- PETR, J. ET AL.: Obsah škrobu v zrně vybraných odrůd ozimé pšenice. *Rostl. výroba*, 45, 1999 (3), s. 145–148.
- PETR, J.: Pěstování obilnin pro produkci bioetanolu je perspektivní. *Úroda*, 2004 (7), s. 18–21.

Capouchová I., Kostelanská M., Erhartová D., Prokinová E., Hajšlová J., Škeříková A., Salava J., Pazderů K.: Risks of the *Fusarium* Infestation for Bioethanol Production from Wheat

The effect of different intensity of *Fusarium* spp. infestation on DON content, bioethanol yield, starch content, falling number, grain yield and bioethanol production per ha was evaluated in frame of the exact field plot trial with 3 winter wheat varieties (Meritto, Akteur, Eurofit) and variants with different processes of artificial inoculation of wheat by *Fusarium* spp. and simultaneously several ways of fungicidal treatment against FHB.

Fusarium spp. infestation of winter wheat led to negative affecting of all evaluated parameters. Bioethanol yield varied between 35.91 (artificially inoculated variant, strongly infected by *Fusarium* spp.) and 41.46 l.100 kg⁻¹ of grain (check variant). Simultaneously, decrease of starch content in grain dry matter by about 2 %, values of falling number by about 150 s, grain yield by about 1.5–2.5 t.ha⁻¹, i.e. 24–30 % was found in strongly infected variants in comparison with the check variant, resp. variant with protective fungicidal treatment. Ethanol production varied from 23.64 (artificially inoculated variant) to 31.40 (check variant) and 36.70 hl.ha⁻¹ (variant with fungicidal treatment).

Key words: wheat, *Fusarium* spp., bioethanol, starch, yield.

Kontaktní adresa – Contact address:

doc. Ing. Ivana Capouchová, CSc., Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra rostlinné výroby, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 Suchbátka, Česká republika, e-mail: capouchova@af.czu.cz