Změněné morfotypy klasu pšenice

Petr Martinek a kolektiv
Agrotest fyto, s.r.o.
Kroměříž
martinek@vukrom.cz

Cílem šlechtění je zvyšovat výnosový potenciál a rozšiřovat kvalitu zrna

Výnosový potenciál je výnos odrůdy za ideálních podmínek růstu v prostředí ke kterému je odrůda adaptována, za podmínek neomezené zásoby živin a vody a za vyloučení škůdců, chorob, plevelů, poléhání a ostatních stresových faktorů, které jsou pod účinnou kontrolou (Evans & Fischer , 1999).

Evans, L.T., Fischer, R.A. (1999): Yield potential: Its definition, measurement, and significance. Crop Sci., 39(6), 1544-1551.

Předpokladem dosažení vysokého výnosu je schopnost docílit co největšího výnosu biomasy z jednotky plochy porostu a zároveň co nejvyšší podíl hospodářsky využitelného výnosu – tedy zrna.

Šlechtění je základní intenzifikační faktor zemědělství.

Uspořádání šlechtitelských pokusů v Kroměříži

1. Šlechtění by mělo navazovat na předchozí vývoj

Nás hlavně zajímá jak se vyvíjela pšenice v minulosti a na základě toho odhad jak asi budou odrůdy vypadat v budoucnosti a co bude u nich potřeba měnit.

Vývoj výnosů v ČR (podle ČSÚ), sklizňové plochy, výnosů a produkce a počtu lidí ve světě (podle FAO)

Změny v délce stébla a v poměrech mezi velikostí klasů a stébel (zvyšování sklizňového indexu).

V posledním čtvrtstoletí dochází ke zpomalení zkracování délky stébla a ke zvyšování podílů odrůd tvořících výnos produktivitou klasu (vpravo).

Délka rostlin a odolnost proti poléhání (Stupice 1945-2005)

Hanišová A, Horčička P.: Pokrok ve šlechtění pšenice v České republice

Leišová-Svobodová, L., Chrpová, J., Hermuth, J. *et al.* Quo vadis wheat breeding: a case study in Central Europe. *Euphytica* **216,** 141 (2020). https://doi.org/10.1007/s10681-020-02670-2

Hodnoceno 355 pšenic z období:

1. (1900–1931), **2.** (1932–1950), **3.** (1951-1970), **4.** (1971-1990), **5.** (1991–2001), **6.** (2002–2015).

Zlom mezi obdobími 3 a 4 kolem roku 1970. kdy bylo uplatňováno relativně málo odrůd, vedoucí k moderním odrůdám s velmi dobrými výnosy a vysokými odolnost proti poléhání a padlí. Došlo k podstatnému snížení genetické rozmanitosti. Genetická rozmanitost je ovlivněna spíše rodokmenem než obdobím.

K předním genotypům používaným ve šlechtění programy: **Bankuti 1205**, **Mironovskaja 808** a **Moisson**.

Hmotnost zrna klasu

Počet zrn klasu

Hmotnost 1000 zrn

Počet klásků klasu

Délka rostliny

Odolnost k poléhání

Obsah hrubých bílkovin

Obsah škrobu

Sklizňový index

Odolnost k padlí

Odolnost k poléhání

Pokrok ve šlechtění byl podmíněn především změnami proporcí rostlin, nikoli výkonností fotosyntézy. Srovnávací analýzy odrůd z různé doby ukazují že výnosová schopnost je podmíněna zvyšováním produktivity klasu, zkracováním délky stébla (až do nějaké limitní délky), případně i snižováním obsahu bílkovin. Došlo ke změně proporcí rostlin, nedošlo ke změně výkonnosti fotosyntézy, neboť sušina biomasy nadzemní hmotnosti porostu starých a nových odrůd zůstala prakticky stejná.

V posledních tří dekádách je pozorován trend zpomalení až zastavení zkracování délky stébla, což zřejmě má spojitost s odolností porostu ke stresu (neboť určitá délka porostu je nezbytná pro zabezpečení vnitřní teplotní a vlhkostní stability prostu). Také zkracovat délku stébla nelze provádět do nekonečna.

Hustý porost

Řídký porost

Podle výsledků **Lejšové-Svobodové (2020)** dochází od 70. let k určitým změnám v trendech vývoje rostlin. Do tohoto období, které je charakteristické poměrně lineárním růstem celosvětových výnosů hovoříme o období zelené revoluce, po tomto období hovoříme o období po zelené revoluci (post green revolution), které je charakteristické vyšší mírou nestability výnosů a mírným poklesem trendu.

Z výše uvedených grafů a další literatury vyplývá, že výnos odrůd se uskutečňoval především cestou zvyšování hmotnosti zrna klasu, zvyšoval se poměr hmotnosti zrna klasu k hmotnosti nadzemní biomasy porostu (sklizňový index) a v tímto směrem se vyvíjejí i nové odrůdy. Je logické, že vývoj šlechtění musí pokračovat zachovávat tento vývojový trend.

2. Rozdělení současných odrůd

Odrůdy pšenice lze rozdělit do několika typů (rozdělení rovněž vychází z německého modelu třídění odrůd)

Umožňují to paprskové diagramy znázorňující výnosové prvky.

Probitová transformace a rozdělení současných odrůd pšenice

$$Y = (x - \mu)/\sigma + 5$$

x = reálná hodnota znaku
μ = střední hodnota (průměr)
σ = směrodatná odchylka
Y = hodnota probitu (transformace)

Probit umožňuje transformaci souboru s reálnými hodnotami na soubor s hodnotami, jejichž průměr je nulový a rozptyl se rovná jedné. Po přičtení hodnoty 5 (jako konstanty ke každému číslu) lze tyto hodnoty zobrazit v paprskovém grafu například ve formě trojúhelníku nebo víceúhelníku. Dosadíme-li výnosové prvky (počet zrn klasu, průměrnou hmotnost jednoho zrna a počet klasů na 1m²), výsledkem jsou trojúhelníkové paprskové diagramy, které jsou zveřejňovány každoročně v Seznamech doporučených odrůd vydávaných ÚKZÚZ.

Klasové typy (typy s jedním klasem Einzelährentypen - EA)

Tvoří výnos produktivitou klasu a nejvyšší výnosy dávají při nižším počtu (hustotě) klasů na m². Nadměrná tvorba odnoží má obvykle negativní vliv na výnos. Klasy jsou obvykle dlouhé nápadně velké, s vysokou hmotností zrna klasu danou vysokým počtem klásků, vysokým počtem zrn klasu a vysokou HTS.

U klasových (jednoklasových) typů dochází k intenzivnímu zásobení během krátkých období intenzivního růstu v období nalévání zrna. Existuje výrazná apikální dominance hlavního stébla nebo brzy vyvinutých bočních odnoží. To vede k výraznému snižování počtu slabých bočních odnoží s postupujícím růstem. Klasové typy si vystačí s malým množstvím vody až do počátku sloupkování, kdy dochází k výrazné redukci počtu bočních odnoží s postupujícím růstem.

Nevysévat příliš brzy, aby vyprodukovaly maximálně dva produktivní klasy a aby nevytvořily moc odnoží. Na jaře zbytečně nepodporovat tvorbu dalších slabých odnoží aplikací morforegulátorů růstu brzy na jaře, Raději později aplikovat na v menších dávkách až na vyrovnání odnoží a posílení stébla.

Klasové typy

vyšší HTZ

Vyšší PZK

Obrázky paprskových grafů převzaty z brožury SDO – obiloviny 2021, ÚKZÚZ

Hustotní typy (Bestandesdichte-Typen - BD)

Ty vyžadují vysoké zásoby živin. Kromě středních počtů vřetenových klasů se obvykle u nich setkáváme s nižším počtem zrn v klasu. Nižší podíl středních zrn však obvykle vede k vysoké HTZ. Přísun vody a živin je nutné zajistit u hustě vysetých typů na konci odnožování nebo na začátku sloupkování. Výnos je realizován při vyšší hustotě klasů podle úrodnosti stanoviště. Kompenzační možnosti tohoto typu prostřednictvím vyšší HTZ či počtem zrn klasu jsou omezené. Odrůdy tvořící výnos počtem klasů z plochy (Körndichtetypen) využívat spíš pro ranější setí aby se vytvořil dostatek odnoží. Často se jedná o ranější odrůdy, které aby dosáhly vysokého výnosu musí rychle vyvinout dostatek odnoží.

Kompenzační typy (Kompensations-Typen - KT)

Pokud je některý výnosový prvek oslaben, lze ho do značné míry kompenzovat lepším rozvojem jiných existujících prvků. Řidší porosty jsou kompenzovány lepším vývojem klasů. Pokud je počet klasů příliš vysoký, jejich **výnos neklesá tolik jako u klasových (jednoklasových)** typů. Rozlišuje se mezi typy kompenzace směrem ke **klasovým typům** (Einzelahrentypen - EA) a **hustotním typům** (Bestandesdichte-Typen - BD). Optimální hustota klasů leží mezi první a druhou skupinou. U kompenzačních typů (Kompenzationstypen) tvořících výnos spíš hustotou porostu je vhodné časně zjara zajistit srovnání 1-2 odnoží na úroveň hlavního stébla a zajistit doporučenou hustotu porostu na úrovni 650-750 klasů, obvykle je vzhledem k dobré odnoživosti těchto odrůd nutné pracovat s vyššími dávkami morforegulátorů na zpevnění stébla.

Zrnové typy (Korndichte-Typen)

U **zrnových typů** je nejvyšší výnosový potenciál a je tvořen počtem sklizených zrn na m^2. HTS zůstává konstantní v širokém rozsahu. U **zrnových typů** se rozlišují typy s důrazem na vyšší počet zrn klasu (tím se přibližují **klasovým typům**) a typy s vysokým počtem zrn na jednotku plochy porostu (tím se přibližují **hustotním typům**), které generují vysoké výnosy díky vysoké hustotě porostu. Otázka je, jestli vyčlenění tohoto typu není trochu nadbytečné, protože buď výnos může být tvořen menším počtem klasů porostu s vysokou hmotností zrna nebo naopak. Mezi těmito výnosovými prvky je záporní korelace.

Zdroj: Welcher Typ ist die Sorte? Top Ratgeber

Ke správnému stanovení výsevku a volbě termínu setí však samotný typ odrůdy nestačí, k tomu je potřeba ještě znát jak **odrůda reaguje na délku slunečního svitu** a jak rychle přechází do vegetativního vývoje. Zde rozeznáváme odrůdy

Krátkodenní (Kurztags-typen). Jsou to odrůdy necitlivé na délku dne a obvykle ranější. Hodí se na stanoviště s časným nástupem vegetace, tam by dlouhodenní odrůdy tvořily nadměrné množství odnoží a porost by se neúměrně zahušťoval.

Dlouhodenní odrůdy (Langstags-typen). Jsou to odrůdy citlivé na délku dne a obvykle pozdnější. Hodí se na stanoviště s pozdním nástupem vegetace na jaře. Tam by naopak krátkodenní odrůdy nedosáhly potřebné hustoty zrna.

Vedle těchto dvou skupin je velká skupina odrůd s neutrální reakcí, kam patří například kompenzační typ Sultan, nebo Potenzial které tvoří výnos počtem zrn z plochy.

Teprve na základě těchto informací a uvažovaného termínu setí lze zodpovědně volit výsevek. Podle Horsch: Bezorebne.cz

3. - a jak dál?

Možnosti dalšího zvyšování výnosu

1. Pokračovat ve stávajícím trendu šlechtění
2. Šlechtění hybridních odrůd (výnos by měl být o cca 0,5 t/ha vyšší aby to bylo rentabilní)
3. Genetické ovlivňování produktivity klasu po mocí změn morfologické struktury klasu (dlouhá pleva, mnohořadý klas, další znaky?)
4. Zvyšování výkonnosti fotosyntézy ovlivňováním fotosynteticky aktivních enzymů - RuBbisCO – (EU je proti využití GMO), tvorba odrůd na míru (přečten genetický kód pšenice pod vedením UEB Olomouc)
5. Najít náhradní plodiny za pšenici (čirok, bér, rozšíření kukuřice)

Východiska kombinující synergické znaky pro dosažení výnosového potenciálu (Reynolds et al. , 2010)

SINK (před naléváním zrna):
•Zvyšování podílu asimilátů pro vyvíjející se klas
•Snižování redukce kvítků
•Optimalizace fenologických nároků
•Odolnost k poléhání

SINK (nalévání zrna):
•Zvyšování podílu zrna (*Rht*)
•Kapacita klasu
•Redukce vegetativních odnoží
•Dostatečný kořenový systém pro příjem zdrojů

ZDROJE (před naléváním zrna):
•Přijem světla
Radiation use efficiency (RUE)
•RuBisCO
•C_4 typy rostlin

ZDROJE (nalévání zrna):
•Fotosyntéza (porostem, buňkou)
•Tolerance k vysokým teplotám
•Distribuce světla v porostu
•Životnost listů
•Distribuce dusíkatých látek
•Fotosyntéza klasu

Reynolds M., Bonnett D., Chapman S. C., Furbank R. T., Manes Y., Mather D. E., Parry M. A. J.: Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies J. Exp. Bot. (2010) doi: 10.1093/jxb/erq311

Důležité jsou zdroje (pro život energetické, pro šlechtění genové)

Pokračovat ve změnách proporcí rostlin

možná i přímým genetickým ovlivňováním morfologie klasu pšenice

Květenstvím pšenice je lichoklas (klas zakončený terminálním kláskem). Klásky vyrůstají z nodů klasového vřetene a jsou uspořádány do dvou protistojných řad.

U běžných odrůd vyrůstá jeden klásek z jednoho nodu klasového vřetene. Hovoříme o normálních klasech (NS – normal spike).

Existují však i formy pšenice s nadpočetnými klásky (SS – supernumerary spikelets), kde větší počet klásků vyrůstá z jednoho nodu klasového vřetene.

Vzhledem k trendu zvyšování hmotnosti zrna klasu (a tedy i produktivity klasu charakterizované počtem zrn klasu) by tyto formy mohly mít šlechtitelský význam.

Uspořádání klásků na nodu klasového vřetene u *T. aestivum*

a - d: normální struktura klasu (normal spike - NS) – jeden klásek na jeden nodus klasového vřetene,
e - h: nadpočetné klásky (supernumerary spikelets - SS) – vyšší počet klásků na jeden nodus klasového vřetene

Rozdílné uspořádání klásků na nodech klasového vřetena a s tím související rozdíly v morfologii klasu pšenice seté, vpravo pšenice schopná tvořit tři obilky v kvítku

Mnohořadý klas

(MRS – multirow spike)

Nadpočetné klásky - zvýšení počtu zrn klasu

b, c – mnohořadý klas

Pšenice s mnohořadým klasem

Mnohořadý klas – zvětšení počtu a hmotnosti zrn klasu

Dlouhá pleva

(LG – long glume)

Dlouhé plevy LG (long glumes)

LG jsou řízeny genem *P* na chromosomu 7AL (Watanabe & Imamura, 2002; Akond et al., 2008)

Pšenice s dlouhou plevou

A - normální klas běžné pšenice, B - *klas Triticum polonicum* L. (gen pro dlouhou plevu *P1* se nachází se na dlouhém rameni chromosomu 7A a představuje možnost jak zvýšit asimilační kapacitu klasu). C - I - klasy různých linií pšenice seté, do kterých byl přenesen gen *P1* pro dlouhou plevu z *T. polonicum*

Dlouhá pleva – posílení asimilační schopnosti klasu

Závěr

Pokrok ve šlechtění byl dosud podmíněn především změnami proporcí rostlin a z části i chemického složení zrna, nikoli zásadní změnou výkonnosti fotosyntézy. Srovnávací analýzy odrůd z různé doby ukazují že výnosová schopnost je podmíněna zvyšováním produktivity klasu, ještě do nedávna zkracováním délky stébla a je doprovázena snižováním obsahu bílkovin a zvyšováním obsahu škrobu. Na to se musí navazovat v současném šlechtění (a zdá se, že není mnoho možností jak v tomto pokračovat).

Bylo by dobré dokázat zvýšit intenzitu fotosyntézy (například vytvořením rostlin s C4 metabolickým cyklem). Fotosyntéza se asi stane limitujícím faktorem pro další šlechtění na zvyšování výnosu.

Tyto úvahy mají smysl, pokud se svět bude vyvíjet jako dřív a pokud nedojde k poklesu počtu lidí na planetě.

Poděkování patří spolupracovníkům:

Agrotest fyto s.r.o., Kroměříž
Hana Chytrá, Ing. Ondřej Jirsa, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze
Prof. Ing. Jaromír Lachman, CSc., Ing. Matyáš Orsák, Ph.D., Ing. Zora Kotíková, Ph.D., Ing. Marie Hemerová, Ph.D., Ing. Barbora Burešová, Ing. Miloslav Šulc, Ph.D. Doc. Ing. František Hnilička, Ph.D., Ing. Helena Hniličková, Ph.D.

Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i. Praha
Ing. Martina Trávníčková, Ing. Jiří Hermuth, Ing. Jana Chrpová, CSc.

Mendelova univerzita v Brně
Doc. Mgr. Ing. Eva Mrkvicová, Ph.D., MVDr. Bc. Ing. Ondřej Šťastník, Ph.D., Doc. Ing. Tomáš Vyhnánek, Ph.D.

Univerzita Palackého v Olomouci
Doc. RNDr. Eva Anzenbacherová, CSc., Mgr. Pavel Kosina, Ph.D., Mgr. Iveta Zapletalová

Ditana, s.r.o., Velká Bystřice u Olomouce
Ing. Alena Bezdíčková, Ph.D.

DĚKUJI ZA POZORNOST