

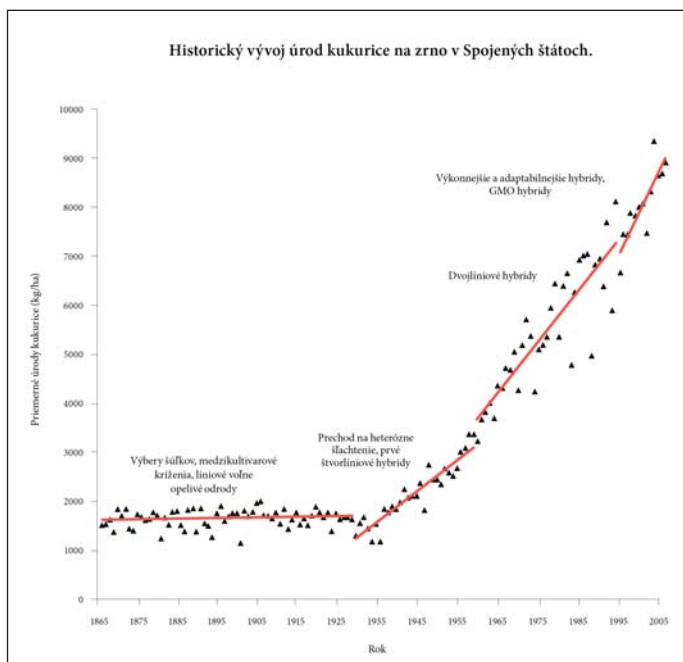
Zvyšovanie úrod kukurice

Úrody kukurice sa za posledných 80 rokov dramaticky zlepšili, a to najmä vďaka genetickému zdokonaleniu prostredníctvom šľachtenia rastlín. Úroda kukurice je kvantitatívny znak ovplyvnený mnohými génmi, z ktorých každý má veľmi malé účinky, a prostredím. Metódy šľachtenia rodičovských línií, z ktorých vznikajú samotné hybridy vyvinuté za posledných 80 rokov využívajú genetickú architektúru výnosu, zdokonalenia na úrovni úrodovných prvkov, ako aj heterózy. Táto zložitá genetická architektúra predstavuje prekážky pri použití selekcie pomocou markerov, aj keď niektoré z týchto ťažkostí môžu prekonať nové prístupy. V budúcnosti sa zvyšovanie úrod bude dať dosiahnuť aj využitím obrovskej genetickej diverzity kukurice.

Historické trendy úrod kukurice

Zlepšenie úrody kukurice v dvadsiatom storočí predstavuje jeden z veľkých úspechov šľachtenia rastlín a agronómie. Úrody kukurice v USA ako najväčšieho pestovateľa kukurice vo svete (ročná

produkcia približne 380 miliónov ton) sa od roku 1945 zvyšovali v priemere o 122 kg na hektár ročne (Graf 1). To je v ostrom kontraste s v podstate nulovými prírastkami na úrodách v štátoch Ameriky od 1900 do roku 1944. Čo spôsobilo tento dramatický



Graf 1: Priemerné úrody kukurice na zrno v USA (v prepočte na 15% vlhkosť) a historické trendy od roku 1866. Nové hybridy majú päťkrát vyššiu úrodnosť zrna. Od roku 1995 výrazný vzrast hektárov GMO kukurice.

Zdroj: USDA (United States Department of Agriculture/ Ministerstvo poľnohospodárstva Spojených štátov) – NASS (National Agricultural Statistics Service /Národná služba pre poľnohospodársku štatistiku).



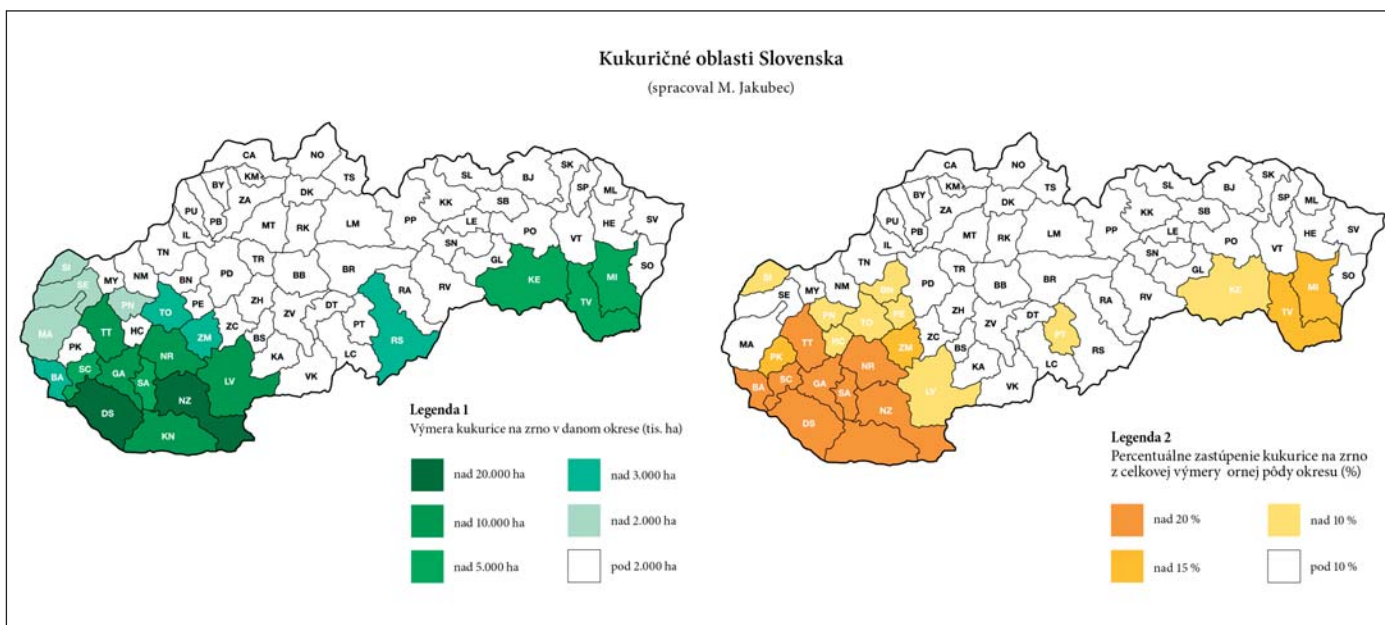
Foto 1: Kolekcia šúľkov kukurice zozbieraná autorom v roku 2019 v oblasti juhozápadného Slovenska, región Trnavského kraja, poukazuje na rozmanitosť v odrodovej skladbe súčasnej kukurice pestovanej za ostatné roky v našich regiónoch. Všimnite si znaky ako tvar, dĺžka a hrúbka šúľku; počty zrn v radoch, typ a farbu zrna. (FOTO: Autor)

nárast po druhej svetovej vojne? Jednou z príčin zvýšenia výnosu bol šľachtenie rastlín. Obdobie rokov 1937 až 1960 predstavuje obdobie, v ktorom poľnohospodári prešli od sejby tzv. voľne opelivých krajových kultivarov k štvorlíniovým hybridom (Dc – double cross) vznikajúcich dvojitým krížením rodičovských línií, a to sa časovo zhodovalo so zmenou trendov na krivke z plochého výnosu ku každoročnému zvyšovaniu úrody. Počnúc rokom 1960 začali prevládať dvojlíniové kríženia s podstatne vyšším výťažkom z heterózy (Sc – single cross), čo sa tak isto zhoduje s nárastom ročného prírastku na výnose. Od roku 2006 sa trend k vyššiemu výnosu nezmenšil, čo svedčí o schopnosti šľachtiteľov rastlín neustále vylepšovať hybridy kukurice. Celosvetovo sa úrody kukurice zvýšili v priemere o 2,6 % ročne od roku 1950 do roku 1980, ale miera prírastku sa spomalila na 1,5 % ročne od roku 1980 do roku 1995. Zisky v niektorých krajinách boli mierne a začali stúpať oveľa neskôr ako v Spojených štátoch, napríklad úrody kukurice v Číne začali vzrastať okolo roku 1970 a brazílske výnosy kukurice začali prudko stúpať až

okolo roku 1990. V Afrike však bol trend nárastu výnosov od roku 1956 nižší ako 1% ročne až do roku 1995. V niektorých krajinách sa prírastky na úrodách kukurice do značnej miery obmedzili na veľké komerčné farmy a na hospodárstvach malých roľníkov sa vyskytli iba v obmedzenej miere, kde prijatiu hybridov a zlepšovaniu agronomických postupov bránil najmä nedostatok finančných zdrojov a ďalšie faktory.

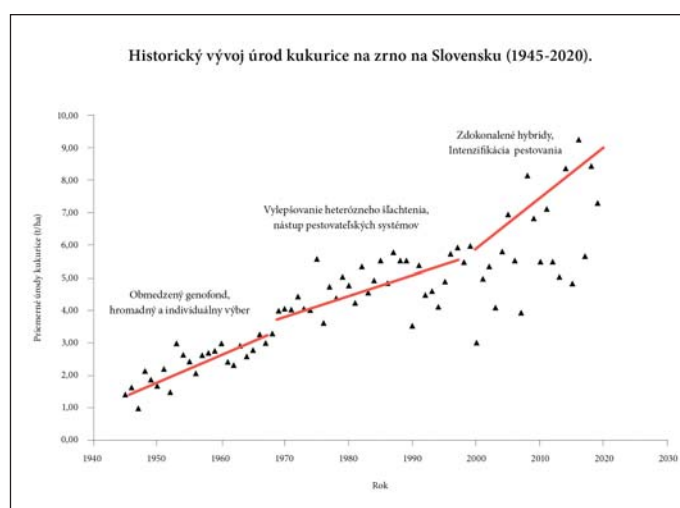
Výnosová hladina na Slovensku?

Trendy zvyšovania úrod kukurice na Slovensku boli v povojnovom období určované do určitej miery okliešteným genetickým fondom, ktorý bol k dispozícii domácim šľachtiteľom. Prevažovalo pestovanie na zelené kýmnie a siláž, na zrno sa jej pestovanie na našom území obmedzovalo hlavne na teplé kúricke oblasti južnej Moravy a Slovenska. Hromadný a individuálny výber sprevádzalo medzikultúrové kríženie, ktoré sa využívalo na vytváranie východiskového materiálu pre šľachtenie nových kultivarov. Takto vznikli viaceré naše prvé pôvodné kultivary s využitím na zrno, ako „Slo-



Mapa. Hlavné pestovateľské oblasti kukurice na zrno. Spracované na základe podkladov Štatistického úradu Slovenskej republiky, 2020.
Pozn. - nie sú zahrnuté výmery silážnej kukurice.

venská žltá". Vznikla krížením Pensylvánskej kukurice a Fleischmannovho konského zuba (1932, ŠS Sládkovičovo). Alebo „Bučianska žltá“, ktorá vznikla krížením Slovenskej veľkozrnnej a Faryho Budyňskej (1934, ŠS Bučany). V ČSSR boli vyšľachtené a v roku 1954 povolené medzikultivarové hybridy na zrno VHZ (Valtická C x Hodonínsky konský zub žltý) a KAZ (Kočovská skorá x Český biely konský zub) V 50 - 60. rokoch maximálna úroda kukurice na zrno neprekonalala úroveň 3 tony z hektára. Úsilie sa sústreďovalo na vyšľachtenie čistých rodičovských línií pre zvýšenie genetickej kolekcie a novými metódami kombinačného kríženia z nich vytvárať čoraz viac hodnotné hybridy s maximálnym využitím heterózneho efektu. Na zvyšovaní úrod sa v 60.-70. rokoch podieľal komplex činiteľov ako: presňovanie hlavných agrotechnických opatrení, postupne viac sa využívali výkonnejšie hybridy, intenzívnejšie hnojenie priemyselnými hnojivami, zlepšovala sa chemická ochrana proti burinám a pôdnym škodcom, zlepšovala sa mechanizácia, najmä pre seju a zber. Prvé „západné“ hybridy kukurice prišli za železnú oponu v 80-tých rokoch, keď sa Maďarsko dohodlo so Spojenými štátmi na výnimkách z CoCom zoznamu. Koordinačný výbor pre mnohostranné kon-



Graf 2: Celošťátna priemerná úroda kukurice na zrno (pri 14% vlhkosti) od roku 1945 do roku 2020 na Slovensku. Aj napriek nerealizujúcej sa etape adopcie GMO hybridov v krajinách EÚ, sú súčasne úrody dosahované výlučne hybridmi z konvenčného šľachtenia zrovnateľné s úrodami v Spojených štátoch. Spracované na základe podkladov Štatistického úradu Slovenskej republiky, Sekcia poskytovania štatistických produktov a služieb (2020).

trolu vývozu (CoCom – Coordinating Committee for Multilateral Export Controls) bol zriadený západným blokom v prvých piatich rokoch po skončení druhej svetovej vojny, počas studenej vojny, s cieľom uvaliť embargo na krajiny RVHP. Na základe týchto výnimiek vznikli tzv. „Systémy pestovania“. Ich nositeľmi boli IKR Agrár Kft., Bábolna v Maďarsku (IKR=Iparszerű Kukoricatermelési Rendszer - Systém priemyselného pestovania kukurice), PPK Šaľa (PPK=Priemyselné pestovanie kukurice) a JRD Okoč -

Sokolec v Okoči (teraz Poľnohospodárske družstvo Okoč Sokolec) v Československu. Cez tieto systémy vstúpili z USA prvýkrát osiva nových hybridov (značky Pioneer Hi-Bred), ale aj mechanizácie (sejačky) na Slovensko. Vedúci nositelia technologického systému pre pestovanie kukurice a slnečnice (PPK Šaľa, JRD Okoč-Sokolec Systémy) od roku 1981 zásobovali svojich členov dovážanými osivami, technológiou, ale aj určovali technický postup a šíрили know-how. Zavedením „Systémov“ koncom 70-tich ro-

kov a zavádzaním novej genetiky sústreďujúcej sa na šľachtenie zrnových hybridov v 80.-90. rokoch vzrástla priemerná úroda kukurice na úroveň 6 ton z hektára. Začiatkom 90. rokov po páde socializmu „Systémy“ strácajú svoju podstatu a zanikajú. Ďalšou intenzifikáciou, hlavne zvyšovaním intenzity pestovania kukurice na veľkých podnikoch (investíciami do najmodernejšieho strojového vybavenia, zlepšených hybridov, posunu do neskorších FAO skupín), sa behom posledných desaťročí darí na Slovensku dosahovať v priaznivých rokoch pre kukuricu priemerné výnosy prekračujúce 8 ton z hektára (Graf 2). Priemerný celošťátny rekord 9,25 t/ha zo zberovej plochy 184 tisíc hektárov z roku 2018 nebol doposiaľ prekonaný.

Zlepšenia genetickej výbavy však nie sú jedinou príčinou zvyšovania úrody. Súčasne so zavedením hybridných plodín došlo k zmene v postupoch pri hnojení, od organických po anorganické zdroje hnojív. V USA v hlavných štátoch produkujúcich kukuricu sa v rokoch 1949 až 1997 zvýšili vstupy anorganických hnojív o viac ako rádo (0,5 - 25 kilogramov na hektár). Okrem toho sa zvýšili vstupy pesticídov v celom americkom poľnohospodárstve, v rokoch 1948 až 1994 tempom 4,7% ročne. V roku 1997 predstavo-

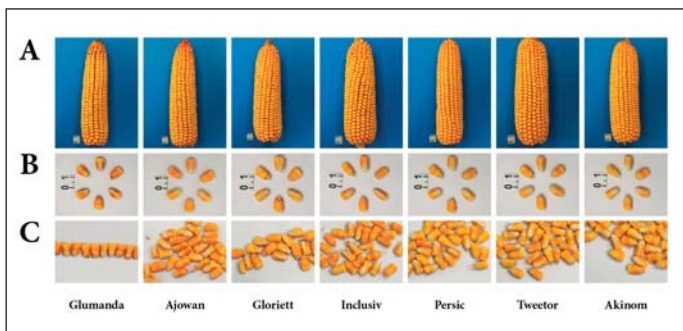


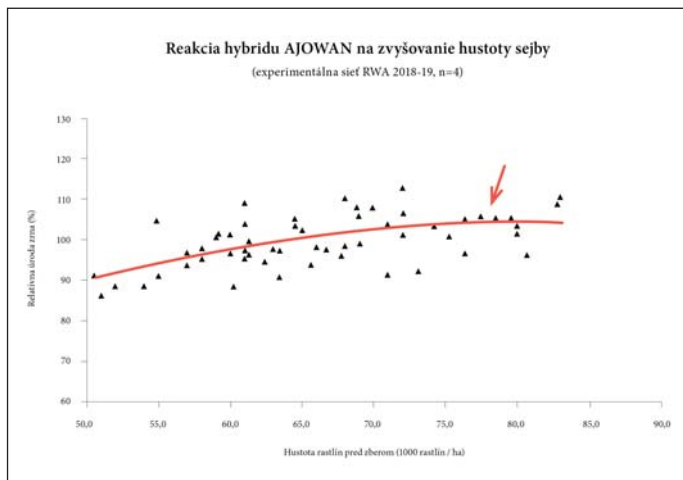
Foto 2: Sortiment zlepšených kukuričných hybridov var. dentiformis, resp. indentata – kónský zub, značky G-Seed v širokej škále dozrievania od FAO 310 (GLUMANDA, pre RVO) po FAO 480 (AKINOM, južná KVO). Všimnite si botanické vlastnosti a znaky (A-C), ako tvar a hrúbku šúľku, šírku medzier radov a smer otáčania radov zŕn na šúľkoch, embryonálnu a líčnu stranu zŕn.

(FOTO: Autor)

vala kukurica najväčšiu cieľovú skupinu pre aplikáciu pesticídov v USA, hlavne herbicídov, s menším podielom insekticídov a so zanedbateľným množstvom fungicídov.

Pretože hybridná adopcia a genetické vylepšenia v dôsledku šľachtenia sú konfrontované s meniacimi sa výrobnými metódami, vstupmi a miestnou klímou, je potrebné experimentovať, aby sa určilo, koľko sme získali na úrode kukurice spôsobenej jej šľachtením. Porovnanie starších a novších hybridov v rámci bežných agrotechnických postupov a prostredí sa dá použiť na odhad miery genetického prírastku za časové obdobia predstavované týmito hybridmi. Experimenty sa uskutočňovali s využitím štátnych aj súkrom-

ných spoločností. V USA porovnali výkonnosti hybridov pestovaných v hlavnej pestovateľskej oblasti pre kukuricu tzv. „Kukuričného pásu“ (orig. Corn Belt) predstavujúce časové obdobia od 30. do 80. rokov. Na základe týchto štúdií bolo možné až 100% vo zvýšení výnosov v príslušných regiónoch pripísať genetickému zlepšeniu. Všetci autori poznamenali, že časť genetického vylepšenia odhadovaného z porovnania odrôd za bežných pestovateľských podmienok stále nemožno oddeliť od adaptácie modernejších hybridov na zdokonalené agrotechnické postupy. Moderné hybridy dokážu lepšie využívať výhody modernej agronómie. Vedci predĺžili porovnanie časových radov z roku 1930 na rok 2000 a zistili,



Graf 3: AJOWAN (EU Plant variety database - Monsanto Technology), príklad moderného hybridu kukurice vo FAO 350 s pozitívnou reakciou zvyšovania úrody s narastajúcou hustotou populácie. Na osi X uvádzané hustoty reprezentujú odpočty rastlín vykonané pred zberom. Všimnite si oblasť konzistentných úrod označenú šípkou v rozpätíach 76.300 – 79.600 úrodových rastlín pred zberom na hektár.

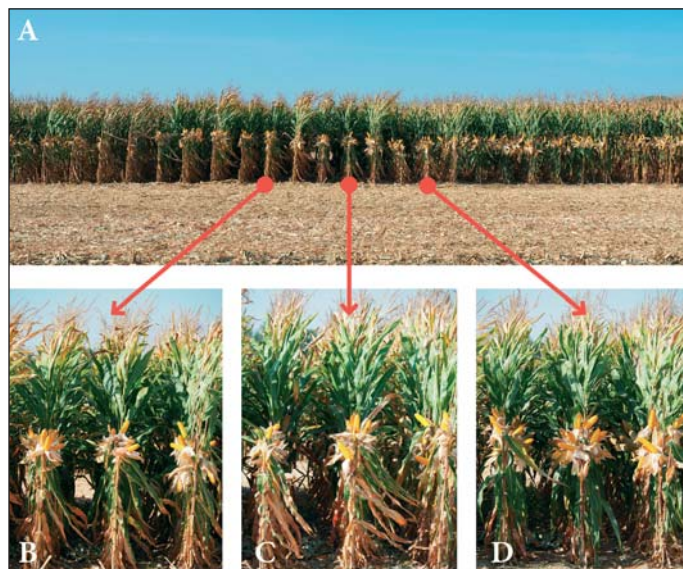


Foto 3: (A) Blok G-Seed hybridov medzi 157 hybridmi kukurice vysiatymi na pozemku v Seliciach za účelom ukážky počas Dňa poľa kukurice 17. septembra 2020 (AGRO Divíza, s.r.o. Selice). Jednotlivé políčka hybridov boli siate systémom jeden hybrid na tri riadky. Moderné hybridy značky G-Seed s novou architektúrou s erektofilne postavenými listami v hornej polovici rastliny: (B) Persic, (C) Inclusiv a (D) Gloriett. Na základe erekatívneho postavenia listov umožňujú takéto hybridy vyššie zahusťenie a tým zvýšenie hospodárskej úrody.

(FOTO: Autor)

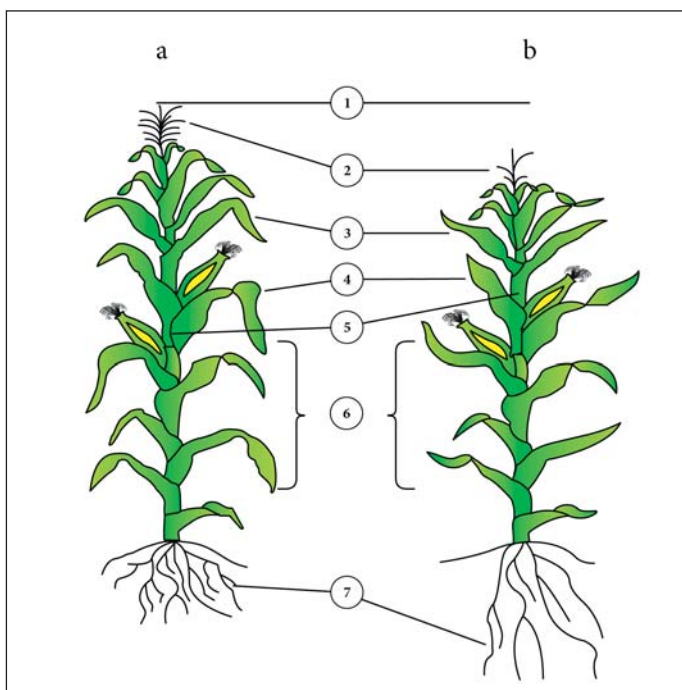
že trend genetického zlepšenia výťažku úrod pokračoval v zmenšenej miere.

Fyziologické aspekty zvyšovania úrody

Experimenty porovnávajúce priamo v poľných pokusoch novšie a staršie kultivary poskytli vynikajúcu príležitosť spätne vyhodnotiť, aké fyziologické a morfológické zmeny sprevádzali pozorované prírastky úrody. Ak zhrnieme početné štúdie v Iowe a Ontariu, najdôležitejšou zmenou, ktorá nastala pri vývoji moderných, vysoko výnosných hybridov kukurice, bolo zvýšenie tolerancie voči stresu z vysokej hustoty sejby. V skutočnosti niektorí autori uvádzajú, že pri veľmi nízkej hustote sejby nedošlo ani po 70 rokoch šľachtenia k nijakým pozorovateľným zmenám vo výnose v prepočte na jednu rastlinu v komerčných hybridoch Pioneer Hi-Bred! Výnos na hektár sa však dramaticky zvýšil pri vysokej hustote sejby, ktorá predstavuje moderné agronomické postupy. Výnos najstarších hybridov mal tendenciu klesať pri vysokých hustotách sejby, na ktorú neboli adaptované. Výber na adaptáciu na stres z vysokej hustoty sejby vyústil do hybridov

s konzistentnejšou produkciou šúľkov (lepším opelením a menšou neplodnosťou), minimálnym oneskorením medzi kvitnutím metliny a objavením sa blizien a vzpriamenejšími listami, čo viedlo k architektúre rastliny s lepším zachycovaním svetla pri vysokých hustotách sejby. Medzi ďalšie zmeny vlastností, ktoré sa v priebehu času pozorovali, patrila zmenšená veľkosť metliny, zlepšená schopnosť rastliny udržať si zelenú farbu (a teda dlhšie trvanie fotosyntézy počas plnenia zrna) a zlepšená odolnosť proti poľehaniu.

Asi najzaujímavejšie sú niektoré znaky, ktoré sa počas vyvíjania moderných hybridov kukurice výrazne nezmenili. Najdôležitejšou fyziologickou zložkou, ktorá zohrala kľúčovú úlohu pri šľachtení ryže a pšenice počas obdobia Zelenéj revolúcie (orig. Green Revolution, bol súbor iniciatív, ktoré sa uskutočnili medzi rokmi 1950 a 60. rokmi zameraných na prenos výskumných technológií do praxe, ktoré následne zvýšili poľnohospodársku výrobu na celom svete), bolo zvýšenie indexu úrody (pomer úrody zrna k celkovej nadzemnej rastlinnej biomase), avšak index úrody kukurice sa časom nezmenil. Podobne sa rých-



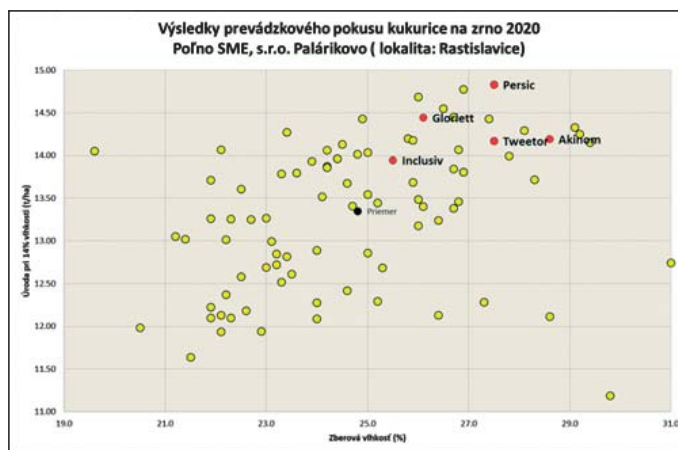
Ilustráci: Fenotypy náchylné na sucho (a) a tolerantné (b). Tolerantné fenotypy majú (1) nižšiu výšku (lepší prienik svetla do porastu, menšia konkurencia pre C pri vývoji šúľka a zrna), (2) zmenšenú veľkosť metliny (menšia konkurencia pre C pri vývoji šúľka a zrna, hlavne pri tropickej kukurici) (3) menšie listy nad šúľkom (lepší prienik svetla do porastu, menšia konkurencia o C pri vývoji šúľka a zrna) (4) vzpriamené listy ($45^\circ - 60^\circ$) s nižšou priemernou hustotou svetelného toku, aby (a) zabránili saturácii svetla a zlepšili tak prenikanie svetla do porastu, čím sa zvyšuje efektívnosť využitia svetla a (b) s nižšou teplotou listov a zlepšenou hodnotou WUE (=Water use efficiency), (5) väčší priemer stonky (vyššia akumulácia C ako neštruktúrneho uhlohydrátu, ktorý môže slúžiť ako zdroj C pre vývoj šúľkov a zrn počas sucha a nalievania zrn), (6) sú typu stay-green, kde dlhšie zostáva stonka zelená (viac C z fotosyntetického zdroja pre vývoj šúľkov a zrn), (7) hlbšie zakorenenie s menším bočným rozvetvením a o niečo menej koreňovej biomasy (lepší prístup k vode, lepšie využitie obmedzených zdrojov).

Upravené podľa J.-M. Ribaut et al., *Drought tolerance in maize*.

losť fotosyntézy listov nelíšila medzi staršími a novými hybridmi. Tieto výsledky naznačujú, že veľká časť zvýšenia úrody kukurice v dôsledku šľachtenia spočíva v zlepšení tolerancie voči stresu. Niektorí autori tvrdia, že úspechy v šľachtení úžitkovosti možno zhruba rozdeliť na navýšenia úrod zo zlepšenej tolerancie voči stresu a tie, čo pochádzajú zo zvýšeného úrodového potenciálu v zmysle „úrodnosť hybridu, keď sa pestuje v prostredí, na ktoré je prispôbený, bez obmedzení v obsahu živín a vody... a ďalšie stresy sú tiež efektívne kontrolované“. Zmeny v úrodovom potenciáli však môžu byť ťažko merateľné, pretože môže byť zložitá zabezpečiť prostredie úplne bez stresu a prostredie, na ktoré sú optimálne prispôbené staršie a novšie hybridy, sa môže líšiť.

Napríklad vysoká hustota sejby je stresujúca pre staršie hybridy, ale novšie hybridy sú prispôbené týmto podmienkam a na dosiahnutie maximálneho výnosu na plochu vyžadujú vysoké hustoty.

Tiež sa uskutočnili pokusy na zrovnanie prírastkov na úrode v prostredíach s rôznymi úrovňami stresu, aby sa určilo, aký veľký prírastok na úrode je spôsobený toleranciou voči stresu, oproti vylepšenému úrodovému potenciálu. Ak sú väčšie prírastky pozorované v stresovejšom prostredí, potom je stresová rezistencia primárnou príčinou zlepšenia výnosu, naopak, ak sú prírastky väčšie v prostredí s nižším stresom, znamenalo by to, že úrodový potenciál sa zvýšil viac ako samotná odolnosť hybridu voči stresu.



Graf 4: Úrodovo - vlhkosťná paradigma kukurice. Typický graf používajúci sa na zrovnávanie výkonnosti nových hybridov kukurice v poloprevádzkových podmienkach na poľnohospodárskych podnikoch. 88 hybridov, pestovaných na lokalite Rastislavice. Lokálny extrém v prípade výnosového maxima na tejto pokusnej lokalite bol dosiahnutý hybridom PERSIC (G-Seed, FAO 430) o hodnote 14,8 t/ha!

Zvyšovanie úrod v prostredíach limitujúcich vstupov

Mnoho poľnohospodárov má však obmedzené finančné zdroje a menej kvalitnú pôdu. Výsledkom je, že na ich pestovateľských plochách kukurice majú nižšiu mieru začleňovania najnovších hybridov kukurice, používania hnojív a využívania či budovania závlah.

Ako môžu výskumníci vzhľadom na veľmi nízku úroveň vstupov a agrotechniky, ktoré sa vyskytujú na farmách s limitovanými vstupmi pomôcť zlepšiť výnosy? Jednou z možností je výber hybridov **s lepšou toleranciou voči abiotickým stresom, ako je najmä sucho a nízky obsah pôdneho dusíka**, s ktorými sa často stretávame v podmienkach poľnohospodárstva s nízkymi vstupmi. Prvé hybridy obsahujúce technológie pomáhajúce rastlinám lepšie hospodáriť s vodou a odolávať vysokým teplotám pod označeniami ako Optimum® AQUAmax®, HD (heat & drought) hybridy, AGRISURE ARTESIAN®, WATERLOCK priniesli už do praxe popredné svetové šľachtiteľské firmy. Ďalšou potenciálnou cestou zlepšenia je vývoj zdokonalených hybridov prispôbených podmienkam s nízkymi vstupmi. Akceptáciou poloprevádzkových pokusov kukurice s hybridmi od semenárskych firiem jednotlivými farmami, sa poľnohospodári aktívne podieľajú na výberovom procese a hodnotení experimentálnych šľachtiteľských materiá-

lov priamo na vlastných farmách. Táto aktivita tiež môže napomôcť pri zlepšovaní výnosov kukurice na farmách s obmedzenými finančnými zdrojmi pri nízkych vstupných podmienkach. Účasť poľnohospodárov v procese výberu odrody by mala mať tiež výhodu v tom, že zvyšuje mieru prijímania nových hybridov do pestovateľskej praxe.

Významné zlepšenie v miere zvýšenia úrod kukurice je možné len vtedy, ak sa šľachtiteľské úsilie spojí s intenzifikáciou agrotechniky a agronomických postupov za účelom zvýšenia produktivity samotnej pôdy. Šľachtenie rastlín by napriek tomu malo byť základným kameňom úsilia o zlepšenie poľnohospodárstva, pretože vylepšené hybridy môžu byť najdostupnejšou pokrokovou „technológiou“, ktorú šíria a prijímajú všetci poľnohospodári.

Ing. Marek Jakubec
vedúci polnej výroby osiva kukurice a marketingový manažér
RWA SLOVAKIA, spol. s r. o.
marek.jakubec@rwaslovakia.sk

Optimum® AQUAmax® je registrovaná ochranná známka spoločnosti Corteva.

HD hybrid je známka spoločnosti Bayer Crop-Science.

AGRISURE ARTESIAN® je registrovaná ochranná známka spoločnosti Syngenta.

WATERLOCK je známka spoločnosti Maisadour.