

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE

FAKULTA ZÁHRADNÍCTVA A KRAJINNÉHO INŽINIERSTVA

Katedra ekológie

Genotypová podmienenosť tolerancie rajčiaka jedlého
(*Lycopersicon esculentum*, Mill.) na podmienky vodného stresu

Autoreferát dizertačnej práce

na získanie vedecko-akademickej hodnosti philosophiae doctor

vo vednom odbore: 41 – 42 – 9 záhradníctvo



Ing. Kristína Németh Molnár

Nitra 2008

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre ekológie Fakulty európskych štúdií a regionálneho rozvoja Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre.

Doktorand: *Ing. Kristína Németh Molnár*
Katedra ekológie
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre.

Vedúci dizertačnej práce:
prof. RNDr. Zuzana Jureková, CSc.
Katedra ekológie FEŠRR SPU v Nitre

Oponenti: *doc. Ing. Magdaléna Valšíková, PhD.*
Výskumný ústav zeleninársky, s.r.o.
Nové Zámky

doc. Ing. Daniela Benediková, PhD.
Výskumný ústav rastlinnej výroby, Génová banka SR
Piešťany

doc. RNDr. Tibor Baranec, CSc.
Katedra botaniky
Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov, SPU v Nitre
Nitra

Autoreferát bol rozoslaný dňa

Stanovisko k dizertácii vypracovala Katedra ekológie, Fakulta európskych štúdií a regionálneho rozvoja, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Obhajoba doktorandskej práce sa koná dňa o pre obhajobu dizertačných prác vedného odboru záhradníctvo 41-42-9 na FZKI SPU v Nitre.

Miesto konania: Katedra ekológie
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Mariánska 10, 949 01 Nitra

Miestnosť: EM-11

S dizertačnou prácou sa možno oboznámiť na dekanáte Fakulty záhradníctva a krajinného inžinierstva SPU v Nitre.

Predseda komisie pre obhajoby vo vednom 41 – 42 – 9, Záhradníctvo

prof. Ing. Anna Jakábová, CSc.
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Abstrakt

Cieľom práce bolo kvantifikovať vlastností odrôd rajčiaka jedlého z hľadiska jeho reakcií na sucho, morfológické, fyziologické a metabolické adaptácie rastlín pestovaných v diferencovanom vodnom režime. V rokoch 2002-2004 sme uskutočnili nádobové vegetačné a laboratórne *in vitro* pokusy so šiestimi odrodami rajčiaka jedlého (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) domácej a zahraničnej proveniencie. Testovali sme fyziologické ukazovatele (čerstvá a suchá hmotnosť, distribúcia sušiny, relatívny obsah vody (RWC), predĺžovací rast internódií, veľkosť listovej plochy, vodný sýtosťný deficit (VSD) a vybrané metabolity (asimilačné farbivá, voľný L-prolín). Prvotnou reakciou rastlín na prehlbujúci sa nedostatok vody bola zmena hodnoty RWC. Dochádzalo k redistribúcii RWC medzi orgánmi. Na pozadí týchto zmien sa v listoch akumuloval voľný L-prolín. Vyďiferencovali sme tri skupiny odrôd rajčiaka jedlého počas stresu. Odrody vykazovali špecifické genotypové reakcie plošného rastu listov počas (23 dní trvajúceho) vodného stresu. Potvrdili sme špecifické adaptačné a aklimačné reakcie odrôd rajčiaka jedlého v podmienkach prehlbujúceho sa sucha. V dôsledku postupnej dehydratácie došlo k osmotickému prispôsobeniu a stabilizácii vodného režimu. Vodný stres (sucho) redukoval počet internódií a menil základnú hierarchiu ich rastu. Akumulácia suchej hmoty bola dynamická. U odrôd stresovaných rastlín došlo k posunu obdobia maximálnej akumulácie suchej hmoty. Stresované rastliny sa prispôbili nedostatku vody a zintenzívnili distribúciu suchej hmoty do koreňa na úroveň kontroly. Počas sledovaného obdobia dochádzalo k dynamickým zmenám v obsahu asimilačných pigmentov. U kontrolných aj pokusných rastlín sme potvrdili negatívnu koreláciu s rastom listovej plochy. Dynamické zmeny v obsahu asimilačných farbív považujeme za funkčné prispôsobenie rastlín vodnému stresu. Za účelom štúdia vodného stresu sme vytvorili *in vitro* prostredie, v ktorom na rozdiel od prirodzeného poznáme presne všetky faktory, ktorým je vystavená kultivovaná rastlina a kde môžeme kontrolovať jej reakcie na stres. Pri sledovaní fyziologických ukazovateľov šiestich odrôd rajčiaka jedlého v podmienkach *in vitro* sme potvrdili rozdiely v ich základných fyziologických parametroch a to v obsahu vody, čerstvej a suchej hmotnosti. Potvrdili sme výraznú genotypove podmienenú reakciu aj v raste. Pri štúdiu účinkov kinetínu v kultúrach vystavených vodnému stresu sa nepotvrdilo v literatúre popisované oddialenie rozpadu komplexu asimilačných farbív, resp. predĺženie juvenility. V kultúrach *in vitro* sa tvoril L-prolín de novo, ako reakcia na vodný stres, pričom sa zachovali genotypové reakcie.

Kľúčové slová: adaptácia, asimilačné pigmenty, genotypy, *in vitro*, prolín, rajčiak jedlý (*Lycopersicon esculentum*, Mill.), rast, RWC, vodný stres.

Abstract

The aim of this study was to identify the characteristics of tomato genotypically conditioned reactions to drought morphological, physiological and metabolic adaptation of plants, which were grown under different water regimes. We made both normal vegetation in containers and laboratory *in vitro* experiments in years 2002-2004 with six different genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) from domestic and foreign origin. We have tested physiological parameters (the fresh and dry weight, the distribution of dry matter, the relative water content (RWC), the axial growth of internodium, the leaf area size, the water deficit (VD) and the chosen metabolites (assimilation pigments, free L-prolin). The first reaction of plants for increasing lack of water was change in RWC parameter. Re-distribution of RWC was happened between different organs. On the background of these changes, free L-prolin was accumulating in leaves. We have identified three different groups of tomato types during stress period. Have shown specific genotype reactions in leaf area growth during (23 days long) water stress period. We could confirm specific adaptation and acclimation reactions to increasing drought. As a result of continuous dehydration we monitored osmotic adaptation and stabilisation of water regime. The water stress (drought) reduced number of internodes and also changed hierarchy of their growth. The accumulation of dry matter content was very dynamic. At stressed genotypes, the period of dry matter content accumulation has changed. The stressed plants have adapted to the lack of water, the distribution of dry matter content to roots was as intensive as in control plants. During the tested period the content of pigments was changed significantly. We proved at control and test plants negative correlation to leaf area growth. The significant changes in assimilation pigments content, we can treat as a result of adaptation to water stress. To study water stress, we created *in vitro* conditions, where we could control all parameters, which influence growth of plants also their reactions to water stress. By monitoring the physiological parameters at six tomato genotypes with defined *in vitro* conditions we proved differences in the basic physiological parameters like water content, fresh and dry matter weight. We also proved significant genotypically based reaction to the growth. The influence of kinetin in water stressed plants did not confirm the delay of destruction of assimilation pigments or did not prolong juvenility as it has been reported in different studies. In controlled *in vitro* conditions, L-prolin de novo was created as reaction to water stress while genotypical reactions remained unchanged.

Key words: adaptation, assimilation pigments, genotypes, growth, in vitro, prolin, RWC, tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.), water stress

Použité označenia

KIN – kinetín

PEG – polyetylénglykol

RWC – relatívny obsah vody

VSD – vodný sýtočný deficit

Obsah

1 Úvod.....	5
2 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky.....	6
3 Ciele dizertačnej práce.....	8
4 Materiál a metódy.....	8
4.1 <i>Organizácia vegetačných pokusov.....</i>	8
4.1.1 <i>Charakteristika pracovných postupov a merané veličiny.....</i>	9
4.2 <i>Organizácia laboratórnych pokusov v in vitro.....</i>	9
4.2.1 <i>Merané veličiny.....</i>	9
5 Súhrn výsledkov a návrh na využitie pre ďalší rozvoj vedy a prax.....	10
5.1 <i>Výsledky vegetačných pokusov.....</i>	10
5.1.1 <i>Fyziologické reakcie genotypov rajčiaka jedlého na vodný stres.....</i>	10
5.1.2 <i>Rastové reakcie nadzemných orgánov.....</i>	11
5.1.3 <i>Rast suchej hmoty a jej distribúcia do orgánov.....</i>	11
5.1.4 <i>Obsah asimilačných farbív v listoch pri rozdielnej zásobe vody v pôde.....</i>	12
5.2 <i>Štúdium vplyvu sucha v podmienkach kontrolovaného a regulovaného modelového prostredia explantátových kultúr.....</i>	13
5.2.1 <i>Fyziologické a biochemické reakcie explantátov rajčiaka jedlého v podmienkach in vitro na vodný stres.....</i>	13
5.2.2 <i>Metabolické zmeny v podmienkach vodného stresu v prostredí in vitro.....</i>	13
5.2.3 <i>Zmeny obsahu asimilačných farbív v podmienkach vodného stresu v pokusoch in vitro.....</i>	14
5.3 <i>Návrh na využitie poznatkov pre ďalší rozvoj vedy a prax.....</i>	14
6 Záver.....	15
7 Použitá literatúra.....	16
8 Zoznam publikovaných prác autora.....	21

1 Úvod

Prognózy globálnych zmien klímy predpokladajú nárast skleníkového efektu, s ktorým vystupujú do popredia otázky aridizácie a otepľovania prízemnej vrstvy atmosféry. Disponibilita vody je jedným z faktorov, ktoré determinujú produkciu a parametre primárnej produkcie na zemskom povrchu. Hoci množstvo zrážok vo všeobecnosti uspokojuje požiadavky rastlín, jedným z najvýznamnejších faktorov, ktorý v našich najproduktívnejších oblastiach ovplyvňuje ich fyziologickú aktivitu a tvorbu biomasy, je voda a jej prerozdelenia. Jej nedostatok, resp. nerovnomerné rozdelenie počas vegetácie vyvoláva v rastlinách stresy.

Nutnosť riešenia optimalizácie vodného režimu rastlín a otázok ich produktivity z aspektu stresových situácií má porovnateľný teoretický a praktický význam. Mnohé informácie sprístupnené cez medzinárodné informačné, multimediálne, elektronické databázy potvrdzujú aktuálnosť tohto problému. V tomto smere v roku 1995 bol iniciovaný vznik celosvetovej siete „INTERDROUGHT“ zaoberajúci sa integrovaným štúdiom suchovzdornosti, na ktorej dnes aktívne pracujú stovky laboratórií.

Schopnosť rastlín prispôbovať sa nepriaznivým podmienkam prostredia je považovaná za základnú podmienku prežitia. V podmienkach negatívnej vodnej bilancie dochádza k funkčným a biochemickým zmenám na úrovni koreňov i nadzemných orgánov. V prvom stupni funkčnej adaptácie sa rastliny bránia výdaju vody obmedzením transpirácie a snahou zintenzívniť príjem vody koreňom. Kultúrne rastliny reagujú na sucho rozdielnymi reakciami, preto determinácia ich funkčných a štruktúrnych prejavov môže byť významným znakom stupňa ich tolerance na molekulárnej, biochemickej a fyziologickej úrovni. Tolerancia na sucho zahŕňa veľa komponentov, ktoré prispievajú k regulácii vodných pomerov v rastlinách,

udržaniu fotosyntetického potenciálu, aktivity fotosyntézy, až po realizáciu reprodukčných orgánov. Rozvoj nových metodických prístupov poukazuje na možnosti ďalšej detekcie vlastností tolerancie na sucho a ich aplikácie do tvorby nových genotypov. Je veľmi pravdepodobné, že sa poznávanie fenologických, morfológických a fyziologických vlastností posunie z etapy konštatovania o dopade sucha na rastovo-produkčné procesy do tvorby tolerantného biologického materiálu.

Téma bola súčasťou projektu **VEGA 1/ 9075/ 02** „Modelovanie vodného režimu záhradníckych rastlín v podmienkach sucha“.

2 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Rastliny v prírodnom prostredí sú v každom okamihu svojho života vystavené premenlivým podmienkam vonkajšieho prostredia. Tie môžu urýchľovať alebo spomaľovať ich životné funkcie, dokonca poškodzovať jednotlivé štruktúry, pletivá a orgány a v krajnom prípade viesť k ich uhynutí. Procházka et al. (1998) uvádza, že nepriaznivé vplyvy vonkajšieho prostredia sa označujú ako stresové faktory (stresory).

Reakcie rastlín na stresy sú nešpecifické a majú svoj genetický základ. Nepriaznivé až stresové vonkajšie podmienky prostredia pôsobia na rastliny:

► priamym poškodením

► sekundárnym stresom - pri dlhšie trvajúcim primárnom strese môže nastať sekundárny stres, ktorý vyvolá buď priame, alebo nepriame poškodenie.

Stres je teda súhrn nešpecifických reakcií organizmu na pôsobenie mimoriadnych zdrojov podráždenia rôzneho charakteru, vyvolávajúceho napätie funkcií biologických systémov a zabezpečujúci mobilizáciu celého organizmu, jeho adaptáciu alebo udržanie homeostázy. V dôsledku anatomickej, morfológickej a fyziologickej diferenciácie buniek a systémov, sa reakcia organizmu stala špecifickou, zodpovedajúcou pôsobeniu okolitého prostredia. Stres na jednej strane zabezpečuje udržanie homeostázy a na druhej strane vznik adaptácií k pôsobiacim faktorom prostredia.

Voda je nepostrádateľnou podmienkou pre život rastlín a významnou zložkou ich tela. Fyziologické procesy rastlín sa môžu optimálne uskutočňovať len pri dostatku vody. Voda je potrebná na zachovanie štruktúry a celistvosti makromolekúl, buniek, pletív a celého organizmu. V súčasnosti je hlavným faktorom obmedzujúcim produktivitu rastlín. Jej deficit zásadne limituje fyziologickú aktivitu rastlín a tvorbu biomasy.

Ako obranu pred dehydratáciou iniciujú rastliny množstvo morfológických, anatomických a fyziologických reakcií. Aby rôzne druhy boli schopné tolerovať rôzne úrovne dehydratácie, je nevyhnutné formovať mechanizmy a zlepšovať stav vody, udržať nepretržitý rast koreňového systému, absorpciu a efektívny transport vody počas evaporačných porúch a/alebo zvýšiť rezistenciu voči difúzii vodnej pary z listov do atmosféry (Brestič, Olšovská, 2001).

Napriek tomu, že voda je najviac zastúpenou látkou na povrchu Zeme, jej nedostatok významne obmedzuje suchozemskú produkciu. Pokiaľ chceme zvyšovať produktivitu poľnohospodárstva, potrebujeme vedieť kontrolovať obsah a potrebu vody v rastline a účinky vodného stresu. Počas evolúcie rastlín sa vyvinuli odlišné mechanizmy, ktoré zabraňujú nebezpečnej strate vody a tolerujú jej mierne straty (Pospíšilová, Synková, Rulcová, 2000).

Vodný stres je jedným z najfrekvencovanejších ekologických limitov realizácie biologického potenciálu rastlín. Zároveň je jedným zo sprievodných javov prebiehajúcich klimatických zmien. Vodný stres pôsobí na úrovni mikroštruktúr bunky, na bunkovej úrovni, na úrovni pletív, orgánov a celistvej rastliny. Vyvoláva rad zmien morfológického a fyziologického charakteru, ktoré limitujú produkčnú výkonnosť rastlín a výslednú tvorbu biomasy. Jureková et

al. (2003) v pokuse s rôznymi odrodami rajčiaka pri hodnotení účinkov vodného stresu v podmienkach *in vitro* vychádzala z predpokladu, že odpovede rastlín sa budú týkať predovšetkým inhibície rastu a inhibície akumulácie sušiny ako dôsledku redukcie využitia vody, redukcie obsahu vody v orgánoch a zmeny hydratácie. V tejto oblasti sú významné práce Lecoeura et al. (1995, 1996), Ben Haj Salah (1996) a mnohých iných.

Stres u rastlín nepriaznivo ovplyvňuje rast, metabolizmus a tvorbu úrody (Lawlor 2002). Sucho, vysoká teplota, zasolenosť, znečistenie ovzdušia, ťažké kovy, pesticídy a pH pôdy sú významnými limitujúcimi faktormi v produkcii úrody, pretože ovplyvňujú všetky životné funkcie rastlín (Hern-Ndez et al. 2001). Vodný deficit definoval Zhu et al. 2002 ako neprítomnosť dostatočnej vody potrebnej pre normálny rast rastlín a úplný životný cyklus. Hoci všeobecný účinok sucha na rast rastlín celkom poznáme, primárne účinky vodného deficitu na biochemickej a molekulárnej úrovni nie sú ešte dostatočne preskúmané (Chaves et al. 2003). Suchozemské rastliny, ktoré sú neustále vystavené menšiemu, či väčšiemu nedostatku vody majú snahu prispôbiť sa nepriaznivým podmienkam rastovými reakciami (zmenou rýchlosti rastu nadzemných orgánov a koreňa), urýchlením životného cyklu, aby sa „vyhli“ obdobiam ohrozujúcim najmä reprodukčnú fázu vývinu, morfológickými zmenami či pohybmi orgánov (Jureková et al. 2003).

Sucho, vyvolávajúce v rastlinách vodný deficit vedie k narušeniu vodnej bilancie a k nesúladu medzi príjmom vody a požiadavkami na vodu počas ontogenézy. Rastliny majú vyvinuté rôzne mechanizmy na znášanie sucha, napr. zmenu pomeru v prerozdelení suchej hmoty v prospech koreňa v porovnaní s nadzemnou časťou (Snowdown 2000).

Atmosferické sucho pôsobí veľmi rýchle na mechanizmus hydroaktívneho zatvárania prieduchov. Pôdne sucho, vznikajúce postupne, vedie k adaptačným reakciám realizujúcim sa odlišnou rýchlosťou. V špičkách koreňov sa syntetizuje ABA, ktorá funguje ako mediátor a chemický signál o suchu. Ak sú rastliny mierne stresované nedostatkom vody, turgor je stabilizovaný, strata vody je limitovaná buď čiastočným alebo úplným zatvorením prieduchov a príjem vody môže byť udržiavaný rôznymi procesmi, ktoré:

- zvyšujú hydraulickú vodivosť koreňových membrán,
- zvyšujú gradient vodného potenciálu medzi pôdou a rastlinou,
- zvyšujú rýchlosť rastu koreňov do hlbších vrstiev pôdy.

V priebehu evolúcie sa rastliny vyvíjali v najrôznejších klimatických podmienkach, v dôsledku čoho sa niektoré druhy vyznačujú veľkou amplitúdou tolerancie ekologických podmienok. Vlastnosti rastlín sú dôsledkom a výsledkom ich minulosti. Minulosť plní funkciu filtra, ktorým prešli kombinácie vlastností do súčasnosti. Vývoj taxónu i nižšej úrovne, ako je druh, prebieha z časového hľadiska pomaly. V evolúcii rastlín bol najdôležitejšou, prelomovou zmenou prechod z vodného prostredia a osídlenie súše. Hranice súčasného rozšírenia rastlín určuje faktor teploty, ktorý obyčajne pôsobí spolu so suchom. Rastliny sa však dokážu prispôbiť aj extrémne aridným a teplým podmienkam. To sú v súčasnosti určujúce faktory ich vývoja (Zieglerová et al., 2003).

Adaptabilita rastlín na environmentálne stresy sa prejavuje v celom rade vlastností od úrovne molekulárnej, až po rastovo – produkčné zmeny celistvých rastlín. Rastliny reagujú rôznymi aklimačnými a adaptačnými reakciami, ktoré sa prejavujú na fyziologickej (Sharp et al. 1988, 1994, Wu a Cosgrove 2000, Masarovičová, Repčák 2000 a iní), metabolickej (Hare, Cress, Staden 1999, Pospíšilová et al. 2000, Roberts et al. 2002, Sharp, LeNoble 2002, Ramanjulu, Bartels 2002 a iní), Morfológicko-anatomickej úrovni (Zimmermann a Steudle 1998, Schreiber et al. 1999, Zimmermann et al. 2000).

Rastliny majú adaptačný mechanizmus, ktorým sa snažia aj v čase sucha zabezpečiť si príjem vody znížením svojho vodného potenciálu, resp. jeho osmotického zložky. Pri niektorých rastlinách dochádza k zmene osmotického potenciálu vďaka akumulácii organických látok alebo solí tzv. osmotík. Tento proces sa nazýva osmotické prispôsobenie alebo osmoregulácia.

K látkam, ktoré sa nazývajú kompatibilné osmotiká, patria prolín, betaín alebo kvartérne amóniové soli (Hanson, Hitz 1982, Marschner 1991).

Akumulácia osmoprotektantov je bežnou metabolickou adaptáciou. Z kompatibilných osmotík sa veľa diskutuje o prolíne. Je to inertná osmoticky aktívna zlúčenina, ktorá udržuje cytoplazmu v stave hydratácie, stabilizuje štruktúru bielkovín a štruktúru cytoplazmatickej membrány pred poškodením. Pri osmotickom strese sa prolín správa ako mediátor osmotickej adjustácie, ako stabilizátor subcelulárnych štruktúr, ako zbierač voľných radikálov, ako sink pre energiu (Nanjo et al. 1999). Hoci veľa výsledkov potvrdzuje pozitívnu koreláciu medzi akumuláciou prolínu a osmotoleranciou v rastline (Handa et al. 1986, Kavi Kishor et al. 1995, Van Renasburg et al. 1993), iní autori sa prikláňajú k názoru, že dynamické zmeny v obsahu voľného prolínu sú len dôsledkom stresu (Delauney a Verma 1993, Hare a Cress 1997, Madam et al. 1995. Jureková et al. (2003) popisali symptómy spôsobené vodným stresom, ktoré boli sprevádzané aj metabolickými zmenami. Zistili značnú genotypovú rozdielnosť v obsahu voľného prolínu. Vodný stres zvýšil tvorbu voľného prolínu v internódiách 6 genotypov rajčiaka jedlého. O úlohe voľného prolínu, ako významného činiteľa osmotickej adjustácie pojednávajú aj práce z posledných rokov (Knipp a Honermeier 2006, Valentovič et al. 2006, Unyayar et al. 2004, Meloni et al. 2004, Claussen 2004, Nahar a Gretzmacher 2002).

3 Ciele dizertačnej práce

Cieľom dizertačnej práce je kvantifikovať rastové parametre šiestich odrôd rajčiaka jedlého (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) v podmienkach regulovaného a kontrolovaného vodného režimu, určiť a charakterizovať adaptačnú schopnosť rastlín na podmienky vodného stresu na úrovni morfológických, fyziologických a metabolických reakcií.

Dielčie ciele:

1. Charakterizovať rastové reakcie odrôd, tvorbu a distribúciu hmoty do orgánov v podmienkach dobrej zásobenosti vodou a v podmienkach vodného stresu.
2. Identifikovať adaptačné schopnosti odrôd v podmienkach vodného stresu na úrovni morfo-fyziologických a metabolických reakcií.
3. Navrhnuť modelové prostredie pre štúdium stresu v definovaných podmienkach a určiť selekčné kritériá pre hodnotenie odpovedí rastlín na vodný stres.
4. Otestovať regeneračnú schopnosť explantátov odvodených z kľúčnych rastlín odrôd rajčiaka jedlého v podmienkach *in vitro*, charakterizovať ich vlastnosti a reakcie na blokováný príjem vody.

4 Materiál a metódy

Pre riešenie cieľov vytýčených v dizertačnej práci boli pokusy organizované vo vegetačných (fóliový kryt) podmienkach a laboratórnych podmienkach v *in vitro*.

Pracovali sme so šiestimi odrodami rajčiaka jedlého (*Lycopersicon esculentum*, Mill.), ktorých semená poskytol Výskumný ústav zeleninársky v Nových Zámkoch (Prémium, Moldy, Hana, Denár, Robura, UC-82).

4.1 Organizácia vegetačných pokusov

Vegetačné pokusy boli organizované v rokoch 2002 - 2004. Rastliny boli pestované v nádobách s pôdou. Minerálna výživa nebola regulovaná. Vodný režim sme udržiavali každodenným zalievaním. Vo fáze 3 až 4 párov pravých listov sme rastliny rozdelili na dve skupiny - varianty.

- rastliny udržiavané s vodným režimom 40% vlhkosti pôdy (stres),
- rastliny udržiavané s vodným režimom 70% vlhkosti pôdy (kontrola).

Priebežne bola charakterizovaná mikroklima prostredia v ktorom boli rastliny pestované (teplota vzduchu, teplota pôdy, teplota povrchu listov, atmosferická vlhkosť). Celkove bolo v pokuse 6 genotypov rajčiaka, každý s dvomi variantmi vodného režimu.

4.1.1 Charakteristika pracovných postupov a merané veličiny

Odbery vzoriek sme uskutočnili v časových intervaloch 10, 17 a 23 dní od navodenia stresu.

Pre získanie charakteristík fyziologických ukazovateľov sme stanovovali čerstvú a suchú hmotnosť rastlín, distribúciu sušiny do orgánov, relatívny obsah vody (RWC), predlžovací rast internódií, veľkosť listovej plochy, vodný sýtosťný deficit (VSD).

Pre získanie charakteristík vybraných metabolitov sme stanovili obsah asimilačných farbív a ich jednotlivých zložiek, obsah voľného L-prolínu.

Boli robené pravidelné fenologické pozorovania, dynamika tvorby púčikov, kvitnutie, tvorba plodov a výsledná produkcia.

Experimentálne merania vo vegetačných pokusoch (merané veličiny):

- Stanovenie sušiny a čerstvej hmotnosti sme uskutočnili gravimetricky.
- Relatívny obsah vody (RWC) sme stanovili podľa Beadle et al. (1993).
- Dĺžka predlžovacieho rastu internódií – bola meraná pomocou posuvného meradla a vyjadrená v mm.
 - Listová plocha – bola snímaná skenerom (AcerScan 320U) a stanovená pomocou počítačového programu Corel SCAN 8 a Corel OCR-TRACE 8 a vyjadrená v m².
 - Vodný sýtosťný deficit – bol stanovený podľa Slavíka a Čatského (1965).
 - Asimilačné farbivá kolorimetricky podľa Šestáka a Čatského (1966).
 - Obsahu prolínu kolorimetricky podľa Batesa (1973).

Spôsob hodnotenia výsledkov

Pri spracovávaní výsledkov (tabuľky, grafy, histogramy) sme použili program MS Excel 2000, štatistický program Statgraphics a metódu korelačnej analýzy (Stehlíková, 1999).

4.2 Organizácia laboratórnych pokusov v in vitro

Pre štúdium reakcie rastlín na účinky vodného stresu sme vytvorili experimentálny model v podmienkach *in vitro*, kde je pôsobenie faktora definované a nie je kombinované iným faktorom, akým je v prirodzených podmienkach napr. teplota. Biologický materiál bol rovnaký, ako vo vegetačných pokusoch. Pracovali sme s orgánovými kultúrami, primárnym explantátom boli hypokotyly. Na vyklíčenie semien sme použili základné médium Murashige, Skoog (1962).

Subkultivácia explantátov – navodenie stresu

Definovaný vodný stres sme navodili za pomoci polyetylénglykolu (PEG) 8000. Po 10. dňoch kultivácie, keď mali rastliny vyvinuté dva kľúčne listy a korene, sme urobili subkultiváciu explantátov (navodenie stresu), pričom boli 1 cm dlhé segmenty hypokotylov s kľúčnymi listami prenesené na nasledovné média:

- MS základné médium
- MS + 5%PEG (8000)
- MS + 10 μ M KIN
- MS +10 μ M KIN+ 5%PEG

4.2.1 Merané veličiny

Pri hodnotení účinkov vodného stresu a kinetínu sme stanovovali nasledovné veličiny: dĺžka hypokotylu, obsah asimilačných farbív a jednotlivých zložiek, čerstvá a suchá hmotnosť rastlín, obsah voľného L-prolínu z výhonov, listov a koreňov.

Charakteristiku explantátov sme robili podľa klasifikátora pre hodnotenie fenotypovej variability pletivových kultúr podľa Beža (1997). Hodnotili sme taktiež zdravotný stav explantátov. Priebežne bola robená fotodokumentácia.

Experimentálne merania v laboratórnych *in vitro* pokusoch

Jednotlivé veličiny sme stanovili takými metódami, ako je vyššie uvedené.

Spôsob hodnotenia výsledkov

Pri spracovaní údajov sa použil štatistický program Statgraphics a metóda korelačnej analýzy (Stehlíková, 1999).

5 Súhrn výsledkov a návrh na využitie pre ďalší rozvoj vedy a prax

Ciele doktorandskej dizertačnej práce a experimentálne postupy, ktoré sme volili, dovoľujú charakterizovať fyziologické parametre rastlín sledovaných odrôd a vytriediť adaptačné (aklimačné) znaky, ktorými sa odrody líšia v reakciách na sucho.

5.1 Výsledky vegetačných pokusov

5.1.1 Fyziologické reakcie genotypov rajčiaka jedlého na vodný stres

Prvotnou reakciou rastlín na prehlbujúci sa nedostatok vody je zmena hodnoty relatívneho obsahu vody a jej prerozdelenia v orgánoch. Relatívny obsah vody klesal od začiatku pôsobenia sucha v závislosti na čase. Najvyššie hodnoty RWC boli v listoch a stonkách, najnižšie v koreňoch. Pri prehlbujúcom sa nedostatku vody dochádzalo k jej redistribúcii medzi orgánmi. Na 17-tý deň pôsobenia sucha sa RWC zvýšilo v koreňoch všetkých pokusných rastlín. Na pozadí týchto zmien sa v listoch rastlín akumuloval voľný L-prolín. Jeho obsah a dynamika, ako i miera tesnosti lineárnej závislosti dovoľuje diferencovať tri skupiny odrôd rajčiaka jedlého počas stresu:

1. Prémium a Moldy v listoch ktorých sme počas celého obdobia pôsobenia sucha kvantifikovali zvýšené hodnoty obsahu L-prolínu Akumuláciu prolínu považujeme za dedične viazaný adaptačný znak. Obsah prolínu sa zvyšuje hromadením novovytvorenej alebo translokovanej látky.
2. Do druhej skupiny odrôd môžeme zaradiť odrody Hana, Robura a Denár, v listoch ktorých stúpala obsah voľného L-prolínu v závislosti na dĺžke trvania nedostatku vody. Ide tu o zvyšovanie obsahu látky tým, že sa znižuje obsah vody v pletivách.
3. Osobitné postavenie má odroda UC-82, u ktorej bol v listoch kontrolných, aj stresovaných rastlín na začiatku pokusu veľmi nízky obsah prolínu. K zvýšeniu obsahu L-prolínu dochádzalo len v dôsledku vodného stresu.

Počas 23 dní trvajúceho vodného stresu sme potvrdili kvantitatívne rozdiely plošného rastu listov. Odrody aj v tomto prípade vykazovali špecifické genotypové reakcie. U všetkých odrôd sme po 17 dňoch rastovej depresie pozorovali fyziologické prispôbenie sa podmienkam zníženého obsahu dostupnej vody a zintenzívnenia plošného rastu listov.

Výsledky pokusov so šiestimi odrodami rajčiaka jedlého v podmienkach prehlbujúceho sa sucha potvrdili špecifické adaptačné reakcie odrôd, ktoré môžu byť význačnými znakmi tolerancie na nedostatok vody. Potvrdili sme, že pokusné rastliny mali dobrú schopnosť udržať si zásoby transpiračnej vody, keď v priebehu 10 dní pôsobenia sucha si udržiavali relatívny obsah vody v listoch na úrovni kontrolných rastlín. K významnejšiemu poklesu RWC došlo len u odrôd Hana, Denár a Robura (približne o 28%), čo bolo sprevádzané aj metabolickými zmenami. V dôsledku nich významne stúpol obsah L-prolínu v listoch. To potvrdzuje, že v dôsledku postupnej dehydratácie došlo k osmotickému prispôbeniu a stabilizácii vodného režimu. U týchto odrôd sa zvyšovali hodnoty RWC a klesal VD. Unyayar et al. (2004) taktiež konštatujú, že existuje vzťah medzi akumuláciou prolínu a RWC. O úlohe voľného prolínu, ako

významného činiteľa osmotickej adjustácie pojednávajú aj práce z posledných rokov (Knipp a Honermeier 2006, Valentovič et al. 2006, Unyayar et al. 2004, Meloni et al. 2004, Claussen 2004, Nahar a Gretzmacher 2002). Zníženie RWC v podmienkach sucha potvrdili vo svojich pokusoch aj Unyayar et al. (2004), Jing a Huang (2002). Podobne Yurekli et al. (2001) zistili, že RWC sa znižuje v listoch rajčiaka jedlého ošetrených roztokmi NaCl.

Niektorí autori (Brestič, Olšovská 2001) predpokladajú, že ide o stratégiu prežitia rastlín v podmienkach stresu spôsobeného stresorom, ktorým môže byť sucho, pričom za adaptačný znak považujú pomalý rast a nízku schopnosť tvorby biomasy. Rastliny našich pokusných odrôd si udržali, alebo len málo redukovali plošný rast listov. Rast listovej plochy bol najintenzívnejší (s najvyššími hodnotami RGR_A) medzi 17 a 23 dňom dehydratácie, čo považujeme za fenotypový prejav prispôsobenia sa rastlín nedostatku vody. Iné príklady reakcií na postupnú dehydratáciu poskytla odroda UC-82. Tu sa potvrdila nepriama lineárna závislosť medzi obsahom L-prolínu a relatívnym obsahom vody. Tento vzťah vysvetľujú Delauney a Verma 1993, Hare a Cress 1997, Madam et al. 1995, ktorí akumuláciu organických látok vrátane L-prolínu považujú len za dôsledok vodného stresu. Taktiež je však možné, že metabolická reakcia na deficit vody bola u tohoto genotypu špecifická a realizovala sa cestou iného mechanizmu. O schopnosti prispôbiť sa suchu svedčí aj špecifická rýchlosť rastu listovej plochy (RGR_A -Prémium $0,0983 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$, Moldy $0,0813 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$, UC-82 $0,0766 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$, Hana $0,0693 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$, Denár $0,0756 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$, Robura $0,039 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$) vďaka prerozdeleniu vody v orgánoch v prospech listov. Významné sú práce autorov Lecoera et al. 1995, 1996, Ben Haj Salah, 1996 o kontrole rastu listovej plochy pomocou fyzikálnych faktorov prostredia (teplôt, žiarenia, deficitu vody). Pri štúdiu vodného stresu na veľkosť listovej plochy dosiahli porovnateľné výsledky s výsledkami našich pokusov Colom a Vazzana (2001), Yadav et al. (2005), Reddy et al. (2003), Bhatt a Srinivasa Rao (2005).

Z predložených výsledkov vyplýva, že fyziologické a metabolické reakcie rôznych odrôd rajčiaka jedlého na postupnú dehydratáciu spôsobené suchom sú rozdielne a podmienené rôznymi mechanizmami osmotického prispôsobenia.

5.1.2 Rastové reakcie nadzemných orgánov

Naše pokusné odrody počas sledovaného obdobia vytvorili 9 internódií (kontrola). Vodný stres (sucho) mal vplyv na tvorbu internódií, redukoval počet internódií a menil základnú hierarchiu ich rastu. Štatistické hodnotenie výsledkov sme použili Duncanov test, Scheffeho test a Tukeyov test pri rôznom stupni hladine významnosti. Potvrdilo, že vodný stres (sucho) menil základnú hierarchiu rýchlosti rastu internódií u všetkých odrôd v porovnaní s kontrolnými rastlinami.

5.1.3 Rast suchej hmoty a jej distribúcia do orgánov

Vo vegetatívnej fáze rastu bola tvorba a akumulácia suchej hmoty dynamická a prírastky sušiny, ktoré sme zaznamenávali v priebehu sledovaného obdobia sú dôkazom toho, že tvorba hmoty prebiehala ako kontinuálny proces.

Zmeny v akumulácii hmoty nadzemnej časti nastali až na konci sledovaného obdobia (na 23-tý deň pokusu) v kontrolných podmienkach najvýraznejšie u odrôd Hana, UC-82, Moldy. Ostatné odrody (Prémium, Denár, Robura) akumulovali hmotu nadzemných orgánov dynamicky až v priebehu celého sledovaného obdobia. U pokusných (stres) rastlín odrôd (okrem odrody Hana) došlo k posunu maximálnej akumulácie organickej hmoty. Porovnanie hodnôt RGR_W však opakovane potvrdilo skutočnosť, že rastliny sú po určitej dobe (v našom prípade 17 dní) schopné prispôbiť sa nedostatku vody a zabezpečiť rast hmoty na úrovni kontroly. Z hodnôt RGR_W koreňa je vidieť, že rastliny v podmienkach vodného stresu prednostne distribuovali hmotu do koreňa, pre lepšie zabezpečenie jeho rastu a funkcie

Kostrej (1998) uvádza, že korene sú z hľadiska pôsobenia vodného stresu významnými časťami rastliny a zároveň dôležitými konzumentmi asimilátov. Zmeny pomeru nadzemnej časti a koreňa sú významným adaptačným znakom. Inhibuje sa predlžovací rast buniek koreňa

a naopak podporuje sa ich zväčšovanie do šírky a hrubnutie (Kolek et al 1988). Korene majú väčšiu schopnosť osmotického prispôsobenia sa vyšším hodnotám relatívnej rýchlosti rastu počas vodného stresu.

Výsledky Unyayar et al. (2004) a Sánchez-Blaco et al. (2002) ukazujú, že suchá hmotnosť sa v podmienkach sucha významne znižuje. Slavík (1965) uvádza, že vodný stres limituje okrem fyziologických funkcií dôležité procesy, ktoré sa podieľajú na raste listov, či už je to predĺžovací rast alebo prírastok sušiny.

Podobne Sankar et al. 2007 vo svojich pokusoch potvrdili, že v podmienkach vodného stresu boli inhibované rastové (dĺžka koreňa, dĺžka stonky, celková listová plocha) a hmotové parametre (čerstvá a suchá hmotnosť).

Naše výsledky sú zhodné s prácami autorov, ktorí uvádzajú, že vodný deficit spôsobuje na úrovni bunkových mikroštruktúr i jednotlivých orgánov celý rad zmien morfológického a fyziologického charakteru, ktoré zásadne limitujú produkčnú aktivitu rastlín a výslednú tvorbu biomasy cez redukciu jednotlivých úrodotvorných prvkov (Švihra 1984, Zemánek 1986, Brestič 1988, Olšovská 1999).

5.1.4 Obsah asimilačných farbív v listoch pri rozdielnej zásobe vody v pôde

Je všeobecne známe, že na obsah asimilačných pigmentov v orgánoch (listoch) vplyvajú vo významnej miere environmentálne faktory (Demming-Adams et al. 1996, Seifermann-Harms 1994). V literatúre sa poradie závažnosti vplyvu klimatických faktorov na pigmenty uvádza takto: teplota vzduchu, slnečný svit, globálne žiarenie a zrážky (Kirchgesner et al. 2003).

Počas nami sledovaného obdobia kontrolné aj stresované rastliny odrôd vykazovali dynamické zmeny v obsahu asimilačných pigmentov (celkových chlorofylov a karotenoidov).

Kontrolné rastliny mali nižší obsah celkových chlorofylov, došlo k „zriedeniu“ ich obsahu v závislosti na veľkosti listovej plochy. Pri štatistickom hodnotení sme potvrdili význačný až veľmi tesný stupeň nepriamej lineárnej závislosti medzi obsahom celkových chlorofylov a listovou plochou u kontrolných aj stresovaných rastlín rajčiaka jedlého.

Vplyv sucha na obsah chlorofylov jednotlivých listov môže byť rozdielny. Rozhodujúca je dĺžka pôsobenia a intenzita pôsobenia faktora, vek rastliny ako aj tolerancia (Taiz, Zeiger, 2006). Vo variantoch vystavených stresu sme potvrdili odrodové reakcie, ktoré sa prejavili znížením obsahu asimilačných pigmentov počas sledovaného obdobia. Z nameraných hodnôt ich obsahu môžeme konštatovať, že odrody Prémium a Moldy (1. skupina odrôd) reagovali na postupnú dehydratáciu signifikantným znížením asimilačných farbív najmä ku koncu sledovaného obdobia. Odrody Hana, Denár a Robura (2. skupina odrôd) stabilizovali svoj vodný režim, čo sa prejavilo miernejším poklesom obsahu asimilačných pigmentov (23. deň sledovaného obdobia). Odroda UC-82 (3. skupina odrody) v dôsledku vodného stresu vykazovala vyrovnanú tendenciu zníženia obsahu asimilačných farbív. Dynamické zmeny v obsahu asimilačných farbív považujeme za funkčné prispôsobenie rastlín vodnému stresu.

Zníženie obsahu chlorofylov ako reakciu na pôsobenie sucha potvrdili Sagtah, Nautiyal (2002), Jureková (1996) a Jureková et al. (2003), Pukacki, Kamińska-Rozek (2005). Gaponenko (1973) usudzuje, že biosyntéza chlorofylu prebieha počas celej ontogenézy a jeho stály obsah je výsledkom rovnováhy medzi nepretržitým vznikom a zánikom molekúl chlorofylu. Toto sa potvrdzuje najmä pri odrode UC-82, kde je pozorovateľná pomerne vyrovnaná dynamika obsahu asimilačných pigmentov.

Zistili sme závislosť medzi obsahom komplexu asimilačných farbív a RWC. Z hodnôt korelačných koeficientov medzi obsahom komplexu asimilačných pigmentov a RWC vidieť, že reakcie rastlín na sucho sú odrodovo podmienené.

5.2 Štúdium vplyvu sucha v podmienkach kontrolovaného a regulovaného modelového prostredia explantátových kultúr

5.2.1 Fyziologické a biochemické reakcie explantátov rajčiaka jedlého v podmienkach *in vitro* na vodný stres

Vplyv vodného stresu na funkčné prejavy rastlín nie je možné študovať v prirodzených podmienkach. Originálnym prostredím môže byť *in vitro*, kde môžeme vodný stres definovať veľmi presne, napríklad blokovaním príjmu vody pridaním osmotík (PEG) do kultivačného média. Zároveň môžu byť ostatné faktory kontrolované a regulované.

Sledovanie fyziologických ukazovateľov šiestich odrôd rajčiaka jedlého v podmienkach *in vitro* potvrdilo rozdiely v ich základných ukazovateľoch a to v obsahu vody, čerstvej a suchej hmotnosti. Z testovania kontrastov vyplýva, že v obsahu vody je preukazný rozdiel aj medzi odrodami aj medzi kombináciami médií. Signifikantné rozdiely boli medzi odrodami Hana a UC-82 potvrdené testmi Duncan 99 a Scheffe 95. Prejavila sa najmä rozdielna vodoudržujúca schopnosť, keď v rovnakých podmienkach znížili obsah vody najvýraznejšie explantáty rajčiaka odrody Prémium a UC – 82 (-9,4% a -8,3 %), Denár – 5,08%, najmenej Hana a Moldy (-2,9% a -4,66%).

Rovnako sa potvrdila výrazná genotypove podmienená reakcia v raste. Po 14 dňoch kultivácie môžeme diferencovať genotypy s výrazným predlžovacím rastom internódia (Hana , UC-82), genotypy s priemerným predlžovacím rastom (Moldy a Denár) a Prémium a Robura s najmenej intenzívnym rastom. Na základe štatistického hodnotenia (Duncan 95) je preukazný rozdiel v dĺžke nadzemnej časti medzi odrodami Hana- Prémium, Hana – Moldy, Hana – Robura, Hana – Denár, UC-82 – Prémium, UC-82 – Moldy a UC-82 – Robura.

Samotný kinetín, ani kinetín pridaný do média s PEG neeliminuje účinok PEG. Explantáty tvorili kalus a predlžovací rast nadzemnej časti bol kinetínom najviac inhibovaný u genotypov Hana, UC-82 a Denár. Kinetín len zmiernil negatívne účinky PEG na predlžovací rast a to u všetkých genotypov s výnimkou Denár. V protiklade s výsledkami Flašinski et al. (1986), ktorí pracovali s rastlinami repky, sme nepotvrdili účinok kinetínu v eliminácii, alebo aspoň oddialení účinku vodného stresu na rast explantátov.

Odrodove rozdielnu reakciu sme zistili v akumulácii suchej hmoty. Potvrdil sa vysoký a význačný stupeň nepriamej lineárnej závislosti medzi akumuláciou suchej hmoty a obsahom voľného prolínu u odrôd Prémium (-0,885001977), Denár (-0,586729571), Robura a UC-82 (Obr. 26). U odrôd Hana (0,735376927) a Moldy (0,665394965) sme potvrdili vysoký a význačný stupeň priamej lineárnej závislosti medzi akumuláciou suchej hmoty a obsahom voľného prolínu.

Vplyv koncentrácie benzylaminopurínu a 2,4-D na produkciu kalusu rajčiaka v procese regenerácie hypokotylu potvrdili aj Coenen a Lomax (1998). Bartoničková et al. (1998) v pokusoch s zelerom kultivovaným v *in vitro*, jednoznačne potvrdili pokles hmotnosti sušiny rastlín v závislosti na rozdielnych koncentráciách osmotika .

5.2.2 Metabolické zmeny v podmienkach vodného stresu v prostredí *in vitro*

Kvantifikácia obsahu osmoticky aktívnych látok sa stáva dôležitým kritériom pri štúdiu adaptačnej reakcie rastlín na vodný stres (Starck 1995, Jureková 2000), vysoké teploty (Xiong, Zhu 2002, Sakamoto, Murata 2002) i zasolenie (El-Enay 1995, Sakamoto, Murata 2002). Za významný determinálny znak tolerancie druhov voči suchu sa považuje akumulácia voľného prolínu, ktorého obsah sa pri dehydratácii zvyšuje niekoľkonásobne (Starck 1995). Zvýšenú akumuláciu prolínu považujú autori za adaptačnú reakciu rastlín (Levitt 1980, Bandurska 1991).

Stanovenie voľného prolínu v extraktoch internódií a kľúčnych listov potvrdilo značnú genotypovú rozdielnosť. V kontrolnom variante (MS) mali kultivované explantáty nízku koncentráciu prolínu. Vodný stres (MS+PEG) zvýšil tvorbu voľného prolínu v internódiách všetkých genotypov. Preukaznosť rozdielov sme potvrdili medzi Hana - Prémium, Hana –

Denár, Hana – Robura, UC-82 – Denár, Prémium - Moldy, Moldy – Denár. Potvrdil sa význačný a vysoký stupeň nepriamej lineárnej závislosti obsahu voľného prolínu s predlžovacím rastom.

V médiách s kinetínom sa v explantátoch zvýšila tvorba voľného prolínu v priemere 1,4 (Prémium) až 7 násobne (UC – 82). Porovnateľné výsledky získali Flasiński et al (1986) v kotyledónoch repky v podmienkach vodného a soľného stresu. Pokles obsahu endogénnych cytokinínov, v podmienkach stresu (vodný stres a zasolenie) mal za následok inhibíciu tvorby voľného prolínu, čo potvrdili aj Aspinall a Paleg (1981) v izolovaných listoch jačmeňa a reďkovky.

Akumulácia kompatibilných osmotík, ku ktorým patrí aj voľný prolín je dôkazom metabolickej adaptácie rastlín na vodný stres.

5.2.3 Zmeny obsahu asimilačných farbív v podmienkach vodného stresu v pokusoch in vitro

Ďalším ukazovateľom, ktorému sme venovali pozornosť bol komplex asimilačných farbív. Štatisticky preukazný rozdiel sme potvrdili v obsahu celkového chlorofylu (a+b) (testom Duncan 95) a karotenoidov (testom Duncan 99) v podmienkach vodného stresu (MS + PEG), po pridaní kinetínu (MS + KIN) a vo variante MS + KIN + PEG.

Na prítomnosť kinetínu (MS + KIN) v médiu reagovali rastliny odrody Prémium, Hana, UC – 82 poklesom obsahu vody, celkového chlorofylu a karotenoidov. Rastliny odrôd Moldy, Robura a Denár pri zníženom obsahu vody zvýšili celkový obsah chlorofylu (a + b) aj karotenoidov.

Vplyv vodného stresu sa prejavil veľmi výrazne, znížením obsahu asimilačných farbív vo všetkých explantátoch, okrem odrody Robura. Potvrdil sa veľmi tesný stupeň (Hana 0,975307037, UC-82 0,931451181), vysoký stupeň (Prémium 0,71771962) a mierny stupeň (Moldy 0,372737551, Denár 0,462083349) priamej lineárnej závislosti medzi obsahom asimilačných pigmentov a obsahom vody.

V súhlase s poznatkami Starck (1995) sme potvrdili negatívny účinok vodného stresu navodeného pomocou PEG na celkový obsah asimilačných farbív. V našom pokuse tvorili výnimku dve odrody: Robura – pri ktorej sa zvýšil obsah chlorofylov (a+b) a Moldy – pri ktorej sa zvýšil obsah karotenoidov.

V súčasnosti sa objasňujú molekulové základy odolnosti voči abiotickým stresom (Zhu 2000, 2001; Hasegawa et al. 2000). Štúdium stresu naráža na množstvo metodických problémov, čo je jeden z dôvodov, prečo nevieme presne definovať účinky stresu. Odpovede rastlín sú heterogénne. Ukázalo sa tiež, že dôležité je definovať stres, aby nepôsobil v kombinácii viacerých abiotických faktorov.

Výsledky pokusov viacerých autorov potvrdzujú, že prostredie *in vitro* je optimálne pre selekciu druhov (odrôd) na toleranciu voči vysokej (nízkej) teplote (Brown, Singh 1994), voči zasoleniu (Winicov 1994), rezistenciu voči toxickým účinkom herbicídov a pesticídov (Brazolot et al. 1994). Kultúry *in vitro* úspešne využili Dubert (1996), Jureková, Tvrdoňová (1998), Jureková et al. (2001) a ďalší.

5.3 Návrh na využitie poznatkov pre ďalší rozvoj vedy a prax

Hodnotenie odrôd zelenín patrí medzi priority vedeckého výskumu vo svete i u nás. Odrody sa testujú v rámci výskumných úloh, riešenia genofondu a pre využitie v šľachtení. Preverovaním domáceho a zahraničného sortimentu, rozpracovaných šľachtiteľských materiálov sa získava potrebný prehľad o dôležitých biologických, morfológických, hospodárskych a technologických vlastnostiach genofondu. Výsledky možno realizovať pri cielej agrotechnike pestovania. Rozličné vlastnosti odrôd určujú napr. agroklimatické podmienky, technológiu a agrotechniku pestovania, ošetrovania proti chorobám a škodcom, spôsob zberu, spracovania, využitia a pod. Získané údaje o jednotlivých odrodách slúžia aj na vyhľadávanie

komponentov ku kríženiu v šľachtiteľskej práci, ale aj na sledovanie odolnosti voči stresovým faktorom.

V práci sme potvrdili genotypove podmienené morfofyziologické a metabolické adaptácie (príp. aklimácie) rastlín na vodný stres spôsobený 23 dňami trvajúcim nedostatkom vody.

Prvotné reakcie rastlín na podmienky sucha sa prejavili v inhibícii predĺžovacieho a plošného rastu, menej výrazná bola inhibícia akumulácie hmoty. K dynamickým zmenám dochádzalo v obsahu asimilačných (hlavných a doplnkových) pigmentov.

V dôsledku postupnej dehydratácie došlo v listoch rastlín (5 odrôd – Prémium, Moldy, Hana, Denár, Robura) k akumulácii voľného L-prolínu, čo považujeme za špecifickú reakciu týchto odrôd na postupnú dehydratáciu.

Akumulácia osmoprotektanta (L-prolín) je odrodovo podmienená. Výsledky pokusov so šiestimi odrodami rajčiaka jedlého v podmienkach prehlbujúceho sa sucha potvrdili špecifické adaptačné a aklimačné reakcie odrôd, ktoré môžu byť význačnými znakmi tolerancie na nedostatok vody.

Zo získaných údajov odporúčame pre ďalšie bádanie a pre šľachtiteľskú prácu selekčné kritériá, ktoré štatisticky preukazne potvrdzujú vlastnosti odrôd a ich schopnosť prejsť tieto vlastnosti v podmienkach nedostatku vody:

1. predĺžovací rast nadzemnej časti
2. hmotnosť sušiny
3. akumulácia voľného prolínu v listoch
4. obsah asimilačných farbív v listoch
5. celkový obsah disponibilnej vody v nadzemných orgánoch

Pre štúdium funkčných prejavov, adaptačných aklimačných reakcií sme vytvorili špecifické prostredie *in vitro*, ktoré umožňuje presne definovať vodný stres, blokovaním príjmovej zložky vodnej bilancie rastlín. Modelové prostredie odporúčame na ďalšie využitie vo vedeckom výskume pri štúdiu pôsobenia vodného stresu.

Z výsledkov pokusov v modelovom prostredí *in vitro* sme určili selekčné kritériá pre hodnotenie citlivosti, resp. tolerantnosti rastlín k suchu. Ako vysoko preukazné sa potvrdili:

1. predĺžovací rast
2. akumulácia voľného prolínu
3. hmotnosť sušiny explantátu
4. obsah vody v explantáte

Potvrdili sme, že modelové prostredie podmienok *in vitro*, ktoré sme vytvorili pre štúdium účinkov stresora na fyziologické a metabolické reakcie rastlín v kontrolovaných a regulovaných podmienkach umožňuje získať originálne výsledky a eliminovať sekundárne efekty.

6 Záver

Na základe vytýčených cieľov dizertačnej práce „*Genotypová podmienenosť tolerancie rajčiaka jedlého (Lycopersicon esculentum, Mill.) na podmienky vodného stresu*“ môžeme formulovať nasledovné závery :

V rokoch 2002-2004 boli v kontrolovaných a regulovaných podmienkach v nádobových vegetačných pokusoch pestované odrody rajčiaka jedlého (*Lycopersicon esculentum, Mill.*), u ktorých sme sledovali vplyv nedostatku vody na ich funkčné prejavy a adaptačné schopnosti. Bola potvrdená odrodová podmienenosť morfofyziologických, metabolických a produkčných vlastností jednotlivých odrôd. Potvrdili sme významnú genotypovú podmienenosť reakcií na suchu, identifikovali sme schopnosť rastlín prispôbiť sa (aklimovať sa) na postupnú dehydratáciu.

Prvotnou reakciou na nedostatok vody je inhibícia predĺžovacieho rastu, pri ktorej sa zachováva výrazná genotypová podmienenosť. Vodný stres menil rýchlosť rastu internódií a tým

aj výšku rastlín. Hmotový rast nadzemných orgánov bol inhibovaný menej výrazne. Z hľadiska prerozdelenia hmoty, distribuovali rastliny organickú hmotu prednostne do koreňov, predpokladáme, že pre lepšie zabezpečenie jeho funkcie v podmienkach sucha.

Prechodný pokles rýchlosti rastu sme zaznamenali aj vo veľkosti listovej plochy. Vlastnosti odrôd a tolerancia na faktor sucha sa prejavila už po 10 dňoch dehydratácie a rastovej depresie, keď sa obnovil predlžovací rast orgánov, plošný rast listov rastliny ako aj akumulácia organickej hmoty, čo sa prejavilo aj v pomerne vysokých hodnotách špecifickej rýchlosti rastu listovej plochy (RGR_A) a rastu hmoty (RGR_W).

Účinky vodného stresu navodeného v období kvitnutia výraznejšie ovplyvnili vývinové ako rastové procesy. V listoch kontrolných aj stresovaných rastlín odrôd dochádzalo k dynamickým zmenám v obsahu asimilačných pigmentov (celkových chlorofylov a karotenoidov). Vyššie kvantitatívne hodnoty obsahu, v prepočte na jednotku plochy mali rastliny v podmienkach sucha.

V dôsledku postupnej dehydratácie došlo v listoch rastlín (5 odrôd – Prémium, Moldy, Hana, Denár, Robura) k akumulácii voľného L-prolínu, čo považujeme za špecifickú reakciu týchto odrôd na postupnú dehydratáciu.

Akumulácia osmoprotektanta (L-prolín) je odrodovo podmienená. Výsledky pokusov so šiestimi odrodami rajčiaka jedlého v podmienkach prehlbujúceho sa sucha potvrdili špecifické adaptačné a aklimačné reakcie odrôd, ktoré môžu byť význačnými znakmi tolerancie na nedostatok vody.

Z výsledkov pokusov sme definovali adaptačné znaky, ktoré môžeme využiť ako selekčné kritériá, ktoré (štatisticky preukazne) potvrdzujú vlastnosti odrôd a ich schopnosť prejaviti tieto vlastnosti v podmienkach nedostatku vody:

1. predlžovací rast nadzemnej časti
2. hmotnosť sušiny a jej pomer v nadzemných orgánoch a koreni
3. akumulácia voľného prolínu v listoch
4. obsah asimilačných farbív v listoch
5. celkový obsah disponibilnej vody v nadzemných orgánoch

Funkčné prejavy rastlín, ich aklimačné a adaptačné reakcie na pôsobenie stresového faktora je vo vegetačných podmienkach možné sledovať veľmi ťažko najmä preto, lebo účinky stresora, ktorým je deficit vody (sucho) nie je možné oddeliť od účinkov vysokej teploty. Preto sme hľadali možnosť vytvorenia modelového prostredia, v ktorom je možné testovať len jeden stresor – nedostatok vody, blokovaním jej príjmu.

Z výsledkov pokusov v modelovom prostredí *in vitro* sme určili adaptačné znaky, ktoré môžeme využiť ako selekčné kritériá pre hodnotenie citlivosti, resp. tolerantnosti rastlín k suchu. Ako vysoko preukazné sa potvrdili:

1. predlžovací rast
2. akumulácia voľného prolínu
3. hmotnosť sušiny explantátu
4. obsah vody v explantáte

Potvrdili sme, že modelové prostredie podmienok *in vitro*, ktoré sme vytvorili pre štúdium účinkov stresora na fyziologické a metabolické reakcie rastlín v kontrolovaných a regulovaných podmienkach umožňuje získať originálne výsledky a eliminovať sekundárne efekty.

7 Použitá literatúra (zoznam bibliografických odkazov)

- 1 **ASPINALL, D., PALEG, L. G., 1981.** Proline accumulation: Physiological aspects. In Wyn Jones RG, Storey R, eds., Physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic Press, Australia, pp. 205-241.

- 2 **BANDURSKA, H., 1991.** The effect of proline on nitrate reductase activity in water-stressed barley leaves. In *Acta Physiologiae Plantarum*, Vol. 13, 1991, No. 1., p. 3-11.
- 3 **BARTONIČKOVÁ, A., VÍTOVÁ, L., STODULKOVÁ, E., LIPAJSKÁ, H., 1998.** Influence of exogenous saccharides on the growth characteristics of celery plants cultivated in vitro. In: 8th days of Plant Physiology. Olomouc, 7. – 10.7.1998. p. 32, ISBN 80-7067-872-0.
- 4 **BATES, L.S., WALDREW, R.R., TEARE, I.D., 1973.** Rapid determination of free proline for water-stress studies. In *Plant and Soil*, vol. 39, 1973, pp. 205-207.
- 5 **BEADLE, C.L., LUDLOW, M.M., HONEYSETT, L., 1993.** Water relations. In *Hall DO, Scurloch JMO, Bolhár-Nordenkampf HR, Leegood RC, Long SP (eds), Photosynthesis and Production in a Changing Environment*, 1993, pp. 113-127. Chapman and Hall, London, England.
- 6 **BEN HAJ SALAH, H., TARDIEU, F., 1996.** Quantative analysis of the combined effects of temperature, evaporative demand and light on leaf elongation rate in well-watered field and laboratory-grown maize plants. In *J. Exp. Bot.*, vol. 47, 1996, p.1689-1698.
- 7 **BEŽO, M., HRUBÍKOVÁ, K., 1997.** Systém hodnotenia a štatistického spracovania fenotypovej variability pletivových kultúr rastlín. In: *Biotechnologické metódy v šľachtení rastlín : Zborník referátov z V. vedeckej konferencie BIOS '97 : Nitra 27.5.1997.* - Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, s. 37-42.
- 8 **BHATT, R.M., SRINIVASA RAO, N.K., 2005.** Influence of pod load response of okra to water stress. In *Indian J. Plant Physiol.*, vol. 10, 2005, p. 54-59.
- 9 **BRAZOLOT, J. – KANG, F. Y.- PAULS, P. K., 1994.** In vitro selection for disease/toxin resistance. In (Eds.) *Dixon, R. A. - Gonzales, R. A. Plant Cell Culture. A Practical Approach. Sec. Edit.*, 1994, p.87 – 97, ISBN 0-19-962402-5
- 10 **BRESTIČ, M. 1988.** Vplyv vodného stresu na rastovo-produkčné charakteristiky jarného jačmeňa v rôznych podmienkach minerálnej výživy. Kandidátska dizertačná práca, AF VŠP Nitra, 163 s.
- 11 **BRESTIČ, M., OLŠOVSKÁ, K., 2001.** Vodný stres rastlín: príčiny, dôsledky, perspektívy. SPU: Nitra, ISBN 80-7137-902-6.
- 12 **BROWN, D. C. V. – SINGH, J., 1994.** Cold tolerance. In (Eds.) *Dixon, R. A. - Gonzales, R. A. Plant Cell Culture. A Practical Approach. Sec. Edit.* p. 72 - 79, ISBN 0-19-962402-5
- 13 **CLAUSSEN, W., 2004.** Proline as a measure of stress in tomato plants. In *Plant Science*, vol.168, 2005, p. 241-248.
- 14 **COENEN, C., LOMAX, T. L. 1998.** The *Diageotropica* Gene Differentially Affects Auxin and Cytokinin Responses throughout Development in Tomato. In: *Plant Physiology* 117, pp. 63-72.
- 15 **COLOM, M.R., VAZZANA, C., 2001.** Drought stress effects on three cultivars of *Eragrostis curvula*: Photosynthesis and water relations. In *Plant Growth regul.*, vol. 34, 2001, p. 195-202.
- 16 **DELAUNEY, A.J., VERMA, D.P.S., 1993.** Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. In *Plant J.*, vol. 4, 1993, p. 215-223.
- 17 **DEMMIG-ADAMS, B., GILMORE, A.M., ADAMS W.W., 1996.** In vivo functions of carotenoids in higher plants. In *The FASEB Journal*: 403-412.
- 18 **DUBERT, F., 1996.** Wykorzystanie kultur in vitro w badaniach odpornosci róslin na dzialanie czynnikow stresowych. Ekofizjologizne reakcje róslin na dzialanie abiotycznych czynnikow stresowych. Krakov s. 37-48
- 19 **FLASINSKI, S. J., ROGOZINSKA, L., DROZDOVSKA, 1986.** The effect of phosphorus and water deficit on phosphatase activity and proline accumulation in seedling

- cotyledons and roots of oilseed rape as compared to that of excised cotyledons and roots. In: *Acta Soc. Botanic Polon*, 55, pp. 83-96.
- 20 **GAPONENKO, V.J., 1973.** Obnovlenie chlorofilla v listjach pšenicy, vest. Akad. Nauk Belorus. SSR, Ser. Biol. Nauk, 1, s. 40-46.
 - 21 **HANDA, S., HANDA, A.K., HASEGAWA, P.M., BRESSAN, R.A., 1986.** Proline accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress. In *Plant Physiology*, vol. 80, 1986, p. 938-945.
 - 22 **HANSON, A. D., HITZ, W. D., 1982.** Metabolic response of mesophytes to plant water deficit. In *Annual Review of Plant Physiol.*, vol. 33, 1982, p. 163-203.
 - 23 **HARE, P.D., CRESS, W.A., 1997.** Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. In *Plant Growth Regulation*, vol. 21, 1997, p.79-102.
 - 24 **HARE, P.D., CRESS, W.A., STADEN, J., 1999.** Proline synthesis and degradation: a model system for elucidating stress-related signal transduction. In *Journal of Exp. Botany*, Vol. 50, No. 333, 1999, pp. 413-434.
 - 25 **HASEGAWA, P.M., BRESSAN, R.A., ZHU, J.K., BOHNERT, H.J., 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. In *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, vol. 51, 2000, p. 463-499.
 - 26 **HERNANDEZ, A.J., FERRER, A.M., JIMENEZ, A., BARCEL, R.A., FRANCISCA, S., 2001.** Antioxidant system and O₂⁻/H₂O₂ production in the apoplast of pea leaves. It relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. In *Plant Physiol.*, vol. 127, 2001, p. 817-831.
 - 27 **CHAVES, M.M., MAROCO, J.P., PETIERA, S., 2003.** Understanding plant response to drought from genes to the whole plant. In *Funct. plant Biol.*, vol. 30, 2003, p. 239-264.
 - 28 **JIANG, Y., HUANG, B., 2002.** Protein alterations in tall fescue in response to drought stress and abscisic acid. In *Crop Science*, vol. 42, 2002, p. 202-207.
 - 29 **JUREKOVÁ, Z., 1996.** Niektoré fyziologické prejavy rastlín ozimnej pšenice (*Triticum aestivum*, L.) vystavenej suchu zatopenia koreňov vodou. In: *Zborník z medzinárodnej konferencie „Rastlina v podmienkach stresu“*. SPU v Nitre: Nitra, s. 31-34.
 - 30 **JUREKOVÁ, Z., TVRDOŇOVÁ, A., 1998.** Allevation of the Effects of Al³⁺ by Ca²⁺ Ions in Callus Culture. Zastosow. kultur in vitro w fizjol. roslin., PAN, Kraków, p. 197 - 201
 - 31 **JUREKOVÁ, Z., 2000.** Utilization of phytoextraction know-how in technologies of environmental remediation. In: *Ecophysiology of plant production processes in stress conditions* : Abstracts of the 4th international conference : Račkova dolina 12.-14.9.2000. - Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, ISBN 80-7137-751-1. - s. 51
 - 32 **JUREKOVÁ, Z., FILOVÁ, A., DRAGÚŇOVÁ, M., 2001.** Využitie metód in vitro pre štúdium reakcií rastlín na abiotické stresy. In *Biotechnologické metódy v šľachtení rastlín*. BIOS 2001. IX. 26, Nitra. S.44-47. ISBN 80-7137-915-8.
 - 33 **JUREKOVÁ, Z., MOLNÁROVÁ, K., DRAGÚŇOVÁ, M., LICHTNEROVÁ, H. 2003.** Tvorba voľného prolínu v genotypoch rajčiaka jedlého (*Lycopersicon esculentum* Mill.) stresovaných vodným stresom. In *Nové poznatky z genetiky a šľachtenia poľnohospodárskych rastlín*. Piešťany, 2003, p. 63 – 66, ISBN 80-88790-29-8.
 - 34 **JUREKOVÁ, Z., DRAGÚŇOVÁ, M., LICHTNEROVÁ, H., MOLNÁROVÁ, K., 2003.** Využitie podmienok in vitro na hodnotenie fyziologicko-biochemických vlastností rajčiaka jedlého (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ovplyvnených vodným stresom. In *Biotechnologické metódy v šľachtení rastlín BIOS 2003*, Zborník referátov z VIII. vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou. Nitra 19.8.2003.
 - 35 **KAVI KISHOR, P.B., HONG, Z., MIAO, G.H., HU, C.-A.A., VERMA, D.P.S., 1995.** Overexpression of Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthetase increases proline production and confers osmotolerance in transgenic plants. In *Plant Physiology*, vol. 108, 1995, p.1387-1394.

- 36 **KIRCHGESSNER, H.D., REICHERT, K., HAUFF, K., STEINBRACHER, R., SCHNITZLER, J.P., PFUNDEL, E.E., 2003.** Light and temperature, but not UV radiation, affect chlorophylls and carotenoids in Norway spruce needles (*Picea abies* Karst. L.). In *Plant, Cell and Environment*, 26: 1169-1179.
- 37 **KNIPP, G., HONERMEIER, B., 2006.** Effect of water stress on proline accumulation of genetically modified potatoes (*Solanum tuberosum* L.) generating fructans. In *Journal of Plant Physiology*, vol. 163, 2006, p. 392-397.
- 38 **KOSTREJ, A., JUREKOVÁ, Z., DANKO, J., BRESTIČ, M., OLŠOVSKÁ, K., 1998.** Ekofyziológia produkčného procesu porastu a plodín. SPU: Nitra, 179 s. ISBN 80-7137-528-4
- 39 **LAWLOR, D.W., 2002.** Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: Stomata Vs metabolism and role of ATP. In *Ann. Bot.* vol. 89, 2002, p.871-885.
- 40 **LECOEUR, J., WERY, J., TUTC, O., TARDIEU, F., 1995.** Expansion of pea leaves subjected to short water deficit: cell number and cell size are sensitive to stress at different periods of leaf development. In *Journal of exp. Botany*, vol. 46, 1995, p. 1093-1101.
- 41 **LECOEUR, J., SINCLAIR, T.R., 1996.** Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. In *Crop Sci.*, vol. 36, 1996, p. 31-335.
- 42 **LEVITT, J., 1980.** Response of plants to environmental stresses. In *Acad. Press. New York*, 1980, 530p.
- 43 **MADAN, S., NAINAWATEE, H.S., JAIN, R.K., CHOWDURY, J.B., 1995.** Proline and proline metabolizing enzymes in *in vitro* selected NaCl-tolerant *Brassica juncea* L. under salt stress. In *Ann. Bot.*, vol. 76, 1995, p. 51-57.
- 44 **MARSCHNER, H. 1991.** Mineral nutrition of higher plants. In *Acad. Press.* 1990.
- 45 **MASAROVIČOVÁ, E., REPČÁK, M. et al. 2002.** Fyziológia rastlín. Univerzita Komenského: Bratislava, 340 s., ISBN 80-223-1615-6.
- 46 **MELONI, D.A., GULOTTA, M.R., MARTÍNEZ, C.A., OLIVA, M.A., 2004.** The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. In *Braz. J. Plant Physiol.*, vol. 16(1), 2004, p. 39-46.
- 47 **MURASHIGE, T., SKOOG, F., 1962.** A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. In *Physiologia Plantarum*, vol.15, 1962, p. 473-497.
- 48 **NAHAR, K., GRETZMACHER, R., 2002.** Effect of water stress on nutrient uptake, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under subtropical conditions. In *Die Bodenkultur*, vol. 53(1), 2002, p. 45-51.
- 49 **NANJO, T., KOBAYASHI, M., YOSHIBA, Y., SANADA, Y., WADA, K., TSUKAYA, H., KAKUBARI, Y., YAMAGUCHI-SHINOZALI, K., SHINOZALI, K., 1999.** Biological functions of proline in morphogenesis and osmotolerance revealed in antisense transgenic *Arabidopsis thaliana*. In *The plant Journal*, vol.18 (2), 1999, p. 185-193.
- 50 **OLŠOVSKÁ, K., 1999.** Zefektívňovanie využitia vody vo vzťahu k produktivite jarného jačmeňa počas sucha. Dizertačná práca, SPU Nitra, 111 pp.
- POSPÍŠILOVÁ, J., SYNKOVÁ, H., RULCOVÁ, J., 2000.** Cytokinins and water stress. In *Biologia Plantarum*, vol.43 (3), 2000, p. 321-328.
- 51 **PROCHÁZKA, S., MACHÁČKOVÁ, I., KREKULE, J., ŠEBÁNEK, J., 1998.** Fyziologie rostlin. Academia Praha. 1998, 484s. ISBN 80-200-0586-2.
- 52 **PUKACKI, P.M., KAMIŇSKA ROŽEK, E., 2005.** Effect of water stress on chlorophyll a fluorescence and electrical admittance of shoots in Norway spruce seedlings. In: *Trees* 19: 539-544. ISSN 0931-1890
- 53 **RAMANJULU, S., BARTELS, D., 2002.** Drought- and desiccation-induced modulation of gene expression in plants. In *Plant, Cell and Environment*, vol. 25, 2002, p. 141-151.
- 54 **REDDY, T.Y., REDDY, V.R., ANBUMOZHI, V., 2003.** Physiological responses of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) to drought stress and its amelioration: A critical review. In *Plant Growth Regul.*, vol. 41, 2003, p. 75-78.

- 55 **ROBERTS, J.A., HUSSAIN, A., TAYLOR, B.I., BLACK, R., 2002.** Use of mutants to study long-distance signalling in response to compacted soil. In *Journal of Exp. Botany*, Vol. 53, No. 366, p. 45-50.
- 56 **SAGTA, H.C., NAUTIYAL, S., 2002.** Effect of water stress and antitranspirants on chlorophyll contents of *Dalbergia sisoo* Roxb. leaves. In: *Indian Forester: 893-903*. ISSN 0019-4816
- 57 **SAKAMOTO, A., MURATA, N., 2002.** The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. *Plant, Cell and environment* 25, 163-171.
- 58 **SÁNCHEZ-BLANCO, M.J., RODRÍGUEZ, P., MORALES, M.A., ORTUÑO, M.F., TORRECILLAS, A., 2002.** Comparative growth and water relations of *Cistus albidus* and *Cistus monspeliensis* plants during water deficit conditions and recovery. In *Plant Science*, vol. 162, 2002, p. 107-113.
- 59 **SANKAR, B., JALEEL, CH.A., MANIVANNAN, P., KISHOREKUMAR, A., SOMASUNDARAM, R., PANNEERSELVAM, R., 2007.** Drought-induced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. In *Acta Bot. Croat.*, vol. 66(1), 2007, p. 43-56.
- 60 **SIEFERMANN-HARMS, D., 1994.** Light and temperature control of season-dependent changes in the α and β -carotene content of spruce needles. In *Journal of Plant Physiology*, 143:488-494.
- 61 **SHARP, R.E., LENOBLE, M.E., 2002.** ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. In *Journal of Exp. Botany*, Vol. 53, No. 366, p. 33-37
- 62 **SCHREIBER, L., HARTMANN, K., SKRABS, M., ZEIER, J., 1999.** Apoplastic barriers in roots: chemical composition of endodermal and hypodermal cell walls. In *Journal of Exp. Botany*, vol. 50, 1999, p. 1267-1280.
- 63 **SLAVÍK, B., ČATSKÝ, J., 1965.** Methods of studies of water regime of plants. Academia: Praha, 302 p.
- 64 **SNOWDON, P., 2000.** Nutritional disorders and other abiotic stresses of *Eucalyptus*. In Keane, P.J., Kile, G.A., Podger, F.D., Brown, B.N. (ed.): *Diseases and Pathogens of Eucalyptus*. 2000, p. 576. CSIRO Publishing, Marangaroo.
- 65 **STARCK Z., 1995.** Wzajemność pomiędzy fotosyntezą a asymilatami a tolerancją roślin na niekorzystne warunki środowiska. *Post. Nauk. Rol.* 3/95, p. 19-35.
- 66 **STEHLÍKOVÁ, B., 1998.** Základy bioštatistiky. SPU Nitra. 1998, 81 s. ISBN 80-7137-539-X
- 67 **ŠESTÁK, Z., ČATSKÝ, J., 1966.** Metody studia fotosyntetické produkce rostlin. Academia, Praha, 1966, 396s.
- 68 **ŠVIHRA, J., 1984.** Vodný deficit v ontogenéze obilnín. Veda, Bratislava, 150s.
- 69 **TAIZ, L., ZEIGER, E., 2005.** *Plant Physiology*. Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts.
- 70 **UNYAYAR, S., KELES, Y., UNAL, E., 2004.** Proline and ABA levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. In *Bulg. J. Plant Physiol.*, vol. 30(3-4), 2004, p. 34-47.
- 71 **VALENTOVIČ, P., LUXOVÁ, M., KOLAROVIC, L., GAŠPARÍKOVÁ, O., 2006.** Effect of stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. In *Plant Soil Environ.*, vol. 52, 2006, p. 186-191.
- 72 **VAN RENSBURG, L., KRUGER, G.H.J., KRUGER, H., 1993.** Proline accumulation as drought tolerance selection criterion: Its relationship to membrane integrity and chloroplast ultrastructure in *Nicotiana glauca* (L.). In *Heynh. Development*, vol. 112, 1993, p. 1589-1600.
- 73 **WINICOV, I., 1994.** In vitro selection for salt tolerance. In: (Eds.) Dixon, R. A. - Gonzales, R. A. *Plant Cell Culture. In A Practical Approach. Sec. Edit.*, 1994, p. 79 - 86, ISBN 0-19-962402-5

- 74 **WU, Y., COSGROVE, D.J., 2000.** Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. In *Journal of Exp. Botany*, Vol. 51, No. 350, WD Special Issue, 2000, p. 1543-1553.
- 75 **XIONG, L., ZHU, J., K., 2002.** Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. In *Plant, Cell and Environment*, vol. 25, 2002, p. 131-139.
- 76 **YADAV, S.K., JYOTHI LAKSHMI, N., MAHESWARI, M., VANAJA, M., VENKATESWARLU, B., 2005.** Influence of water deficit at vegetative, Anthesis and grain fillings stages on water relation and grain yield in sorghum. In *Indian J. Plant Physiol.*, vol. 10, 2005, p. 20-24.
- 77 **YURAKLI, F., TURKA, I., PORGALI, B., TOPCUOGLU, S.F., 2001.** Indoleacetic acid, gibberellic acid, abscisic acid levels in NaCl-treated tomato species differing in salt tolerance. In *Israel Journal of Plant Science*, vol. 49, 2001, p. 269-277.
- 78 **ZEMÁNEK, M., 1986.** Produktivita a adaptace genotypů v rozdílných podmínkách zásobení vodou. Závěrečná správa DÚ-329-457-05-05, 102 pp.
- 79 **ZHU, J. K., 2000.** Genetic analysis of plant salt tolerance using *Arabidopsis thaliana*. In: *Plant Physiol*, 124: 941 - 948
- 80 **ZHU, J. K., 2001.** Cell signaling under salt, water and cold stresses. In: *Current Opinion in Plant Biology*, 4: 401 - 406
- 81 **ZIEGLEROVÁ, J., MOLLEROVÁ, J., ŠTOLCOVÁ, J., 2003.** Rostlina a stresora od pravěku do současnosti. In: *Bláha, L., Bocková, R., Hnilička, F., Holubec, V., Hniličková, H., Mollerová, J., Štolcová, J., Zieglerová, J. 2003. Rostlina a stres. VÚRV, Praha 2003, ISBN 80-86555-32-1.*
- 82 **ZIMMERMANN H.M., STEUDLE, E., 1998.** Apoplastic transport across young maize roots: effect of the exodermis. In *Planta*, vol. 206, 1998, p. 7-19.
- 83 **ZIMMERMANN, H.M., HARTMANN, K., SCHREIBER, L., STEUDLE, E., 2000.** Chemical composition of apoplastic transport barriers in relation to radial hydraulic conductivity of corn roots (*zea mays* L.). In *Planta*, vol. 210, 2000, p. 302-311.

8 Zoznam publikovaných prác autora

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

AFD01 Využitie podmienok in vitro na hodnotenie fyziologicko-biochemických vlastností odrôd rajčiaka jedlého (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ovplyvnených vodným stresom = The use of in vitro conditions on the elucidation of physiological and biochemical properties of genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) influenced by water stress / Zuzana Jureková, Marta Dragúňová, Helena Lichtnerová, Kristína Molnárová. - Požiadavky na systém: Windows 95 a vyššie; CD-ROM mechanika. - Spôsob prístupu: www.slpk.sk/eldo/bios2003/jurekova.pdf.

In: BIOS 2003 [elektronický zdroj] : biotechnologické metódy v šľachtení rastlín : zborník referátov z 8. vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou, Nitra 18. september 2003 / zostavovatelia: Milan Bežo, Jana Kutišová, Veronika Štefúnová. - V Nitre : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2003. - ISBN 80-8069-259-9. - S. 55-59

AFD02 Vplyv vodného stresu na zmeny komplexu asimilačných pigmentov vybraných genotypov rajčiaka jedlého (*Lycopersicon esculentum*) v podmienkach in vitro = The effect of water stress on changes of complex of photosynthetic pigments in selected genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in conditions in vitro / Kristína Molnárová, Zuzana Jureková, Helena Lichtnerová, Marta Dragúňová, Tibor Dokupil. - Požiadavky na systém: Windows 95 a vyššie; CD-ROM mechanika. - Spôsob prístupu: www.slpk.sk/eldo/bios2003/molnarova.pdf. In: BIOS 2003 [elektronický zdroj] : biotechnologické metódy v šľachtení rastlín : zborník referátov z 8. vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou, Nitra 18. september 2003 /

zostavovatelia: Milan Bežo, Jana Kutišová, Veronika Štefúnová. - V Nitre : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2003. - ISBN 80-8069-259-9. - S. 173-177

AFH Abstrakty príspevkov z domácich konferencií

AFH01 Využitie podmienok in vitro na hodnotenie odrôd rajčiaka jedlého (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ovplyvnených vodným stresom = The use of in vitro condition on the elucidation of genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) influenced by water stress / Zuzana Jureková, Marta Dragúňová, Helena Lichnerová, Kristína Molnárová. In: BIOS 2003 : biotechnologické metódy v šľachtení rastlín : zborník súhrnov z VIII. vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou, Nitra 18. september 2003 / [zostavovatelia: Milan Bežo, Jana Kutišová, Veronika Štefúnová]. - V Nitre : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2003. - ISBN 80-8069-258-0. - S. 17

AFH02 Vplyv vodného stresu na zmeny komplexu asimilačných pigmentov vybraných genotypov rajčiaka jedlého (*Lycopersicon esculentum*) v podmienkach in vitro = The effect of water stress on changes of complex of photosynthetic pigments in selected genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in conditions in vitro / Kristína Molnárová, Zuzana Jureková, Helena Lichnerová, Marta Dragúňová, Tibor Dokupil. In: BIOS 2003 : biotechnologické metódy v šľachtení rastlín : zborník súhrnov z VIII. vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou, Nitra 18. september 2003 / [zostavovatelia: Milan Bežo, Jana Kutišová, Veronika Štefúnová]. - V Nitre : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2003. - ISBN 80-8069-258-0. - S. 42

AFH03 Functional relationship between proline content and morphogenesis in water stressed tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.) / K. Molnárová, Z. Jureková, H. Lichnerová, M. Dragúňová, T. Dokupil. In: Xth days of plant physiology = X. dni fyziológie rastlín : book of abstracts, Bratislava, 5-9 september 2004. - Bratislava : Univerzita Komenského, 2004. - S. 113

AFH04 Some morpho-physiological adaptations of the plants to water stress / Zuzana Jureková, Kristína Molnárová. In: Xth days of plant physiology = X. dni fyziológie rastlín : book of abstracts, Bratislava, 5-9 september 2004. - Bratislava : Univerzita Komenského, 2004. - S. 100

BED Odborné práce v domácich recenzovaných zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných)

BED01 Tvorba voľného prolínu v genotypoch rajčiaka jedlého (*Lycopersicon esculentum* Mill.) stresovaných vodným stresom = Production of free proline in genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) stressed with water stress / Zuzana Jureková, Kristína Molnárová, Marta Dragúňová, Helena Lichnerová. In: Nové poznatky z genetiky a šľachtenia poľnohospodárskych rastlín : zborník z 10. odborného seminára, Piešťany 26.-27. november 2003 / [editor: Martin Užík]. - Piešťany : Výskumný ústav rastlinnej výroby, 2003. - ISBN 80-88790-29-8. - S. 63-65

Štatistika: kategória publikačnej činnosti

AFD	Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách	2
AFH	Abstrakty príspevkov z domácich konferencií	4
BED	Odborné práce v domácich recenzovaných zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných)	1
Súčet		7

Németh Molnár K., Jureková Z.: Different reactions of tomato genotypes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under water stress. In: Hort. Sci (Prague), 2008, ISSN 0862-867X – **v tlači**