

Mendelova univerzita v Brně

Zahradnická fakulta v Lednici

**Využití světelných zdrojů při kultivaci
rostlin v podmínkách *in vitro***

Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Ing. Martina Kudělková

Vypracoval:
Michael Svoboda

Lednice 2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Michael Svoboda**

Studijní program: Zahradnické technologie

Obor: Zahradnictví

Název tématu: **Využití světelných zdrojů při kultivaci rostlin v podmínkách in vitro**

Rozsah práce: 30

Zásady pro vypracování:

1. Student se v první části práce zaměří na problematiku kultivace rostlin in vitro s užití specifikací na podmínky, které jsou nezbytné k úspěšné kultivaci.
2. Bude prostudována a shrnuta problematika světelných zdrojů, které jsou využívány nebo by mohly být využity pro kultivaci rostlin in vitro.
3. Z vyhledaných zdrojů bude vytvořena rešerše, ve které budou shrnuty poznatky o vlivu různých světelných zdrojů na vybrané rostlinné in vitro kultury.


Seznam odborné literatury:

1. RAZDAN, M K. *Introduction to plant tissue culture*. 2. vyd. Enfield: Science Publishers, 2003. 375 s. ISBN 1-57808-237-4.
2. SMITH, R H. *Plant tissue culture : techniques and experiments*. 3. vyd. London: Elsevier Academic Press, 2013. 188 s. ISBN 978-0-12-415920-4.
3. PODEŠVA, J. – KUBÍN, Š. – VÉBER, K. *Využití umělého světla při pěstování rostlin*. 1. vyd. Praha: SZN, 1968. 220 s.
4. CYBULARZ-URBAN T., HANUS-FAJERSKA E., ŚWIDERSKI A. 2007: EFFECT OF LIGHT WAVELENGTH ON IN VITRO ORGANOGENESIS OF A CATTLEYA HYBRID, ACTA BIOLOGICA CRACOVENSIA Series Botanica 49/1: 113–118, 2007
5. Hsing-Cheng Hsu and Chiachung Chen 2010: THE EFFECT OF LIGHT SPECTRUM ON THE GROWTH CHARACTERISTICS OF IN VITRO CULTURES OF PHALAENOPSIS, Propagation of Ornamental Plants Vol. 10, № 1, 2010: 3-8
6. SEIBERT M., WETHERBEE P.J, JOB D.D. 1975: The Effects of Light Intensity and Spectral Quality on Growth and Shoot Initiation in Tobacco Callus. Plant Physiol. (1975) 56, 130-139

Datum zadání bakalářské práce: listopad 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2015

L. S.


Michael Svoboda
Autor práce




Ing. Martina Kudělková
Vedoucí práce


doc. Mgr. Miroslav Baránek, Ph.D.
Vedoucí ústavu

doc. Ing. Robert Pokluda, Ph.D.
Děkan ZF MENDELU

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Využití světelných zdrojů v kultivaci *in vitro*** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 26. 4. 2015

Poděkování

Největší dík patří mé vedoucí práce Ing. Martině Kudělkové za její odborný dohled, cenné rady a připomínky při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svým spolužákům za pomoc při studiu. V neposlední řadě také děkuji rodině za umožnění studia na vysoké škole a přátelům za podporu, kterou mi při psaní práce poskytovali.

OBSAH

Zkratky	8
1. ÚVOD.....	9
2. CÍL	10
3. Literární přehled.....	11
3.1. <i>Problematika kultivace rostlin in vitro</i>	11
3.1.1. Úvod do explantátových kultur.....	11
3.1.2. Autoklávy.....	12
3.1.3. Flow-box.....	12
3.1.4. Kultivační místnost	12
3.1.5. Živná média a jejich příprava	13
3.1.6. Typy zakládaných kultur	14
3.1.7. Morfogenetické procesy v explantátových kulturách.....	15
3.2. <i>Světelné zdroje</i>	16
3.2.1. Základní definice světla	16
3.2.2. Umělé přisvětlování	17
3.2.3. Problematika stabilní konstrukce u LED osvětlení.....	18
3.2.4. Vliv odpadního tepla na proudění fotonů u LED diod	19
3.2.5. Nové druhy LED osvětlení pro využití ve studiích zabývajících se ovlivňování rostlin světlem.....	19
3.3. <i>Osvětlení a úspora energií v moderních sklenících</i>	20
3.4. <i>Vliv různých světelných zdrojů na rostliny v in vitro podmínkách</i>	20
3.4.1. Vliv SSL LED osvětlení na fotosyntézu a výnos u <i>Valerianella locusta</i> ...	20
3.4.2. Vliv LED na indukci a růst cibulí u <i>Lilium oriental hybrid „Pesaro“</i>	21
3.4.3. Účinek různého světelného spektra na růst <i>in vitro</i> kultur u <i>Phalaeonopsis</i>	21
3.4.4. <i>In vitro</i> propagace a zakořeňování u <i>Helleborus orientalis</i> v reakci na LED osvětlení	22
3.4.5. Vliv cytokininů a kvality světla na regeneraci výhonů z nodálních explantátů u <i>Rhododendron brachycarpum</i>	22
3.4.6. Účinek různého světelného spektra a dvou rozdílných polysacharidů na proliferaci <i>Cymbidium</i> v <i>in vitro</i> kulturách.....	23
3.4.7. Vliv světla na <i>Catharanthus roseus</i> v podmínkách <i>in vitro</i>	23
Ovlivňování produkce vindolinu a serpentinu užitím světla v kombinaci s rostlinnými hormony	23
Zvýšení produkce za použití UV-B záření	24
3.4.8. Efekt světelné intenzity a rostlinných hormonů na produkci esenciálních olejů u <i>Lavandula angustifolia</i>	24
3.4.9. Vliv modrého světla na produkci antokyanů u <i>Hibiscus sabdariffa</i>	24
3.4.10. Vývoj LED (light emitting diodes) osvětlení jako alternativu HPS pro květní indukci <i>Rhododendron simsii</i>	25
Vliv světla na somatickou embryogenezi	25

3.4.11. Efekt světelné délky u organogeneze <i>Cattleya</i> hybridů.....	26
4. DISKUZE	28
5. Závěr	29
6. Souhrn.....	30
7. Resume.....	31
8. Seznam použité literatury	32

ZKRATKY

MS – médium Murashige Skoog (1962)

IBA – indolyl-3-máselná kyselina

IAA – indolyl-3-octová kyselina

2,4-D – dichlorfenoxyoctová kyselina

BAP - benzylaminopurin

BA - benzyladenin

AM - Andersonovo médium

KIN - kinetin, fufrurylminopurin

2-iP - izopentenyldenin

4-CPA -kyselina chlorfenoxyoctová

TDZ - thidiazuronu

LED - light emitting diodes

SSL - solid state light

HPS - high pressure sodium

PFY - photon flux yield

PCB - printed circuit board

1. ÚVOD

K velkému přelomu v zahradnických technologiích došlo v 60. letech 20. století, kdy vědci Murashige a Skoog (1962) prezentovali dlouhodobě neúspěšnější médium pro kultivaci explantátových kultur. Tyto kultury jsou ve své podstatě izolované rostlinné části pěstované v aseptických podmínkách, tedy v prostředí zbaveném všech choroboplodných zárodků. Objev této možnosti pěstování rostlin byl převratný především v oblasti šlechtění, množení a produkci sekundárních metabolitů (tzn. alkaloidů, terpenů, glykosidů, atd.). Mezi hlavní faktory ovlivňující kultivaci *in vitro* jako takovou jsou minerální organické látky v médiu, kvalita a intenzita světla

Umělé přisvětlování je v dnešní době důležitým faktorem ovlivňujícím kultivaci rostlin v podmínkách *in vitro*. Použití správné vlnové délky je klíčové pro úspěšné pěstování dané kultury a druhu kultivované rostliny. Stejně tak důležitá je i volba světelného zdroje, u kterého je nejdůležitější charakteristikou především jeho výdrž a spotřeba energie. Jako zdroje umělého záření jsou využívány germicidní zářivky pro pasážování ve flow-boxech a HID výbojky (rtuťové, sodíkové, xenonové) pro kultivační místnosti. Důraz se klade na intenzitu a kvalitu osvětlení, ale také na teplo vyzařované světelným zdrojem. V posledních letech se do popředí dostává LED osvětlení, které je uživateli preferováno kvůli své dlouhé životnosti, ale především kvůli možnosti individuálního nastavení vlnové délky záření. Prozkoumání využití LED osvětlení pro kultivaci rostlin v *in vitro* podmínkách bude v následující dekádě klíčovým faktorem ke zlepšení kvality přisvětlování a finanční úspory energie.

2. CÍL

Cílem práce je získat a pochopit co nejvíce informací o světelných zdrojích, které jsou, nebo by mohly být využívány pro kultivaci *in vitro*. První část práce je zaměřena na podmínky kultivace rostlin *in vitro* s užší specifikací na podmínky, které jsou nezbytné k úspěšné kultivaci rostlin. V další části je již shrnuta problematika světelných zdrojů a jejich využití pro kultury vybraných druhů rostlin.

3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1. Problematika kultivace rostlin *in vitro*

3.1.1. Úvod do explantátových kultur

Explantátové kultury jsou kultury izolovaných rostlinných částí v definovaných aseptických podmínkách (minerální a organické látky v médiu, kvalita a intenzita světla, fotoperioda, teplota a plynná složka kultivační nádoby) nezávislé na energetice a celistvosti donorové rostliny. Obvykle se pro tyto postupy a technologie kultivací používá odborný termín kultury *in vitro*. (HRADILÍK, 2005)

Technologie explantátových kultur jsou využívány jak v základním výzkumu (fyziologické a molekulární biologické pochody), tak i v praxi (množení a ozdravování rostlinného materiálu).

Realizace explantátových kultur vyžaduje zejména speciální vybavení a přístroje, vhodný donorový rostlinný materiál, odvození technologie regenerace a kultivace, možnost převedení regenerantů do nesterilní kultivace.

Kultivace rostlin *in vitro* vyžaduje aseptické podmínky. Pro zajištění sterility rostlinných *in vitro* kultur jsou pracoviště obvykle členěna na prostory:

- pro přípravu médií
- pro aseptickou manipulaci
- kultivační místnosti
- pro mytí skla a dekontaminaci
- sklady aj.

Speciální vybavení a přístroje předpokládají standardně vybavené chemické laboratoře (přístroje pro výrobu demineralizované a deionizované vody, ledničky, mrazáky, analytické váhy, pH-metr, magnetické míchačky, preparační lupy a mikroskopy, membránové a bakteriální filtry, případně zařízení pro kryoprezervaci. Nezbytná je zásoba běžného laboratorního skla, kultivačního skla či plastu, jednorázových pomůcek a chemikálií (HRADILÍK, 2005).

3.1.2. Autoklávy

Autoklávy jsou zařízení pro sterilizaci živných půd, roztoků a vody. Sterilizační cyklus obvykle trvá cca 2 hodiny. Moderní přístroje jsou mikroprocesorově řízené plně automatické autoklávy s digitálním nastavováním jednotlivých parametrů. Nabízejí standardní programy pro sterilizaci balených a nebalených nástrojů, pro sušení, pro kapaliny s pozvolnou redukcí tlaku. Ovládací panel pro nastavení jednotlivých parametrů cyklu s displejem zobrazující program, teplotu, čas aktuální a nastavený. Vysoká přesnost nastavení s přesností 0,1°C sterilizačního procesu pomocí potenciometrů pro teplotu 105 - 137°C. K výrobě páry se používá destilovaná nebo demineralizovaná voda z vlastního zásobníku vody (HRADILÍK, 2005).

3.1.3. Flow-box

Laminární boxy, neboli flow-boxy jsou místnosti s laminárně proudícím sterilním vzduchem. Sterilizaci vzduchu zajišťuje předfiltr, bakteriální filtr (jemný), případně germicidní výbojka (ÚV zářič). Při výboji vzniká ozón (O₃) vychytávaný aktivním uhlím filtru. Některé boxy mají možnost vertikálního proudění (např. pro práci s chemomutageny, kancerogeny atd. Nezbytnou součástí vybavení při práci ve flow-boxu je také lihový kahan, případně sterilizační kostka, pro desinfekci nástrojů. Před začátkem práce ve flow-boxu je nutné desinfikovat pracovní plochu a několik minut jej nechat zapnutý, umýt si a desinfikovat ruce (HRADILÍK, 2005).

3.1.4. Kultivační místnost

Plně funkční kultivační zařízení vyžaduje funkční klimatizaci a s tím spojený konstantní tepelný režim (optimum 23°C). Na světelný režim je potřeba mít zářivkové panely, spínací hodiny (časovač) a nejdůležitější částí je samozřejmě zdroj světla (klade se důraz na intenzitu a kvalitu), který je nejčastěji tvořen výbojkami (Hg, Na, Xe), které produkují nejen světlo, ale i teplo.

3.1.5. Živná média a jejich příprava

Z trofického hlediska je explantát zbaven vlivu mateřské rostliny. Proto živná média musí obsahovat nejen energetické požadavky pro explantát (HRADILÍK, 2005). Použitá média jsou:

- nejčastěji syntetická, například MS (Murashige T., Skoog M. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiol Plant* 15:473–497)
- polosyntetická obsahující nedefinovatelné složky (například MS + banánový extrakt)

Dále média dělíme na:

- tekutá (nezpevněná agarem). Ty se využívají na suspenzní kultury (buněčné a protoplastové) a také na přelévání vyčerpaných médií
- polotekutá (ztužená obvykle agarem). Skvěle ukotvuje explantát, je biochemicky inertní, neslouží však jako substrát

Komponenty živných médií

1. minerální látky – koncentrace dle složení příslušného média
2. organické látky (sacharidy, vitamíny, růstové regulátory aj.) – např. sacharóza má funkci nejen energetickou, osmotickou ale i např. morfogenní
3. nedefinovatelné složky – přirozené zdroje, nenahraditelné v určitém efektu, např. kokosové mléko (HRADILÍK, 2005), hydrolyzát sladu, rajčatová šťáva, bramborový extrakt, humusové látky aj., např. humusové látky snižují předimenzované komponenty média (kationty)

Některé komponenty média mohou být připravovány ve formě zásobních roztoků a uchovány v chladničce (např. vitamíny, makroprvky, mikroprvky). Na trhu lze také zakoupit média, vyráběná komerčně, která jsou dodávána nejčastěji ve formě pudrů a prášků a usnadňují a zkracují přípravu média. Většinou jsou schopny dodat všechny komponenty a nezbytné prvky. Dle druhu média a rostlinného explantátu je v konečné fázi přípravy média upravováno pH (HRADILÍK, 2005).

3.1.6. Typy zakládání kultur

V *in vitro* kulturách pracujeme s rozdílnými částmi rostliny. Zde je základní rozdělení *in vitro* kultur:

Semenné kultury

Kultury zakládány ze semen sterilních rostlin, využívají se hlavně v propagaci orchidejí (CHAWLA, 2009).

Somatické embryo kultury

Zakládají se ze somatických buněk ($2n$ diploidní, nikoliv ze zygot), přičemž vývojové fáze somatického embrya jsou shodné s vývojovými fázemi embryí vzniklých ze zygoty. Nezbytným předpokladem je přítomnost vysoké koncentrace syntetického auxinu v médiu 2,4-D (HRADILÍK, 2005). Dělíme je na přímou embryogenezi (tvořeny z buněčných suspenzí, nebo explantátu) a nepřímou embryogenezi tvořenou z kalusu (CHAWLA, 2009).

Orgánové kultury

Kultury izolovaných rostlinných orgánů. Mezi orgány významné pro *in vitro* kultivaci řadíme meristémy, kořeny, špičky výhonu, prašníky (CHAWLA, 2009).

Kalusové kultury

Kalus *in vitro* chápeme jako heterogenní systém diferencovaných a nediferencovaných buněk, vytvářejících amorfní strukturu bez prostorové orientace a bez polarit (HRADILÍK, 2005). Kalus vzniká dediferenciací, což je opak vývojového procesu – reverze buněk do meristematického stavu. Buňky tak ztrácejí svoji funkční specializaci a mohou nabývat schopnosti dělení.

Buněčné kultury

Jsou tvořeny diferencovanými nebo dediferencovanými buňkami a jejich agregáty rozptýlenými v promíchávaném tekutém médiu. Buňky lze oddělit buďto roztřepáním friabilního kalusu, nebo se do tekutého média umístí explantát – z něj se pak při třepání uvolňují buňky přímo do suspenze. Používají se pro exaktní studium vlivu fytohormonů na rostlinné buňky (HRADILÍK a kol., 1973).

Protoplastové kultury

Jsou tvořeny separovanými izolovanými buňkami bez buněčné stěny. Izolované protoplasty jsou sférické (kulovité). Vyžadují izotonické prostředí. Izolují se buďto enzymaticky (za použití pektináz a celuláz), nebo mechanicky (homogenizace pletiv v třecí misce, protlačení přes jemná síťka a centrifugací (HRADILÍK, 2005).

3.1.7. Morfogenetické procesy v explantátových kulturách

Na rozdíl od živočichů existuje u rostlin schopnost přechodu diferencovaných buněk a pletiv do meristemického stavu charakterizovaného intenzivním buněčným dělením s následnou cytodiferenciací a regenerací orgánů, dokonce i celých rostlin. Rostlinná buňka totiž obsahuje kompletní genetickou informaci nutnou k regeneraci celých rostlin. Tato vlastnost se nazývá totipotence. Díky *in vitro* podmínkám můžeme u rostlin navodit celkovou regeneraci rostliny (CHAWLA, 2009).

Diferenciace rostlin *in vitro* probíhá v těchto různých systémech:

1. Organizované struktury – meristémy a zygotická embrya
2. Diferencovaná pletiva – komplexy pletiv
3. Pletiva na různém stupni dediferenciace, zejména ve formě kalusu
4. Izolované buňky a protoplasty

Morfogeneze každého uvedeného systému má své specifické vlastnosti, které se odrážejí jak při fyziologické regulaci, tak i v genetické determinaci vývojových procesů (CHAWLA, 2009).

Vývoj izolovaných vzrostných vrcholů *in vitro*

Charakteristickou vlastností růstu a diferenciace vyšších rostlin je primární lokalizace těchto procesů do apikálních meristémů na kořenovém a stonkovém pólu. U vyšších rostlin jsou v určitých oblastech trvale přítomny nediferencované (meristemické) buňky s obdobnou strukturou a funkcí, jako buňky vyvíjejícího se embrya. Lokalizace iniciál do vzrostného vrcholu stonku znemožňuje od sebe oddělit buňky, které se ve stonkovém vrcholu podílejí na tvorbě vegetativních orgánů od buněk, tzv. „zárodečných linií“, které při přechodu do reprodukční fáze vytvářejí sporogenní pletivo a po meiotické redukci gamety. S tvorbou reprodukčních orgánů mimo jiné souvisí vlastnost apikálního meristému, který je vysoce geneticky stabilní

a jeho struktura zaručuje diploidní charakter reprodukce jedince a tím i genetickou kontinuitu druhu (CHAWLA, 2009).

3.2. Světelné zdroje

3.2.1. Základní definice světla

Rostliny využívají vyzařující sluneční energii k fotosyntéze, energetickým procesům a následně díky těmto procesům mohou růst. Termín „světlo“, který je běžně používán označuje rozmezí vlnových délek elektromagnetického záření viditelné lidským okem cca 380- 770 nanometrů (nm). Tyto hodnoty téměř odpovídají vlnovým délkám, které využívají rostliny k jejich růstu. Jejich hodnota se pohybuje mezi 400-700 nm (ALBRIGHT, 2011). Tato hodnota se nazývá fotosynteticky aktivní radiace, zkráceně FAR. Nicméně ne všechno sluneční záření (popřípadě záření z umělých zdrojů) je v rozsahu FAR. Ať už je to záření ultrafialové (menší než 400nm) nebo záření infračervené (větší než 700nm). Je nutné také sledovat tyto hodnoty záření (ALBRIGHT, 2011).

Rostliny mají několik rozdílných pigmentů, sloužících k absorpci světla a jeho následného využití v energetických procesech u fotosyntézy. Mezi ně patří chlorofyl *a* a chlorofyl *b*, karotenoidy, fytochromy, kryptochromy a další. Vědci vyčíslili množství světla, které každý pigment může absorbovat za určité světelné délky a zobrazili je v grafech, které ukazují absorpční spektrum každého významného pigmentu v rostlině. Díky svému absorpčnímu spektru je pro fotosyntézu nejdůležitější chlorofyl. Avšak absorpční spektrum není jediný faktor, kterým bychom se měli řídit. Další faktor, který musíme vzít v úvahu je tzv. „akční spektrum“. Akční spektrum udává množství kyslíku vyprodukovaného rostlinou vystavené jedné vlnové délce. Tento fakt se neshoduje s absorpčním spektrem. Současná teorie tvrdí, že každý pigment má jinou účinnost při přeměně světelné energie na produkty fotosyntézy. Například „modrý“ foton zvládne přenést více energie ze světelného záření než foton „červený“, avšak oba dva vyprodukuje stejné množství výsledných produktů fotosyntézy. Vzhledem k předchozímu poznatku je doporučeno vybírat zdroje umělého osvětlení ve spojení se spektrografem, který dokáže zobrazit produkovanou vlnovou délku umělého osvětlení (ALBRIGHT, 2011).

3.2.2. Umělé přisvětlování

3.2.2.1. HID

High intensity discharge je nejpoužívanější typ osvětlení využívaný ve velkých společnostech jako zdroj zvyšování FAR u rostlin. Jedná se o zářivková světla, která potřebují zahřívací (tzv. warm up) období asi 15 minut a nemohou být zapnuty ihned po vypnutí a díky tomu mohou narušit periodu počítačově ovládaného přisvětlování. Distribuce světla v prostoru není rovnoměrná a je silně ovlivněna tvarem výbojky. Nejpoužívanější zdroje HID jsou halogenidové a metal halogenidové výbojky (ALBRIGHT, 2011).

3.2.2.2. Zářivky

Rozdělují se do kategorií cool-white a warm-white, podle toho jaké spektrum daná zářivka vyzařuje. Nejpoužívanější typ pro pěstování rostlin je cool-white. Ty se dále rozdělují na zářivky s vysokým výkonem a s velmi vysokým výkonem. Zářivky se běžně používají hlavně v pěstírnách. Využití ve sklenících je minimální, a to zvláště kvůli nízké kvantitě světla, stejně tak jako vysokému zastínění oblasti v důsledku montáže příslušenství. Naproti tomu HID nezabírají tolik místa a jsou pro přisvětlování ve sklenících vhodnější variantou. Zářivky jsou popisovány podle jejich průměru a v jednotkách osmin palce. Kupříkladu typ zářivky T8 je 8/8 palců široký a typ T12 je zase 12/8 palce široký. Typy T8 a T12 se běžně používají v pěstírnách (ALBRIGHT, 2011).

Je velmi důležité mít na paměti, že výkon zářivek je velice citlivý na teplotu. Zářivka zapnutá na maximální výkon dosahuje teplot až 38°C. Proto je nezbytné v zařízeních s velkým počtem světelných zdrojů zajistit klimatizaci z důvodu jejich možného přehřívání. Dalším z důvodů proč kontrolovat teplotu okolního vzduchu je fakt, že vysoká teplota může zkracovat životnost zářivek (ALBRIGHT, 2011).

3.2.2.3. Speciální typy zářivek

Grow lux je speciálním typem zářivky, který výrobci osvětlení nedávno uvedli na trh. Tento druh lampy vyzařuje více světla v modré a červené části spektra (světlo má ve výsledku fialovou barvu), než standardní zářivky. Vědecká studie dokazuje, že tento druh zářivky má vyšší účinnost na vývoj rostliny než standardní studené bílé zářivky (ALBRIGHT, 2011).

Současným trendem je přechod ze stávajících druhů zářivek na nový typ, zvaný „T5“, který pro vyzařování světla používá jiný druh chemikálií. Tato zářivka má však menší průměr a díky tomu je nutná rekonstrukce stávajících svítidel. Tato modernizace se provádí po celém světě, jelikož je tento typ mnohem efektivnější než zářivky typu T8 a T12 a také má delší životnost. Současné nově vybudované zařízení využívající umělé osvětlení používají zářivky typu T5. (ALBRIGHT, 2011).

3.2.2.4. Světelné diody - LED (Light emitting diodes)

Jsou nejnovějším produktem na trhu. Na světelných diodách se v současné době provádí mnoho výzkumů, a to nejen na univerzitách, ale i ve světelném průmyslu po celém světě. Tyto výzkumy se zaměřují na hledání vhodného poměru světelných délek a tím získání širokého spektra využití pro LED diody. Tento systém by se nejlépe hodil do pěstíren ve sklenících, kde by jeho pole blokovalo značné množství slunečního světla. Je zde mnoho technologických překážek, které se výzkumy snaží překonat. Ty zahrnují odstranění tepla, které vyzařuje příslušenství diod. Dále je nutno překonat vysokou výrobní cenu a najít levnější alternativu, a také je zde problém s velikostí celého zařízení, například pro využití v explantátových kulturách. Intenzivnějšího využití v praxi bychom se mohli dočkat už v příštím desetiletí (ALBRIGHT, 2011).

3.2.3. Problematika stabilní konstrukce u LED osvětlení

Rychlý vývoj technologie LED nám neustále přináší levnější a efektivnější LED diody (ZUPNIK a GRZESIAK, 2012). Proto využití LED osvětlení jako stabilního zdroje umělého přisvětlování v *in vitro* připadá investorům z ekonomického hlediska jako nejlepší řešení. Nicméně stabilní konstrukce osvětlení na bázi LED zahrnuje několik velmi důležitých faktorů. Mezi ně patří vedení tepla a design napájecího zdroje.

Jako řešení těchto problémů byl prezentován prototyp 250-W LED osvětlení, které bylo navrženo jako náhrada za sodíkové výbojky používané ve stávajících flow-boxech (ZUPNIK a kol., 2012). Osvětlení se skládá ze dvou identických svítidel. Každé svítidlo obsahuje 40 červených (665 nm) a 8 modrých (447 nm) LED diod (NOVIČKOVAS a kol., 2012). Diody byly sestaveny na obvodech tištěných na kovovém jádru PCB, které je namontováno na hliníkový chladič se 3 perforovanými vertikálními žebry a s perforovaným postranním reflektorem. Design chladiče byl optimalizován za použití počítačového modelování. Účinnost chladiče byla hodnocena použitím metody měření teploty spoje LED diody z vysokoenergetického křídla a jeho elektroluminescenčního pásu. Naměřená hodnota spoje LED diody v plném provozu byla 75°C (NOVIČKOVAS a kol., 2012). Průhledné polymethylmetacrylátové víčko bylo použito jako ochrana LED diody proti vlhkému prostředí. LED diody byly řízeny zdrojem kontrolovaného proudu, který byl namontován na zadní část PCB. Celý světelný systém obsahující čtyři osvětlení je možné instalovat do flow-boxu a provádět na něm experimenty na kultivaci rostlin v *in vitro* podmínkách (NOVIČKOVAS a kol., 2012).

3.2.4. Vliv odpadního tepla na proudění fotonů u LED diod

Proudění fotonů (PFY) umožňuje srovnávat osvětlení v zahradnictví. Proto celé emitované záření musí být zaznamenáno a porovnáno v souvislosti s potřebnou elektrickou energií. Znalost provozních podmínky je klíčová k vyhodnocení efektivnosti LED osvětlení. Proudění fotonů závisí na odpadním teple a stejně tak i na aktuální teplotě, kterou má světelné zařízení. Čím vyšší je rozdíl teplot, mezi odpadním a aktuálním teplem, tím nižší je proudění fotonů (BORNWASSER a TANTAU, 2012).

3.2.5. Nové druhy LED osvětlení pro využití ve studiích zabývajících se ovlivňováním rostlin světlem

V Japonsku byly nedávno vyrobeny dva nové druhy LED osvětlení na podporu a vývoj výzkumů v oblasti ovlivňování rostlin světlem. První typ se nazývá LS6 systém. Ten je složen z 6 různých diod: fialová, modrá, oranžovo-červená, červená a infračervená (Hodnoty vlnových délek: 405, 465, 530, 595, 660 a 730 nm). Druhý typ nese název LS32 a využívá 32 různých vlnových délek. Současná verze LS6 je schopná

produkovat světlo se 6 různými kompozicemi, tato světelná kompozice dokáže vyprodukovat hustou proudění fotosyntetických fotonů až $416 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na ploše $0,18 \text{ m}^2$. Účinná vzdálenost této diody je $17,5 \text{ cm}$. Tyto hodnoty jsou dostačující pro pokusy na kultivační experimenty většiny rostlin využívaných v *in vitro* podmínkách. Nejnovější verze diody LS32 má spektrální výkon srovnatelný s ozářením země za úplňku. Díky tomu se zde taktéž nabízí široké využití v experimentech *in vitro*. Diody LS6 a LS32 mohou být v příštích deseti letech klíčovým osvětlením při pokusech v podmínkách *in vitro* (FUJIWARA a kol., 2012).

3.3. Osvětlení a úspora energií v moderních sklenících

Skleníkový průmysl se v současnosti snaží poskytnout rostlinám co nejlepší podmínky za využití co nejmenšího množství energie. Množství slunečního světla je redukováno díky clonění materiálů a konstrukcí skleníku, současná hodnota je okolo 30 %. Aby se ušetřila využívaná energie, využívá se dvojitého clonění, kterého dosáhneme přidáním jedné nebo dvou energetických clon. Výsledkem je 70-80% redukce přírodního světla v porovnání s venkovními podmínkami, zvýšení vzdušné vlhkosti, a zároveň také snížení energetické spotřeby ve stejném rozsahu. Nachází se zde možnost využití umělého osvětlení, které dokáže ušetřit až 40 % využití elektrické energie přeměněné na fotosynteticky aktivní radiaci a stále zajistit dobré podmínky pro pěstované plodiny. Maximální energetické úspory lze dosáhnout v kombinaci s CO_2 . Jako další možnost lze zvážit opakované využití přebytečné energie, avšak tento koncept ještě nebyl plně prozkoumán (SVENSSON, 2012).

3.4. Vliv různých světelných zdrojů na rostliny v *in vitro* podmínkách

3.4.1. Vliv SSL LED osvětlení na fotosyntézu a výnos u *Valerianella locusta*

Tento experiment byl proveden na podzim roku 2011. Cílem toho výzkumu bylo blíže prozkoumat efekt nových SSL LED (Solid State Lighting Light Emitting Diodes) diod na fotosyntézu a výnos rostliny *Valerianella locusta* v *in vitro* podmínkách. V experimentu byla využita dvě různá světelná spektra. První spektrum vyzařovalo bílé světlo a druhé vyzařovalo směs červeného a modrého světla. Nejvyšší obsah chlorofylu a, chlorofylu b a karotenoidů byl obsažen u pokusu, který byl vystaven

směsi červeného a modrého světla. Nejvyšší váha růžic zkoumané rostliny byla taktéž u pokusu vystaveného směsi červeného a modrého světla. Z výzkumu je patrné, že přisvětlování směsi červeného a modrého světla má u *Valerianella locusta* mnohem vyšší efekt na fotosyntézu a následnou tvorbu biomasy než přisvětlování bílým světlem (WOJCIJECHOWSKA a kol., 2012).

3.4.2. Vliv LED na indukci a růst cibulí u *Lilium oriental hybrid „Pesaro“*

Výzkum byl prováděn v roce 2001 v Jižní Koreji. Cílem výzkumu bylo sledovat regeneraci cibulí u rostliny *Lilium oriental hybrid „Pesaro“* ze segmentů 5x5 mm². Segmenty byly uřezány z cibulí testovací rostliny vážících 2g. Testovací vzorky byly vystaveny vlivu fluorescentního, bílého, červeného, modrého a kombinací červeného + modrého spektra. Regenerace byla zpozorována u všech vzorků, avšak největší procentuální úspěšnost a také nejvyšší počet cibulí na jeden explantát byl zjištěn u variant fluorescentního a modrého + červeného světla. Efekt červeného, modrého a červeného + modrého světla byl také testován na kvalitu růstu cibulí. Varianta červené + modré světlo byla pro růst cibulí nejvhodnější - cibule byly větší a jejich čerstvá i suchá váha byla větší než u ostatních variant. Taktéž počet i váha kořenů cibule byl největší u varianty červené + modré světlo (LIAN a kol., 2002.).

3.4.3. Účinek různého světelného spektra na růst *in vitro* kultur u *Phalaenopsis*

Výzkum, který byl proveden na National ChungHsing University měl za úkol prozkoumat vliv různého světelného spektra na růst *in vitro* kultur u rodu *Phalaenopsis*. Experiment zahrnoval 3 druhy různého světla. První (kontrolní) experiment byl prováděn pod bílým světlem, další 2 byly prováděny pod světlem červeným a modrým. Výsledky ukázaly, že čerstvá, suchá i celková váha listů kontrolní rostliny byla nejvyšší u pokusu pod červeným světlem. Avšak červené světlo podstatně snižovalo index chlorofylu u listů *Phalaenopsis*. U experimentu nebyl žádný výrazný rozdíl v délce kořenů (IEPEREN, 2008).

3.4.4. *In vitro* propagace a zakořeňování u *Helleborus orientalis* v reakci na LED osvětlení

Helleborus je trvalka kvetoucí na jaře, s rostoucím potencionálem v zahradnictví. Proto je důležité, abychom našli co nejefektivnější způsob *in vitro* propagace. V minulosti byly hlavní důvody přisvětlování v *in vitro* kulturách zvyšování fotosyntézy a regulování fotoperiody. V současnosti díky zdokonalování technologie LED otevíráme nové možnosti využití přisvětlování. Díky tomuto faktu se uskutečnil výzkum na prozkoumání vlivu rozdílného světelného spektra (specifičtěji řečeno modrého, červeného, červeného + modrého, bílého) na propagaci a zakořeňování rostliny *Helleborus orientalis*. Zjistili jsme, že světelné spektrum nemá vliv na rychlost propagace, ale má značný vliv na rostlinnou morfologii (výška rostliny, počet listů na rostlinu, délka listů, % sušiny). Také zakořeňování bylo ovlivněno. Bílé a červené světlo mělo za následek značné prodloužení kořenů oproti světlu modrému a červenému + modrému. Nicméně varianta červeného světla měla ve výsledku nejvyšší počet kořenů (DHOOGHE a LABEKE, 2012).

3.4.5. Vliv cytokininů a kvality světla na regeneraci výhonů z nodálních explantátů

u *Rhododendron brachycarpum*

Rhododendron brachycarpum je stálezelený vytrvalý keř, který pochází z Koreje. Běžně se používá jako okrasný keř v zahradách a je velmi oblíbený po celém světě. Proto je tento druh rostliny vhodný pro multiplikaci a zachování. Pro výzkum kvality světla a vlivu cytokininů na regeneraci výhonů jsme použili nodální explantát. Explantáty byly vyříznuty ze skleníku, kde rostly na AM) médiu s rozdílnou dávkou 2-isopentyl adeninu (2-iP), 6-benzyl adeninu (BA) a thidiazuronu (TDZ). Všechny kultury byly udržovány při teplotě 25-26°C za 16 hodinové fotoperiody pod červeným (LED), modrým (LED) a bílým (zářivka) světlem. Ze všech tří vzorků cytokininů měl vzorek s 2-iP největší úspěšnost a vliv na indukci regenerace výhonů. Největší počet indukovaných výhonů (průměr 9,8 výhonů na explantát) byl zaznamenán na kulturách založených na MS médiu s přídatkem 2.0 mg.L⁻¹ 2-iP. Světelná kvalita měla značný vliv na indukci výhonů i na multiplikaci. Pro růst výhonů

mělo největší vliv bílé světlo. *In vitro* explantáty byly poté úspěšně převedeny a aklimatizovány do skleníku (SIVANESAN a kol., 2012).

3.4.6. Účinek různého světelného spektra a dvou rozdílných polysacharidů na proliferaci *Cymbidium* v *in vitro* kulturách

Účelem této studie bylo prozkoumat efekt kvality světla (bílé, červené, modré a zelené) a dvou polysacharidů; chitosan (Chitosan H) a hyaluronové kyseliny (HA9) na proliferaci a růst u *Cymbidium* v *in vitro* podmínkách. Chitosan H a HA9 byly nedávno navrženy jako důležitý komponent pro *Cymbidium* kultury. Největší proliferace, tvorba výhonů (90%) a tvorba kořenů (50%) byla nalezena mezi kulturami založenými na médiu doplněným o 0,1mg/L Chitosanu H pod zeleným světlem. Po 11 týdnech kultivace byla nejvyšší čerstvá váha explantátů (241,3mg) naměřena u vzorku s HA9 (7 mg/L) pod zeleným světlem. Nejvyšší průměrný počet jedinců (5,7) byl nalezen u vzorku pod zeleným světlem s přídatkem HA9. Proliferace pod bílým světlem ukázala nejvyšší počet kořenů (1,2) s přidáním Chitosianu H. Tyto výsledky ukazují, že použití různých druhů světelného spektra může značně zvýšit energetickou efektivitu světelných zdrojů u propagace *Cymbidium* v podmínkách *in vitro* a taky, že zelené světlo má důležitou roli při tvorbě výhonů a kořenů (HERMAN, 2014).

3.4.7. Vliv světla na *Catharanthus roseus* v podmínkách *in vitro*

Ovlivňování produkce vindolinu a serpentinu užitím světla v kombinaci s rostlinnými hormony

Vědecký tým pod vedením J. Zhao z Univerzity medicíny v Číně zjistil, že světlo a rostlinné hormony ovlivňují produkci indolových alkaloidů, zvláště tedy vindolinu a serpentinu. Pokus byl proveden u kultury *Catharanthus roseus*. Bylo zjištěno, že světlo podněcuje biosyntézu serpentinu a stimuluje vývoj plastidů a peroxidázovou aktivitu. Naproti tomu 2,4-D potlačuje produkci všech alkaloidů a peroxidázovou aktivitu. Výsledky tedy naznačují, že kombinací světla a rostlinných hormonů (zejména 2,4-D) můžeme ovlivnit množství vindolinu a serpentinu v rostlině, stejně tak jako jejich peroxidázovou aktivitu (HERMAN, 2014).

Zvýšení produkce za použití UV-B záření

Na Iowské státní univerzitě nedávno stanovili vliv UV-B záření na produkci terpenoidních indolových alkaloidů u buněčných i orgánových kultur rostliny *Catharanthus roseus*. Po vystavení daných kultur UV-B záření se u vzorků značně zvýšila koncentrace lochnericinu a dále byla snížena koncentrace hörhammericinu. Jejich výsledky taktéž ukazují, že snížením periody ozařování na 20 minut dosáhneme značného nárůstu lochnericinu a serpentinu, stejně tak jako snížení koncentrace hörhammericinu (HERMAN, 2014).

3.4.8. Efekt světelné intenzity a rostlinných hormonů na produkci esenciálních olejů u *Lavandula angustifolia*

Nedávno byl studován efekt různé světelné intenzity v kombinaci s rostlinnými hormony na produkci esenciálních olejů u orgánové kultury *Lavandula angustifolia*. Vzorky byly vystaveny intenzitě od 8 do 53 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, na MS mediu doplněným různými cytokininy (BA, kinetin, zeatin) za absence exogenních auxinů. Bylo zjištěno, že kultury doplněny o BA pod intenzitou 8 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ produkovaly nejmenší množství esenciálních olejů. Vyšší hodnoty byly zjištěny pod intenzitou 53 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, avšak nejvyšší množství esenciálních olejů bylo objeveno pod intenzitou 8 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ale za přítomnosti zeatinu, nikoliv BA (HERMAN, 2014).

3.4.9. Vliv modrého světla na produkci antokyanů u *Hibiscus sabdariffa*

Tato studie, prováděna v Číně, nedávno zkoumala vliv monochromatického světla na syntézu antokyanů u buněčné kultury *Hibiscus sabdariffa*. Ze studie jsme zjistili, že akumulace antokyanů byla desetkrát vyšší pod modrým světlem, než pod světlem červeným, oranžovým, či v temnostní fázi. Monochromatické světlo se světelnou délkou modrého spektra sice ukázalo zvyšující se pozitivní efekt na akumulaci antokyanů, avšak na ostatní důležité parametry buněčné kultury (pH, biomasa, zbytek cukru) nebyl zaznamenán žádný významný vliv (HERMAN, 2014).

3.4.10. Vývoj LED (light emitting diodes) osvětlení jako alternativu HPS pro květní indukci *Rhododendron simsii*

Aktuální výzkumy ukazují, že LED (light emitting diodes) diody nejsou prozatím plně využívány jako náhrada za HPS (high pressure sodium) výbojky v kompletním procesu vývoje rostlin *in vitro*. Avšak možnost změny jejich světelného spektra v průběhu různých růstových fází rostlin z nich dělá potenciální náhradu za přirozené sluneční záření. Z tohoto důvodu byl prozkoumán potenciál využití LED osvětlení pro podnícení květní indukce u *Rhododendron simsii*. Rostlinný materiál byl vypěstován v podmínkách *in vitro*. Pro dosažení optimálních výsledků bylo potřeba zjistit ideální světelnou intenzitu a spektrum pro květní indukci. Po kombinaci různého množství červeného, infračerveného a modrého světla se zjistilo, že pro ideální kvalitu květů (uniformní barva květů a intenzivní barva květů) jsou zapotřebí všechny tři světelné délky, avšak červené světlo má na květní indukci mnohem větší vliv než světlo modré. Toto LED osvětlení se světelnou intenzitou $91 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ ukázalo v porovnání s HPS mnohem lepší výsledky. Tyto výsledky ukazují potenciální využití LED osvětlení pro květní indukci u *Rhododendronu simsii* v *in vitro* podmínkách. Nesmíme také zapomenout na potenciál ušetření značného množství energie (SCHAMP a kol., rok neuveden).

Vliv světla na somatickou embryogenezi

Je známo, že světlo ovlivňuje somatickou embryogenezi, díky jeho vlivu na indukci a některé morfologické vlastnosti diferenciovaných somatických embryí. Avšak v literatuře je velice málo informací popisujících ovlivňování somatické embryogeneze různou kvalitou světla. Tento zdroj (HALPERIN a kol., 1970) uvádí, že kvalita světla nemá žádný efekt na somatickou embryogenezi u mrkví. Studie stejné rostliny provedená na jiném místě zjistila, že periody trvající 5 minut za svícení dlouhovlnným červeným světlem podnítily zlepšení somatické embryogeneze (ONOFRIO a kol., 1998). Dále bylo zjištěno, že zvýšeného potenciálu embryogeneze u buněčné kultury mrkve můžeme dosáhnout i za tmy. Bílé a modré světlo ukázalo nejnižší potenciál na embryonální produkci. Červené a zelené světlo mělo velmi podobný efekt. Embryogenní potenciál klesá s narůstajícím počtem subkultur nehledě

na druh používaného světla. Tato studie byla obzvláště průkazná za tmy. Tvorba kalusu se zvyšovala se snižováním tvorby embryí. Autoři tohoto výzkumu nakonec došli k závěru, že červené světlo má nejvyšší efekt na indukci somatické embryogeneze (ONOFRIO a kol., 1998).

Dále bylo prokázáno využití vysoké světelné intenzity na stimulaci somatické embryogeneze pod červeným světlem, na druhou stranu modré a bílé světlo somatickou embryogenezi inhibovalo. Největší morfologická rozmanitost byla zaznamenána pod červeným světlem, zatímco nejmenší byla pod světlem modrým. Modré světlo taktéž podporuje syntézu antokyanů. Další výzkumy na využití světla u somatické embryogeneze byly prováděny pod bílým a modrým světlem. Pozitivní výsledek u modrého světla byl zaznamenán u rostliny *Arabidopsis thaliana* (KALDENHOFF a kol., 1994). V pozdějších letech se zjistilo, že zkoumání využití světelných zdrojů u ovocných stromů nám může poskytnout více informací o možném vlivu fotoreceptorů na indukci somatické embryogeneze. Mezi různými druhy ovocných stromů se kdouloň prokázala jako nejvhodnější kandidát pro somatickou embryogenezi v podmínkách *in vitro* a to díky své kompetenci vytvářet adventivní kořeny (SANJUAN a kol., 1991) a somatická embrya (ANTONELLI a kol., 1995) z listů. Porovnatelné vzorky z podnoží některých ovocných stromů (jabloň, broskvoň, slivoň a hrušeň) v laboratoři (místo laboratoře nebylo publikováno) ukázaly, že kdouloň byla jako jediná schopna produkovat somatická embrya z listu. Po vystavení vzorků listů kdouloň různým světelným délkám bylo zjištěno, že tvorba embryí byla nejvíce indukována pod světlem bílým (ONOFRIO a kol., 1998).

3.4.11. Efekt světelné délky u organogeneze *Cattleya* hybridů

Effekt světelné délky u organogeneze *Cattleya* hybridů byl zkoumán na *Cattleya intermedia* x *C. aurantiaca*. Počátečními explantáty byly zregenerované výhony z prýtu. Bylo použito upravené MS médium doplněné o 5,0 mg.l⁻¹ BA, 0,2 mg.l⁻¹ zeatinu, 1,0 mg.l⁻¹ NAA a zpevněné Difco agarem bylo použito na regeneraci prýtů a vzdušných kořenů. Míra iniciace orgánů záležela na vlnové délce aplikovaného monochromatického světla. Vystavení červenému a modrému světlu bylo efektivní ve spuštění fotomorfogeneze hodnoceného materiálu. Propagační koeficient dosáhl hodnoty 11,7 pod červeným světlem, 10,6 pod světlem modrým, 8,3 pod bílým světlem a 6,2 ve tmě. Celkový obsah chlorofylu a karotenoidů byl nejvyšší v kulturách

osvícených bílým světlem a postupně klesal od modrého osvětlení až po infračervené osvětlení. Vystavení modrému světlu zlepšilo efektivnost mikropropagace a prospělo k iniciaci rhizogeneze a prodloužení vzdušných kořenů a výsledné rostliny dosáhly požadovaného stavu (CYBULARZ-URBAN a kol., 2007).

4. DISKUZE

Z výše uvedených zdrojů vyplývá, že využitím různých světelných zdrojů a také různé světelné délky na rostliny v podmínkách *in vitro* můžeme ovlivnit širokou škálu aspektů. Ve vypracované rešerši jsem se zaměřil například na ovlivňování somatické embryogeneze, kde jsem zjistil, že bílé světlo nejvíce pomáhá podnítit tvorbu embryí u *Cydonia oblonga* (ONOFRIO a kol., 1998), modré světlo u *Arabidopsis thaliana* (KALDENHOFF a kol., 1994) a červené světlo u *Daucus carota* (ONOFRIO a kol., 1998). Tyto poznatky nám mohou v budoucnu pomoci při zlepšení tvorby somatických embryí, avšak měli bychom prozkoumat i další druhy rostlin. U ovlivňování organogeneze světlem u *Cattleya* byl zjištěn pozitivní vliv bílého světla, naopak infračervené světlo organogenezi brzdilo (CYBULARZ-URBAN a kol., 2007). Tento poznatek může významně pomoci pěstitelským firmám zabývajícím se mikropropagací orchidejí. Další poznatek o vlivu světla na mikropropagaci byl zjištěn u kultur *Helleborous orientalis*, kde bylo zjištěno, že druh světelného spektra nemá vliv na rychlost propagace, ale za to má vliv na morfologické vlastnosti (červené světlo zvyšovalo délku a počet kořenů) a zakořeňování (DHOOGHE a LABEKE, 2012). Z nejnovějších druhů umělého osvětlování jsem se zaměřil na SSL LED (Solid state lighting light emitting diodes) osvětlení a jeho vliv na fotosyntézu a výnos u *Valerianella locusta*. Z výzkumu vyplývá, že kombinace červeného a modrého světla má největší vliv na fotosyntézu a výnos u *Valerianella locusta* (WOJCIJECHOWSKA a kol., 2012). Pozitivní vliv kombinace červeného a modrého světla byl také zjištěn u regenerace cibulí *Lilium oriental hybrid „Pesaro“* (LIAN, 2001). Herman, 2014 uvádí, že použitím modrého světla můžeme zvýšit obsah antokyanů u *Hibiscus sabdariffa* a taktéž kombinací světla a rostlinných hormonů (zejména 2,4-D) můžeme ovlivnit množství vindolinu a serpentinu (HERMAN, 2014). Je velice pravděpodobné, že LED osvětlení v budoucích 10 letech nahradí stávající osvětlení, což potvrzuje i Schamp (rok neuveden).

5. ZÁVĚR

První část mé bakalářské práce je zaměřena na problematiku kultivace rostlin *in vitro*. Jsou zde popsány zařízení a postupy potřebné k úspěšné kultivaci. Stejně tak je zde i rozebraná problematika složení kultivačních médií, postup při jejich přípravě a druhy zakládaných kultur. Úzce jsem zde také zmínil základní morfologické procesy v explantátových kulturách. Druhá část je věnována definici světla a shrnutí problematiky světelných zdrojů, které jsou nebo by mohly být využity pro kultivaci rostlin *in vitro*. Jsou zde uvedeny jednotlivé typy světelných zdrojů, jejich výhody a nevýhody. Poslední část je již věnována samotnému vlivu světelných zdrojů na vybrané rostlinné *in vitro* kultury. Aby rešerše byla objektivní, byla sledována široká škála zástupců rostlinných druhů. Bylo zjištěno, že každému druhu vyhovují různé světelné podmínky.

6. SOUHRN

Tato bakalářská práce byla zaměřena na vypracování rešerše týkající se různých zástupců rostlinných druhů a jejich odezev na různé světelné podmínky. Nejvíce se testoval vliv světelného spektra a použití nových světelných zdrojů. Jako nejvhodnější světelný zdroj kultivaci rostlinných částí v in vitro podmínkách se dle výsledků studovaných autorů jeví LED osvětlení, a to díky možnosti volby světelného spektra a také díky jeho energetické úspornosti. Nevýhoda tohoto světelného systému je momentální vysoká cena, která se však s největší pravděpodobností bude v následujících letech snižovat. Volba vhodného světelného spektra je individuální, vzhledem k rozdílným nárokům jednotlivých rostlin.

Klíčová slova: explantátové kultury, světlo, růst rostlin

7. RESUME

This work focuses on elaborating a research on different plant species representatives and their responses to various lighting conditions. Most tested was the influence of light spectrum and the use of new light sources. As the most suitable light source for future cultivation of plant components under *in vitro* conditions seems to be LED lighting due to possibility of light spectrum choice as well as its energy efficiency. The downside of this lighting system is its high cost, which will most likely decrease in the coming years. The choice of suitable light spectrum is individual because of the different requirements of the plants.

Key words: plant cultivation, light, plant growth

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

CYBULARZ-URBAN T., HANUS-FAJERSKA E., SWIDERSKI A. Effect of light wavelength on *in vitro* organogenesis of a *cattleya* hybrid. *www2.ib.uj.edu.pl* [online]. 2007, roč. 49, č. 1, s. 113-118 [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: http://www2.ib.uj.edu.pl/abc/pdf/49_1/14cybula.pdf

GRZESIAK W. Ekspertyza. *agengpol.pl* [online]. 2009, roč. 49, č. 1, s. 17 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://www.zumi.pl/wojciech+grzesiak%7C.+ekspertyzy+Nowa+Ruda,namapie.html>

GRZESIAK W. The influence of assembly technology on exploitation parameters of power SSL-LEDs. *Materialy elektroniczne*. 2008, č. 36, str. 124-132

GRZESIAK W., ŻUPNIK M. An intelligent plant irradiation system based on SSL LED technology. *Prace instytutu elektrotechniki*. 2012, č. 20, s. 20-12.

HAJZLER M., HAŠ S. Fotosynteticky aktivní osvětlovací soustava ve skleníku Fata Morgana. In: *odbornecasopisy.cz* [online]. 2012 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37602.pdf>

HEMMING S., HEUVELINK E. *Book of Abstracts 7th International Symposium on Light in Horticultural Systems* [online]. Wageningen: Light Sym, 2012, s. 140 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <https://www.wageningenur.nl/en/Publication-details.htm?publicationId=publication-way-343239393631>

HERMAN E. Recent advances in plant tissue culture. New York: Agritech Consultants., 2010, 171 s. I-2049/2014

HRADILÍK, J. *Rostlinné explantáty*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005, 85 s. ISBN 80-7157-915-7.

HSU H., CHEN C. The effect of light spectrum on the growth characteristics of *in vitro* cultures of *Phalaenopsis*. *Propagation of ornamental plants*. 2010, roč. 10, č. 1, s. 3-8.

CHAWLA H. 2009. Introduction to plant biotechnology. 3rd ed. Plymouth: NBN [distributor], xxix, 698 p., [16] p. of plates. ISBN 15-780-8636-1

KRAUSE G.H., GALLE A., GARCIA M. High-light stress does not impair biomass accumulation of sun-acclimated tropical tree seedlings. In: *ncbi.nlm.nih.gov* [online]. 2008 [cit. 2015-20-04]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16435267>

KUBOTA, LIAN M. Účinky doplňující kvality světla na růst a fytochemikálií kojeneckého listu letuce. *Enviromental a experimentální botaniky*. In: *cornellcea.com* [online]. 2011 [cit. 2015-11-4]. Dostupné z: http://www.cornellcea.com/Horticultural_information/light.html

LIAN M., MURTHY H.N., PAEK K. Effects of light emitting diodes (LEDs) on the *in vitro* induction and growth of bulblets of *Lilium* oriental hybrid 'Pesaro'. *Scientia Horticulturae*. 2002, č. 94, s. 365-370.

MASSA G. Produktivita v reakci na LED osvětlení. In: *hortscience.org* [online]. 2014 [cit. 2015-12-04]. Dostupné z: <http://www.hortsci.ashspublications.org>

MITCHELL C. Plant lighting in controlled environments for space and earth applications. In: *actahort.org* [online]. 2008 [cit. 2015-18-04]. Dostupné z: <http://hortsci.ashspublications.org/content/43/7/1951.full>

MITCHELL C. Plant productivity in response to LED lighting. In: *actahort.org* [online]. 2008 [cit. 2015-11-04]. Dostupné z: http://www.actahort.org/books/956/956_1.htm

MORINI S., BELLOCCHI G. Effect of light quality on somatic embryogenesis of quince leaves. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* . 1998, č. 53, s. 91-98.

NOVÁK F. Explantátové kultury a jejich využití ve šlechtění rostlin. Vyd. 1. Praha: Academia. ISBN 80-200-0344-4.

PHILLIPS Electronics N.V. *Growing your profits. Horticultural lighting* [online]. 2010, 2.6.2010 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z:
http://www.lighting.philips.nl/application_areashorticultural/pdf/growing_your_profits.pdf

PHILLIPS. *Künstliche Belichtung im Gartenbau* [online]. 2003 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z:
http://www.lighting.philips.de/pwc_li/main/shared/assets/downloads/pdf/horticulture/leaffles/general-booklet-philips-led-lighting-in-horticulture-DE.pdf

SCHAMP B., PAUWELS E., GOBIN B. Developing LED light recipes for multi-layering systems: LED as an alternative for HPS in forcing of *Rhododendron simsii*. *Light in horticultural systems*. 2012, roč. 12, č. 6, s. 5121-128.

SCHUSSLER H.K., BERGSTRAND K.J. Growth and photosynthesis of ornamental plants cultivated under different light sources. *Light in horticultural systems*. 2012, č. 7, s. 141 - 148.

SEIBERT M., WETHERBEE P., JOB D. The effect of light intensity and spectral quality on growth and shoot initiation in tobacco callus. *Plant Physiol.* 1975, č. 56, s. 130-139.

TAIZ L., ZEIGER E. Working with light. In: 5e.plantphys.net [online]. Plant Physiology [cit. 2015-03-18]. Dostupné z:
<http://5e.plantphys.net/article.php?ch=9&id=131>

VAN IEPEREN W. Plant morphological and developmental responses to light quality in a horticultural context. In: *actahort.org* [online]. 2008 [cit. 2015-18-04]. Dostupné z:
http://www.actahort.org/books/956/956_1.htm

WOJCIECHOWSKA R, KOLTON A. The effect of LED lighting on photosynthetic parameters and weight of lamb's lettuce (*Valerianella locusta*). *Folia Horticulturae*. 2013, roč. 25, č. 1, str. 41-47.

YEH N., CHUNG J. High-brightness LEDs-Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. In: Elsevier.com [online]. Taiwan: 2009 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://www.elsevier.com/locate/rser>

ZUPNIK M, GRZESIAK W. The application of SSL LED technology in programmable plant lighting systems. *Agricultural Engineering*. 2012, č.2, s. 361-369.