

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Hydroponické pěstování léčebného konopí
Bakalářská práce**

Autor práce: Tomáš Janypka

Obor studia: Zahradnictví (HORTIB)

prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc., dr. h. c.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "**Podmínky pěstování Cannabis sativa L. v hydroponii a idnoor prostředí**" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.04.2022

Tomáš Janypka

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své bakalářské práce prof. Ing. Pavlu Tlustošovi, CSc., dr. h. c. za jeho ochotný přístup, jeho podnětné připomínky a korekturu mé práce. Díky také patří mým konzultantům Ing. Jiřímu Velechovskému a Ing. Matěji Malíkovi za ochotnou pomoc kdykoliv jsem je o to požádal.

Hydroponické pěstování léčebného konopí

Souhrn

Průmyslová produkce léčebného konopí setého (*Cannabis sativa L.*) za poslední roky dosáhla nevídaného rozvoje a má potenciál dalšího růstu s uvolňující se legislativou. Konopí se ve světě pěstuje za léčebným i rekreačním využitím. V souvislosti s jeho pozitivním efektem na lidské zdraví se pěstuje i u nás v České republice. Pěstování i jeho produkty jsou předmětem výzkumů týkajících se jak optimalizace růstových podmínek konopí, tak jeho léčebného potenciálu a vlivu různých sekundárních metabolitů, kterými působí kanabinoidy a terpeny na lidskou psychiku a fyziologii. Kanabinoidy jsou účinnými látkami, které dokáží působit na naše tělo a mozek. Nejznámějším kanabinoidem je tetrahydrokanabinol (THC), které má psychoaktivní účinky. Tato práce se soustředila na samotnou produkci konopí a pěstební požadavky ve vnitřních podmínkách a hydroponii.

Dnes se spekuluje o přínosu hydroponie a o jejích výhodách oproti běžnému způsobu pěstování v půdě. Častým argumentem pro hydroponii je její šetrnost k životnímu prostředí. V práci se tomuto tématu částečně věnuji, rozdělením hydroponických systémů na otevřené a uzavřené. Skupina uzavřených systémů má menší spotřebu vody a minerálních hnojiv, čímž by se dala označit za šetrnější variantu, nicméně v průmyslu, který podléhá volnému trhu je vysoký tlak na výnosnost produkce. Proto se v dnešní době hojně využívají otevřené pěstební systémy, které jsou jednoduché z konstrukčního hlediska a současně na obsluhu. Bohužel spotřebovávají znatelně více vody a hnojiv, které se plně nevyužité odvádí do odpadu.

Dále se ve své práci věnuji indoor (vnitřnímu) pěstování a jeho specifikům. Hlavně se zaměřuji na důležité podmínky, které rostliny potřebují pro svůj růst a vývoj. Důležitým faktorem pěstování rostlin, kterému věnuji podstatnou část práce se týká umělého světelného záření a požadavkům rostlin na něj. Dalšími zmíněnými parametry, kterým jsem se věnoval byla vlhkost, koncentrace oxidu uhličitého, cirkulace vzduchu atd.

V praktické části jsem měl za úkol srovnat výsledky experimentu, které se týkaly přírůstku biomasy a obsahu základních kanabinoidů, kterými jsou kyselina tetrahydrokanabinolová (THCA) a kanabidiol (CBD), ve dvou odlišných pěstebních cyklech. Cykly se od sebe lišily použitým systémem využití živného roztoku. V 1. cyklu se jednalo se o hydroponický uzavřený systém, který recykluje odpadní živný roztok a ve 2. cyklu o otevřený hydroponický systém, který rostlinám dodává vždy čerstvý živný roztok.

Ukázalo se, že lepší vliv na přírůstek biomasy má systém 1. cyklu recyklující živný roztok a zároveň tento systém dosáhl vyššího obsahu kanabinoidu THCA v porovnání s 2. cyklem. Druhý cyklus měl horší výsledky v přírůstku biomasy a obsahu THCA, ale měl větší obsah kanabinoidu CBD napříč měřenými vzorky.

Klíčová slova: lékařské konopí, hydroponie, technologie pěstování, indoor, klimatické podmínky

Hydroponic cultivation of medicinal cannabis

Summary

The industrial production of medicinal cannabis (*Cannabis sativa* L.) has achieved unprecedented development in recent years and has the potential for further growth as legislation is relaxed. Cannabis is cultivated worldwide for both medicinal and recreational use. Due to its positive effect on human health, it is also cultivated in the Czech Republic. Cultivation and its products are the subject of research into the optimisation of the growth conditions of cannabis, its therapeutic potential and the effect of the various secondary metabolites by which cannabinoids and terpenes act on the human psyche and physiology. Cannabinoids are potent substances that can act on our bodies and brains. The best known cannabinoid is THC, which has psychoactive effects. This work has focused on the actual production of cannabis and the growing requirements under indoor conditions and hydroponics.

Today, there is speculation about the benefits of hydroponics and its advantages over conventional soil cultivation. A common argument for hydroponics is its environmental friendliness. In this thesis I partially address this topic by dividing hydroponic systems into open and closed systems. The closed systems group has a lower water and mineral fertiliser consumption, which would make it a more environmentally friendly option, however, in an industry that is subject to the free market there is high pressure on the profitability of production. For this reason, open cultivation systems, which are both simple in design and easy to operate, are nowadays widely used. Unfortunately, they consume considerably more water and fertiliser, which, if not fully used, is disposed of as waste.

In my work I also focus on indoor growing and its specifics. I mainly focus on the important conditions that plants need for their growth and development. An important factor of plant cultivation to which I devote a significant part of my work concerns artificial light and the requirements of plants for it. Other parameters I mentioned were humidity, carbon dioxide concentration, air circulation, etc.

In the practical part, I had to compare the results of the experiment, which concerned the biomass gain and the content of essential cannabinoids (THCA and CBD) in two different growing cycles. The cycles differed in the nutrient solution utilization system used. Cycle 1 was a hydroponic closed system that recycles the waste nutrient solution and cycle 2 was an open hydroponic system that always supplies fresh nutrient solution to the plants.

The Cycle 1 system recycling the nutrient solution proved to have a better effect on biomass growth and also achieved a higher THCA cannabinoid content compared to Cycle 2. Cycle 2 had poorer results in biomass increment and THCA content, but had higher cannabinoid CBD content across the samples measured.

Keywords: medical cannabis, hydroponics, growing technology, indoor, climatic conditions

Obsah

Poděkování.....	3
1. Úvod do konopí	8
1.1. Taxonomie <i>Cannabis sativa L.</i>	9
2. Cíl práce.....	10
3. Produkty sekundárního metabolismu konopí s léčebným potenciálem.....	11
3.1. Fytokanabinoidy / Kanabinoidy	11
3.2. Terpeny a terpenoidy.....	12
4. Hydroponie	12
4.1. Úvod do hydroponie.....	12
4.2. Historie hydroponie.....	14
4.3. Hydroponické systémy.....	14
4.3.1. Pasivní a aktivní hydroponické systémy	14
4.3.2. Uzavřené hydroponické systémy (recyklující, regenerující).....	15
4.3.3. Otevřené hydroponické systémy	21
4.4. Pěstební média	22
4.4.1. Rockwool.....	23
4.4.2. Keramzit	23
4.4.3. Perlit	23
4.4.4. Kokosové vlákno	24
5. Indoor pěstování	24
5.1. Světlo.....	25
5.1.1. Světelná fotoperioda.....	25
5.1.2. Světelné spektrum	26
5.1.3. Světelná intenzita.....	28
5.1.4. Pěstební světelné zářiče	29
5.2. Atmosféra pěstebního prostředí	32
5.2.1. Koncentrace CO ₂	32
5.2.2. Výměna vzduchu	33
5.2.3. Vlhkost	34
5.3. Živný roztok	34
6. Metodika	35
6.1. Experimentální pěstební prostor	35
6.2. Pěstování a výživa rostlin.....	35
6.2.1. Cyklus č. 1	35

6.2.2. Cyklus č. 2	36
6.3. Závlaha.....	36
6.4. Získání vzorků.....	37
6.5. Určení a stanovení kanabinoidů	37
7. Výsledky	37
7.1. Výsledky analýzy kanabinoidů	37
7.1.1. Cyklus č.1 (Recyklační systém)	38
7.1.2. Cyklus č.2 („Drain to waste“ system)	39
7.1.3. Srovnání obsahu kanabinoidů (THCA, CBD) mezi 1. a 2. cyklem	40
7.2. Srovnání přírůstku biomasy	42
7.2.1. Cyklus č. 1	42
7.2.2. Cyklus č. 2	43
7.2.3. Srovnání přírůstku biomasy mezi 1. (recyklačním) a 2. („drain to waste“) cyklem	44
8. Diskuse.....	44
9. Závěr	45
10. Seznam literatury:	46

1. Úvod do konopí

Konopí seté (*Cannabis sativa L.*) bylo pěstováno lidmi již tisíce let před našim letopočtem. Byl to jeden z prvních zdrojů rostlinné potravy a vláken pro výrobu textilu. Tradice jeho pěstování je tak stará, že ani nevíme kdy vznikla. Konopí se během historie využívalo ve starém Egyptě i v Číně, která je považována za místo, kde bylo konopí využito k léčebným účelům poprvé. Na evropský kontinent se konopí dostalo údajně během 2000 let př.n.l. a do Jižní Ameriky až desítky let po její návštěvě Kryštofem Kolumbem v roce 1545. Léčebného využití se konopí na Evropském kontinentu dostalo mnohem později než v Asii. První přípravky z konopí tu byly použity na léčbu bolestí, depresí, glaukomu nebo nevolnosti, v začátcích 19. století.

Dnes se situace v Evropě a v Americe ohledně legalizace léčebného konopí radikálně mění. Léčebné konopí je zkoumáno za účelem získání poznání jeho možného použití na léčbu různých nemocí od Parkinsonova syndromu až po onkologická onemocnění všeho druhu. Tato práce nemá za úkol zkoumat a prosazovat pozitivní vliv tohoto rostlinného druhu na lidské zdraví. A už vůbec nemá glorifikovat účinky potentního konopí (konopí obsahující THC) na lidskou psychiku. Marihuana, která se z léčebného konopí záměrně získává má do jisté míry pozitivní účinky na duševní a fyzické zdraví člověka, ale pravidelný příjem THC do krevního oběhu může mít u části konzumentů silné vedlejší účinky. Takovými účinky může být rozvinutí psychických poruch, jejichž predispozice byly u jedince skryté a pravidelné užívání je posílilo do té míry, že se rozvinuly do plnohodnotného onemocnění.

V dnešní době může být tento negativní efekt marihuany patrnější než kdy dřív. A to proto, že nelegální pěstitelé dnes disponují velkými zkušenostmi a jejich nelegální obchod jim vydělává dostatečné množství peněz, aby dosáhli na nejlepší pěstitelskou techniku, která je na trhu dostupná. To se neodráží jen na množství výnosů a efektivitě jejich produkce, ale i na obsahu psychoaktivních kanabinoidů jako je THC. Dnes lidé ve většině případů nekonzumují marihuanu, kterou konzumovali lidé před několika desítkami let. Obsah THC ve většině konopí produkovaného za účelem získání marihuany dnes obsahuje několikanásobek toho, co konopí obsahovalo dříve. Dříve marihuana označovaná jako „skunk“ obsahovala kolem 20 % THC a byla považována za něco co překračuje určité limity. Dnes je hladina 20 % THC v marihuaně relativně obvyklá a objevily se odrůdy označované jako „super skunk“, které mají přesahovat hranici 30 % THC. Toto samozřejmě mění povahu marihuany, a to v poměrně radikální míře. Se zvyšujícím se obsahem roste i zdravotní riziko, které nastává při pravidelném užívání a objevila se spojitost mezi marihuanou a vznikem závislosti. Taková závislost se projevuje abstinenčními příznaky, které jsou vždy psychické povahy a někdy jsou doprovázeny i příznaky fyzickými.

V mojí práci se konopí věnuji za účelem lepšího poznání pěstitelských principů, které se mohou uplatnit v profesionálním produkčním průmyslu. Ten dnes produkuje konopí, které neobsahuje THC, ale kanabinoid CBD, který nemá psychoaktivní účinky. Jeho účinky se projevují jen ve fyzické rovině, a to např: uvolněním svalstva. To může mít pozitivní vliv například při regeneraci svalů. CBD má také pozitivní vliv na imunitní systém člověka. Konopí produkované v ČR s obsahem THC je pěstováno pro léčebné účely a výzkum. Na rozdíl např: od Kanady nebo některých států v Severní Americe jako je Kalifornie. Zde je konopí a z něj

vyráběna marihuana produkována i za účely rekreačními. Taková marihuana se prodává v licencovaných a registrovaných obchodech, lidem starším 21 let.

1.1.Taxonomie *Cannabis sativa* L.

Navzdory odlišným názorům některých odborníků se konopí seté (*Cannabis sativa* L.) dělí na tři základní rovnocenné druhy – *Cannabis sativa* var. *sativa*, *Cannabis sativa* var. *indica* a *Cannabis sativa* var. *ruderalis*. Důležitými odrůdami z farmakologického a produkčního hlediska jsou *sativa* a *indica*, které obsahují významnější procento fytoKANABINOIDŮ než má *ruderalis*. To je odrůda, která roste na severu Himalájí, má řídké větvení a tvoří plevelný porost. Rozdíl mezi *sativou* a *indicou* viditelný na první pohled je ve výšce rostliny. Průměrná výška rostliny konopí setého je od 2,5 do 3,5 m. Rostliny *idindicy* bývají menší, asi kolem 1,8 m. Mají hustší větvení a jejich listy mají širší čepele než rostliny *sativy* (Kovář L, 2012).

Konopí je rostlinný druh, kde se jedinci dělí na samce a samice, jedná se tedy o druh dvoudomý. To znamená, že na rostlině se vyvíjejí pouze samičí nebo samčí květy. Vznik samce nebo samice určují heteromorfní chromozomy, kdy samci jsou heterogametyčtí (XY) a samice homogametycké (XX). Během vegetativního období je těžké u jedince určit jeho pohlaví, protože hlavním odlišovacím znakem jsou květy, které se vyvíjí až v pozdní fázi životního koloběhu rostliny. Pohlavní fenotyp u konopí může být flexibilní. Dochází ke vzniku hermafroditních květů nebo oboupohlavných květenství (Rai A, 2017).

Druh *Cannabis* z čeledi *Cannabaceae* je jedinečná svou schopností biosyntézy terpenofenolických KANABINOIDŮ nebo fytoKANABINOIDŮ, které se ze všeho nejvíce hromadí v trichomech rostliny. Tyto látky zapříčiňují účinky konopí a způsobily, že z konopí je světový fenomén (ElSohly et al., 2017).

2. Cíl práce

Pěstování léčivého konopí v kontrolovaných podmínkách v hydroponii závisí na celé řadě faktorů, které ovlivňují růst rostlin, tvorbu a množství produkovaných kanabinoidů. Jednotlivé faktory jsou v úzké souvislosti se zvolenou technologií určenou pro pěstování rostlin v indoor podmínkách.

Cílem práce bude v literární rešerši popsat jednotlivé faktory ovlivňující proces pěstování léčebného konopí. V práci bude kladen důraz na popsání různých přístupů k produkčnímu osvětlení a požadavků ve smyslu kvalitativních a kvantitativních parametrů. Dále bude popsán vliv pěstebních podmínek (teplota, vlhkost, koncentrace CO₂), protože kontrola a možnost řízení těchto faktorů je závislé na správně zvolené technologii. Tento fakt hraje významnou roli nejen ve smyslu produkce samotné biomasy květu, ale i ve smyslu kvalitativních parametrů obsahových látek a zdraví rostlin jako takových.

Cílem práce bude v praktické části sledovat přírůstek biomasy a obsah sekundárních metabolitů v experimentu, který sledoval dva rozdílné pěstební cykly. Cykly měly stejné pěstební i časové podmínky. Odlišovaly se v metodě využití živného roztoku. Výsledkem praktické části bude srovnání naměřených hodnot obou cyklů.

3. Produkty sekundárního metabolismu konopí s léčebným potenciálem

3.1. Fytokanabinoidy / Kanabinoidy

Fytokanabinoidy jsou sekundárními metabolity rostlin. Jedná se tedy o rostlinné kanabinoidy, které jsou zařazené do skupiny terpenofenolových látek s 21 nebo 22 uhlíky. Za kanabinoidy se považuje vše, co je endokanabinoidní systém schopný rozpoznat. Druhou skupinou kanabinoidů jsou takové, které dokáže organismus syntetizovat sám – tzv. endokanabinoidy. Třetí skupinou jsou uměle vytvořené – syntetické kanabinoidy (Radwan et al., 2021).

Dodnes bylo izolováno 120 fytokanabinoidů, které je možné nalézt jen a pouze v rostlinách konopí. Deriváty a transformační produkty těchto sloučenin jsou také považovány za kanabinoidy. Všech 120 kanabinoidů lze rozdělit do 11 obecných skupin – 1. Δ^9 -trans-tetrahydrocannabinol (Δ^9 -THC), 2. Δ^8 -trans-tetrahydrocannabinol (Δ^8 -THC), 3. kanabigerol (CBG), 4. kanabichromen (CBC), 5. kanabidiol (CBD), 6. kanabinodiol (CBND), 7. kanabielsoin (CBE), 8. kanabicyklol (CBL), 9. kanabinol (CBN), 10. kanabitriol (CBT) a poslední skupina s různými typy (ElSohly et al., 2017). Biosyntéza kanabinoidních kyselin z toho, co dosud víme je závislá na enzymatických reakcích (Kaczorová D., 2020).

Největší koncentraci produkce fytokanabinoidů v rostlinném těle nalezneme ve žláznatých trichomech samičích rostlin (Kaczorová et al. 2020).

Fytokanabinoidy se rozdělují na ty s pentylovým postranním řetězcem a na ty s propylovým postranním řetězcem. Výchozí látkou pro syntézu fytokanabinoidů s pentylovým postranním řetězcem je kyselina kanabigerolová, která vznikla reakcí kyseliny olivetolové s geranyldifosfátem. Mezi takto vzniklé kanabinoidové kyseliny patří tetrahydrokanabinolové (THCA), kanabidiolové (CBDA) a kanabichromenové (CBCA). Výchozí látkou pro syntézu fytokanabinoidů s propylovým postranním řetězcem je kyselina kanabigerovarínová (CBGVA) a jsou to fytokanabinoidové kyseliny kanabidivarínová (CBDVA), kanabichromevarínová (CBCVA) a tetrahydrokanabivarínová (THCVA) (Radwan et al., 2021).

Lidské tělo je schopné syntetizovat vlastní kanabinoidy – endokanabinoidy, které fungují se specifickými receptory, jež řídí homeostázu lidského organismu. Endokanabinoidy mohou být v rozličných funkcích zastoupeny právě fytokanabinoidy a to se dá využít k ovlivnění lidského vnitřního prostředí a lidského rozpoložení vnějšími prostředky, ve kterých jsou fytokanabinoidy obsaženy. Kanabinoidy v lidském těle ovlivňují některé tkáně a orgány (Kicman et al., 2021).

Kanabinoid – THC má pozitivní účinek na prožívání bolesti, na záněty, na nervovou tkáň a uvolňuje svaly. Za to má, ale i své negativní vlivy, kterými jsou možný vznik úzkosti nebo imunosuprese. Je to psychoaktivní kanabinoid (Tahir, 2021).

Na tyto nežádoucí účinky THC má, ale vliv 2. hojně zastoupený kanabinoid – CBD, který je zmírňuje. Dále se kanabinoid CBD využívá při léčbě epilepsie, neurodegenerativních onemocnění jako je např. Alzheimerova choroba nebo při onemocněních jako je schizofrenie nebo roztroušená skleróza. Stejně jako THC má analgetické a protizánětlivé účinky

kanabichromen (CBC). CBC má na víc ještě účinky sedativní a antimikrobiální (Kessler F.H, 2021).

Poměr hlavních kanabinoidů THC a CBD je v rostlině už od začátku neměnný. Lze tak třeba zjistit poměr již z listu a není nutné čekat na zformování květu (Kaczorová D, 2020).

3.2. Terpeny a terpenoidy

Terpeny jsou jednoduché nenasycené uhlovodíky, které se skládají ze dvou nebo více izoprenových jednotek a terpenoidy vznikají jejich oxidací nebo přeskupením uhlíkatého skeletu (Fischedick et al., 2010). Jedná se o látky velmi těkavé a aromatické, které jsou obsaženy v konopných silicích. V rostlině se terpeny podílejí na fotosyntéze, růstu, ochraně, odolnosti rostlin, struktuře a funkci membrán. Obsah terpenů v rostlině záleží na tom, v jaké růstové fázi se zrovna rostlina nachází. Terpeny jsou produkty stejných žláz jako fytokanabinoidy (Sommano et al., 2020).

Nejvíce zastoupenou skupinou terpenů v konopí jsou Monoterpeny. Do této skupiny patří myrcen, který je charakteristický zemitou vůní hřebíčku a v konopí působí relaxačními a sedativními účinky. Má schopnost blokovat nárůst některých karcinogenů a ovlivňuje průnik membrán a urychluje tak transport kanabinoidů do mozku. Druhým často zastoupeným terpenem v konopí je limonen, který má silné citrusové aroma. Snadno se inhalací dostává do lidského organismu a podporuje průchod ostatních terpenů. Má v mnoha případech fungicidní a bakteriocidní účinky. Působí jako antidepresivum. Dalšími zástupci monoterpenů jsou alfa a beta pinen, terpinolen a cis-ocimen (Fischedick et al., 2010).

Jiný velmi důležitý terpen beta-karyofylen ze skupiny seskviterpenů je jediným terpenem, který přímo interaguje s endokanabinoidním systémem. Mohl by, proto být potenciálně užitečný při léčbě některých druhů rakoviny. Beta-karyofylen je příkladem synergického působení kanabinoidů s terpeny. Ve společné kombinaci s CBD se používá k léčbě chronických bolestí. Dalším běžně vyskytujícím seskviterpenem je humulen (Turner C.E, 1980).

Typický pach konopí způsobuje okolo 140 terpenoidů a 17 nejběžnějších terpenů může napomoci k popisu fenotypických nebo biologických vlastností různých odrůd konopí. Každá odrůda a hybrid konopí se obsahem terpenů liší. Terpeny mají vliv na vůni, chuť či barvu. Např. hydroxylované terpeny jsou znakem typickým pro *Cannabis sativa var. indica* (Grotenhermen F, 2002).

Jak již bylo zmíněno kanabinoidy a terpeny v lidském těle mohou působit synergicky a nejvíce terpenů je uloženo v čerstvém rostlinném materiálu. Díky těkavosti, se ale většina terpenů při vysychání hmoty rozpadá a tím ztrácí na účinnosti (Kaczorová D, 2020).

4. Hydroponie

4.1. Úvod do hydroponie

Hydroponické pěstování je jednou z alternativ klasického pěstování plodin v substrátu, která v šedesátých letech díky objevu potenciálu rockwoolu (inertní substrát z lisovaných minerálních vláken), nových hnojiv a plastu začala nabývat na pozornosti a důležitosti v očích velkého množství lidí, kteří v hydroponii viděli efektivnější způsob produkce nebo šetrnější

způsob pěstování od různých druhů konvenčních hospodářských plodin až po druhy léčebného konopí (Hershey 1994).

Je důležité vybrat správný typ hydroponického systému a samozřejmě dodržet všechna základní pravidla pěstování. V opačném případě může pěstitel životnímu prostředí škodit plýtváním vody nebo spotřebováváním nerecyklovatelných materiálů – plastů, rockwoolových kostek (minerální vata používaná jako substrát) apod. Také se mu při nesprávném nakládání s živinami může podařit vypěstovat plodiny bez nutričních hodnot a chuti (Jones J.B., 2014).

Hydroponie je ohleduplná k půdě, protože ji vůbec nevyužívá a nezatěžuje ji jako obvyklé hospodaření, které pro získání nejvyšší efektivity a maximální ochrany produkce využívá průmyslových hnojiv a pesticidů. Využívá i větší množství vody než hydroponické systémy, kterou využívá neefektivním způsobem na závlahu. Tradiční způsoby pěstování spotřebovávají vodu a znehodnocují ji zároveň s půdou, což může mít za následek potravinovou krizi do roku 2050, ruku v ruce s chudobou některých států, které nedosáhnou na cenu průmyslových hnojiv. (Gashgari et al., 2018). V hydroponii hraje prim voda, ve které buď přímo nebo prostřednictvím inertního substrátu roste kořenový systém rostliny. Inertní substrát rostlinu mechanicky upevňuje a vytváří prostor pro zásobu živin a vody rostliny. Inertní substráty se dělí na skupinu, která zadržuje vodu, živiny a zalévají se v pravidelných cyklech. A na skupinu, kterou voda prochází a zadržuje ji jenom minimálně. V některých případech se rozlišuje mezi hydroponií a inertním pěstováním. Pojem inertní popisuje vlastnosti substrátů používaných k pěstování rostlin. Takové substráty nemají pro rostliny žádný živý potenciál. (Adams 1993).

Jednou z hlavních výhod hydroponického systému je téměř absolutní kontrola pěstitel nad dodávanými živinami do vody a v případě, že má systém umístěný v indoor podmínkách tedy v prostředí izolovaném od vnější atmosféry, má plnou moc nad ostatními pěstebními faktory jako je světlo, teplota, vlhkost atd. Jednou z dalších výhod hydroponického způsobu pěstování je možnost vertikální produkce, která zvyšuje výnosy na jednotku plochy. V kontrolovaném prostředí není pěstitel závislý na nepříznivých podmínkách počasí a je možné pěstovat po celý rok, i když například s vyššími náklady na udržení odpovídající teploty v produkčním prostředí (AlShrouf A., 2017).

Veškeré rostliny potřebují pro svůj růst a vývoj široké spektrum živých iontů. Všechny ionty mají svoje určité rozmezí jejich množství, ve kterém přispívají k prosperitě rostliny. Pokud se takového množství rostlině neodstává nebo se jí ho dostává nad limit, může mít na rostlinu negativní dopad. Množství každého iontu není nejdůležitější. Důležitý je jejich poměr. Nedostatek jednoho iontu bude mít vliv i na všechny ostatní. Některé ionty rostliny vstřebávají mnohem rychleji než jiné. Mezi ty, co rostliny odebírají ze všech nejrychleji, patří dusík, fosfor, draslík nebo mangan. Tyto ionty rostliny vstřebávají pravděpodobně do několika hodin. Další ionty jako hořčík, síra, železo, zinek, měď, molybden a chlór jsou vstřebávány pomaleji, ale stále rychleji než voda. K nejpomaleji vstřebávaným iontům patří vápník a bór. Ty jsou vstřebávány pasivním způsobem a kumulují se v rezervoáru (Bugbee, 2004).

Přebytek pomalu vstřebávaných iontů, které se kumulují v rezervoáru a nedostatek těch, které rostlina absorbuje během prvních hodin zapříčiňuje nevyváženost živného roztoku

v pozdějších fázích zavlažovacího cyklu. Tomuto jevu je možné se i v uzavřených systémech vyvarovat, ale pěstitel potřebuje mít už zkušenost s monitorováním složení živného roztoku a s poměry jednotlivých iontů. Jednoduše řečeno, uzavřené hydroponické systémy nejsou pro začínající pěstitele ideální. K pozorování vlastností živného roztoku je potřeba speciální monitorující zařízení nebo analýz z kvalifikované laboratoře. Zkušení pěstitelé na základě analýz dokážou za pomoci určitých hnojiv zředit hromadící se ionty jako vápník nebo hořčík a zároveň doplnit chybějící, již spotřebované ionty. Situace sníženého množství dusíku, fosforu a draslíku se dá řešit za pomoci přidání např. dusičnanu draselného nebo fosforečnanu draselného (Texier W. 2015).

4.2. Historie hydroponie

Za první podobu hydroponického pěstování je možné označit hospodaření indiánských kmenů v Jižní Americe a v Mexiku, kdy vyráběli plovoucí vory zvané chinampas z rákosu a kukuřice a na ně vrstvěli bahnitou půdu ze sopečných oblastí, které byly bohaté na živiny. Rostliny získávaly živiny jak z půdy, tak z kořenů zapuštěných ve vodě. Nutné zmínit, že místní podmínky tomuto způsobu nahrávaly. A to teplotou vody, jejím bohatým zasolením a dobrým prokysličením.

Tím, kdo se opravdu vědecky o pěstování ve vodě zajímal, byl anglický historik a botanik John Woodward. Jako první díky experimentu dokázal, že rostliny vstřebávají živiny za pomoci vody. Srovnával rostliny rostoucí ve vodě z říčního toku a v destilované vodě. Zjistil, že rostlinám se daří lépe ve vodě z říčního toku a zamyslel se nad tím, zdali rostlinám nestačí k prosperitě čistá voda, musí obyčejná voda z řeky obsahovat něco co podporuje rostlinný růst. V dalším ze svých pokusů zkoušel do vody, ze které čerpaly rostliny, přidávat různé množství zeminy a ukázalo se, že ty s vyšším obsahem zeminy rostou rychleji a rostliny z ní dokážou čerpat živiny (Wiliam Texier, 2015).

4.3. Hydroponické systémy

Princip ‚pravého‘ hydroponického systému spočívá v absenci jakéhokoli substrátu, kdy kořenový systém čerpá z živného roztoku bez potřeby mediátora. Buď je kořenový systém vystavený proudu živného roztoku, takové metodě se říká nutrient film technique (NFT), nebo v něm je ponořen a zároveň je živný roztok provzdušňován. Třetí možností je tzv. aeroponie, během které jsou kořeny volně zavěšeny a je na ně stříkán živný roztok v pravidelných cyklech. Hydroponické systémy, které jsem popsal, jsou skupina nevyužívající kořenující média. Naproti tomu existuje skupina, která je na využívání kořenového média založená. Patří sem systémy jako Ebb and flow, nebo kapková závlaha (Jones J.B., 2014).

Hydroponické systémy se tedy dají dělit na základě využití nebo absence kořenového média, ale je nutné vzít na vědomí, že se rozlišují i podle dalších kritérií. Mezi taková kritéria patří metody hospodaření s živným roztokem nebo způsob aplikace živného roztoku.

4.3.1. Pasivní a aktivní hydroponické systémy

Všechny hydroponické systémy je možné rozdělit do dvou základních skupin. Jsou to skupiny, které určují způsob, jakým se aplikuje živný roztok. Jde o skupiny aktivních a pasivních hydroponických systémů.

4.3.1.1. Pasivní hydroponické systémy

Pasivní hydroponické systémy fungují na principu kapilární elevace, díky kterým je živný roztok nasáván kapilárami, knoty nebo kořenovým médiem z nádrže a transportován ke kořenovému systému rostliny. Pro pasivní skupinu jsou ideálními substráty savé hygrofilní materiály jako je např. vermikulit, rašelina nebo piliny. Volba substrátu je velmi důležitá, protože jeho schopnost absorbovat vlhkost by neměla ovlivnit jeho strukturu a případně tak zamezit schopnosti zadržet vzduch, bez kterého se snižuje schopnost kořenového systému získávat živiny. Pasivní hydroponické systémy nejsou považovány z daleka za ty nejefektivnější, nicméně nizozemští pěstitelé dokázali jejich efektivitu mnohokrát zvýšit. Výhodami těchto systémů je, že nemají žádné pohyblivé části, tím pádem nedochází k žádnému opotřebení a poruchám. Jsou to spolehlivé systémy, se kterými se nenesou velké náklady na pořízení i údržbu (Cervantes, 2006).

4.3.1.2. Aktivní hydroponické systémy

Aktivní systémy využívají pump nebo čerpadel k rozpořádání živného roztoku a dopravují ho do oblasti kde ho mohou nasát kořenová média nebo kořeny sami. Mezi takové systémy patří flood and drain (ebb and flow) nebo top feed. Konopí má během své růstové fáze velký přírůstek biomasy za krátký časový úsek. Dá se jednoduše říct, že je to rychle rostoucí rostlina. A právě z toho důvodu jsou pro ni aktivní hydroponické systémy nejvhodnější (Goddek S, 2019).

Aktivní hydroponické systémy bývají většinou uzavřenými systémy. V literatuře se takové systémy označují také za recyklující nebo regenerující. Znamená to, že nespotřebovaný živný roztok, který protekl kořenovým médiem, neodtéká rovnou do odpadu, ale odtéká zpět do rezervoáru, ve kterém je zase do doby dalšího zavlažovacího cyklu. Využije se tak potenciál živného roztoku na maximum. Neobnovující nebo také otevřené systémy jsou jednoduché, bez větších komplikací, ale nejsou pro většinu hydroponických pěstitelů praktické nebo ekonomické, a to z důvodu velké spotřeby hnojiv a vody. Uzavřené systémy jsou velmi rozšířené, ale od otevřených se neliší stavbou, ale pouze nakládáním s živným roztokem. Jsou to systémy – flood and drain, top feed a nutrient film technique (NFT). Recyklace živného roztoku dělá pěstební cyklus o něco složitější. Je nutné dbát na správné množství hnojiva v průběhu růstového cyklu rostliny a na harmonogram jeho aplikace. Kořenová média využívající se v takových systémech jsou např. keramzit, rockwool, drcený kámen, kokosové vlákno (Cervantes, 2006).

4.3.2. Uzavřené hydroponické systémy (recyklující, regenerující)

V uzavřených systémech hrozí větší přenos kořenových nemocí. Jedna rostlina může snadno nakazit ostatní skrze recyklovaný roztok, který se s patogenem opakovaně rozlévá mezi ostatní rostliny.

Výhodou naopak u uzavřených systémů je menší spotřeba vody i hnojiv. To potvrzuje práce (Tüzel et al. 2002), která porovnávala otevřené a uzavřené systémy z hlediska kvality a výnosu produkce. Tato práce prokázala, že uzavřené systémy ušetří 10,7-34,3 % vody v porovnání s otevřenými systémy. Tato data se shodují s výsledky pozdějších prací dalších vědeckých týmů, které tuto studii citují (Abd-Elmoniem E.M. et al. 2006).

V uzavřeném systému doplňujeme a zaléváme rostliny v pravidelných intervalech a množstvích živného roztoku, které se po celý pěstební cyklus nemění. Nemění se v závislosti na změnách velikosti rostliny ani na stádiích růstu. Takový to způsob výživy vede k dostačující, ale nevyrovnané výživě rostlin. V určitých fázích rostliny dostávají více živin a vody, než potřebují a v jiných zase méně. Tento způsob rostlinám nabízí optimální výživu, ale není příliš efektivní (Mason J., 2000).

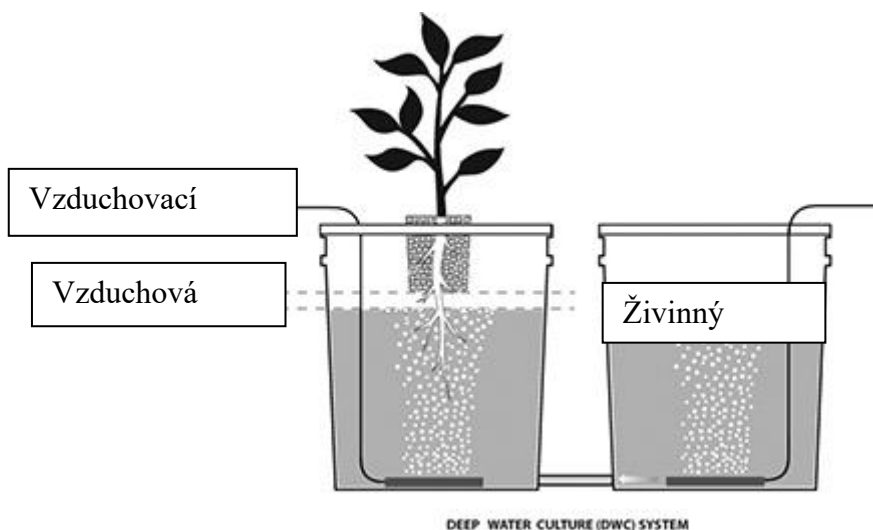
4.3.2.1. Deep water culter (DWC)

Takový systém je jednoduchý a jeho základní podoba je nejstarším hydroponickým způsobem pěstování vůbec. Původní typ tohoto systému sloužil k pokusům již v 19. století pro zkoumání důležitosti různých prvků pro růst a zdraví rostliny. Kořenový systém rostliny byl ponořen do provzdušňovaného živného roztoku a vědci doplňovali do roztoku různé látky a pozorovali jejich vliv na rostlinu (Jones J.B., 2014).

Skládá se z nádrže s otvorem, do kterého se vsazuje síťovaný květináč se substrátem (keramzit, rockwool, atd.) s prorostlým kořenovým systémem. Kořeny visí dolů nebo přímo plují v živném roztoku, který je promícháván a okysličován vzduchovacím kamenem na dně nádrže, který je propojený neprůhlednou hadicí s pumpou vně nádrže. Jeden vzduchovací kámen by měl dostatočovat na okysličení 30-40 litrů vody. Hadice se doporučuje neprůhledná, aby jí neprosvítalo slunce a nevznikaly uvnitř řasy. Dále by měla být dostatečně ohebná a měla mít průměr okolo 2,5 cm. Čím méně vzduchu je mezi bází rostliny a vodní hladinou tím je pro rostliny snazší načerpat živiny a nevysilují se na překonání částí kořenů, které visí volně ve vzduchu (Cervantes, 2006).

Takový systém je nenáročný na obsluhu a provoz. Pumpa je zapnutá 24 hodin denně a systém nevyžaduje žádný časovač. Tento systém je vhodný pro začínající pěstitele. Pěstitel pouze kontroluje stav hladiny vody, která by se měla měnit minimálně 1-2x za 14 dní a doplňuje potřebné živiny v závislosti na počtu a velikosti rostlin v jedné nádrži, případně kontroluje, že pumpa funguje, jak má. Pokud nechceme provádět doplňování nutrientů mechanicky a pokaždé nadzvedávat víko s rostlinou, je možné použít jeden z mnoha druhů dávkovačů. Manipulaci s víkem se dá předejít také propojením nádrže s rostlinou k další nádrži. Objem vody a nutrientů se tak zdvojnásobí, ale umožní nám to pohodlnější a bezpečnější přístup k živnému roztoku s ohledem na rostlinu (Cervantes, 2006).

DWC systém si díky bublání vzduchových kamenů vysloužil přezdívky jako Bubbler nebo Bubble Bucket, což v překladu znamená Bublající Kyblík.



Obr.č.1: Deep water culture (DWC) (převzato z <https://manicbotanix.com/hydroponic-growing-systems/>)

4.3.2.2. Nutrient Film Technique (NFT)

Druhý, každému pěstiteli známý systém je NFT neboli Nutrient Film Technique.

Tento systém funguje na principu obtékání nižší hladiny živného roztoku kolem kořenového systému rostliny, která je se substrátem nebo i bez něj zavěšena v síťovaném květináči v řadě za sebou s ostatními rostlinami. Rostliny jsou takto v řadě zavěšeny nad lavorem nebo jinou podélnou nádobou, která má sklon 0,3-2 %. Rostliny mohou také být umístěny přímo na kapilární rohoži, která stabilizuje tok živného roztoku a drží kořeny na místě (Cervantes 2006). Každá z rostlin dosahuje kořeny na dno této nádoby. Živný roztok je aplikován v pravidelných intervalech nebo konstantě 24 hodin denně na vyšším konci nádoby tak, aby stékal rychlostí, při které kořeny nasají maximální objem roztoku. Na níže položeném konci je výpust' nebo odvod zpět do nádrže, kde bude živný roztok do dalšího zavlažovacího cyklu. Roztok je v nádrži neustále okysličován. Šířka nádoby se orientuje podle velikosti pěstované plodiny od 4 až po 15 cm. Délka nádoby může být opravdu různá od 1 až po 20 m. Vhodnými výrobními materiály pro nádoby do NFT systémů jsou PVC nebo potažená ocel. Optimální průtok vody pro všechny druhy plodin je mezi 3 a 8 l/m² za 1 hodinu (Michael Raviv, 2007).

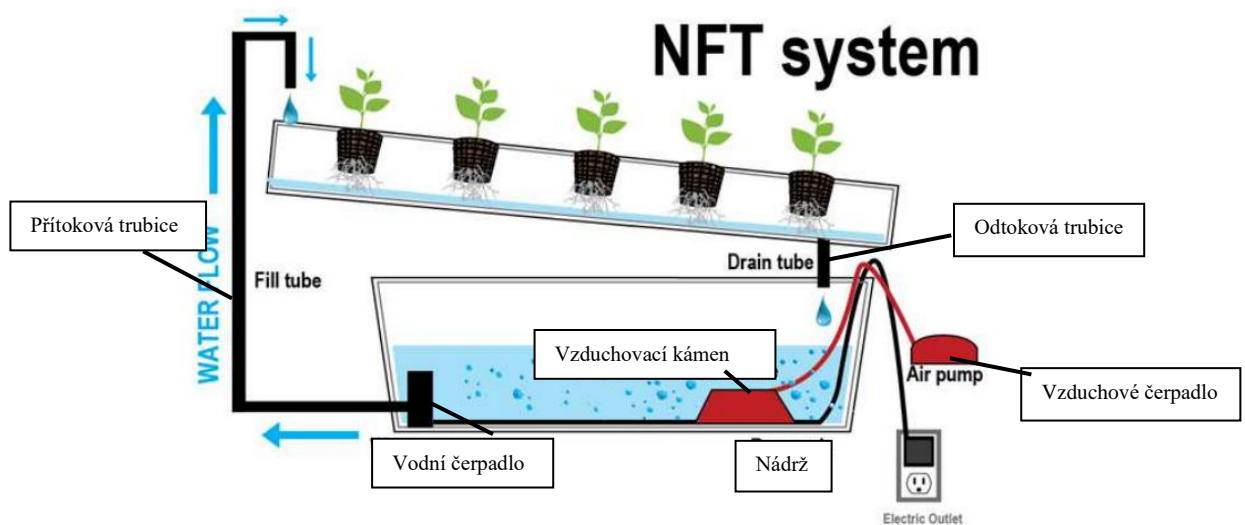
Přes vysoký výkon NFT systému má jednu velkou nevýhodu, a to že je minimální možnost vyrovnání pH roztoku již obsaženého v systému. V případě pořízení NFT systému se doporučuje pořídit i filtr, který bude zachytávat nečistoty, aby nedošlo k ucpání kanálů nebo čerpadla, které vhání živný roztok do oběhu. Pokud pěstujeme v tomto systému rostliny bez kořenového média je potřeba dbát na to, aby zůstaly kořeny neustále vlhké. Pokud dojde k selhání čerpadla, kořeny mohou brzy vyschnout a odumřít. V případě, že kořeny zůstanou bez vláhy 1 den nebo déle, dojde k odumření kořínků, a to se otiskne na výsledném výnosu rostlin. NFT systémy bývají koncipovány tak, aby se snadno čistily a rozkládaly. NFT systémy jsou

přizpůsobeny pro pěstitele s letitými zkušenostmi a práce s nimi je znatelně náročnější, pokud je pěstitel na jejich obsluhu sám (Sivanantha, n.d.).

NFT systémy na vyšší úrovni bývají vybaveny dvojitým dnem, které poskytuje oporu v případě pěstování velkých rostlin s rozsáhlými kořenovými systémy a potřebou dostatku velkého množství živného roztoku. Jiné systémy přizpůsobené větší zátěži jsou vybaveny podpěrnými žebry, které zabezpečují systém proti deformaci a pohybu během průtoku velkého množství tekutiny. Také napomáhají k rovnoměrnému rozložení roztoku v nádobě a plní funkci podobnou drenážním kanálům (Razzaq Al-Tawaha et al., 2018).

Na trhu je možné často narazit na hybridní NFT systémy. Jednou z častých podob takových systémů je kombinace NFT systému s tzv. špagetovým zapojením trubek, které zkonstruoval izraelský inženýr Simcha Blass. Rozdíl od běžného NFT systému je takový, že na začátku je pomocí trubky dopravován živný roztok ke každé rostlině zvlášť, což zajišťuje vyváženou závlahu pro každou z nich. Roztok s nutrieny stéká přes kořenový systém do kanálku se sklonem, ve kterém jsou kořeny ponořené a odtéká přes ně roztok z předcházejících rostlin zpět do nádrže. Druhý častý hybrid tohoto systému je využití rozstřikovacích trysek uvnitř nádoby s kořenovými systémy. Trysky rozstříkují živný roztok a udržují v atmosféře nádoby 100 % vlhkost. Kanálem na dně nádoby odtéká zkondenzovaný roztok zpět do nádrže. Na trhu tyto hybridní systémy bývají nabízeny často ve špatně navržené podobě. Systémy jsou vyrobeny z průsvitných materiálů a kořenům se v nich daří velmi špatně (Cervantes, 2006).

NFT systém byl revolucí v hydroponickém pěstování a pěstitelé v něm viděli novou naději na řešení problémů předcházejících hydroponických systémů. K uvedení NFT systému do povědomí široké společnosti došlo v sedmdesátých letech a tím kdo NFT navrhl byl Dr.Allan Cooper. V průběhu času se ukázalo, že NFT tolik problémů jiných hydroponických systémů neřeší. To však nezamezilo jeho rozšíření do celého světa a začal se na více místech hojně využívat jako efektivní způsob hydroponického pěstování (Jones J.B., 2014).



Obr.č.2: Schéma hydroponického systému Nutrient Film Technique (převzato z <https://marijanka.cz/hydroponie-zakladni-prehled-hydrosystemu/>)

4.3.2.3. Aeroponie

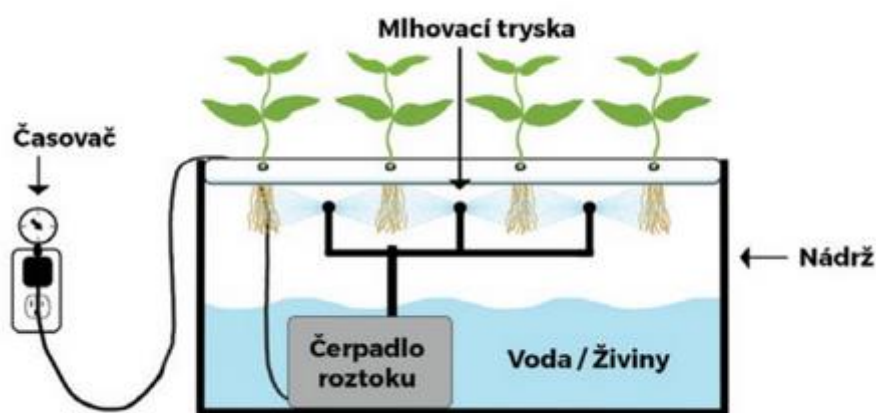
Třetím z uzavřených hydroponických systémů je Aeroponie.

V takovém systému jsou rostliny umístěny do malého síťovaného košíku s trochou keramzitu, přičemž substrát zde vykonává pouze ukotvující funkci. Košík s rostlinou je zasazen do větší nádrže, do které jsou přivedeny rozprašovací trysky z druhé nádrže s živným roztokem. Trysky rozprašují živný roztok do prostoru nádrže s kořeny a udržují v ní 100% vlhkost po celou dobu růstu rostliny. Vzdušná atmosféra pomáhá kořenům vstřebat nutrienty na jejich maximální potenciál. Voda, která kondenzuje na dně nádrže je odváděna zpět do nádrže první instance (Regas et al., 2021).

Aeroponie nevyužívá kořenová média, což ji dělá citlivou na nedostatek vláhy. Žádným způsobem nevzniká sebemenší zásoba pro případ, že by došlo k přerušení dodávky živného roztoku. K tomu může dojít jednoduchou závadou např. na čerpadle (je potřeba ho pravidelně kontrolovat), ale s fatální dohrou v podobě vyschnutí kořenů a nenávratných defektů na rostlině, dále snížení výnosnosti rostliny nebo jejímu úplnému vyschnutí a zániku. Aeroponický systém je závislý na spoustě detailních faktorech růstu rostlin a je potřeba při práci s ním vykazovat vysokou míru zkušenosti a profesionality. Nevyvážené pH nebo přísun živin dokážou způsobit velké problémy (Cervantes, 2006).

Profesionálním počínáním a prací s aeroponickým systémem je možné snížit spotřebu vody o 98 %, spotřebu hnojiv o 60 % a pesticidů dokonce o 100 %. Je to možné i přes maximalizování výnosů z produkce. Rostliny jsou v tomto systému schopné přijímat větší množství minerálů a vitamínů, což má za následek lepší zdravotní stav rostlin a v návaznosti na to v případě plodin určených ke konzumaci i jejich vyšší nutriční hodnoty (Eldridge et al., 2020).

Výhodou aeroponického systému je i možnost snadného přesazení bez vzniku šoku rostliny i její snadné pozorování, a to nám pomáhá k rychlé reakci na potřeby rostliny, které můžeme vypožorovat z jejího vývoje a morfologických znaků. Dokážeme tak odstranit potíže dříve, než mohou mít nějaké následky (AlShrouf A., 2017).

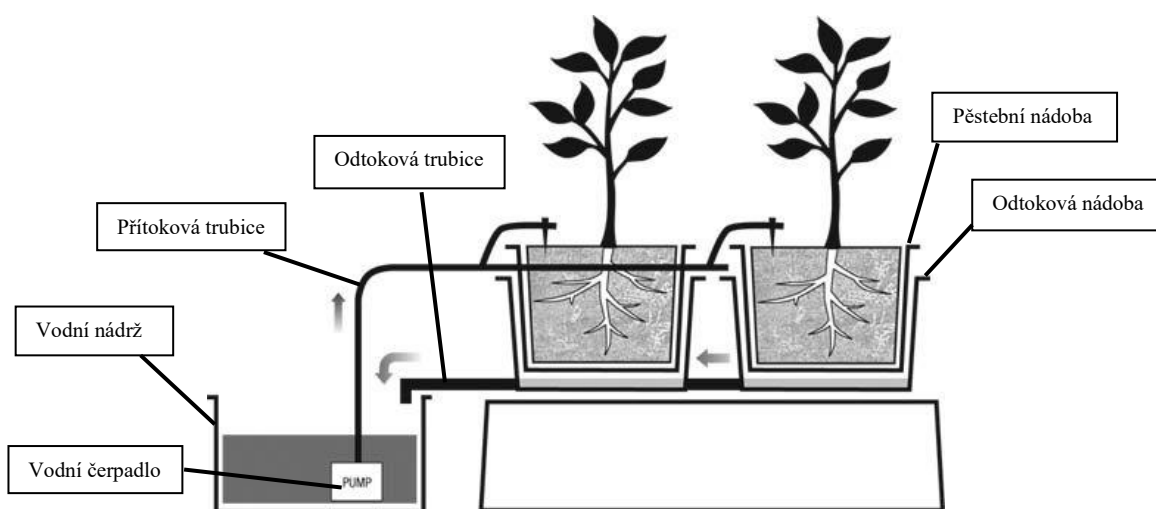


Obr.č.3: Schéma aeroponického systému (převzato z <https://casopisroots.cz/aeroponie/>)

4.3.2.4. Satelitní hydroponický systém

Satelitní hydroponický systém existuje v obou variantách jak otevřený, tak i uzavřený. Jeho princip spočívá v řadě oddělených nádob, které propojuje přítoková roura, ze které vede odtok do každé nádoby zvlášť. Nádoby jsou propojeny i v opačném směru, a to ve spodní části téměř u dna. V těchto místech je propojuje odtoková roura, která vede v případě uzavřeného systému zpět do rezervoáru živného roztoku. Každá nádoba se sestává z dvou květináčů. První je naplněn substrátem a je do něho vsazená rostlina. Tento květináč je vsazen do o něco málo většího druhého květináče, tak aby mezi nimi vznikala vzduchová kapsa a prostor pro odtékání živného roztoku, který stéká z povrchu přes kořenový systém perforací na dně prvního květináče až na dno druhého květináče, odkud odtéká zpět do rezervoáru (Mason J., 2000).

Výhodou tohoto systému je velká možnost manipulace se všemi rostlinami a květináči. Je možné přidávat a odebírat rostliny i nádoby bez vlivu na ostatní rostliny a velkého rizika jejich poškození (Jones J.B., 2011).



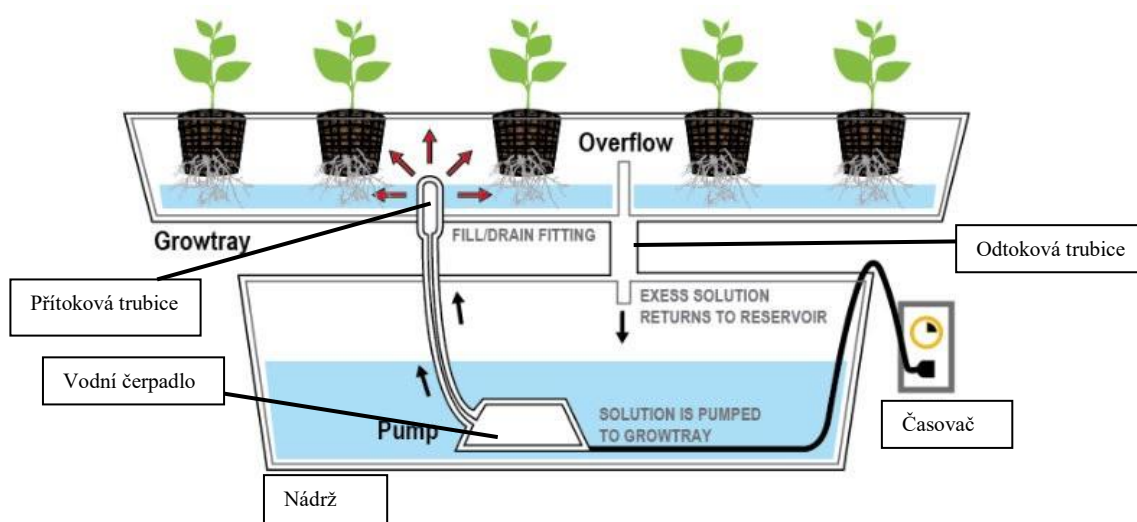
Obr.č.4: Schéma satelitního hydroponického systému (převzato z <https://manicbotanix.com/hydroponic-growing-systems/>)

4.3.2.5. Flood and drain (Ebb and flow) system

Posledním z uzavřených hydroponických systémů je poměrně oblíbený systém dříve nazývaný „Flood and drain“, dnes známý spíše pod názvem „Ebb and flow“. Rostlina pěstovaná v kontejneru se substrátem je zavěšena v zaplavovací nádrži nebo je postavena ve vodotěsné vaničce. Takový prostor je zaplavován do určité výšky živným roztokem, tak aby kořeny rostlin v něm byly zcela ponořeny, ale aby roztok nedosáhl krajů nádrže a nepřetekl. Doba, po jakou jsou rostliny zaplavovány je určena hydraulickou vodivostí použitých substrátů. Voda by se měla dostat až do vrchní kořenové zóny rostliny, což může trvat od 10 až po 30 minut. Po uplynutí požadované doby pro dostatečné nasycení se prostor odvodní. Tomu napomáhají svažité povrchy a drenážní kanály, které napomáhají ještě k rovnoměrnému rozprostření živného roztoku mezi kontejnery. Na to, aby živný roztok zcela odtekl musíme dbát, abychom tím předešli zvyšování rizika rozšíření kořenových nemocí. Zůstávají-li v okolí kontejnerů mokré plochy, vznikají tak řasy a dochází k narušení rovnoměrného zavlažování (Michael Raviv 2007)

V indoor podmínkách se nejčastěji využívá jako zaplavovací prostor vodotěsná vanička, která má ve svém dnu dva otvory, kterými vedou trubice s odlišnými funkcemi. První, níže položená trubice živný roztok do prostoru přivádí i odvádí z rezervoáru a tento proces je poháněn pumpou. Druhá, výše položená trubice pouze pasivně odvádí živný roztok zpět do rezervoáru v případě, že dosáhne jejího výše ústíčního konce a kontroluje tak jeho hladinu (Slota M. et al., 2016).

Výhodou tohoto systému oproti jiným je menší hromadění solí v substrátu, zapříčiněné pravidelným ponořováním kompletního kořenového systému. Z tohoto pravidelného přílivu a odlivu plyne ještě jedna výhoda, a to je kvalitní provzdušňování kořenového systému a odvádění odpadních plynů rostliny. Nevýhodou tohoto systému je možnost přehřátí živného roztoku v průměrných hydroponických vaničkách, jejichž stěny dosahují minimální výšky, a tak i živný roztok. V teplých prostředích se živný roztok může přehřát, díky čemuž dojde k úbytku kyslíku a hnilobě kořenů (Deswati D. et al., 2020).



Obr.č.5: Schéma hydroponického systému Flood and drain (převzato z <https://medium.com/@HydroponicsName/flood-and-drain-bfe5fd1dc4c5>)

4.3.3. Otevřené hydroponické systémy

Otevřené systémy mají podobu již popsaných systémů jako např. satelitní nebo „ebb and flow“ systém, s jedním důležitým rozdílem. Živný roztok není recyklován a podáván opakovaně rostlinám, ale je použit pouze jednou a poté přemístěn do odpadu.

Výhodami takových systémů je, že rostliny dostávají pokaždé nový a čerstvý živný roztok, který je mnohem více stabilní než v recyklačních systémech, co se týče jeho pH a elektrické vodivosti. Již bylo zmíněno, že v otevřených systémech dochází k menšímu přenosu kořenových nemocí a bakterií. Obecně se otevřené systémy doporučují začátečníkům, protože jsou méně náročné na údržbu (Mariyappillai et al., 2020).

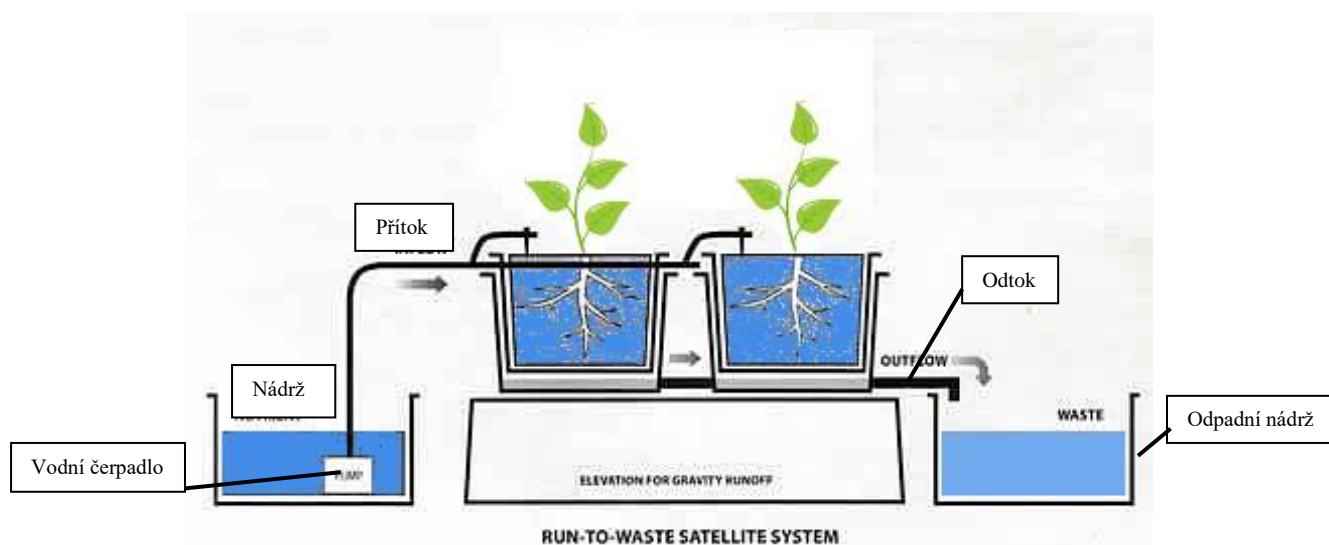
Otevřené systémy, pokud jsou v rukou zkušenějších pěstitelů, dokážou maximalizovat efektivitu výživy rostlin a zároveň minimalizovat objem nespotřebovaných živin a vody, které se mění na odpad. Právě odpad, tedy nespotřebovaná voda s nutrieny, pomáhá pěstitelům určovat, kolik si v daném růstovém stádiu rostliny žádají. V otevřených systémech je výživa,

její množství a intervaly závlahy upravovány podle růstového stádia rostliny, její velikosti a požadavcích. V případě použití otevřených systémů dochází k nedostatku nutrientů nebo jejich nadbytku pouze v závislosti na dodání nevyvážené směsi živin do rezervoáru nebo dodání v moc malém nebo moc velkém množství. Rostliny si z dodaného živného roztoku vstřebají, co potřebují a dlouhodobý nedostatek nebo nadbytek některého z nutrientů se na nich projeví (Jones J.B., 2011).

Jsou považovány za ty ohleduplnější hydroponické systémy, které velká část komerčních pěstitelů hospodářských plodin využívá, protože jsou nenákladné jak na instalaci, tak na provoz. Otevřené systémy se většinou skládají z rockwoolové rohože a zavlažovacího systému, který rohože pravidelně prolévá v závislosti na teplotě okolí a brání tak usazování solí v substrátu. Z každé dávky závlahy rockwool zachytí 70 až 75 % vody a zbytek odtéká pryč do odpadu, v čemž se spočívá nešetrnost těchto systémů. Cestou by mohla být recyklace vody a její využití na maximum, ale to zvyšuje finanční nároky a pokud to nebude legislativně nařízeno, málokterý konkurence chtivý pěstitel na ni přistoupí (AlShrouf A., 2017).

Při použití otevřeného systému se začíná s výživou v menších množstvích během různých intervalů. Velikost dávky a četnost intervalů se zvyšuje během dorůstání rostlin a zvětšování jejich životních požadavků (Wiliam Texier, 2015).

V otevřených hydroponických systémech je menší pravděpodobnost rozšíření kořenových nemocí oproti uzavřeným systémům, které zvyšují pravděpodobnost nákazy opakovaným používáním infikovaného roztoku (POSTMA et al., 2008).



Obr.č.6: Schéma otevřeného hydroponického systému (převzato z <https://addloes.com/knowledge-base/hydroponic-growing-systems/>)

4.4. Pěstební média

Anorganické pěstební substráty se nejčastěji využívají pro zakořenění rostlin ve středně velkých hydroponických systémech, kde je závlaha nejčastěji ve formě zaplavování kořenového systému nebo kapkové závlahy. Vhodný substrát vybíráme dle jeho fyzikálních a chemických vlastností. Mezi nejpoužívanější substráty patří keramzit, perlit, rockwool (kostky

nebo rohože), vermikulit a méně používané jsou písek, štěrk, pemza nebo škvára (Jones J.B., 2014).

V minulosti byl běžnou hydroponickou technikou mírně nakloněný pískový stůl, který tvořily čtyři nohy a nádoba s mírným sklonem, která byla naplněna pískem. Do písku se aplikoval živný roztok a ten stékal přes kořenový systém až na podloží, odkud po šikmé ploše odtékal pryč z nádoby. Nicméně písek i štěrk nejsou nejvhodnějšími médii, protože jsou to těžké a objemné materiály, které se před použitím musí prolévat kyselinami, aby se zbavily nečistot. V minulosti se tyto materiály ani nerecyklovaly, byly využity jednou a vyřazeny. Krom toho se tyto materiály vymývaly a transportovaly s živným roztokem, což je při produkci kontraproduktivní. Od pěstebního média se vyžaduje stabilita, aby poskytlo rostlině co nejpevnější mechanické ukotvení (Burgel et al., 2020).

V současné době používaná média jsou kokosová vlákna, rockwool nebo perlit, které se využívají běžně v kombinaci s kapkovou závlahou. Jedná se o inertní substráty, což znamená, že nijak neovlivňují kvalitu živného roztoku, ale pouze zprostředkovávají platformu pro kontakt mezi živným roztokem a kořenovým systémem rostliny. Často se setkáváme s kombinací některých substrátů. Například v pěstírně Agrobiologické fakulty ČZU se používají rockwoolové kostky, ve kterých zakoření řízků a ty se posléze vkládají do keramzitu. Do rockwoolové kostky se zavádí kapková závlaha.

4.4.1. Rockwool

Rockwool je sterilní materiál, který je vyráběn ze směsi vulkanických hornin (např. čedič), vápence a koksu. Tyto materiály se taví při teplotách v rozmezí 1500–2000 °C. Extrudují se z této hmoty vlákna a ta se lisují do volně tkaných archů (Lyu et al. 2019). Důvodem proč se takový materiál využívá je jeho sterilita, čistota, malá hmotnost, pokud není nasáklý vodou, je hygroskopický a je dostatečně vzdušný. Neiniciuje žádnou výměnu kationtů a nemá pufrovací kapacitu (Jones J.B., 2014).

4.4.2. Keramzit

Keramzit neboli expandovaný jíla je široce dostupný substrát, který má vyhovující vlastnosti pro použití v hydroponii. Je to pevný nasáklý materiál, který nemá tendenci se rozmočit a svojí strukturou vytváří ideální prostor pro prorůstání kořenů. Používá se v podobě více či méně pravidelných kuliček o průměru 1-18 mm. Jeho struktura vzniká při zahřívání jílu v rotační peci při teplotách okolo 1200 °C. Plyny vzniklé zahříváním při uvolňování roztahují hlínu, a tak v její struktuře vzniká tisíce malých bublinek. Je možné ho snadno sterilizovat, a to vystavením teplotám okolo 200 °C po dobu jedné hodiny. Při opětovné sterilaci je možné ho znovu použít (Jones J.B., 2014).

4.4.3. Perlit

Dalším velmi častým substrátem, který se při pěstování v indoor podmínkách používá je perlit. V prostředí univerzitní pěstírny se perlit nejvíce využívá k předpěstování zakořeňujících řízků. Ty se vpichují do rockwoolových kostek a ty se poté pokládají na perlit, který je nasáklý živným roztokem. Jak už bylo zmíněno perlit je nasáklý hygroskopický materiál. Jedná se o amorfní vulkanické sklo a je běžné, že se takový materiál vyskytuje přirozeně. Po

zpracování má malou hmotnost a je dostatečně vzdušný pro odpovídající podmínky k zakořeňování rostlin. Obvykle se po jednom použití vyhazuje (Jones J.B., 2014).

4.4.4. Kokosové vlákno

Dalším materiálem, který se svou strukturou podobá rockwoolu je kokosové vlákno, které se získává z vlákniny obsažené v kokosovém plášti. Kokosové vlákno je snadněji rozložitelné poté co ho využijeme a vyhodíme, proto je doporučované jako náhražka rockwoolu. Kokosové vlákno se používá velmi obdobně jako rockwool. Lisuje se a formuje do podobných tvarů. Má dokonce i podobné fyzikální vlastnosti, ale obsahuje zvýšenou hladinu sodíku, draslíku, síry a chlóru, což může ovlivnit růst rostlin nebo je úplně zahubit, proto se obvykle před použitím louhuje ve vodě, a tak se podíl všech nežádoucích prvků sníží (H. Urayama, 2005).

4.4.5. Vermikulit

Tento minerál je získáván ze slídy a jeho velká část se těží v Jižní Africe a ve Spojených státech amerických. Materiál, který se získá těžbou, je dále upravován do funkční podoby. Je upravován více způsoby. Jedním ze způsobů je i vystavení materiálu teplotám o hodnotách sahajícím až k 1000 °C. Technický vermikulit je hydratovaný hořečnato-hlinitý křemičitan. Avšak tento materiál je velmi lehký a má houbovitý vzhled. Různé druhy vermikulitu mají různé hmotnosti. Svými vlastnostmi se hodí pro využití v hydroponii. Mezi jeho přínosné vlastnosti patří, že dokáže zadržovat vzduch, vodu a s ní i důležité živiny. Jeho pH nemusí být vždy neutrální, ale nedochází k výkyvům v podobě kyselých nebo zásaditých extrémů, které by mohly mít vliv na kvalitu produkce. Má dobrou pufrací kapacitu a obvykle se k použití v hydroponii smíchává ještě s jiným materiálem (pískem, šterkem). Je důležité používat pro hydroponické účely jen a pouze zahradnický vermikulit, který se vyskytuje v různých průměrových velikostech (Mason J., 2000).

5. Indoor pěstování

Jedná se o typ pěstování, ve kterém má pěstitel plnou moc nade všemi růstovými a vývojovými faktory rostliny. V nadcházejících kapitolách se budu věnovat popisu vhodných podmínek hydroponického pěstování léčebného konopí. Takové pěstování se řadí do skupiny „zemědělství s řízeným prostředím“, ještě s dalšími jako indoor zemědělství, vertikální pěstování, rostlinné továrny a kontejnerové farmy. Výhodou takového pěstování je možnost pěstovat vhodné plodiny po celý rok. Krom toho, že takové pěstování není ovlivněné klimatickými podmínkami, je také chráněné před abiotickými a biotickými riziky v závislosti na možnostech, schopnostech a zodpovědném přístupu pěstitele (Mitchell 2022).

Indoor pěstování konopí setého (*Cannabis sativa* L.) dokáže být díky tomu, že je provozováno po celý rok patnáctkrát až třicetkrát produktivnější, než je tomu u pěstování ve vnějších podmínkách. Neměnné stabilní podmínky mají za následek, že je možné provádět sklizeň šestkrát ročně (Magagnini et al. 2018)

Ve velké části světa již konopí s vysokým obsahem THC neplatí za nelegální drogu, ale je na něj nahlíženo jako na další průmyslový produkt s potenciálem zisku. Dnes se konopí s obsahem THC nepěstuje pouze v Nizozemsku a Jamajce, což byly státy známé svými

benevolentními zákony k držení a pěstování konopí ještě deset let nazpět. Moderní konopný průmysl dnes nalezneme v USA, Kanadě, Jihoafrické republice nebo Mexiku. Profesionální konopný průmysl je postavený z drtivé většiny na pěstování v uzavřeném kontrolovaném prostředí např. růstových komor, stanů nebo skleníků (Green G., 2009). Takovýto způsob pěstování je běžně označován jako indoor pěstování.

V minulosti byl vyvíjen tlak na pěstování konopí ve vnitřních podmínkách nejen kvůli větším výnosům, ale také se v uzavřených prostorách produkce konopí ukrývala před zrakem zákona a celkové veřejnosti pro svoji nelegálnost (Magagnini et al., 2018).

Proces pěstování začíná generativním způsobem množení ze semen nebo vegetativním způsobem množení prostřednictvím řízků z mateční rostliny. Na kvalitě koncového produktu se podepisuje genetická výbava i vnější faktory během celého životního cyklu rostliny a zpracování produktu po sklizni. Kvalitou je míněný obsah požadovaných účinných látek jako jsou kanabinoidy a terpeny. Nizozemská vláda vydala systémy a normy zajišťující kvalitativní standardizaci pro pěstování, sklizeň a zpracování konopí. Zahrnují pravidla pro zachování genetického kmene rostliny, výběr pěstebních médií, fotoperiodu, intenzitu, barvu a teplotu pěstebního osvětlení, vlhkost i teplotu v pěstebním prostoru, cirkulaci vzduchu, stáří rostliny v době pěstování a jejího růstu, sklizeň a její doba, podmínky během sušení (Jin et al. 2019). Všem těmto faktorům bych se chtěl v této kapitole detailně věnovat, přičemž budu zároveň vycházet z vlastní zkušenosti z pěstírny léčebného konopí České zemědělské univerzity.

5.1. Světlo

Světlo svým působením na fotosyntézu a fotomorfogenezi ovlivňuje sekundární metabolismus rostlin. Je jedním z faktorů určujících úspěšnost a kvalitu produkce. Zároveň má vliv na všechny ostatní pěstební faktory, což podtrhuje jeho důležitost a nutnost se na něj detailně zaměřit při zřizování nového pěstebního prostoru a jeho vybavení (Jin et al., 2019).

V interiéru je možné pěstovat rostliny pomocí přirozeného světla nebo umělého světla. Přičemž umělé světlo vykazuje mnohem vyšší výnosy, protože pod umělým světlem se zvyšuje objem a velikost květů a zároveň zvyšuje procentuální zastoupení THC. To vše v případě, že rostlinám je dodáváno odpovídající spektrum světla s dostatečnou intenzitou. Požadavky rostliny na spektrum světla se mění v závislosti na jejím vývojovém stádiu. Jedinou opravdovou výhodou pěstování rostlin pod přirozeným světlem je to, že je zdarma. Elektřina zdarma není a nákup kvalitních světel také není levnou záležitostí (Green G., 2009).

Konopí je velmi náročná plodina na světlo. Světelná energie zabírá v pěstírnách konopí 79-86 % z celého množství spotřebované energie (Magagnini et al., 2018).

Při výběru světelných zářičů a jejich konfiguraci bereme ohled na požadavky rostlin, na možnosti, které nám nabízí prostor, který máme pro tuto činnost vyhrazený a v neposlední řadě finanční možnosti. Světelné faktory, jež mají vliv na vývoj rostlin jsou kvalita světla neboli jeho spektrální složení, jeho intenzita a fotoperioda ozáření (Jin et al., 2019).

5.1.1. Světelná fotoperioda

Fotoperioda je střídání dvou period, a to periody světla a periody tmy. Konopí seté (*Cannabis sativa* L.) je jednou z fotoperiodických plodin, které sladí svůj vývoj s množstvím a

načasováním světla, kterému jsou vystaveny. Jedná se o krátkodenní rostlinu a takové rostliny jsou charakteristické reakcí na snížení přísunu denního světla. Reakcí takovýchto rostlin je přesun zdrojů z vegetativního růstu na reprodukční. Optimální načasování vývoje rostliny pěstitelům pomáhá minimalizovat náklady k dosažení kvalitní produkce (Dang et al. 2022).

Životní cyklus průmyslově pěstovaného konopí se dělí do čtyř fází. Nicméně fotoperioda hraje důležitou roli ve dvou fázích a v přechodu z jedné do druhé. Těmito fázemi jsou fáze vegetativního růstu a fáze reprodukční neboli fáze kvetení. Během vegetativní fáze se rostlinám dostává 18–24 hodin světla a dokud budou pod touto periodou ve vegetativní fázi setrvávají. Běžně většina odrůd setrvává ve vegetativní fázi od 2 do 4 týdnů. Poté by mohly být rostliny už příliš vysoké a světlo by se nedostávalo až ke spodním částem rostlin. Během týdnů vegetativního růstu by měly rostliny dorůst od 30 do 45 cm. V případě, že se pěstitel rozhodne podnitit rostlinu k přesunu do fáze reprodukčního růstu, zkrátí periodu světla na 12 hodin (Cervantes, 2006).

Pro začátek kvetení je mnohem důležitější než světelná perioda období tmy, které musí být dlouhé (min. 12 hodin) a nepřerušované žádným zdrojem světla. Rostliny konopí jsou citlivé na sebemenší světelné zdroje, a i to může ovlivnit kvalitu výsledné produkce. Pěstitelé běžně pro iniciaci kvetení používají periodu 12 hodin dlouho. Není však úplně známo, zda je tato doba periody optimální pro všechny genotypy konopí. Fotoperioda různých genotypů se může lišit v závislosti na zeměpisné šířce lokality jejich původu. Například konopí francouzského původu má kritickou fotoperiodu mezi 14,0 a 15,5 hodinami. Thajské má kritickou fotoperiodu mezi 11. a 12. hodinou a středomořské konopí ji má během 14. hodiny mezi 24. minutou a 54. minutou. Některé genotypy tak mohou těžit z delší fotosyntézy, která jim umožňuje větší členitost a nárůst biomasy rostlí. Také je podstatné, že rychleji dosahují zralosti, a tak získávají kvalitnější a větší podíl produkce (Moher, Jones, et al., 2021).

5.1.2. Světelné spektrum

Rostliny reagují na viditelné světelné záření v rozmezí 400-700 nm, světlo v takovém spektrálním rozmezí nazýváme fotosynteticky aktivní záření a v odborné literatuře ho často nalezneme pod anglickou zkratkou PAR (Photosynthetic Active Radiation). Rostlinný proces, který kvalita světla ovlivňuje ze všeho nejvíce, je fotomorfogeneze, což je vliv světla na vývoj rostlin a jejich fyziologii. Díky spektrálnímu složení světla se uvádějí do chodu vývojové procesy jako např. přechod z vegetativní fáze do fáze květu. Ovlivňuje elongaci, stomatální vodivost, expanzi listů a sekundární metabolismus. Vliv různých částí světelného spektra je dobré znát, protože ovlivňuje profil terapeutických sloučenin (Danziger & Bernstein, 2021).

Různé spektrální barvy světla mají rozličný vliv na vývoj rostliny. Vliv působení modrého světla na rostliny má za následek zkrácení internodií a zvýšení kompaktnosti rostliny, naproti tomu nízké červené (650-700 nm), daleko červené (700-750 nm) a zelené světlo (600-650 nm) podporuje prodlužování stonku a listů, protože vyvolává symptomy syndromu vyhýbání se stínu a předčasné kvetení (Magagnini et al., 2018). Působení ultrafialového záření A v rozmezí 315-400 nm (UVA) má protektivní vliv proti negativnímu působení ultrafialového

záření B (UVB) (Rodriguez-Morrison et al. 2021), které se vyskytuje v rozmezí 280-315 nm (Jin et al. 2019).

V předešlé kapitole, která se týkala fotoperiody rostlin konopí, jsem zmínil dvě důležité fáze, a to fázi vegetativní a fázi květu. Obě tyto fáze mají odlišné nároky nejen na dobu ozáření, ale i na spektrální složení světla, které ho se jim dostává.

Během vegetativní fáze je důležitá modrá část světelného spektra, která ovlivňuje tvar rostliny způsobem, který rostlinám napomáhá v další fázi lépe snášet tíhu rostoucích květů. Modré spektrum je také výhodnější, protože ho chlorofyl dokáže efektivně pohlcovat a rostlina přetvořit na energii. Nicméně nelze spoléhat, že přísun pouze modrého světelného spektra nám zajistí plnohodnotné výsledky. Čím se jednotlivé fáze liší jsou poměry zastoupení vlnových délek. Při vegetativní fázi se vyplatí dominantní zastoupení modrého světla, ale nesmíme zapomenout na červené i zelené světlo (Lalge et al. 2017). Červené světlo urychluje fotosyntézu, ale musí zůstat v minoritním zastoupení, aby se neprojevil jeho vliv na morfologii rostlin. Zelené světlo je opravdu méně důležité, protože ho rostliny nedokážou efektivně využít. Na rozdíl od červené a modré části spektra, ale dokáže proniknout do spodních vrstev listové plochy a zde v omezené míře rostlinu vyživit. Zelené světlo je lepší ponechat v minoritním zastoupení v jakékoli fázi růstu rostliny, protože při vyšších dávkách světla dochází ke zpomalení sekundárního metabolismu (Zhang T. & Folta K.M., 2012).

V květní fázi je důležité změnit poměr červeného a modrého světla na dominantní postavení červeného světla, které podněcuje v rostlinách kvetení. V souvislosti s červeným světlem se často zmiňuje jeho poměr se vzdáleně červeným světlem, ale nepodařilo se prokázat vliv tohoto poměru na dobu kvetení. Tento poměr hraje prokazatelnou roli v morfologii rostliny.

Spektrum nemá vliv jen na morfologické změny, ale také na metabolické pochody rostlin. Světelné spektrum rostlina vnímá pomocí fotoreceptorů, jako jsou fytochromy, kryptochromy, fototropiny a UVR8 neboli ultraviolet-B receptor. Tyto patří mezi nejlépe prostudované fotoreceptory, které se vyskytují ve vyšších rostlinách. Fytochromy jsou fotoreceptory, které reagují na červenou a vzdáleně červenou část spektra. Reakce rostliny na příjem tohoto světelného záření je regulace kvetení, syndrom vyhýbání se stínu a klíčení u mnoha druhů rostlin. Fotoreceptory kryptochrom a fototropin reagují převážně na zelenou a modrou část světelného spektra. UVR8 je fotoreceptorem UV-B záření, které indukuje v rostlině metabolické aktivity jako je syntéza fenolických sloučenin. To posiluje obranný mechanismus rostliny, protože fenolické sloučeniny mají v rostlinách antioxidační, bakteriostatické a fungicidní vlastnosti (Magagnini et al. 2018).

Působení UVB záření má mít dle práce Pate (1983) efekt na zvyšování procentuálního zastoupení kanabinoidu THC. Předpokládá se, že má UV protektivní vlastnosti (Jin et al. 2019). THC a další majoritně zastoupené kanabinoidy jako CBD, CBG hrají určitou úlohu v obranném mechanismu rostlin a mají antioxidační účinky (Magagnini et al. 2018).

Světelné spektrum (kvalita světla) má vliv na procentuální zastoupení kanabinoidů a některé morfologické znaky rostlin, ale důležitým faktorem, který ovlivňuje velikost výnosů je intenzita světla.

5.1.3. Světelná intenzita

Intenzita světla má velký vliv na efektivitu fotosyntézy, která úzce souvisí s objemem výnosů. Běžně používanou veličinou intenzity pěstebního světla je PPF (Photosynthetic photon flux density), která popisuje kolik fotonů světla dopadne na jeden metr čtvereční za jednu sekundu. Jednotkou PPF je $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Intenzita světla každého zářiče je závislá na jeho výkonosti a nelze spoléhat na zobecněná pravidla amatérských pěstitelů, která říkají, že stačí zavěsit světelný zářič 30 cm nad vrcholky rostlin. Lidské oko není schopné rozpoznat rozdíl vyšších dávek světelné intenzity i v případě, že se dva světelné zdroje liší o několik řádů jednotek $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Bugbee, 2020).

Jak bylo již zmíněno, intenzita je pro efektivnost fotosyntézy velmi důležitá, ale neplatí, že čím vyšší intenzita světla tím efektivnější čistá fotosyntéza. Nicméně konopí seté (*Cannabis sativa* L.) je rostlina, která prosperuje za velmi vysoké intenzity světla i teploty. Čistá fotosyntéza konopí i účinnost využití vody v rostlině se zefektivňuje až do hodnot kolem 1500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Taková hodnota intenzity světla v uzavřeném prostředí se sebou přináší zvýšené náklady na ostatní pěstební faktory, jako je vlhkost či teplota prostředí. Další veličina spojená s intenzitou světla je DLI (Day Light Integral), která nám udává množství fotonů, které dopadlo na jeden metr čtvereční za jeden den (Mitchell Westmoreland et al., 2021).

Z hlediska spotřeby elektrické energie je na tom vegetativní neboli růstová fáze nejhůře a to, protože v porovnání s fází předpěstování řízků nebo germinací semen se zde využívá světelné záření o větší intenzitě a v porovnání s generativní fází má delší fotoperiodu. Výška rostlin i jejich růstový index se zvyšují, dokud intenzita světla nedosáhne hodnot kolem 600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, poté zase začnou pozvolně klesat. S růstem intenzity světla se zvyšuje členitost rostlin, tloušťka stonku a hmotnost sušiny nadzemní části rostliny, ale také dochází ke zkracování internodií a snižování obsahu vody v nadzemních tkáních. Asimilační plocha listů se s rostoucí intenzitou světla zmenšuje, nicméně v listech se zvyšuje obsah chlorofylu. Hladina intenzity světla pohybující se kolem 900 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ už je schopna zajistit produkci kompaktních, robustních rostlin, které jsou relevantní z komerčního hlediska. Díky působení nižší hladiny intenzity světla kolem 600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ je možné produkovat rostliny s otevřenější stavbou těla, která dopomáhá k lepšímu proudění vzduchu a snížení rizika rozšíření plísní a patogenů u rostlin s kompaktním genotypem (Moher et al., 2021).

Světelná energie ohřívá povrch listové plochy a s přibývajícím intenzitou se teplota na povrchu listů zvyšuje, což je jeden z dalších faktorů efektivní fotosyntézy. Čistá fotosyntéza rostliny se zvyšuje se zvyšující se intenzitou světla a teplotou od 20 °C do 25 °C. Dosáhne-li teplota povrchu listové plochy 30 °C, intenzita světla se pravděpodobně pohybuje kolem hodnoty 1500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ a toto je pro velkou část odrůd konopí hraniční hodnota. Zvyšují-li se nadále hodnoty světelné intenzity a teploty přes tuto hranici, tak se sice zrychluje rychlost transpirace rostliny, ale stomatální vodivost se přestala zvyšovat při překročení hranice 30 °C. Zvyšující se PPF při teplotách vyšších jak 35 °C začíná mít nepříznivý vliv na efektivitu čisté fotosyntézy a účinného využití vody. Dosud se nepodařilo potvrdit vztah mezi zvyšující se efektivitou fotosyntézy a vyššími výtěžky kanabinoidů v látkovém profilu rostliny (Jin et al., 2019).

5.1.4. Pěstební světelné zářiče

K zářičům, které se běžně pro indoor pěstování používají, patří fluorescenční zářivky (FL - fluorescent lights), halogenidové výbojky (MH - metal halide) a vysokotlaké sodíkové výbojky (HPS – high pressure sodium). Všechny tři typy osvětlení se liší v efektivitě přetváření elektrické energie na fotosynteticky aktivní záření a ve spektrálním složení vyzařovaného světla. Tím, co určuje spektrální složení u kompaktních fluorescenčních zářivek (CFL – compact fluorescent lights) je typ fosforu, jímž byla žárovka potažena. Halogenidové výbojky nevypouštějí dostatečné množství červeného spektra, aby vyprodukovaly významnější výnosy květové hmoty, zatímco vysokotlaké sodíkové výbojky vydávají světelné záření v převážně žlutém, oranžovém a červeném spektru, které podněcuje v rostlině kvetení a v souladu s dalšími příznivými podmínkami produkují větší výnosy květové hmoty. Je možné kombinovat více typů světelných zářičů pro dosažení větší variability vlnových délek (Jin et al., 2019).

Fluorescenční zářivky se běžně používají k ozařování klonů, germinaci semen a ozařování menších rostlin ve vegetativní fázi. Jako zdroj světla pro klony, mateřské rostliny a rostliny ve vegetativní fázi mohou být využity i kompaktní fluorescenční zářivky, které mohou sloužit i v květní fázi rostlin, pokud jsou umístěny dostatečně blízko. Přesto nejvyužívanějšími pěstebními zářiči pro fázi vegetace a kvetení jsou vysoce intenzivní výbojky (HID), do kterých jsou řazeny jak halogenidové, tak vysokotlaké sodíkové výbojky. Světlo ubývá exponenciálně na síle s tím, jak se vzdaluje od zdroje. Často preferovanými jsou 400wattové a 600wattové zářiče. Zářiče s nižším výkonem než 400 wattů jsou málo efektivní v přeměně elektrické energie na světelné záření. Taková přeměna energie je vyjádřena pomocí LPW, tedy konverze wattů na lumeny, přičemž lumen je jednotka světelného toku. Dva zářiče s nižším výkonem (400-600 W) dokážou ozářit pěstební prostor lépe než jeden zářič s vyšším výkonem (1000 W), který musí být umístěn do výšky 60-90 cm nad vrcholky rostlin. Méně výkonné 400wattové zářiče by měli být umístěny do výšky 30-60 cm nad rostlinami. Přiblížení zářiče o 30 cm k rostlinám znamená zdvojnásobení světelné intenzity, které jsou vystaveny (Green G., 2009).

5.1.4.1. Fluorescenční zářivky (FL – Fluorescent Light)

Fluorescenční trubice nejsou příliš náročné na spotřebu elektrické energie. Jejich příkon se pohybuje maximálně kolem hodnoty 100 W. To má však vliv na výkon a intenzitu vydávaného světla. Takovéto zářiče jsou efektivní, ale jen v omezeném rozpětí vlnových délek. Klony a semena pro vyklíčení nevyžadují vysokou intenzitu světla, ale jsou závislé na délce fotoperiody, proto jsou pro jejich pěstování fluorescenční zářivky nejvhodnějšími ze všech pěstebních zářičů (Vandre W., 1991).

Fluorescenční zářivka se skládá ze zářivkové trubice, která je naplněna vzácnými plyny. Využívá se převážně argon, ale i rtuť nebo fosfor. Prostor uvnitř trubice je pod nízkým tlakem (cca 100 Pa). Na obou koncích trubice jsou elektrody, které jsou pokryty vrstvou oxidů barya, stroncia a vápníku, které při vysokých teplotách spolehlivě emitují elektrony. Zavedením elektrické energie do těchto elektrod mezi nimi vzniká plazma. Její UV záření je absorbováno fluorescenčním povlakem uvnitř skleněné trubice, který vyzařuje bílé světlo. K použití takových zářivek je potřeba externích komponentů jako jsou předřadníky, které omezují plazmový proud a startéry, které pomáhají k zažehnutí plazmy (Plihon et al., 2017).

Je možné navrhnout trubice zářivek tak, aby emitovaly část vlnového spektra dle našeho výběru. Nicméně bylo prokázáno, že zvýšení zastoupení modrého a červeného spektra u fluorescenčních zářivek má jen zanedbatelný vliv na růst rostlin. Výsledky těchto částí spektra jsou srovnatelné s obyčejným bílým fluorescenčním světlem, které zářivky běžně emitují (Vandre W., 1991).

Fluorescenční zářivky se umisťují do bezprostřední blízkosti rostlin, protože mají nižší intenzitu světla a vyhovují tomu i svým podlouhlým tvarem, který jim umožňuje z blízka ozařovat vyšší počet rostlin. Mezi ty používanější a výkonnější patří zářivky s označením T8 a T5, které mohou být ve vzdálenosti 20-30 cm od rostlin. Většina fluorescenčních zářivek má životnost 20 000 až 30 000 hodin. Průměrně zářivky vydrží používání 24 hodin každý den, po dobu dvou let a poté je potřeba je vyměnit (Cervantes, 2006).

5.1.4.2. Kompaktní fluorescenční zářivky (CFL – Compact Fluorescent Light)

Podobně jako je tomu u fluorescenčních zářivek se ty kompaktní využívají k ozařování semen během klíčení a k vypěstování klonů. Jsou v porovnání s fluorescenčními zářivkami kratší, ale přesto mohou být výkonnější a dokážou ozařit více rostlin z větší vzdálenosti. Průměrná délka takových zářivek se pohybuje v rozpětí mezi 15 a 50 cm. Řadí se podle výkonosti do tří základních kategorií. V té první jsou zářivky s nižším výkonem, a to hodnotách mezi 56-65 W. Takové zářivky se umisťují k rostlinám do blízkosti 4-6 cm a pokryjí prostor o rozměrech 30 x 30 cm². Nejsou sice nejvýkonnější, ale pro předpěstování rostlin vystačí a nejsou v porovnání s více výkonnými zářivkami tak drahé. Druhá výkonnostní kategorie těchto zářivek se pohybuje mezi hodnotami 80-120 W. Takto výkonné zářivky se umisťují do vzdálenosti 6-9 cm od rostlin a pokrývají prostor o rozměrech 60 x 60 cm². Poslední nejvýkonnější kategorie se pohybuje v hodnotách od 150-200 W. Od rostlin už je držíme ve větší vzdálenosti asi 9-12 cm a pokryjí prostor o rozměrech 75 x 75 cm² (Cervantes, 2006).

5.1.4.3. Vysoce intenzivní výbojky (HID – High Intensity Discharge)

Tyto zářiče jsou dnes vyráběny pro profesionální pěstební účely. Jsou vyvíjeny a testovány za účelem pěstování v indoor kontrolovaných podmínkách a na trhu je celá řada značek, které nabízejí svoje více či méně profesionální technologie emitující potřebné vlnové délky světla. Tyto zářiče jako fluorescenční světla potřebují pro provoz ještě další komponenty, které se obvykle prodávají společně a jsou součástí jednoho nákupu. Nákup světelného zářiče se sestává z žárovky, reflektoru, předřadníku a časovače. I vysoce intenzivní výbojky jsou dostupné v různých velikostech a v různých výkonnostních kategoriích (Green G., 2009).

Vysoce intenzivní výbojky byly mezi roky 1970 a 1980 jediným dostačujícím zdrojem světelné energie pro pěstování plodin v indoor uzavřeném prostředí. Od té doby se již mnohé změnilo a dnes jsou rozšířeným pěstebním zářičem LED zářiče neboli Light Emitting Diode, kterým se budu věnovat v jedné z nadcházejících kapitol (Mitchell, 2022).

Halogenidové výbojky (MH) i vysokotlaké sodíkové výbojky (HPS) fungují na podobném principu jako tomu bylo u fluorescenčních lamp. Pro rozsvícení světla je potřeba elektrického výboje, který zažehne výpary plynů, které se postupně ohřívají až záření dosáhne své maximální intenzity (Hordeski M.F., 2004).

Vysokotlaké zářivky se využívají během vegetativní fáze rostlin i během fáze kvetení. Mezi ty nejpoužívanější patří halogenidové výbojky (MH), které mají bílé spektrum světla a vysokotlaké sodíkové výbojky (HPS), které mají spektrum žluté až červené. Běžně se používají halogenidové výbojky pro pěstování rostlin během jejich růstové fáze a pro konverzi do květní fáze se halogenidové výbojky vymění za vysokotlaké sodíkové výbojky nebo se HPS svítidla přidají k již fungujícím zářičům. Oba typy svítidel vyžadují předřadník, který se skládá z transformátoru, kondenzátoru a propojovacího elektrického vedení. U svítidel HPS můžeme také nalézt startér. U předřadníků 400 W, 600 W a 1000 W zářičů je zaznamenána vysoká poruchovost. Tato poruchovost se pohybuje kolem 10 % (Cervantes, 2006).

5.1.4.4. LED (Light Emitting Diodes)

V oboru pěstebního osvětlení nastala menší revoluce s objevem svítidla s diodami, které vydávají světlo s nastavitelným spektrem. Více spektrální osvětlení není jedinou výhodou LED svítidel. Oproti ostatním pěstebním zářičům jsou menší, odolnější s delší dobou životnosti a nižší mírou zahřívání během vyzařování. Světelné spektrum lze s více spektrálními zářiči LED přizpůsobit vývojové fázi rostliny a s ní spojeným požadavkům na světlo. Jedním z průkopníků, který se zasloužil o vypracování studií na téma LED byl Národní úřad pro letectví a vesmír federální vlády USA známý pod anglickou zkratkou NASA. Tento úřad si zvolil LED zářiče pro výzkum jejich užitečnosti při pěstování plodin ve vesmírném prostoru a jako součást podpory života na Marsu (Massa et al., n.d.).

Pěstební zářiče LED jsou tvořeny z elektroluminiscenčních diod, které převádějí elektrickou energii s vyšší účinností a s nižší cenou. Fungují na principu převodu elektronů mezi dvěma typy polovodičů s rozdílnými energetickými hladinami. Proud elektrické energie je veden jedním směrem, a to z polovodiče s vyšší energetickou hladinou na polovodič s nižší energetickou hladinou a tímto způsobem vzniká přebytek energie, který je vyzařován ve formě vlnění mimo materiál. Spektrum tohoto vlnění lze ovlivnit zvolením určité chemické příměsi polovodiče. Tímto způsobem je možné, aby LED zářiče vyzařovaly infračervené světlo, ultrafialové světlo nebo jakoukoliv část viditelného světla (Bessho M. & Shimizu K., 2012).

Ve srovnání LED svítidel s HPS se ukázalo, že výnosy rostlin pěstovaných pod LED zářiči byly nižší než výnosy rostlin pěstovaných pod výbojkami HPS, a to, protože LED při záření vydávají méně tepla do pěstebního prostředí a udržuje se tak nižší rychlost evapotranspirace, čisté fotosyntézy, což má vliv na velikost konečných výnosů. Naopak rostliny pěstované pod LED zářiči zaznamenaly vyšší hmotnostní podíly THC. Tento úkaz byl způsoben vhodným spektrálním složením tohoto typu LED zářičů. Při pokusech, které ověřily zmíněná fakta o odlišném vlivu zářičů LED a HPS na rostliny byly použity dva LED zářiče s odlišnými spektry vyzařovaného světla. Jedním z těchto dvou typů LED zářičů byl AP673L, který vyzařuje 93 % PAR s vysokou koncentrací oranžového a červeného světla, s nižší koncentrací zelené a žluté, a úplně nejnižší koncentrací fialovomodrého světla. Tím druhým byl typ LED spektra zvaný NS1, který má zastoupení oranžovo černého světla, zeleno žlutého i modrofialového světla v podobné výši a dohromady tyto vlnové délky tvoří 94 % z celého spektra emitovaného záření. Spektrum tohoto typu obsahuje krom vlnových délek viditelného světla i záření UVA, a to v zastoupení 2 %. (Jin et al., 2019).

5.2. Atmosféra pěstebního prostředí

K nejdůležitějším atmosférickým faktorům ovlivňujícím vývoj a výnosy rostliny v uzavřeném prostředí jsou koncentrace CO₂, vlhkost vzduchu a cirkulace vzduchu.

5.2.1. Koncentrace CO₂

Oxid uhličitý je pohlcován rostlinami ze vzduchu a i přesto, že je energeticky chudý a jednoduché rostliny z něj za přispění sluneční energie dokáží syntetizovat energeticky bohaté a složité organické látky jako jsou cukry, bílkoviny, tuky atd. Toto je stručný popis funkce fotosyntézy, pro kterou je CO₂ nezbytný a tím pádem i pro život jakékoliv rostliny. Rychlost absorpce oxidu uhličitého z atmosféry či rychlost fotosyntézy je často používána jako ukazatel rychlosti tvorby biomasy. Tato rychlost absorpce je vyjádřena množstvím pohlceného CO₂ (g) na jednotku plochy listů (m²) za určitý čas (s). Příjem 1 kg rostlinnou se projeví nárůstem její hmotnosti o 0,68 kg. Hmotnost CO₂ molekuly je tvořena asi z jedné čtvrtiny uhlíkem a v celé rostlině uhlík představuje 40 % suché biomasy (Nátr L 2006).

Konopí seté (*Cannabis sativa* L.) patří mezi rostliny s fotosyntetickým systémem C3. Rostliny s fotosyntetickým systémem C3 dokáží využívat zvýšených koncentrací CO₂ v prostředí pěstírny i světového klimatu pro svůj užitek na rozdíl od rostlin se systémem C4, které rostou při vysokých teplotách i vysoké intenzitě záření, ale zvýšený podíl CO₂ v atmosféře jejich růst potlačuje (Chandra et al. 2008).

K roku 2020 se průměrná koncentrace CO₂ v atmosféře pohybovala v hodnotách mírně přes 400 ppm (Dunn et al., 2021). Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na růst konopí je komplexní záležitost, protože se zvýšením hodnot z průměrné koncentrace CO₂ okolo 400 ppm na koncentrace 545 ppm a až na 700 ppm dochází k mnoha fyziologickým procesům. Mezi ty, které se nejvýrazněji dotknou růstu rostliny je zvýšení rychlosti čisté fotosyntézy, zefektivnění využití vody a s tím i související menší ztráta vody. Také dochází ke snížení stomatální vodivosti. V souvislosti s posledně zmíněným fyziologickým procesem je nutné uvést, že se zvýšením koncentrace CO₂ v okolí rostliny se zvýší i koncentrace CO₂ v rostlinných buňkách, protože zachování stejného poměru hodnot stomatální vodivosti a vnitrobuněčné koncentrace CO₂ je ukazatelem reakce rostliny na zvýšení CO₂ beze stresu. Za správným poměrem stomatální vodivosti a vnitrobuněčné koncentrace CO₂ je úzká koordinace mezi stomatálními a mezofilními funkcemi, které regulují absorpci CO₂ a ztrátu vody v rostlinách (Chandra et al., 2011).

Rostliny konopí odpovídají na zvyšování koncentrací CO₂ pozitivně. Zvyšování urychluje čistou fotosyntézu a nárůst biomasy. Hypotetickou hranicí, ke které by mohla stoupat koncentrace CO₂ s pozitivním efektem na rostlinu sahá až k 10 000 ppm, avšak od hodnoty 3000 ppm začíná být množství CO₂ ve vzduchu škodlivé lidskému zdraví a hodnoty nad 5000 ppm jsou pro člověka smrtelné. Prakticky v případě, že pěstitel dodává rostlinám kvalitní světelné podmínky může zvýšit koncentraci CO₂ na hodnoty 1200-2000 ppm a na růst rostlin to bude mít pozitivní efekt. Rostliny mohou růst až o 30 % rychleji (Green G., 2009). Při zvýšených koncentracích CO₂ je možné zvýšit i průměrnou teplotu v pěstebním prostředí, a to na hodnoty mezi 29 a 32 °C. V případě, že koncentrace CO₂ nebude působit zároveň s odpovídajícím množstvím světla a hodnotách teploty mohlo by dojít ke škodě na rostlinách (Bugbee et al. 1994).

K zvýšení koncentrace CO₂ v pěstebním prostoru se používají speciální technologie, které jsou přesné a měří množství vypuštěného CO₂ do prostoru z láhve kde je plyn stlačený. Láhve s CO₂ se prodávají v různých objemech. Ty největší jsou láhve vyrobené z oceli a váží naplněné až 77 kg. Doporučuje se, aby byly tyto láhve kontrolovány jednou ročně. V případě, že se CO₂ vyloučí z láhve ve velkém množství nebo úplně, všechno reaguje s atmosférou za velmi nízkých teplot. CO₂ je těžší než vzduch a pokud má být rovnoměrně rozptýlen po pěstebním prostoru musíme zajistit spolehlivou cirkulaci vzduchu. Dalším prostředkem ke zvýšení CO₂ jsou systémy generátorů, které spalují zemní plyn nebo propen. Tyto systémy jsou levnější, ale při spalování dochází k vzniku tepla a vody. Oba systémy je potřeba ovládat ručně nebo je synchronizovat za pomoci časovačů, aby nedošlo k emitaci CO₂ při zhasnutých zářičích. To by mělo destruktivní dopad na celou produkci (Green G., 2009).

5.2.2. Výměna vzduchu

Cirkulace vzduchu je nezanedbatelným faktorem při zakládání indoor pěstebního prostředí. Je nutné ji udržovat jak pro dostatek čerstvého kyslíku, ale i pro rovnoměrné rozptýlení CO₂, odvodu přebytečného tepla způsobeného světelným zářením a odvodu vlhkosti. Správná cirkulace pomáhá vytvořit stejné podmínky v celém pěstebním prostoru a zabráňuje vzniku vlhčích nebo teplejších míst, které by mohly negativně ovlivnit část rostlinné produkce a také vytváří nehostinné prostředí pro plísně a škůdce, kterým vyhovuje stojatý vzduch, teplo a vlhko. Dalším pozitivním efektem je, že proudící vzduch pomáhá k vytvoření silnějších stonků, které jsou nucené odolávat síle proudícího vzduchu. To je důležité v květní fázi, kdy silné stonky lépe odolávají tíže květů, které nabývají na hmotnosti (Adams P., 2012).

V případě, že pěstitel cirkulaci vzduchu podcení nebo ji úplně ignoruje, zadělává si tak na problémy spojené se škůdci, nemocemi jako je např. padlí, což je houbová choroba projevující se bílým povlakem po celém porostu rostliny. Dalším častým efektem špatné cirkulace vzduchu jsou spálená místa na rostlinách, kde se nakumulovalo příliš tepla.

Pro správnou cirkulaci vzduchu je potřeba umístit do pěstebního prostoru odsávací ventilátor, který bude odpovídat svojí silou rozměrům pěstebního prostoru. K tomu, jak vybrat správný ventilátor pomůže výpočet objemu pěstebního prostoru (místnosti, stanu atd.). Sílu ventilátoru vybíráme tak, aby dokázal odsát výslednou hodnotu objemu pěstebního prostoru maximálně do 60 sekund. Dalším umístěním větracích zařízení rozhánějících vzduch do okolí, ještě více přispějeme k optimálním podmínkám v atmosféře pěstírny. Důležité je tyto zařízení nasměrovat směrem na rostliny, ale ne přímo na ně. Příliš velká síla pohybujícího se vzduchu by mohla způsobit defekt na listech rostliny nebo jinak negativně ovlivnit její vývoj (Green G., 2009).

Efektivitu odvádění vzduchu můžeme ovlivnit správným polohováním výfukové roury ventilátoru. Pokud budeme odvádět vzduch z pěstírny v krátkém úseku a v přímém směru, dokážeme využít plný potenciál ventilátoru. Pěstitelé občas používají uhlíkové filtry, které zachytávají charakteristickou vůni konopí, ale zároveň snižují efektivitu odvádění vzduchu (Adams P., 2012).

5.2.3. Vlhkost

Relativní vlhkost nám udává poměr aktuálního nasycení vzduchu vodními parami a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. Tento poměr je vyjádřen v procentech. Absolutní vlhkost zase udává, jaké množství vodních par obsahuje dané množství vzduchu. Tím, co zajímá profesionálního pěstitele více a přesně popisuje vliv kombinace vlhkosti a teploty na rostliny je „rozdíl tlaku vodních par“, v anglických odborných textech se používá zkratka VPD (vapor pressure deficit). Jeho jednotkou je jednotka tlaku kPa. VPD popisuje rozdíl mezi skutečným aktuálním nasycením vzduchu vodními parami a jeho maximální kapacitou za dané teploty. VPD má vliv na fyziologické funkce a procesy rostliny. Ovlivňuje otevírání listových průduchů, které mají na starosti výměnu CO₂ a vodních par. Tato výměna je jedním z faktorů efektivity čisté fotosyntézy a transportu živin v rostlině. Jak vysoká, tak i nízká VPD má v případě indoor pěstování negativní efekt na zdravotní stav rostlin. Příliš vysoká VPD způsobuje uzavírání stomatálních průduchů čímž se redukuje efektivita fotosyntézy a příliš vysoké hodnoty po dlouhou dobu vedou až ke vzniku nekrotických špiček listů a jejich vadnutí. Nicméně i nízká VPD vede ke snížení výnosů (Grossiord et al., 2020).

V každé vývojové fázi konopí hraje vlhkost důležitou roli. Od klíčení semene nebo vegetativního rozmnožování až po sklizeň. Nejvyšší vlhkost vyžadují juvenilní rostliny, následně požadavky vyvinutých rostlin mírně klesají (ElSohly et al. 2017). Mladé vegetativní řízků vyžadují pravidelný postřik a vlhkost jejich mikroklimatu by měla být mezi 70-75 % (Chandra et al. 2020), což koreluje s hodnotami 0,7-0,8 kPa VPD (Monteith & Unsworth 2013). Takové podmínky by měli být udrženy minimálně do chvíle, než klony poctivě nezakoření. Ve fázi vegetativní a reprodukční rostliny již vyžadují nižší hodnoty relativní vlhkosti a to mezi 55-60 % (Chandra et al. 2020), což odpovídá v hodnotách VPD 1,3-1,4 kPa (Monteith & Unsworth 2013).

5.3. Živný roztok

Rostlina konopí prosperuje při vysokých teplotách i intenzitě ozáření, ale rozhodně se nejedná o suchomilnou rostlinu. Požadavky této plodiny na vodu i živiny jsou velké. Konopí vyžaduje dvojnásobnou až trojnásobnou závlahu oproti jiným komoditním plodinám jako je například kukuřice, pšenice nebo sója. Rostlina konopí ve venkovních podmínkách může spotřebovat až do 22,7 litrů za den. Tato hodnota se liší podle oblasti růstu a dalších faktorů (Zheng et al., 2021). Živiny, které rostlině dodáváme dělíme na makro- a mikro-prvky. Makro-prvky jsou pro rostliny stěžejní a nemohou bez nich přežít. K nim členíme dusík, fosfor, draslík, vápník, síru a hořčík. Méně důležité pro přežití rostliny jsou mikro-prvky, ale z pohledu produkčního pěstování jsou stejně důležité jako makro-prvky, a to proto, že bez nich nemůžeme dosáhnout velkých výnosů produkce. Mezi takové patří prvky jako jsou železo, mangan, měď, chlór, zinek, a kobalt (Adams 1993).

Důležitými faktory živného roztoku, které je potřeba pozorovat a přizpůsobovat je požadavkům rostlin tak, aby prospívaly co nejlépe jsou kyselost nebo zásaditost pH a elektrická vodivost, pro kterou je používána anglická zkratka EC (electric conductivity). Ideální hodnotou pH pro pěstování konopí v hydroponii se uvádí pH 5,8. Když je hodnota pH roztoku vyšší či nižší může dojít ke zhoršení nebo úplnému přerušení příjmu některých živin rostlinami. Je možné ovlivnit kyselost nebo zásaditost roztoku. Přidáním kyseliny je možné snížit pH rostliny,

pro takové účely se používá např: kys. fosforečná (H_3PO_4). Naopak přidáním hydroxidu draselného (KOH) je možné pH roztoku zvýšit (Texier W., 2015).

Hodnoty EC (elektrické vodivosti) udávají kolik minerálů je v roztoku. Jednotkou EC je mS/m^3 (milisiemens na m^3). Hodnota EC pěstiteli pomáhá určit množství hnojiv, které má použít do daného množství vody. Ideální EC pro pěstování konopí se pohybuje v rozmezí od 0,8-2,5 mS/m^3 . Pokud je hodnota Ec příliš vysoká ve vodě bez jakýchkoliv aditiv, je nutné vodu demineralizovat, a to za pomoci reverzní osmózy (Texier W., 2015).

6. Metodika

6.1. Experimentální pěstební prostor

Pokus byl prováděn ve specializované pěstební laboratoři, která je rozdělena do čtyř pěstebních kójí a do místnosti, která je propojuje a zároveň v sobě obsahuje zázemí pro pracovníky laboratoře. Všechny kóje dosahují velikosti 15 m^2 a rozložení všech čtyř kójí je identické. Ve třech ze čtyř kójí zabírají prostor o rozměru 8 m^2 čtyři pěstební stoly každý o rozměrech 2 m^2 . Na jeden stůl je možné umístit 55 květníků o objemu 3,7 litru. V poslední kóji, také zvané kultivační místnost, jsou pouze dva pěstební stoly, které nesou mateřské rostliny. Ve zbytku prostoru této kóje je prostor pro vyhrazený vypěstování rostlinných řízků nebo klíčení semen a manipulační prostor. Celková výměra laboratorního pěstebního prostoru je 85 m^2 .

Rostliny jsou zavlažovány pomocí kapilárního systému, ve kterém je ke každé rostlině veden samostatný přívod živného roztoku, jež je zakončen jehlovým aplikátorem. Konstrukce pěstebního stolu umožňuje pěstiteli zvolit způsob využití živného roztoku. Je možné zvolit recyklační metodu, kdy živný roztok cirkuluje mezi rezervoárem a rostlinami nebo metodu „drain to waste“, kdy již použitý roztok odtéká do odpadního rezervoáru a již není využit.

Klima pěstebního prostoru, do kterého se řadí jednotlivé faktory jako je koncentrace CO_2 , vzdušná vlhkost, teplota byly během pokusu udržovány na požadované hladině pomocí vzduchotechnické jednotky, která zároveň pravidelně tyto hodnoty zaznamenávala. Atmosféra uvnitř pěstebního prostoru byla obohacována o CO_2 pomocí generátoru, který spaluje metan. Pěstební prostor je vybaven senzorem, který nepřetržitě zaznamenával hladiny CO_2 a udržoval je v požadovaných mezích.

K pěstování rostlin byla využita světla v počtu šesti. Jednalo se o typ High Pressure Sodium (HPS) výbojek, jež měli výkon 1000 W, které rostliny ozařovaly plným světelným spektrem. Na základě počtu světel a jejich výkonu bylo vypočteno PPF (photosynthetic photon flux density) o hodnotě 1029 $\mu mol/m^2/s$ v celém pěstebním prostoru. Též světelný režim byl nepřetržitě zaznamenáván.

6.2. Pěstování a výživa rostlin

6.2.1. Cyklus č. 1

Rostlinné řízků druhu *Cannabis sativa var. indica* byly odděleny z mateřských rostlin a předpěstovány v kultivační místnosti. Celkový počet předpěstovaných rostlin byl 220. Všechny tyto řízků byly předpěstovány po dobu 21 dní během, kterých zakořenily v rockwoolových kostkách o rozměrech 4 x 4 cm, jenž byly položeny v pěstebních nádobách obsahujících perlit.

Zakořeněné klony byly vsazeny do květníku o objemu 3,7 litru s keramzitem k datu 18.12.2019. Následovala sedmidenní fáze vegetace, která byla ukončena 25.12.2019. Během této fáze byla nastavena světelná fotoperioda na dobu 18 hodin světla a 6 hodin tmy. V době světelné expozice rostlin byla teplota nastavena na 25 °C a v období tmy na 22 °C. Relativní vlhkost byla udržována na hladině 40 %.

Pokus měl čtyři výživové varianty (varianta A, varianta B, varianta C a D). Každý stůl v pěstební kóji nesl jednu výživovou variantu. Výživové varianty se odlišovali v použitých hnojivech. Využity byly hnojiva Hydro A a Hydro B, Sugar Royal a Green Sensation. K optimalizaci hodnot pH byl používán zásaditý hydroxid draselný s 25 % K₂O, který měl obsah K 20,75 % čistého K. Pro získání kyselejšího roztoku byla používána kyselina fosforečná s obsahem rozpustného P₂O₅, který obsahuje 18 % čistého P. Hydroxid i kyselina byly od stejného výrobce. Jak se od sebe konkrétně lišily varianty je popsáno v tabulkách č. 2–5.

Živný roztok byl tvořen přimícháváním hnojiv do reverzně osmoticky upravené vody každý 7. den od prvního dne pokusu přesně podle schématu, který byl doporučen výrobcem hnojiv. Doporučené výživové schéma je popsáno v tabulce číslo 1. Speciálním kritériem při používání aditiva Sugar Royal bylo jeho přimíchávání na posledních 24 hodin před výměnou živného roztoku. Poslední týden cyklu byly rostliny zavlažovány pouze reversně osmotickou vodou. Hodnoty pH a Ec byly sledovány a zapisovány po každém namíchání živného roztoku a také den před jeho výměnou. Po namíchání čerstvého roztoku se vždy odebíral jeho vzorek.

S živným roztokem je v tomto systému nakládáno recyklačním způsobem, aby se využil maximální potenciál přidaných hnojiv. Časem se v živném roztoku kumulují živiny, které rostliny přijímají v menším množství po delší časové období.

6.2.2. Cyklus č. 2

Druhý cyklus probíhal za stejných podmínek, ve stejné pěstební místnosti jako 1. cyklus. Zakořeněné řízky byly vloženy do květníků s keramzitem k datu 1.6.2020, což byl i počátek vegetativní fáze, která trvala do 8.6.2020.

Druhý cyklus se liší od prvního metodou využití živného roztoku. Zvolená metoda „drain to waste“ odvádí živný roztok, který protekl přes kořenový systém do odpadního rezervoáru a rostliny vždy dostávají čerstvý roztok. Tato metoda je méně hospodárná, co se týče spotřeby vody a hnojiv, ale výměna živného roztoku není složitá jako přimíchávání nového hnojiva do již používaného živného roztoku jako je tomu u metody z 1. cyklu. U recyklačního systému může nezkušený pěstitel snadno udělat chybu. Odpadní roztok, který v recyklačním systému přitéká zpátky do rezervoáru neovlivňuje v systému „drain and waste“ stabilní hladinu pH, která zaznamenává do vyčerpání jen minimální výkyvy. Jedna dávka čerstvě namíchaného živného roztoku je vždy vyčerpána a vyměněna každý 2.-3. den.

6.3. Závlaha

Zavlažování rostlin zajišťoval přívod živného roztoku ke každé rostlině, který byl zakončen jehlovým aplikátorem. Časovač závlahy byl nastaven na 9 závlahových cyklů, které trvaly po dobu 60 sekund. Během této minuty bylo každé rostlině dodáno 94 ml živného

roztoku, což vychází na 846 ml roztoku dodaného jedné rostlině za jeden den. Závlaha byla sladěna se světelnou periodou, nicméně v posledních dvou zavlažovacích cyklech reprodukční fáze byla závlaha spuštěna během periody tmy.

6.4. Získání vzorků

Vzorky rostliny byly odebírány vždy po sedmi dnech, po celou dobu vegetačního cyklu. Při odběru vzorků se postupovalo pokaždé stejným způsobem. Z každé varianty byly odebrány tři rostliny. Rostliny se odebíraly ze tří sektorů pěstebního stolu tak, aby byl vybrán reprezentativní vzorek z přední, zadní a střední části stolu. Nemělo docházet k výběru dvou sousedních rostlin rostoucích po celou dobu vegetace v úzké blízkosti. Po odebrání rostliny přicházelo na řadu její zvažení za čerstvého stavu a pak zamrazení při teplotě $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ a uskladnění do doby analýzy. Před analýzou je každá rostlina usušena při stálé teplotě $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu jednoho týdne. Po usušení jsou rostliny rozděleny na stonky, listy a květy. Jsou zváženy a připraveny k analýzám. U rostlin proběhla analýza obsahu dusíku, kterou ve své práci nezohledňuji a analýza rostlin z hlediska obsahu kanabinoidů, jejíž výsledky popíší v nadcházející části mé práce společně s přírůstkem rostlinné biomasy během pěstebního celého procesu.

6.5. Určení a stanovení kanabinoidů

K určení obsažených kanabinoidů a jejich množství byla použita metoda dynamické macerace s následným stanovením obsahu kanabinoidů pomocí HPLC/DAD (high performance liquid chromatography with a diode-array detector) dle (Song L, 2022). Analýza byla prováděna na vzorcích nasbíraných po celou dobu vegetace. Analyzovány byly všechny květy z každé odebrané rostliny. Do doby, než rostliny nesly květy (do 4. týdne vegetace) byly analyzovány listy rostlin. Nejprve byl vzorek homogenizován nadrcením v třecí misce s tloučkem za přítomnosti tekutého dusíku na jemný prášek. Dále jsme 0,150 g navážky vzorku aplikovali do 50 ml kádinky a vzorek zakáplí 5 ml rozpouštědla (96% ethanol). Poté byl vzorek dynamicky macerován po dobu 60 minut, dále byl filtrován pomocí filtračního zařízení dle Mortona (pórovitost P16) a filtrát byl převeden do 50 ml kádinky. Do původních 0,150 g rostlinného materiálu bylo opět přidáno 5 ml rozpouštědla a vzorek byl dynamicky macerován dalších 60 minut. Tento proces je pro úspěšný výsledek potřeba zopakovat třikrát. Výsledek představuje směsný vzorek pocházející z 3 fázového procesu dynamické macerace v poměru 1:100 (V:W). Výsledný vzorek byl zředěn 20 x (96% ethanol) a zfiltrován pomocí stříkačkového filtru ($22\text{ }\mu\text{m}$) do laboratorních vialek. V této podobě je vzorek určen k analýze.

7. Výsledky

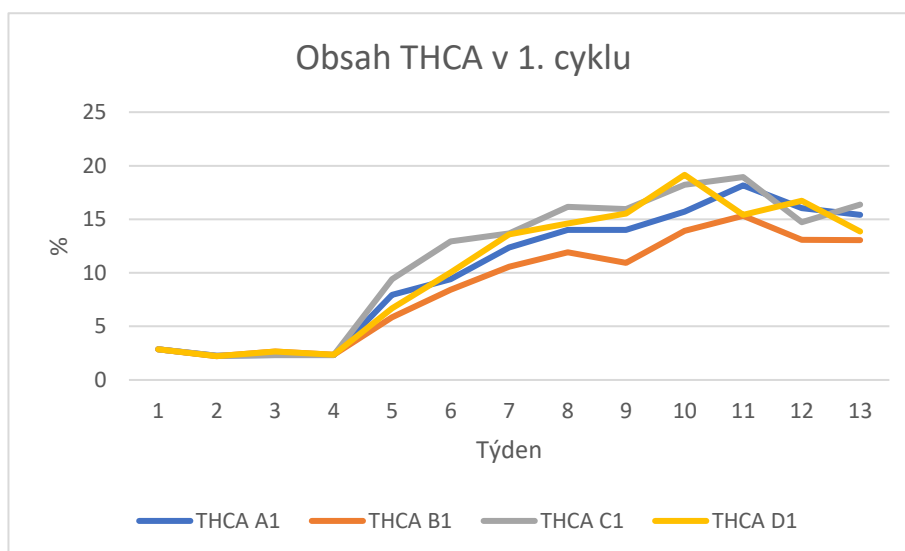
7.1. Výsledky analýzy kanabinoidů

Výsledkem analýzy bylo vyhodnocení obsahu dvou hlavních kanabinoidů THCA a CBD u rostlin druhu *Cannabis sativa* var. *indica* pěstovaných ve dvou odlišných cyklech. Výsledkem vyhodnocení je srovnání obsahu těchto dvou hlavních kanabinoidů mezi rostlinami z prvního a druhého cyklu, které se lišily v metodách využívání živného roztoku.

7.1.1. Cyklus č.1 (Recyklační systém)

7.1.1.1. THCA

U všech výživových variant se procentuální zastoupení tohoto kanabinoidu od 1. do 4. týdne výrazně neměnilo. Je možné si v těchto týdnech povšimnout korelujících hodnot variant A1 s hodnotami varianty C1 a korelace hodnot varianty B1 s hodnotami varianty D1. V 5. týdnu dochází u všech variant k prudkému nárůstu hodnot. V 6. týdnu se profiluje varianta C1 jako dominantní s nejvyšším přírůstkem obsahu THCA. Přírůstek obsahu THCA byl mezi 5. a 6. týdnem naměřen na 3,53 %. Tato varianta nadále dosáhla nejvyšších hodnot v 8., 11. a 13. týdnu. Variantou, která dosáhla absolutně nejvyšší hodnoty je varianta D1 a to v 10. týdnu, kdy dosáhla 19,150 % obsahu THCA. To je jen o něco málo víc, než bylo naměřeno u varianty C1 v nadcházejícím týdnu (11. týden). Naměřený obsah THCA v 11. týdnu u varianty C1 se rovnal 18,941 %. Přesto, že varianta D1 dosáhla nejvyššího obsahu THCA, varianta C1 měla napříč celým pěstebním cyklem stabilně vyšší hodnoty. Výjimky tvořily výsledky z 10. a 12. týdne. Průběh zaznamenaných výsledků obsahu kanabinoidu THCA je zaznamenán v grafu číslo 1.

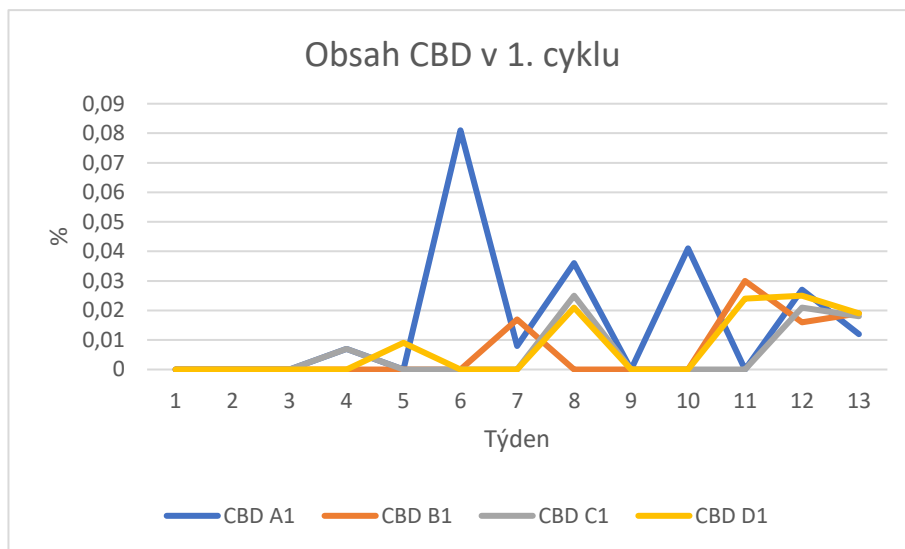


Graf č. 1: Vývoj přírůstku obsahu kanabinoidu THCA v 1. cyklu.

7.1.1.2. CBD

Graf číslo 2 vyobrazuje přírůstek hodnot kanabinoidu CBD, naměřené během celého 1. cyklu. Z grafu vyplývá, že obsah tohoto kanabinoidu byl ve vzorcích všech odrůd během týdnů pěstebního cyklu silně nestabilní. K nálezům nulových hodnot tohoto kanabinoidu docházelo u všech variant do 10.-11. týdne cyklu. Nejvýraznější variantou živného roztoku, co se týče procentuálního zastoupení CBD byla varianta A1. Tato varianta dosahovala pravidelně nejvyšších hodnot ze všech pozorovaných variant. Ke konci experimentu se varianta A1 propadla a dosáhla v posledním týdnu nejnižších hodnot obsahu CBD. Od ostatních se lišila o

pár setin procenta. Absolutního vrcholu procentuálního zastoupení CBD dosáhla varianta A1 v 6. týdnu. Naměřen byl obsah 0,081 % CBD.

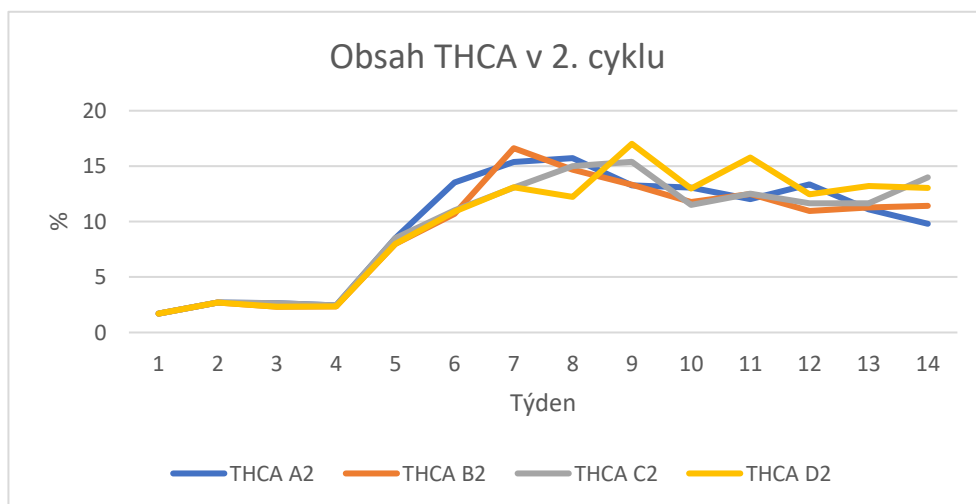


Graf č. 2: Vývoj obsahu kanabinoidu CBD v 1. cyklu.

7.1.2. Cyklus č.2 („Drain to waste“ system)

7.1.2.1. THCA

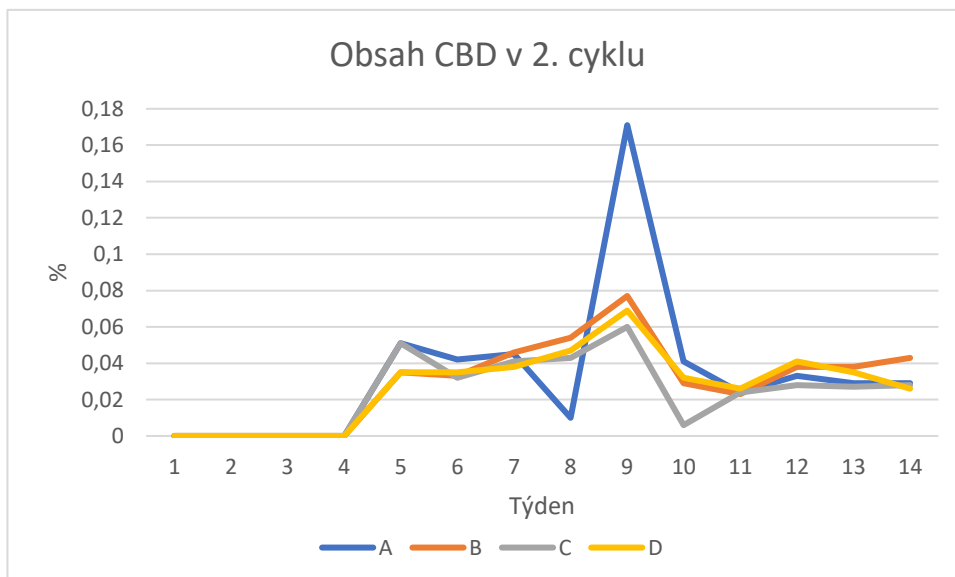
Podobně jako to bylo u hodnot kanabinoidu THCA v 1. cyklu se hodnoty od 1. do 4. týdne měnily jen minimálně a následující týden došlo k jejich rapidnímu nárůstu. Ve výsledcích 2. až 5. týdne jsou patrné korelace hodnot u varianty A2 s hodnotami varianty C2 a korelace hodnot varianty B2 a varianty D2. V 6. týdnu dosáhla nejvyšších hodnot varianta A2, která přesto, že v nadcházejícím týdnu stále mírně rostla byla překonána skokově rostoucí variantou B2, která v tento týden dosáhla nejvyšších hodnot a druhé nejvyšší hodnoty naměřené během 2. cyklu. Obsah varianty B2 byl v 7. týdnu 16,619 % THCA. Do konce 2. cyklu varianta B2 vykazovala téměř nejnižší hodnoty ze všech pozorovaných variant. Nejvyšší naměřenou hodnotou obsahu kanabinoidu THCA v 2. cyklu bylo 17,018 %. Tato hodnota byla naměřena 9. týden u varianty D2. Vývoj procentuálního zastoupení kanabinoidu THCA vyobrazuje graf číslo 3.



Graf č.3: Vývoj obsahu kanabinoidu THCA v 2. cyklu.

7.1.2.2. CBD

Z grafu číslo 4 vyplývá, že tento kanabinoid vykazoval v prvních čtyřech týdnech nulové procentuální zastoupení. V 5. týdnu hodnoty variant A2 a C2 korelovaly a hodnoty variant B2 a D2 také. K významnějším změnám došlo v 8. týdnu, kdy varianta A2 zaznamenala výrazný pokles zastoupení CBD. Ostatní varianty v 8. týdnu mírně stoupaly. 9. týden byl z procentuálního zastoupení CBD ve všech variantách vrcholový. Vyčnívající variantou, která dosáhla absolutního vrcholu se překvapivě stala varianta A2, která udělala velký hodnotový skok z 0,010 % na 0,171 % CBD. Po tomto vrcholovém týdnu přišel 10. týden, který se nesl ve znamení extrémního poklesu u všech variant. Po extrémním nárůstu hodnot u varianty A2 došlo téměř k symetrickému poklesu, co do množství hodnot CBD. Varianta A2 klesla z 0,171 % na 0,041 %. V 11. týdnu všechny varianty nadále mírně klesaly až na variantu C2, která měla od 9. týdne nejnižší hodnoty ze všech variant. V 11. týdnu se hodnoty všech variant setkaly na podobné procentuální hladině okolo 0,02425 % CBD. V posledních dvou týdnech cyklu dochází jen k mírným změnám. V posledním 14. týdnu mírně vyčnívá pouze Varianta B2, která dosáhla hodnoty 0,043 % CBD.



Graf č. 4: Vývoj obsahu kanabinoidu CBD v 2. cyklu.

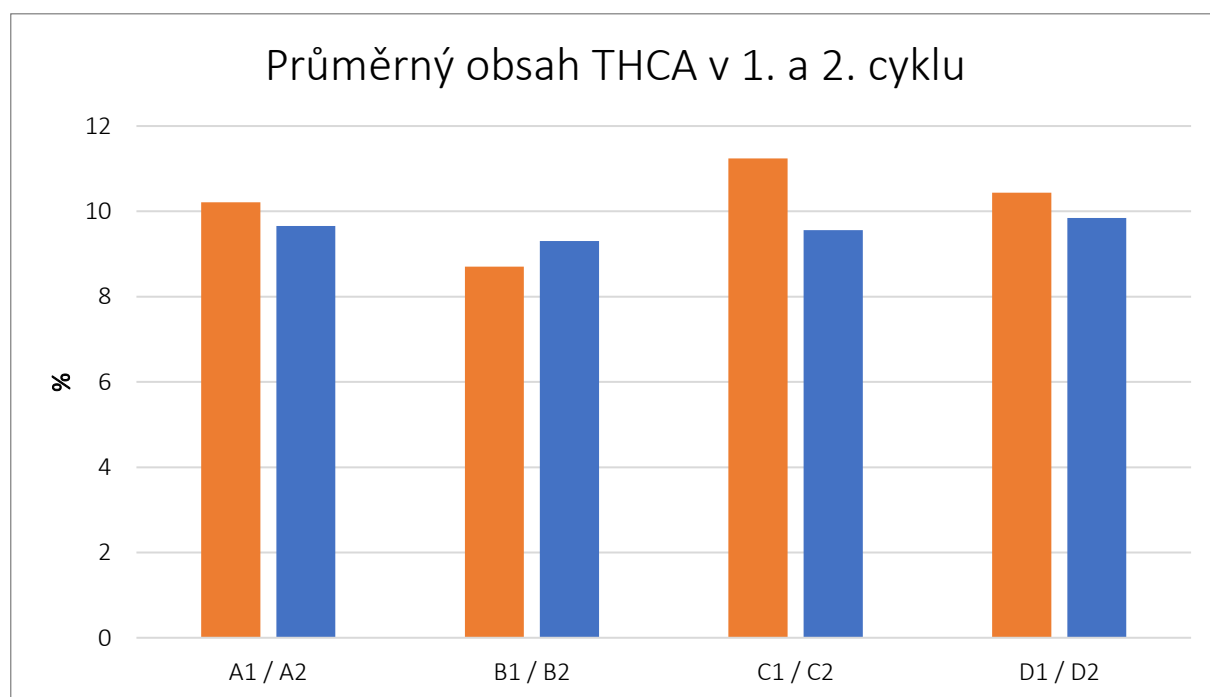
7.1.3. Srovnání obsahu kanabinoidů (THCA, CBD) mezi 1. a 2. cyklem

7.1.3.1. THCA

Srovnání recirkulujícího systému (1. cyklu) a systému „drain to waste“ (2. cyklu), co do procentuálního obsahu kanabinoidu THCA jasně ukazuje na silnější potenciál otevřeného recirkulujícího systému, který recykluje odpadní živný roztok. Rozdíly ve vývoji hodnot jsou v prvních pěti týdnech minimální. Hodnoty obou cyklů jsou do 4. týdne nízko a relativně stabilní. V 5. týdnu u obou cyklů dochází k poměrně velkému nárůstu hodnot. Hodnoty variant se, ale výrazně mezi cykly neliší. Mezi 6. a 9. týdnem hodnoty obou cyklů rostou, ale vyšších hodnot obecně dosahují varianty z 2. cyklu. Situace se změnila již s příchodem 10. týdne, kde hodnoty variant z 2. cyklu začaly klesat, ale hodnoty 1. cyklu nadále rostly. Varianta živného roztoku typu D1 dosáhla nejvyššího obsahu kanabinoidu THCA v celém experimentu. Do

konce experimentu varianta D1 spíše klesala, ale ostatní varianty z 1. cyklu dosáhly v 11. týdnu svého maxima. Oba cykly měly podobný trend vývoje měřených hodnot, nicméně varianta D1 dokázala v recirkulujícím systému rozvinout svůj živný potenciál a dosáhla nejvyšší hodnoty obsahu THCA, jak ve srovnání s variantami 1. cyklu, tak i s variantami 2. cyklu. Hodnota obsahu THCA u varianty D1 dosáhla 19,150 %. Nejvyšší naměřena hodnota 2. cyklu byla naměřena u varianty D2 a činila 17,018 % THCA. Z toho vyplývá, že varianta živného roztoku typu D je neefektivnější živnou variantou, co do vlivu na obsah kanabinoidu THCA v rostlině.

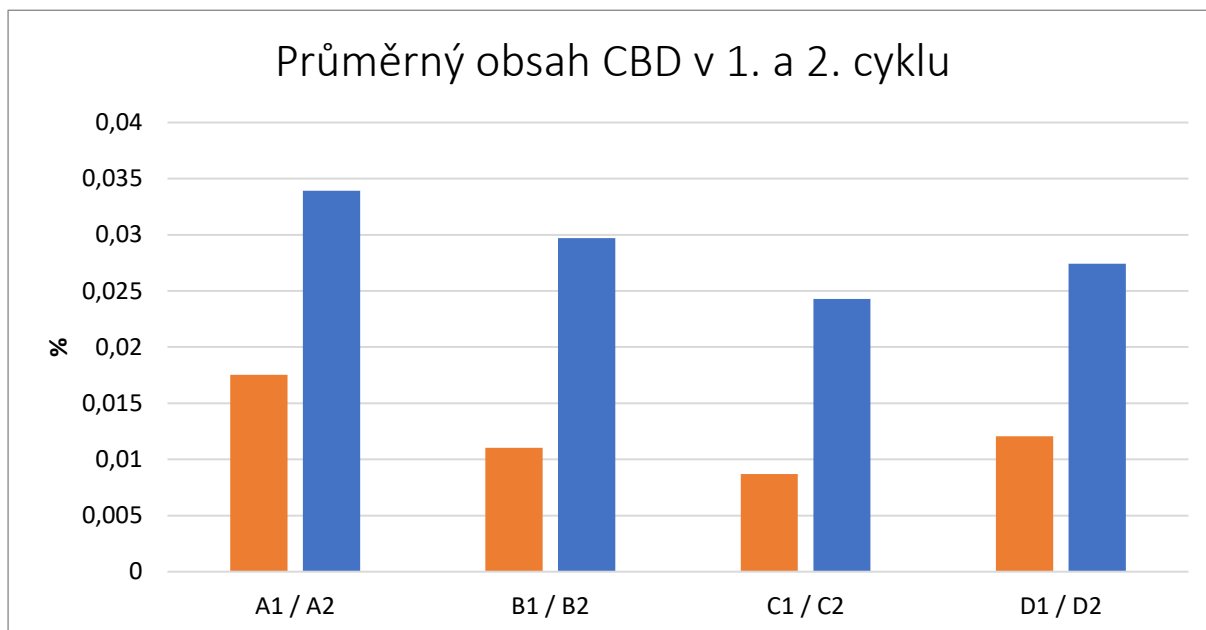
V grafu číslo 5 jsou znázorněny průměrné procentuální hodnoty obsahu kanabinoidu THCA u všech variant z obou cyklů. Z grafu je patrné, že průměrné hodnoty uzavřeného hydroponického systému budou v průměru vyšší než hodnoty otevřeného systému. Průměrná hodnota THCA v 1. cyklu se rovná 10,149 % a v 2. cyklu 9,591 %.



Graf č. 5: Průměrný obsah THCA v 1. a 2. cyklu.

7.1.3.2. CBD

Srovnání obsahu kanabinoidu CBD mezi rostlinami z 1. a 2. cyklu má opačný výsledek jako u předešlého srovnání systémů v souvislosti s obsahem kanabinoidu THCA. Vyšší procentuální zastoupení nacházíme v rostlinách z 2. cyklu, ale co je možná ještě důležitější je to, že ve 2. cyklu hodnoty od 4. týdne nikdy nevykazují nulovou hodnotu. V 1. cyklu je výskyt kanabinoidu CBD nestabilní napříč variantami od 1. až do 11. týdne pěstebního cyklu. Nejvyšší hodnotu obsahu CBD v 2. cyklu nesla rostlina s variantou živného roztoku typu A2 a obsahovala 0,171 % CBD. Pro srovnání nejvyšší naměřenou hodnotou v 1. cyklu byl 0,081 % CBD u varianty A1. Graf číslo 6 znázorňuje průměrné procentuální hodnoty kanabinoidu CBD u variant obou cyklů. Je z něj patrná dominance 2. cyklu. Průměrný obsah CBD v 1. cyklu byl 0,0089 % a v 2. cyklu 0,0288 %.



Graf č. 6: Průměrný obsah CBD v 1. a 2. cyklu.

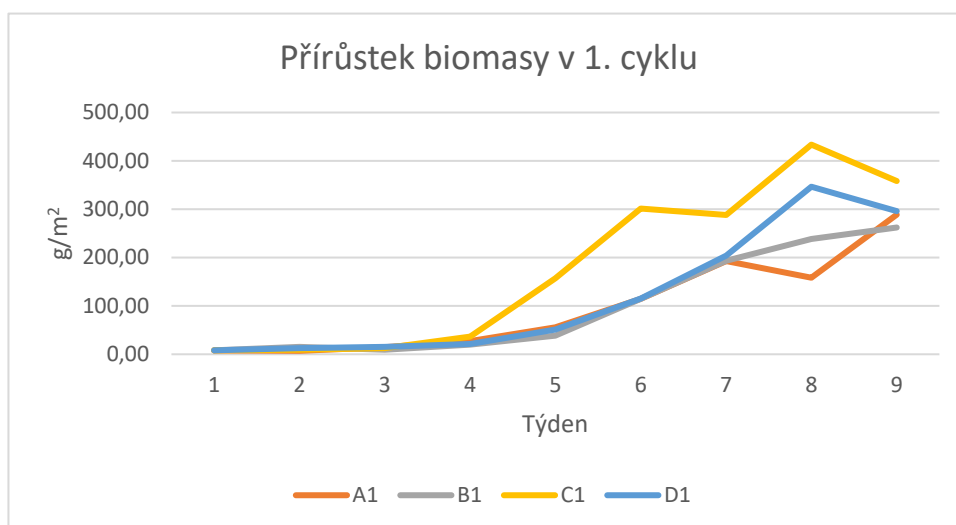
7.2. Srovnání přírůstku biomasy

7.2.1. Cyklus č. 1

Výsledkem srovnání bylo vyhodnocení přírůstků biomasy rostlin pěstovaných ve dvou rozdílných systémech využití živného roztoku. U rostlin byly vyhodnocovány změny v množství biomasy po celý jejich pěstební cyklus.

Graf číslo 7 vyobrazuje vývoj naváženého množství gramů biomasy na m^2 ze všech variant během celého pěstebního cyklu. Od prvního týdne u všech variant až na variantu B1, která mírně klesla ve 3. týdnu, množství biomasy stoupalo až do osmého týdne, kde jedinou výjimku tvořila varianta A1, kde došlo k mírnému propadu navážené biomasy o $28,42 \text{ g/m}^2$. Rostliny z ostatních variant dál nabývaly na biomase, zejména u variant C1 a D1 dochází ke skokovému nárůstu, který přesahoval 100 g/m^2 . Tento nárůst z 8. týdne byl, ale přerušen hlubokým propadem navážené biomasy u variant C1 a D1 v nadcházejícím 9. týdnu (hodnota poklesu taktéž přesahovala hodnotu 100 g/m^2). Naproti tomu varianta A1 v 9. týdnu zaznamenala téměř dvojnásobný nárůst biomasy a varianta B1 dál stoupala jako po celý pěstební cyklus, až na jedinou výjimku, kterou u ní tvořil třetí týden, kdy zaznamenala pokles o $5,95 \text{ g/m}^2$.

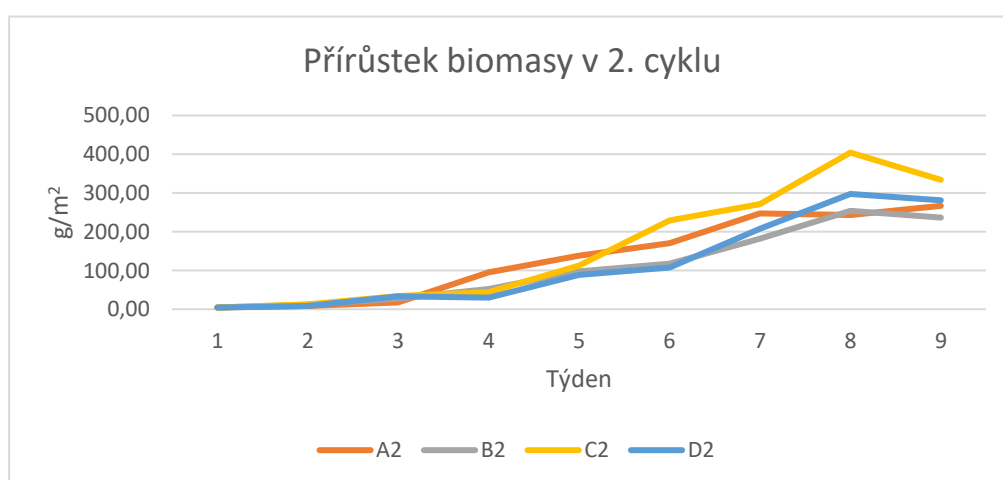
Nejefektivnější směsí živného roztoku v rámci 1. cyklu se stala varianta C1, která dosáhla absolutního vrcholu v 8. týdnu. Biomasa se v 8. týdnu rovnala $433,58 \text{ g/m}^2$. Varianta B1 přes velký pokles v 9. týdnu stále dosahovala nejvyšší hodnoty a to $358,42 \text{ g/m}^2$.



Graf č. 7: Přírůstek biomasy v 1. cyklu.

7.2.2. Cyklus č. 2

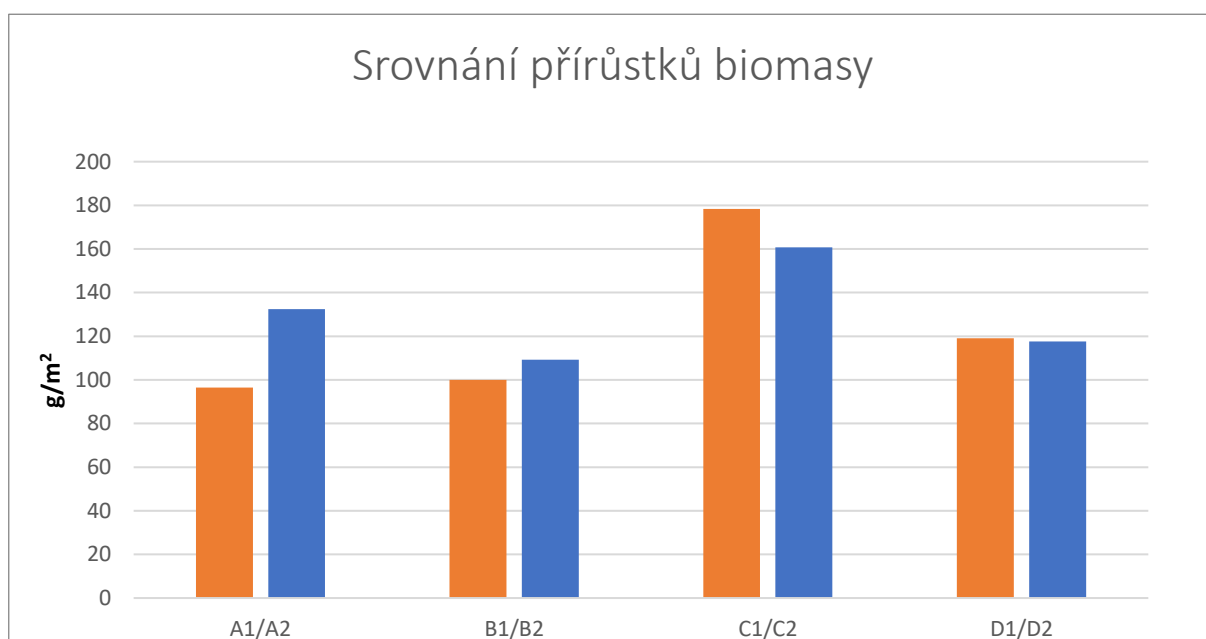
Graf číslo 8 vyobrazuje přírůstek biomasy během 2. cyklu. Během druhého cyklu docházelo ke konstantnímu zvyšování biomasy u všech variant do posledního týdne pokusu, až na pár výjimek, ke kterým došlo u varianty D2 ve 4. týdnu a u varianty A2 v osmém týdnu. V obou případech se nicméně jednalo o zanedbatelné množství biomasy (<5 g/m²). V devátém týdnu došlo k většímu poklesu u variant B2, C2 a D2. Nejsilnější pokles zaznamenala varianta C2, u které se rozdíl mezi osmým a devátým týdnem rovnal 70,58 g/m². Přesto, že u ní došlo k tak výraznému poklesu výsledky rostlin živěných touto variantou nesly nejvyšší hodnoty biomasy ze všech variant. Stejně jako v 1. cyklu pokusu dosáhla nejvyšších hodnot biomasy u rostlin varianta C, která v posledním týdnu vykazovala hodnoty 333,67 g/m². Absolutního vrcholu dosáhla varianta C v 8. týdnu. Naměřená hodnota byla nejvyšší naměřenou hodnotou množství biomasy v 2. cyklu a rovnala se 404,25 g/m². Toto potvrzuje vliv varianty C na přírůstek biomasy jako nejefektivnější směsi živného roztoku.



Graf č. 8: Přírůstek biomasy v 2. cyklu.

7.2.3. Srovnání přírůstku biomasy mezi 1. (recyklačním) a 2. („drain to waste“) cyklem

Srovnání přírůstku biomasy mezi 1. a 2. cyklem vyprofilovalo variantu, která má nejsilnější vliv na její přírůstek. Touto variantou je prokazatelně varianta C, která v obou systémech dosáhla nejvyšších hodnot. V grafu číslo 9 je vyobrazeno srovnání průměrných hodnot všech živných variant z obou cyklů. Průměrné hodnoty přírůstku biomasy byly u obou cyklů srovnatelné. 2. cyklus měl přírůstek o pár g/m² vyšší než cyklus 1., který využíval uzavřený hydroponický systém. Průměrný nárůst biomasy v 1. cyklu se rovnal 123,45 g/m² a průměrná hodnota 2. cyklu se rovnala 129,98 g/m².



Graf č. 9: Srovnání přírůstku biomasy mezi 1. a 2. cyklem.

8. Diskuse

Cílem experimentu bylo vysledovat a porovnat jaký je přírůstek biomasy a obsah základních kanabinoidů (THCA a CBD) v rostlinách pěstovaných ve dvou vegetačních cyklech. 1. cyklus se liší od toho 2. odlišným způsobem využití živného roztoku. V 1. cyklu byly rostliny pěstovány v recyklačním uzavřeném systému, který použitý živný roztok, jenž protekl skrze kořenový systém opět odvádí do rezervoáru s čerstvým roztokem. V 2. cyklu rostliny vždy dostávaly čerstvý živný roztok (Mariyappillai et al. 2020). Roztok, který protekl kořenovým systémem byl odváděn do separované odpadní nádrže. Oba cykly obsahovaly 4 varianty živného roztoku, které se od sebe lišily kombinací použitých hnojiv. Dalším cílem bylo porovnat a určit systém (cyklus), který byl účinnější z hlediska přírůstku biomasy a úspěšnější z hlediska vytvoření lepších podmínek pro syntézu základních sekundárních metabolitů rostliny *Cannabis sativa* L., kterými jsou kanabinoidy THCA a CBD.

Obstarat rostlinám pěstovaným v recyklačním systému optimální příjem živin je poměrně složitý úkol, který vyžaduje buď velké zkušenosti s pěstováním v takovém systému nebo vynikající znalost chemie a výživových procesů rostliny (Benton Jones Jr. 2011). Krom

toho je potřeba mít zázemí, které pěstiteli umožňuje analýzu živného roztoku a taky potřebné technologie. V případě, že pěstitel nedisponuje dostatečnými znalostmi ve zmíněných směrech a nemá nadosah prostředky ke kvalitní analýze roztoku, pravděpodobně bude mít jeho činnost negativní vliv na vývoj rostlin, co do přírůstku biomasy a profilu sekundárních metabolitů. Optimální množství a poměr živin, krom jiných faktorů, zajišťuje podmínky pro vysoký výnos a obsah kanabinoidů v rostlinách (Bernstein et al. 2019).

Srovnání obou systémů z hlediska obsahu základních kanabinoidů (THCA, CBD) ukázalo, že recirkulující systém vytvářel lepší živné podmínky pro syntézu kanabinoidu THCA, který měl průměrný obsah 10,149 % THCA. Lepší výsledky recyklujícího systému jsou pravděpodobně způsobené větším rozptylem hodnot pH v živném roztoku. Hodnoty pH v uzavřeném systému se zvyšovaly díky difuzi čerstvého a recyklovaného roztoku. Doporučenou hodnotou pH je 5,8, nicméně v roztoku uzavřeného systému byly naměřeny hodnoty až do 7,8 pH. Tato hladina pH mohla zpřístupnit rostlinám živiny ke kterým rostliny v otevřeném systému neměly přístup. Hodnoty nad 7 pH zpřístupňují důležité makro-prvky jako je dusík, draslík, vápník nebo hořčík, ale jedná se o nestabilní hladinu pH, a proto se obvykle jeho hodnoty udržují níže (Texier W. 2015). Nejvyšší naměřený obsah THCA v 1. cyklu dosáhl 19,150 %.

Nízké hodnoty kanabinoidu CBD u obou cyklů byly způsobené použitou odrůdou rostlin, která měla nízký obsah CBD zapříčiněný její genetickou výbavou. Otevřený systém použitý během 2. cyklu prokázal svoji spolehlivost a nenáročnost na obsluhu. Přesto, že nedosáhl hodnot THCA tak vysokých jako tomu bylo u rostlin z 1. cyklu, byly u rostlin z 2. cyklu zaznamenány stabilní hodnoty obsahu THCA, zároveň se stabilnějšími a vyššími hodnotami CBD, než tomu bylo u rostlin z 1. cyklu. To mohl ovlivnit způsob výživy, který je u otevřeného systému vždy pravidelný a rostlinám dává vždy čerstvý živný roztok, který dokáže zajistit optimální výživu pro rostlinu ve všech směrech a má stabilní hodnoty pH i EC (Jones J.B. 2014).

V souladu s výsledky experimentu Al-Harbi (2008), které nezaznamenaly rozdílný vliv otevřeného („drain to waste“) a uzavřeného (recirkulujícího) systému na velikost výnosů a celkovou biomasu lociky seté, náš experiment zaznamenal srovnatelné výnosy biomasy u rostlin druhu *Cannabis sativa L.* v uzavřeném i otevřeném systému. Experiment podle Tüzel (2002) podpořil výsledky našeho pokusu. V jeho práci zaměřené na produkci rajčat nevykazovaly výnosy v uzavřeném a otevřeném hydroponickém systému větší rozdíly. V našem experimentu se průměrný přírůstek biomasy mezi cykly lišil o několik g/m². O něco vyšší průměrný přírůstek biomasy měl otevřený systém. Průměrný přírůstek biomasy u otevřeného systému byl 129,98 g/m² a u uzavřeného 123,45 g/m². Opačný výsledek experimentu zaznamenal Abd-Elmoniem E.M. et al. (2006), který zaznamenal 5% nárůst výnosů lociky seté v recirkulačním uzavřeném systému v porovnání se systémem otevřeným.

9. Závěr

Cílem teoretické části bylo popsat základní principy pěstování rostlinného druhu *Cannabis sativa L.* za účelem produkce, popsat optimální podmínky k jeho pěstování v indoor podmínkách a hydroponii. V práci jsem se věnoval jak konkrétním faktorům prostředí (světlo,

koncentrace CO₂, vlhkost atd.), tak i výčtu jednotlivých hydroponických systémů a jejich rozdělení podle míry automatizace a způsobu nakládání s živným roztokem. Teoretická část slouží jako obeznámení se základními principy pěstování Cannabis sativa L. v kontrolovaném prostředí a jeho požadavky na optimální podmínky, které povedou k vysoké výnosnosti jeho produkce.

V teoretické části jsem se zabýval srovnáváním některých pěstebních technik, zejména srovnání hydroponický systémů, a to otevřených a uzavřených. Dělal jsem to s ohledem na způsoby manipulace s konkrétními systémy, s ohledem na jejich výnosnost a vliv na obsah sekundárních metabolitů, což mělo pokračování v praktické části mojí práce. U otevřeného systému jsem neopomněl zmínit jeho vliv negativní vliv na spotřebu vody a průmyslového hnojiva. Dále jsem se v teoretické části věnoval spíše základním rozdílům a vlivům různých částí světelného spektra a jejich vlivu na vývoj rostliny. Detailněji jsem se v práci zaměřil na srovnání a popis světelných zářičů a vlivu koncentrace CO₂ v pěstebním prostoru.

Cílem praktické části bylo srovnat dva cykly experimentu, co do produkce biomasy, která byla měřena po dobu posledních devíti týdnů pěstebního cyklu a obsahu základních kanabinoidů, kterými jsou THCA a CBD. Obsah a míra zastoupení kanabinoidů byly měřeny po celou dobu pěstebního pokusu. Tyto dva cykly probíhaly za totožných podmínek prostředí a rostliny v obou cyklech dostávaly stejnou výživu, která byla rozdělena do 4 variant, které se lišily složením hnojiv namíchaných do vody čištěné osmoticky reverzní jednotkou. Cykly se navzájem lišily uplatněnými systémy využívání živného roztoku. V 1. cyklu byl použit recirkulující systém, který recykluje již použitý živný roztok, za účelem využití jeho plného potenciálu. Tímto úplným potenciálem jsou míněny živiny, které rostlina nespotřebovala a nadále zůstávají součástí roztoku. V 2. cyklu byl využit otevřený hydroponický systém tzv. „drain to waste“, který přivádí čerstvý roztok rostlinám a odpadní roztok, který rostliny nespotřebovaly odvádí do odpadní nádrže a více už se nevyužívá k produkčním účelům, ani k účelům pokusu.

Po srovnání přírůstku biomasy mezi 1. a 2. cyklem, jsme zjistili, že průměrné hodnoty přírůstku biomasy se mezi cykly příliš neliší. Toto zjištění bylo podpořeno dalšími experimenty, které byly v minulosti vykonány a pozorovaly přírůstek biomasy a výnosů mezi otevřeným a uzavřeným hydroponickým systémem u dalších produkčních plodin.

Při srovnání obsahu kanabinoidů (THCA, CBD) se ukázalo, že otevřený systém nedosáhl takových hodnot THCA jako uzavřený hydroponický systém, ale za to měl stabilnější a vyšší hodnoty u kanabinoidu CBD. Rostliny pěstované v uzavřeném systému měly vyšší hodnoty THCA, ale o obsahu CBD v některých rostlinách mohl být pochyb. Obsah CBD byl u rostlin pěstovaných v otevřeném systému i dvakrát vyšší.

10. Seznam literatury:

Abd-Elmoniem E.M., Abdrabbo M.A.A., Farag A.A., Medany M. 2006. Hydroponics for Food Production: Comparison of Open and Closed Systems on Yield and Consumption of Water

- and Nutrient. Page The 2nd International Conf. on Water Resources & Arid Environment. Ain Shams University, Giza.
- Adams P. 1993. Crop nutrition in hydroponics. *Acta Horticulturae* **26**:289–306.
- Adams P. 2012. *Weedology*, 1st edition. Positive Publisher, Nizozemsko .
- AL-Harbi A-AR, Abd-Rabbo M, FARAG AA, Medany MA, Abd-Elmoniem EM. 2008. Comparison between open and closed hydroponic systems on lettuce yield. *Egyptian Journal of Agricultural Research* **86**:695–702.
- AlShrouf A. 2017. Hydroponics, Aeroponic and Aquaponic as Compared with Conventional Farming. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)* **27**:247–255.
- Benton Jones Jr. J. 2011. *Hydroponic Handbook: How Hydroponic Growing Systems Work*. Create Space Independent Publishing Platform, USA.
- Benton Jones Jr. J. 2014. *Complete Guide for Growing Plants Hydroponically*. CRC Pres, Boca Raton.
- Bernstein N, Gorelick J, Zerahia R, Koch S. 2019. Impact of N, P, K, and Humic Acid Supplementation on the Chemical Profile of Medical Cannabis (*Cannabis sativa* L). *Frontiers in Plant Science* **10**:1–10.
- Bessho M., Shimizu K. 2012. Latest trends in LED lighting. *Electronics and Communications in Japan* **95**:1–7.
- Bugbee B. 2004. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. *Acta Horticulturae* **648**:99–112. International Society for Horticultural Science.
- Bugbee B. 2020. Cannabis Grow Lighting Myths and FAQs with Dr. Bruce Bugbee. YouTube , United States of America .
- Bugbee B, Spanarkel B, Johnson S, Monje O, Koerner G. 1994. CO₂ crop growth enhancement and toxicity in wheat and rice. *Advances in Space Research* **14**:257–267.
- Burgel L, Hartung J, Graeff-Hönninger S. 2020. Impact of different growing substrates on growth, yield and cannabinoid content of two cannabis sativa L. Genotypes in a pot culture. *Horticulturae* **6**:1–14. MDPI AG.
- Cervantes J. 2006. *Marijuana horticulture : the indoor/outdoor medical grower's bible*. Van Patten Pub, Portland.
- Chandra S, Lata H, ElSohly MA. 2020. Propagation of Cannabis for Clinical Research: An Approach Towards a Modern Herbal Medicinal Products Development. *Frontiers in Plant Science* **11**:1–10. Frontiers Media S.A.
- Chandra S, Lata H, Khan IA, Elsohly MA. 2008. Photosynthetic response of Cannabis sativa L. to variations in photosynthetic photon flux densities, temperature and CO₂ conditions. *Physiol. Mol. Biol. Plants* **14**:299–306. Mississippi.

- Chandra S, Lata H, Khan IA, ElSohly MA. 2011. Photosynthetic response of *Cannabis sativa* L., an important medicinal plant, to elevated levels of CO₂. *Physiology and Molecular Biology of Plants* **17**:291–295.
- Dang M, Arachchige NM, Campbell LG. 2022. Optimizing Photoperiod Switch to Maximize Floral Biomass and Cannabinoid Yield in *Cannabis sativa* L.: A Meta-Analytic Quantile Regression Approach. *Frontiers in Plant Science* **12**:1–8. Frontiers Media SA.
- Danziger N, Bernstein N. 2021. Light matters: Effect of light spectra on cannabinoid profile and plant development of medical cannabis (*Cannabis sativa* L.). *Industrial Crops and Products* **164**:1–7. Elsevier B.V.
- Deswati D., Safni S., Khairiyah K., Yani E., Yusuf Y., Pardi H. 2020. Biofloc technology: water quality (pH, temperature, DO, COD, BOD) in a flood & drain aquaponic system. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* **100**:1–10.
- Dunn RJH et al. 2021. Global Climate. *Bulletin of the American Meteorological Society* **102**:11–142.
- Eldridge BM, Manzoni LR, Graham CA, Rodgers B, Farmer JR, Dodd AN. 2020. Getting to the roots of aeroponic indoor farming. *The New phytologist* **228**:1183–1192.
- ElSohly MA, Radwan MM, Gul W, Chandra S, Galal A. 2017. *Phytochemistry of Cannabis sativa* L. Page Progress in the chemistry of organic natural products. Springer International Publishing, Mississippi.
- Fischedick JT, Hazekamp A, Erkelens T, Choi YH, Verpoorte R. 2010. Metabolic fingerprinting of *Cannabis sativa* L., cannabinoids and terpenoids for chemotaxonomic and drug standardization purposes. *Phytochemistry* **71**:2058–2073.
- Gashgari R, Alharbi K, Mughrbil K, Jan A, Glolam A. 2018. Comparison between growing plants in hydroponic system and soil based system. Pages 1–7 *Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*. Avestia Publishing.
- Goddek S JAKBBGM. 2019. *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*, 1st edition. Springer International Publishing, Berlin.
- Green G. 2009. *The Cannabis Grow Bible: The Definitive Guide to Growing Marijuana for Recreational and Medical Use*, 2nd edition. Green Candy Press, San Francisco.
- Grossiord C, Buckley TN, Cernusak LA, Novick KA, Poulter B, Siegwolf RTW, Sperry JS, McDowell NG. 2020. Plant responses to rising vapor pressure deficit. *New Phytologist* **226**:1550–1566. Blackwell Publishing Ltd.
- Grotenhermen F RE. 2002. *Cannabis and Cannabinoids - Pharmacology, Toxicology and Therapeutic Potential*. The Haworth Integrative Healing Press, Binghamton.
- Hershey DR. 1994. Solution Culture Hydroponics: History & Inexpensive Equipment. *The American Biology Teacher* **56**:111–118. University of California Press on behalf of the National Association of Biology Teachers.

- Hordeski MF. 2004. Dictionary of Energy Efficiency Technologies. Taylor & Francis, New York.
- Jin D, Jin S, Chen J. 2019. Cannabis Indoor Growing Conditions, Management Practices, and Post-Harvest Treatment: A Review. *American Journal of Plant Sciences* **10**:925–946. Scientific Research Publishing, Inc.,
- Kaczorová D, Béres T, Zeljkovic SC, Bjelková M, Kuchař M, Tarkowski P. 2020. O konopí bez předsudků . *Chemické listy* **114**:277–284.
- Kessler FH, von Diemen L, Ornell F, Sordi AO. 2021. Cannabidiol and mental health: possibilities, uncertainties, and controversies for addiction treatment. *Braz J Psychiatry* **43**:455–457.
- Kicman A, Pędzińska-Betiuk A, Kozłowska H. 2021. The potential of cannabinoids and inhibitors of endocannabinoid degradation in respiratory diseases. *European Journal of Pharmacology* **911**:10. Elsevier B.V.
- Kovář L. 2012, August 23. CANNABIS SATIVA L. – konopí seté / konopa siata. Available from <https://botany.cz/cs/cannabis-sativa/> (accessed April 5, 2022).
- Lalge A, Cerny P, Trojan V, Vyhnánek T. 2017. The Effects Of Red, Blue and White Light On the Growth and Development of Cannabis Sativa L. Page Proceedings of 24th International PhD Students Conference. Mendel university in Brno, Brno .
- Lyu D, Backer R, Robinson WG, Smith DL. 2019. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Cannabis Production: Yield, Cannabinoid Profile and Disease Resistance. *Frontiers in Microbiology* **10**:1–4. Frontiers Media SA.
- Magagnini G, Grassi G, Kotiranta S. 2018. The Effect of Light Spectrum on the Morphology and Cannabinoid Content of Cannabis sativa L. *Medical Cannabis and Cannabinoids* **1**:19–27. S. Karger AG.
- Mariyappillai A, Arumugam G, Raghavendran VB. 2020. The Techniques of Hydroponic System. *Acta Scientific Agriculture* **4**:79–84. Acta Scientific Publications Pvt. Ltd.
- Mason J. 2000. Commercial hydroponics, 3rd edition. Simon & Schuster, Austrálie.
- Massa GD, Kim H-H, Wheeler RM, Mitchell CA. (n.d.). Plant Productivity in Response to LED Lighting.
- Michael Raviv JHL. 2007. Soilless Culture: Theory and Practice. Page (Michael Raviv JHL, editor), 1st edition. Academic Press, Oxford.
- Mitchell CA. 2022. History of Controlled Environment Horticulture: Indoor Farming and Its Key Technologies. *Horticultural Science* **57**:247–256. American Society for Horticultural Science.
- Mitchell Westmoreland F, Kusuma P, Bugbee B. 2021. Cannabis lighting: Decreasing blue photon fraction increases yield but efficacy is more important for cost effective production of cannabinoids. *PLoS ONE* **16**. Public Library of Science.
- Moher M, Jones M, Zheng Y. 2021a. Photoperiodic response of in vitro cannabis sativa plants. *Horticultural Science* **56**:108–113. American Society for Horticultural Science.

- Moher M, Maxwell A, Jones P, Zheng Y. 2021b. High Light Intensities Can Be Used to Grow Healthy and Robust Cannabis Plants During the Vegetative Stage of Indoor Production. *Preprints* **1**:2–10. Available from www.preprints.org.
- Monteith JL, Unsworth MH. 2013. *Principles of Environmental Physics: Plants, Animals, and the Atmosphere* Fourth Edition, 4th edition. Academic Press, Oxford. Available from <http://elsevier.com/locate/permissions>,.
- Nátr L. 2006. CO₂, plants and climate. *Kvasný průmysl* **9**:293–294.
- Nátr L. (n.d.). Oxid uhličitý, rostliny a klima CO₂, plants and climate.
- Pate DW. 1983. Possible Role of Ultraviolet Radiation in Evolution of Cannabis Chemotypes. *New York Botanical Garden Press* **37**:396–405.
- Plihon N, Ferrand J, Guyomar T, Museur F, Taberlet N. 2017. Why do aged fluorescent tubes flicker? *European Journal of Physics* **38**:2–10. Institute of Physics Publishing.
- Postma J, van Os E, Bonants PJM. 2008. Pathogen Detection and Management Strategies in Soilless Plant Growing Systems. Pages 425–457 *Soilless Culture*. Elsevier.
- Radwan MM, Chandra S, Gul S, Elsohly MA. 2021. Cannabinoids, phenolics, terpenes and alkaloids of cannabis. *Molecules* **26**:2–23. MDPI AG.
- Rai A, Sharma A, Parashar B. 2021. Cannabis Sativa: Boon or Curse. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* **6**:332–338.
- Razzaq Al-Tawaha A, Al-Karaki G, Rahman Al-Tawaha A, Nurani Sirajuddin S, Makhadmeh I, Edaroyati Megat Wahab P, Youssef RA, al Sultan W, Massadeh A, Sultan A. 2018. Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in nutrient film technique (NFT) under hydroponics conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* **24**:793–800.
- Regas T, Han JH, Pauli CS, Park SH. 2021. Employing Aeroponic Systems for the Clonal Propagation of Cannabis. *Journal of visualized experiments* **178**:2–7. NLM (Medline).
- Rodriguez-Morrison V, Llewellyn D, Zheng Y. 2021. Cannabis Inflorescence Yield and Cannabinoid Concentration Are Not Increased With Exposure to Short-Wavelength Ultraviolet-B Radiation. *Frontiers in Plant Science* **12**:1–18.
- Sivanantha J. 2020. Hydroponic System of Cultivation. Pages 834–836 *Research insights of life science students*. JPS Scientific Publications, Indie. Available from <https://www.researchgate.net/publication/349439625>.
- Slota M., Maluszynski M., Szarejko I. 2016. An automated, cost-effective and scalable, flood-and-drain based root phenotyping system for cereals. *Plant Methods* **12**:34.
- Sommano SR, Chittasupho C, Ruksiriwanich W, Jantrawut P. 2020. The Cannabis Terpenes. *Molecules* **25**:2–15. NLM (Medline).
- Song L, Carlson S, Valenzuela G, Chao M, Pathipaka SB. 2022. Development of a validated method for rapid quantification of up to sixteen cannabinoids using ultra-high-performance liquid chromatography diode-array detector with optional electrospray

- ionization time-of-flight mass spectrometry detection. *Journal of Chromatography A* **10**:1–7.
- Tahir MN, SF, R-GS et al. 2021. The biosynthesis of the cannabinoids. *J Cannabis Research* **3**:1–10.
- Texier W. 2015. *Hydroponics for Everybody: All About Home Horticulture*. Quick American Archives, Paříž.
- Turner CE, Elsohly MA, Boeren EG. 1980. Constituents of *Cannabis sativa* L. XVII. A Review of the Natural Constituents. *Natural Products* **43**:169–234.
- Tüzel Y, Eltez RZ, Tüzel IH, Akat O, Gül A. 2002. Comparison of open and closed systems on yield and quality of greenhouse grown tomatoes. *Acta Horticulturae* **103**:585–590.
- Urayama H, Matthews LJ, Coetzee VJ, Yamashita T. 2005. Cucumber cultivation in energy-saving hydroponic system using coconut coir as growing media. *Japanese journal of tropical agriculture* **49**:154–158.
- Vandre W. 2011. *Fluorescent Lights For Plant Growth*. Available from <https://studylib.net/doc/18170486/fluorescent-lights-for-plant-growth> (accessed April 20, 2022).
- Zhang T., Folta K.M. 2012. Green light signaling and adaptive response. *Plant signaling & behavior* **7**:75–8.
- Zheng Z, Fiddes K, Yang L. 2021. A narrative review on environmental impacts of cannabis cultivation. *Journal of Cannabis Research* **3**:1–7. Springer Science and Business Media LLC.