

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv makroživin na tvorbu kanabinoidů rostlinami
léčebného konopí**

Bakalářská práce

Autor práce: Lucie Hladíková

Obor studia: Zahradnictví

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc., dr. h. c.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv makroživin na tvorbu kanabinoidů rostlinami léčebného konopí" jsem vypracovala 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 autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Lucie Hladíková

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce panu prof. Ing. Pavlu Tlustošovi, CSc., dr. h. c. za jeho ochotný přístup, užitečné připomínky a za čas věnovaný mé práci. Chtěla bych také velice poděkovat konzultantovi Ing. Matějovi Malíkovi za obětavou pomoc, cenné rady a trpělivost. Dále děkuji své rodině a přátelům, kteří mi po celou dobu byli oporou.

Vliv makroživin na tvorbu kanabinoidů rostlinami léčebného konopí

Souhrn

Léčebné konopí zaznamenává v současnosti veliký rozmach v biomedicíně a farmacii. Nezastupitelnou roli v rozvoji celého odvětví má správně vypěstovaná rostlina a vhodně zvolená odrůda. Důležitý vliv na celkový charakter rostliny z hlediska účinků na lidský organismus má zastoupení nejhojnějších kanabinoidů, a to psychoaktivního tetrahydrokanabinolu (THC) a nepsychoaktivního kanabidiolu (CBD). Kanabinoidy jsou sekundární metabolity konopí, vyskytující se v pryskyřici, která je vylučována žláznatými trichomy samičích rostlin. Obsah kanabinoidů se do určité míry odvíjí i od vhodně zvolené výživy.

V dnešní době jsou již nároky na živiny stanoveny u technického konopí, není tomu však zatím u léčebného konopí. Cílem této práce je popsat nároky konopí na pěstební podmínky a především popsat vliv jednotlivých makroživin (N, P, K, Ca, Mg, S) přítomných v živném roztoku na tvorbu nadzemní biomasy, květenství, spektrum a koncentraci základních kanabinoidů v rostlinách pěstovaných v hydroponii. Hydroponie je velice efektivní metodou pěstování. Rostliny jsou zde pěstovány ve vodném prostředí za nepřítomnosti substrátu či v inertním médiu, a to za absolutní kontroly pěstitele nad dodávanými živinami, světlem, teplotou a koncentrací CO₂. V práci je popsána a porovnána efektivita odlišných hydroponických systémů a jejich vliv na kvantitu a kvalitu vyprodukované sušiny.

Cílem experimentální části bylo porovnat vliv otevřeného a uzavřeného recirkulačního hydroponického systému na tvorbu biomasy, obsah a odběr dusíku u rostlin léčebného konopí. Pro stanovení obsahu dusíku byla využita Kjeldahlova metoda. V souvislosti s informacemi zjištěnými v literární části a na základě výsledků z části praktické bylo stanoveno, jaký ze dvou zmíněných hydroponických systémů je efektivnější pro získání nejlepších výsledků u konkrétně sledovaných parametrů.

Dle výsledků se ukázal být v našem experimentu celkově efektivnější ve všech pozorovaných aspektech systém uzavřený. Prokázán zde byl vyšší odběr a obsah N, který v průběhu cyklu překonal otevřený systém až o 172 %. Vyšší byl i přírůstek rostlinné hmoty, konkrétně stonku, který překonal otevřený systém až o 111,7 %. Lze tedy konstatovat, že výhodnější je tento systém nejen z hlediska produkčního, ale také z hlediska ekonomického a ekologického, neboť je zde živný roztok opakovaně recirkulován a nedochází tak k plýtvání vodními zdroji a k vypouštění nevyužitých živin do odpadních vod.

Klíčová slova: dusík, draslík, síra, léčivé konopí, kanabinoidy

The Effect of Macronutrients on the Cannabinoids Development by Medicinal Cannabis plants

Summary

In recent years, the popularity of medical cannabis has rapidly increased in the biomedical and pharmaceutical sectors. The presence of the most abundant cannabinoids, namely the psychoactive tetrahydrocannabinol (THC) and the non-psychoactive cannabidiol (CBD) has a significant impact on the overall character of the plant in terms of effects on the human organism. Cannabinoids are secondary metabolites of cannabis. They can be found in resin, which is secreted by glands of female trichomes. The content of cannabinoids is, to some extent, influenced by the nutrients supplied.

Even though nowadays the macronutrient requirements are already set for hemp, those for medical cannabis are not that explored yet. This work aims to describe the demands of cannabis on its growing conditions and to further describe the influence of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg, S) present in the nutrient solution on the production of above-ground biomass, inflorescence, and the spectrum and concentration of basic cannabinoids grown in hydroponics. Hydroponics is a very effective method of cultivation where plants are grown in water without soil or in an inert medium. The grower has absolute control over the supplied nutrients, light, temperature and circulation of CO₂. This work describes and compares the efficiency of different hydroponic systems and their influence on the quantity and quality of the dry matter produced.

The experiment aimed to observe the influence of open and closed hydroponic systems on the production of biomass and the N content and consumption of N by plants. The Kjeldahl method has been used to determine the N content. In connection with the information learned in the literary and the experimental part, the goal was to determine which of the two hydroponic systems mentioned is more effective to obtain the best results.

Following the results, our experiment has proved the closed system to be the more effective one in all the observed aspects. The content of N in the closed system surpassed the open system by up to 172 %. The consumption N was higher as well in the closed system. The increase of biomass proved to be higher in this system too. Particularly the increase of the stem surpassed the open system by up to 111.7 %. In conclusion, the closed system was more advantageous in terms of production and from the point of economics and environment, since the nutrient solution is recirculated. Therefore, there is no such wastage of water resources and fertilizers.

Keywords: Nitrogen, Potassium, Sulfur, medical cannabis, Cannabinoids

1. ÚVOD	8
2. CÍLE PRÁCE.....	9
3. HISTORIE A PĚSTOVÁNÍ KONOPÍ A JEHO TAXONOMIE.....	10
3.1. HISTORIE	10
3.2. BOTANICKÝ POPIS.....	10
3.3. LÉČEBNÉ X TECHNICKÉ.....	11
3.3.1. Léčebné konopí	11
3.3.2. Technické konopí.....	11
3.4. TAXONOMIE (LÉČEBNÉHO) KONOPÍ	12
3.4.1. <i>Cannabis sativa</i> (konopí seté)	12
3.4.2. <i>Cannabis indica</i> (konopí indické)	12
3.4.3. <i>Cannabis ruderalis</i> (konopí rumištní)	12
4. PODMÍNKY PĚSTOVÁNÍ KONOPÍ:.....	13
4.1. VENKOVNÍ PĚSTOVÁNÍ „OUTDOOR“	13
4.2. PĚSTOVÁNÍ V UZAVŘENÝCH PROSTORÁCH „INDOOR“	13
4.2.1. Světlo a fotoperioda v uzavřených prostorách.....	14
4.2.2. Teplota	14
4.2.3. Cirkulace vzduchu.....	14
4.2.4. Živný roztok.....	15
4.2.5. Vlhkost vzduchu.....	15
5. HYDROPONIE.....	16
5.1. INERTNÍ SUBSTRÁTY	16
5.2. OTEVŘENÉ A UZAVŘENÉ HYDROPONICKÉ SYSTÉMY	17
5.2.1. Otevřené hydroponické systémy.....	17
5.2.2. Uzavřené hydroponické systémy	18
5.3. AKTIVNÍ A PASIVNÍ HYDROPONICKÉ SYSTÉMY	18
5.3.1. Pasivní systémy.....	18
5.3.2. Aktivní systémy.....	19
6. NÁROKY KONOPÍ NA MAKROŽIVNY.....	20
6.1. DUSÍK	21
6.2. FOSFOR	22
6.3. DRASLÍK	23
6.4. VÁPNIK	24
6.5. HOŘČÍK	25
6.6. SÍRA	26
6.7. INTERAKCE MEZI PRVKY	26
6.8. VLIV MAKROPRVKŮ NA TVORBU KANABINOIDŮ	27
6.9. VLIV MIKROPRVKŮ NA TVORBU KANABINOIDŮ	27
7. SEKUNDÁRNÍ METABOLITY KONOPÍ.....	27
7.1. TVORBA A OBSAH KANABINOIDŮ ROSTLIN KONOPÍ.....	27
7.2. KONOPÍ, KANABINOIDY A JEJICH VYUŽITÍ.....	28
7.2.1. Tetrahydrokanabinol (THC)	28
7.2.2. Kanabidiol (CBD).....	29
7.2.3. Kanabichromen (CBC)	30
7.2.4. Kanabigerol (CBG).....	31
7.2.5. Tetrahydrokanabivarin (THCV)	31
7.2.6. Kanabinol (CBN)	32
7.3. CHEMOTYPY KONOPÍ	32

7.4. TERPENY A TERPENOIDY.....	33
7.4.1. <i>Monoterpeny</i>	33
7.4.2. <i>Seskviterpeny</i>	33
7.4.3. <i>Terpenoidy</i>	34
8. METODIKA.....	35
8.1. PARAMETRY PĚSTEBNÍHO PROSTORU.....	35
8.2. ROSTLINNÝ MATERIÁL.....	35
8.3. VZORKOVÁNÍ.....	35
8.4. SUCHÝ ROZKLAD	36
8.5. STANOVENÍ CELKOVÉHO OBSAHU DUSÍKU V ROSTLINĚ	36
9. VÝSLEDKY EXPERIMENTU	37
9.1. OBSAH DUSÍKU	37
9.2. ODBĚR DUSÍKU	38
9.3. NÁRŮST BIOMASY.....	40
10. DISKUZE	41
11. ZÁVĚR	43
12. POUŽITÁ LITERATURA	44
13. SEZNAM GRAFŮ A OBRÁZKŮ.....	49

1. Úvod

Konopí (*Cannabis*) je rostlinou s velkým spektrem možností využití. Lze ho užívat pro jeho léčebný potenciál, ku příkladu při léčbě roztroušené sklerózy či nechutenství. Dále bývá užíváno pro rekreační či duchovní účely. Význam má i jakožto technická plodina. Uplatnění nachází v textilním, papírenském či stavebním průmyslu. Velký význam pro konečné využití má pěstovaná odrůda či chemotyp.

V zemích Evropy je dnes pěstováno stále převážně technické konopí, které je také díky tomu výrazněji více prozkoumáno z hlediska pěstování nežli konopí léčebné. Pěstování a šíření léčebného konopí není v řadě zemí i přes řadu prokazatelně pozitivních účinků totiž stále legalizováno. Důvodem jsou jeho psychoaktivní účinky, pro které bývá často zneužíváno. Aktuálně je totiž právě konopí nejužívanější ilegální drogou světa. Výjimkou jsou pak země jako Kanada či Izrael, kde je jeho aplikace v rámci léčby již součástí běžné praxe.

S růstem popularizace léčebného konopí přibývají i snahy pěstitelů o co možná nejvyšší výnos květů obsahujících účinné látky. Toho se snaží docílit zdokonalováním pěstebních metod. Těch existuje celá řada, liší se od sebe použitým substrátem, osvětlením nebo výživou. Stále větší rozmach má v pěstování léčebného konopí hydroponie. Jedná se o způsob pěstování ve vodním prostředí za absence substrátu, či v substrátu neobsahujícím živiny, takzvaném inertním, kterým je ku příkladu keramzit. Tento systém může být uzavřený čili roztok je zde opakovaně recirkulován nebo otevřený, kde je použitý roztok odváděn do odpadní nádrže. Různé pěstební systémy pak mohou hrát roli v příjmu živin, růstu a vývoji konopí a v neposlední řadě také v obsahu kanabinoidů. Jednou ze základních charakteristik konopí je právě tvorba kanabinoidů, jako je populární THC či CBD. Tyto sekundární metabolity konopí mají markantní význam v léčbě epilepsie, revmatismu, schizofrenie či nechutenství.

2. Cíle práce

Náplní bakalářské práce bude hodnocení účinků jednotlivých makroživin (N, P, K, Ca, Mg, S) přítomných v živném roztoku na tvorbu nadzemní biomasy, květenství, spektrum a koncentraci kanabinoidů v rostlinách léčivého konopí. V posledních letech zaznamenal výzkum léčivého konopí velký rozmach v biomedicínském a farmaceutickém odvětví. V evropských zemích se ale dosud většina odrůd konopí pěstuje pro průmyslové účely. Z tohoto důvodu je technologie pěstování technického konopí poměrně dobře prozkoumána, zatímco o klíčových faktorech ovlivňujících pěstování konopí pro lékařské účely je známo jen málo. Účinné látky v rostlinách konopí se nazývají fytkanabinoidy. Biosyntéza fytkanabinoidů je poměrně dobře prozkoumána, ale mnohem méně byly studovány specifické faktory prostředí, které ovlivňují jejich obsah a spektrum.

Cíle:

1. Sledovat nárůst biomasy, odběr a obsah dusíku u konopí pěstovaného v otevřených a uzavřených hydroponických systémech.
2. Stanovit jaký ze sledovaných hydroponických systémů se na základě výsledků projevil efektivnější z hlediska nárůstu biomasy, odběru a obsahu dusíku.

3. Historie a pěstování konopí a jeho taxonomie

3.1. Historie

Nejstarší záznamy o používání konopí pochází již ze staré Babylonie. Ačkoli nelze s přesností určit původ této rostliny předpokládá se, že pochází ze střední Asie nebo Číny, kde bylo hojně využíváno konopí léčebné, ale i technické. S informacemi ohledně využívání konopí pro léčebné účinky se můžeme setkat již na hlíněných tabulkách z Asýrie. Zde ho místní nazývali „qunubu“, což v překladu znamenalo lék na smutek (Fišar 2009). Záznamy ze 7. stol. př. n. l. z oblasti Rusi zase konkrétně zmiňují, požívání vývaru semen z konopí jakožto antitusika. Rozmach používání konopí, potažmo hašiše, pro jeho psychotropní účinky nastal ve 4. stol. př. n. l. v Indii. Podle doložených záznamů si právě tam svou roli jakožto léčebné našlo až okolo 12. stol., kdy začalo být využíváno v humánní i veterinární medicíně (Rodziewicz & Kayser 2020).

Postupně bylo toto léčivé konopí introdukováno do Evropy i do západní medicíny, kde od 18. do 19. stol. bylo využíváno při léčbě depresí, křečí, inkontinence, k tlumení bolestí a mimo jiné také pro své sedativní účinky. Ve 2. polovině 19. stol. konopí dokonce tvořilo 50 % všech prodávaných léčiv v Americe (Landa & Juřica 2020). Dodnes se s ním můžeme setkat při léčbě úzkostí (Dupal 2004), astmatu (Green 2001), epilepsie (Thomas & ElSohly 2016) či HIV (ElSohly et al. 2017).

Léčebné konopí již bylo legalizováno v některých státech USA, Kanadě či Nizozemsku (Rodziewicz & Kayser 2020). I přes již zmíněné léčebné účinky je však v současnosti pěstování a šíření léčebného konopí s vyšším obsahem kanabinoidu delta-9-tetrahydrokanabinol (THC) ve značném množství zemí stále zakázáno, jelikož v některých případech bývá zneužíváno pro své psychoaktivní účinky. Aktuálně se uvádí jakožto nejužívanější nelegální droga na světě (Schilling et al. 2020).

3.2. Botanický popis

Rod konopí (*Cannabis*) se řadí do řádu růžotvaré (*Rosales*), čeledi konopovité (*Cannabaceae*), do této čeledi je dále řazen ještě jeden hospodářsky významný rod, a to sice chmel (*Humulus L.*), který ovšem na rozdíl od *Cannabis* neprodukuje kanabinoidy (Dupal, 2004). *Cannabis* lze pěstovat jako jednoletou i víceletou rostlinu. Listy se skládají z pěti až deseti vroubených čepelí a na stonku bývají uspořádány vstřícně nebo střídavě. Stonek je čtyř až šestihranný. Květy a listy jsou pokryty trichomy. Rostlina dorůstá výšky 0,2 - 6 metrů, v závislosti na odrůdě a životních podmínkách (Chandra et al. 2017). Vyskytovat se může prakticky ve všech klimatických pásmech vyjma polárních a pouštních oblastí. Ideálně by se mělo pěstovat do 450 m n. m. (Bjelková et al. 2017).

Thomas a ElSohly (2016) uvádějí, že se jedná se o dvoudomou rostlinu, vytvářející buď pouze samčí nebo pouze samičí květy. Samčí rostliny se od těch samičích morfologicky odlišují, a to zejména v generativní fázi. Samčí květy jsou pětičetné, drobné a vyrůstají v úžlabí listů. Květy samičí jsou uspořádány ve vrcholičnatých květenstvích, někdy také nazývaných „palice“. Jednotlivé květy jsou obaleny přeměněnými listy (listeny), které jim poskytují ochranu. Rozdíl mezi samčími a samičími rostlinami není ale pouze v květech, odlišnost lze

pozorovat i v barvě, kdy rostliny samčí jsou značně světlejší a také ve velikosti, kdy rostliny samičí jsou robustnějšího charakteru (Dupal 2004).

Konopí je charakteristickým producentem takzvaných kanabinoidů, látek, které se hromadí především v trichomech samičích rostlin. Mezi ně patří i tetrahydrokanabinol (THC), mezi širokou veřejností známý pro své psychoaktivní účinky. Nebo dále pak kanabidiol (CBD), jehož popularita ve společnosti stále stoupá, a to především díky jeho pozitivním účinkům v léčbě úzkostí či depresí (Fišar 2009).

Semena konopí obsahují 25 % bílkovin, 28 % sacharidů a 35 % mastných kyselin. Dále je zde obsažena řada minerálních látek a také vitamínů, a to sice vitamíny A, B₁, B₂, B₆, C a E. Jsou tak vhodná pro konzumaci člověkem i zvířaty (Bjelková et al. 2017).

3.3. Léčebné x technické

Landa & Juřica (2020) specifikuje rozdíl mezi léčebným a technickým konopím v jejich procentuálním obsahu THC. Jako konopí technické se klasifikují rostliny *Cannabis sativa* s obsahem tetrahydrokanabinolů nižším než 0,2 %. Naopak rostliny léčebného konopí mají obecně vyšší podíl látek ze skupiny tetrahydrokanabinolů.

3.3.1. Léčebné konopí

Léčebné konopí je bylinným léčivem získávaným z rostlin *Cannabis*, které se využívá v lékařské praxi. Obvyklé použití bývá ve formě sušených samičích palic *Cannabis sativa* nebo *Cannabis indica* či ve formě produktů z nich vytvořených. V porovnání s technickým konopím mívá spíše nižší keřovitý vzhled. Bývá často množeno řízkováním, které je vhodné, jelikož právě touto formou můžeme omezit nežádoucí samičí rostliny a zvyšuje se tím i uniformita potence (Dupal 2004).

Léčebné konopí se pěstuje především pro jeho schopnost vylučovat pryskyřičné látky, které mají velký podíl účinných složek. Těmito účinnými látkami jsou kanabinoidy jako THC nebo CBD, které obvykle bývají vylučovány v květenstvích samičích rostlin či na jejich listech. Právě tyto látky jsou z farmaceutického hlediska velice významné. Užívání léčebného konopí je však povoleno jen v některých státech. V České republice je jedinou legální cestou k získání této látky lékařský předpis. Problémem je ovšem fakt, že počet lékařů, kteří léčebné konopí smějí předepisovat je malý a stejně tak jeho dostupnost je vcelku omezená, jelikož jeho ceny jsou dosti vysoké (Landa & Juřica 2020).

3.3.2. Technické konopí

Konopí technické, anglicky označované také jako „hemp“, je naopak protáhlejší a může dorůst až pěti metrů. Toto konopí je pěstováno ze semen. Jedná se o rostliny, u kterých je podíl THC nižší než 0,3 %. Koncentrace CBD zde však může být vyšší, a tudíž i konopí technické může být využito jakožto léčebné (Dupal, 2004).

Jeho škála využití je velice pestrá. Obrovský rozmach mělo již ve staré Číně. Ať už šlo o sítě na ryby, šití šatů, výrobu papíru nebo léčitelství, konopí si našlo uplatnění a nezastupitelnou roli v každodenních úkonech místních obyvatel (Rodziewicz & Kayser, 2020).

Obecně se jedná o jeden z nejstarších zdrojů textilního vlákna, které se využívá například ke spřádání lan a provazů. V zemědělství se uplatňuje jako krmivo pro zvířata, ve

stavebnictví slouží jako izolační materiál a využití dodnes nachází i v textilním či v papírenském průmyslu (Kaczorová et al, 2020). Landa & Juřica (2020) uvádějí, že konopí má velký potenciál ve fytořemediaci půdy kontaminované těžkými kovy. Kořeny konopí mají totiž dobrou schopnost kovy z půdy absorbovat (Kaczorová et al. 2020).

3.4. Taxonomie (léčebného) konopí

Carl Linné v roce 1737 konopí poprvé odborně popsal jako konopí seté (*Cannabis sativa*). Následně ovšem přírodovědec Lamarck začal zaznamenávat značné odlišnosti mezi konopím z Evropy a tím z Indie, což vedlo k rozdělení na dva druhy: konopí seté (*C. sativa*) a konopí indické (*C. indica*). Ve dvacátých letech minulého století zaregistroval pak ruský botanik Janischewsky ve střední Asii a na Sibiři menší, a ne příliš rozvětvené rostliny konopí, které se lišily od *C. sativa* i *C. indica* a tento planě rostoucí druh následně pojmenoval jako konopí rumištní (*C. ruderalis*) (Chandra et al. 2017).

Dříve se tedy konopí dělilo na tři druhy: *sativa*, *indica* a *ruderalis*. Někteří odborníci ovšem uvádí, že existuje jenom jeden druh konopí, a to sice *Cannabis sativa*, který se dále dělí na tři poddruhy: *C. sativa* ssp. *sativa* (konopí seté), *C. sativa* ssp. *indica* (konopí indické) a *C. sativa* ssp. *ruderalis* (konopí rumištní). Tyto tři poddruhy konopí rozdělujeme v závislosti na koncentraci látek, vzrůstu rostliny a jejím tvaru (Small 2015).

3.4.1. Cannabis sativa (konopí seté)

Podle Chandra et al. (2017) se jedná o teplomilnou bylinu s původem v Západní a Střední Asii. Dnes se s ní ovšem setkáme v různých prostředích rozpínajících se od hladiny moře až po podhůří Himalájí.

Jednou z hlavních morfologických charakteristik *Cannabis sativa*, které ji odlišují od *Cannabis indica*, je tvar a zbarvení jejích listů. Listy tohoto poddruhu jsou spíše tenké, protáhlejší a světleji zelené. Podobně tomu je i u celkového vzhledu, kdy jsou rostliny konopí setého obecně protáhlejšího vzrůstu a mohou dosahovat až pěti metrů. Květy *C. sativa* jsou podlouhlé, tenké a méně husté než květy *C. indica* (Rai et al. 2017; Chandra et al. 2017).

C. sativa bývá ve srovnání s *C. indica* obvykle bohatší na obsah CBD, a naopak chudší na THC. Jako *C. sativa* se klasifikují ty rostliny, jejichž obsah THC v sušině přesahuje 0,3 % a obsah CBD by měl být vyšší než 0,5 % (Small 2015).

3.4.2. Cannabis indica (konopí indické)

Lamarck popsal konopí pocházející z Afghánistánu, Indie a okolí jako konopí indické (*Cannabis indica*).

Listy *Cannabis indica* jsou typicky širší, než listy *C. sativa*. Dalším vizuálním specifikem listů je tmavší odstín zelené, který někdy přechází až do nafialové. Zbarvení závisí i na teplotě, kdy chladnější podmínky indukují intenzivnější zbarvení. Rostliny jako takové mají nižší vzrůst (do 1,5 m) než *C. sativa* a mají spíše robustní vzhled, jelikož jsou bohatě větveny. Obsah THC v sušině u *C. indica* by měl být vyšší než 0,3 % a obsah CBD nižší než 0,5 % (Thomas & ElSohly, 2016).

3.4.3. Cannabis ruderalis (konopí rumištní)

Jedná se o plevelný druh, který dosahuje výšky maximálně jednoho metru. Nebývá příliš rozvětvený a jeho listy jsou spíše malé a krátké. S planě rostoucím se lze setkat na jižní Moravě (Dupal 2004).

4. Podmínky pěstování konopí:

4.1. Venkovní pěstování „Outdoor“

„Outdoor“ neboli venkovní pěstování obvykle začíná ke konci března a životní cyklus je ukončen na konci listopadu až začátkem prosince v závislosti na odrůdě (Chandra et al. 2017). Konopí lze pěstovat do nadmořské výšky 450 m n. m. ve výrobních oblastech bramborářské, řepařské a kukuřičné. Ideální jsou pro pěstování lehké, propustné hlinité až hlinitopísčité půdy s dobrým obsahem živin, především pak dusíku a draslíku a pH mezi hodnotami 5,5 až 7 (Bjelková et al. 2017). Důležitý aspekt, který musíme mít při tomto pěstování na paměti je klima oblasti. Konopí je poměrně přizpůsobivé, extrémny mu ovšem mohou ublížit. Teplota by optimálně neměla klesnout pod 13 °C a zároveň by neměla přesáhnout 30 °C (Zetta & Paull 2020).

Výhody venkovního pěstování:

Pěstování konopí ve vnějších podmínkách je méně nákladné nežli v uzavřených prostorách, jelikož zde nepotřebujeme elektřinu, ventilační systémy a další, pro vnitřní pěstování, nezbytné prvky (Benton Jones Jr. 2014). Jedná se o jednodušší způsob pěstování, jelikož rostliny zde mají přístup k přirozenému světlu a také k řadě potřebných živin, které jsou již v prostředí, kde pěstujeme již obsaženy (Cervantes 2006). Dále pak kořenový systém potažmo celá rostlina má větší prostor pro růst. Rostliny pěstované ve venkovním prostředí mají tedy obecně více biomasy ve srovnání s těmi, jež jsou pěstovány v uzavřených prostorách (Bjelková et al. 2017; Zetta & Paull 2020).

Nevýhody venkovního pěstování:

Venku pěstované konopí je vystaveno všem přírodním nevyzpytatelným podmínkám, jako je počasí, přístupnost vody, zvířata, choroby či škůdci. Toto se pak může znatelně odrazit na finální úrodě. Případně při silném větru či bouřce může dojít i ke zlikvidování celé úrody. Potenciálním rizikem může být i krádež rostlin (Zetta & Paull 2020). Dále je u takto pěstovaného konopí náročnější udržet uniformitu chemického profilu, jelikož je pro něj typická alogamie (cizosprašnost) (Bjelková et al., 2017).

4.2. Pěstování v uzavřených prostorách „Indoor“

Pojmem „indoor“ pěstování konopí je myšleno pěstování ve vnitřních podmínkách, kde získáváme možnost absolutně ovládat a kontrolovat celý životní cyklus rostliny a v návaznosti na to i ovlivnit kvantitu a kvalitu vyprodukované biomasy. Nejdůležitějšími parametry jsou světlo, teplota, živiny, koncentrace CO₂, cirkulace vzduchu a relativní vzdušná vlhkost (Roberto 2003; Thomas & ElSohly 2016). Průměrné délka celého pěstebního cyklu konopí v „indoor“ prostředí se pohybuje okolo 100 až 120 dní v závislosti na druhu rostliny. Dvěma hlavními „indoor“ pěstebními metodami jsou pěstování v substrátu a hydroponie (Dupal 2004).

Rostliny konopí můžeme rozmnožovat generativním nebo vegetativním způsobem, a to sice řízkováním. Řízky získáváme z mateřských rostlin, které jsou v pěstírně umístěny v oddělené místnosti. Mateřské rostliny totiž potřebujeme udržovat ve vegetační fázi čili při světelné periodě, kdy je 6 hodin tmy a 18 hodin světla (Dupal 2004). Po zakořenění jsou řízky po dobu dní až několika týdnů udržovány při zmíněné době osvětlení. Jakmile rostlinky dosáhnou optimální velikosti, je osvětlení přepnuto na 12 hodin světla a 12 hodin tmy čili do květové fáze (Adams 2012).

4.2.1. Světlo a fotoperioda v uzavřených prostorách

Světlo je klíčovým faktorem ovlivňujícím správný růst, vývoj a metabolismus konopí (Danziger & Bernstein 2021). Pro zajištění rychlého růstu, musí mít světlo vhodné spektrum a intenzitu. Rostliny využívají pouze určité části světelného spektra. Hlavní část světla využívaná rostlinami, takzvaná zóna fotosynteticky aktivního záření (FAR), se pohybuje mezi 400 až 700 nm (Cervantes 2006; Danziger & Bernstein 2021). Největší roli hraje červené (600 až 700 nm) a modré spektrum (420 až 450 nm) (Danziger & Bernstein 2021). Modré má význam v růstové fázi, jelikož v této fázi převažuje chlorofyl B. Červené spektrum, které zachycuje chlorofyl A je nejhodnější ve fázi květu (Dupal 2004).

Fotoperioda udává délku doby denního světla v průběhu 24 hodin. Pro většinu odrůd konopí je optimální fotoperioda pro vegetativní fázi růstu 18 až 24 hodin světla a 6 až 0 hodin tmy. Nástup do květu je pak vyvolán 12 hodinami nepřerušované tmy a 12 hodinami světla. Dvanáctihodinová fotoperioda představuje klasickou rovnodennost a je optimálním poměrem denního světla a tmy pro kvetení konopí (Cervantes 2006).

Při pěstování v „indoor“ podmínkách jsou zdroje světla různé, lze použít fluorescenční světla, vysokotlaké sodíkové výbojky, halogenidové žárovky či světelné diody (Thomas & ElSohly 2016). Ve vnitřním pěstování není ovšem tak snadné vyrovnat se fotosynteticky aktivnímu záření, které je přijímáno z venkovního světla.

4.2.2. Teplota

Optimální teplota se u rostlin může lišit v závislosti na jejich původu a genetické výbavě (Benton Jones Jr. 2014). Pro většinu odrůd konopí je optimální teplota mezi 25 °C až 30 °C (Chandra et al. 2020). Tepelný stres může vést ke snížení růstu rostlin a vyvolat jejich stárnutí, zároveň ale podle Chandra et al. (2017) prokazatelně dokáže zvýšit produkci sekundárních metabolitů. Chandra et al. (2017) zároveň zmiňuje, že podle některých studií byly zaznamenány důkazy o roli teploty v biosyntéze kanabinoidů.

4.2.3. Cirkulace vzduchu

Cirkulace vzduchu je dalším z důležitých aspektů pěstování v pěstírně. Vyšší hladina CO₂ napomáhá fotosyntetické asimilaci uhlíku. Toto dokáže urychlit růst rostliny a zlepšit i její produktivitu (Chandra et al. 2020). Thomas & ElSohly (2016) uvádí, že zdvojnásobením koncentrace CO₂ ve vzduchu může být výnos zvýšen o 30 %. Zároveň by mělo docházet ke stimulaci rychlosti fotosyntézy a účinnosti využití vody o 50 %. Naopak při nedostatku CO₂ se začne snižovat intenzita fotosyntézy a rostliny začnou odumírat. Takový případ může nastat během světelné fáze fotosyntézy, kdy je produkce CO₂ nižší než spotřeba (Adams 2012).

4.2.4. Živný roztok

Zásadním procesem pro optimální výživu rostlin je příprava živného roztoku. Rozmanitost hydroponických hnojiv je obrovská. Vhodnou volbou pro indoor pěstování jsou vodorozpustná hnojiva. Jejich značnou výhodou je to, že je lze snadno dodat nebo naopak vymýt z růstového média. Lze zde také do určité míry kontrolovat množství a poměry dodávaných živin (Benton Jones Jr. 2014).

Množství hnojiva v roztoku lze snadno, přesně a ihned určit měřením elektrické vodivosti neboli „Electric conductivity“ (EC), jejichž hodnoty jsou udávány v mS/cm (miliSiemens) a měřeny konduktometrem. EC udává koncentraci solí v živném roztoku, jelikož soli přidané a rozpuštěné ve vodě ovlivňují elektrickou vodivost. Čili čím více přidaných solí ve vodě je, tím vyšší bude hodnota EC (Bugbee 2004). Pokud je tedy hodnota EC vyšší, roztok naředíme a v opačném případě naopak. V potaz samozřejmě musíme brát i druh konopí. (Adams 2012) uvádí, že například *Cannabis sativa* snese vyšší hodnoty EC nežli *Cannabis indica*.

4.2.4.1. Teplota živného roztoku

Udržování stabilní a správné teploty živného roztoku je nesmírně důležité, a to především v kořenové zóně. Texier (2015) uvádí, že s rostoucí teplotou roztoku se zrychluje metabolismus rostlin a dochází tak k úbytku množství kyslíku v kořenové zóně, což může mít za následek úhyn kořenů či výskyt patogenů. Při nízkých teplotách se metabolismus zpomaluje, tudíž je kyslíku více. Jako ideální teplota se tedy uvádí 18 až 24 °C. Teplotu roztoku lze jednoduše ovlivnit změnou okolní teploty. Teplota živného roztoku by však nikdy neměla být nižší, než je teplota okolního vzduchu (Benton Jones Jr. 2005).

4.2.4.2. Hodnoty pH živného roztoku

Svou roli v příjmu živin má i hodnota pH živného roztoku. Právě tato hodnota totiž dokáže ovlivnit dostupnost a příjem pro rostlinu důležitých živin (Bugbee 2004). U hodnot pH nad 7,0 hrozí vysrážení železa z roztoku. Proto by se hodnota pH v hydroponii mělo pohybovat maximálně do 6,8 a u uzavřeném systému pod 6,5. Texier (2015) zároveň uvádí, že podle výzkumu provedeného na univerzitě v Utahu, by rostliny měly do minimální hodnoty 4,5 stále prosperovat. Ideální hodnotu pH, při které by byly všechny živiny vstřebávány stejně dobře ovšem nelze stanovit, jelikož u každé živiny je tomu trochu jinak. Na hodnotách pH je závislá především vstřebatelnost K^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} a Mn^{2+} (Bugbee 2004; Benton Jones Jr. 2014; Texier 2015).

Jak již bylo zmíněno, pH má vliv na vstřebatelnost jednotlivých živin. Texier (2015) uvádí, že fosfor, železo, mangan, bor, zinek a měď bývají nejlépe vstřebatelné při hodnotě pH 5,0-5,5. Odlišně pak živiny jako dusík, draslík, vápník a hořčík jsou nejlépe vstřebatelné za hodnot pH 7,0-7,5.

4.2.5. Vlhkost vzduchu

Důležitým faktorem při všech růstových fázích rostliny konopí je relativní vlhkost vzduchu. Frekvence zavlažování se odvíjí od více faktorů, jako je fáze růstu, teplota, velikost rostlin a květináčů a další. Mladé rostliny vyžadují vyšší vlhkost vzduchu oproti vyvinutějším

rostlinám. Ta by se měla zajišťovat pravidelným postřikem na listy a pohybovat by se měla okolo 70-75 %, tak aby se vysoká vlhkost udržela, dokud nedojde k zakořenění. Později ve fázi květu se vlhkost snižuje ideálně na 55-60 % a neměla by tento limit překročit, jelikož zde hrozí riziko napadení plísněmi (Chandra et al. 2017).

5. Hydroponie

Hydroponie je způsob pěstování rostlin ve vodním prostředí s kořeny, které rostou přímo v živném roztoku za nepřítomnosti substrátu nebo v inertním médiu čili v takovém, které neobsahuje živiny. Často využívanými inertními médii zde bývají například keramzit, vermikulit, perlit, kokosové vlákno a skelná vlna neboli „rockwool“ (Benton Jones Jr. 2014) (AlShrouf 2017). U všech typů hydroponických systémů jsou živiny rostlinám dodávány vodorozpuštěnými hnojivy. Hnojiva jsou přidávána do zásobníků s vodou, z nichž jsou pak ve zředěné formě přiváděna k rostlinám (Chandra et al. 2017).

Značnou výhodou hydroponie je absolutní kontrola nad kvantitou a kvalitou dodávaných živin a také nad hodnotami pH živného roztoku. Rostliny takto pěstované se automatizací systému mohou stát soběstačné. Hydroponické pěstování zároveň napomáhá k úspoře živin, jelikož všechny dodané živiny jsou vstřebávány pouze rostlinami a neuvolňují se do půdy (Cervantes, 2006). Rostliny pěstované tímto způsobem mají díky lépe dostupnému kyslíku v kořenové zóně rychlejší růst (Benton Jones Jr. 2014). Díky rychlému růstu nejsou tak výrazně náchylné k napadení škůdci. Není tedy tak často zapotřebí využívat pesticidů. Dále pak vcelku logicky nejsou zapotřebí herbicidy, jelikož zde plevely nemají kde růst. Texier (2015) dále uvádí, že hydroponicky pěstované rostliny mají vyšší výnosy a vyšší hodnoty aktivních látek.

5.1. Inertní substráty

Kamenná vlna „Rockwool“:

Kamenná vlna neboli „Rockwool“ je ve stavebnictví využívána jakožto izolační materiál již od roku 1909 (Texier 2015). Jako pěstební substrát se ovšem začala používat až o 60 let později. Je vyráběna tavením tří složek, a to čedičového kamene, koksu a vápence. Tyto jsou za teplot 1500 °C až 2000 °C roztaveny ve speciálních pecích a následně slité dohromady (Benton Jones Jr. 2014). Výsledný produkt je následně spřádán do vláken, jež pak mohou být zpracována do podoby kostek či rohoží. Jedná se o velice lehký substrát s maximální objemovou hustotou 0,1 g/cm³ a propustností až 98 % (Texier 2015).

V současnosti se jedná o nejpoužívanější hydroponický substrát, a to především pro svou nízkou pořizovací cenu (Texier 2015). Nejedná se ovšem o nejlepší substrát. Nevýhodou kamenné vlny je fakt, že se do ní při zalévání voda nevsakuje rovnoměrně a má tendenci se držet ve spodní části, které je přemokřená, a naopak svrchní část vysychá. To je způsobeno slabou schopností zadržovat vodu (Roberto 2003; Cervantes 2006). Texier (2015) také uvádí, že kamenná vlna má tendenci mírně zvyšovat hodnoty pH.

Kokosové vlákno:

Dalším inertním pěstebním substrátem je kokosové vlákno. Tento materiál je vyráběn z odpadních produktů při zpracování zralých kokosových ořechů, konkrétně ze slupek, které jsou usušeny a slisovány do rohoží. Během namočení se slisovaný materiál zvětší až na šestnásobek původní velikosti (Roberto 2003). Jedná se o velmi kvalitní substrát, který je díky svému organickému původu ideální pro rozvoj prospěšných mikroorganismů a mimo to je také dobře kompostovatelný (Cervantes 2006; Texier 2015).

Perlit:

V hydroponickém pěstování se setkáváme i s využitím perlitu. Jedná se o bílý porézní materiál s neutrálním pH. Vzniká zahřátím vulkanického skla na zhruba 1000 °C, kdy se následně expanduje na čtyřnásobek až dvacetinásobek svého původního objemu (Cervantes 2006). Je to velmi lehký substrát s objemovou hustotou okolo 0,1 g/cm³. Díky své porézní struktuře má schopnost zadržovat přibližně čtyřikrát více vody, než sám váží. Využíván je při zakořeňování řízků a při přesazování rostlin. Samostatně jinak nebývá příliš využíván (Adams 2012; Texier 2015).

Keramzit:

Často využívané médium pro hydroponické pěstování se nazývá keramzit. Vyrábí se v rotačních pecích z cyprisových jíílů za teplot okolo 1200 °C. Dochází zde k expanzi granulátů a vytvoření pórů. Velikost jednotlivých částic se pohybuje mezi 1 až 18 mm (Benton Jones Jr. 2014). Objemová hustota se pohybuje mezi 0,5 g/cm³ do více než 1 g/cm³ (Texier 2015). Je to vzdušný a stabilní substrát s hodnotou pH okolo 7. Benton Jones (2014) konstatuje, že jednou z výhod keramzitu je fakt, že do sebe z živného roztoku nevstřebává žádné ionty. Lze ho tedy po použití snadno sterilizovat vypálením při 204 °C po dobu jedné hodiny a poté znovu použít.

5.2. Otevřené a uzavřené hydroponické systémy

Podle Benton Jones Jr. (2005) lze hydroponické systémy rozdělit na uzavřené a otevřené podle toho, zda je živný roztok po aplikaci recirkulován nebo se již znovu v systému nevyužije.

5.2.1. Otevřené hydroponické systémy

Jako otevřený hydroponický systém se rozumí takový, ve kterém je živný roztok poté co prošel kořenovou hmotou odveden pryč do odpadní nádrže a opakovaně se nevyužívá (Benton Jones Jr. 2005). Benton Jones Jr. (2014) uvádí, že pro tento způsob hydroponie je typické pěstování rostlin v rockwoolových kostkách, ke kterým je několikrát za den přiváděn roztok. Přičemž při každém zalití je do rockwoolu vsáknuto zhruba 70-75 % roztoku a zbytek odteče ven. Toto napomáhá eliminovat usazování solí v substrátu (Texier 2015). Podle množství a obsahu živin odpadní vody pak pěstitelé mohou stanovit, co konkrétně rostliny v daných vývojových stádiích vyžadují a podle jejich potřeb pak rozvrhnout harmonogram pěstebního cyklu.

Oproti uzavřeným systémům mají ty otevřené výhodu v tom, že je zde nižší riziko šíření kořenových chorob (Texier 2015). Vzhledem k tomu, že jsou živiny nepřijaté rostlinou vypuštěny do odpadní nádrže, je zde oproti uzavřeným systémům nižší riziko deficitu či nadbytku živin. Za nevýhodu lze považovat vyšší náklady ve spojitosti se spotřebou vody a také menší šetrnost vůči životnímu prostředí.

5.2.2. Uzavřené hydroponické systémy

Tento systém se od otevřeného liší především v tom, že je zde živný roztok opakovaně recirkulován z nádrže k rostlinám a zase zpět. Potenciál živného roztoku je tak využit na maximum. (Texier 2015). Uzavřený systém je povětšinou ekonomicky výhodnější a šetrnější k životnímu prostředí, jelikož použitá voda i hnojiva jsou postupně rostlinami využívány (AlShrouf 2017). Nevýhodou je pak skutečnost, že u tohoto typu systému hrozí vyšší riziko přenosu kořenových chorob. Nákaza ostatních rostlin může probíhat právě přes recyklovaný živný roztok (Texier 2015).

U uzavřených hydroponických systémů musíme mít na paměti fakt, že rostliny každou z živin přijímají z roztoku jinou rychlostí. Zatímco některé jsou aktivně absorbovány kořeny již během několika hodin, jiné živiny jsou přijímány pasivně a mohou se v roztoku kumulovat (Bugbee 2004). Esenciální živiny lze rozdělit do tří pomyslných kategorií právě podle rychlosti absorpce rostlinou z roztoku. První skupina živin je rostlinnými kořeny aktivně přijímána a z roztoku mizí již během pár hodin. Mezi tyto živiny se řadí fosfor, dusík, mangan a dusík (NO_3^- a NH_4^+). Koncentrace těchto živin se musí držet v nižších hodnotách, aby svou kumulací v rostlině nepůsobily toxicky. Živiny druhé pomyslné skupiny jsou přijímány středně rychle. Mezi tyto patří hořčík, síra, železo, měď, zinek, molybden a chlor. Poslední skupinou jsou živiny, jež jsou rostlinou absorbovány pasivně a mají tendenci se v roztoku kumulovat. Jedná se o vápník a bor (Bugbee 2004).

5.3. Aktivní a pasivní hydroponické systémy

Všechny hydroponické systémy lze rozdělit na základě toho, jakým způsobem je živný roztok aplikován, a to sice zda je aplikován pasivně nebo aktivně.

5.3.1. Pasivní systémy

Pasivní neboli knotové systémy jsou závislé právě na knotech, které jsou ponořeny do živného roztoku, který se samovolně pomocí osmózy nasává do druhého konce, jež je umístěn v kořenové zóně (Texier 2015). Vůbec zde tedy nefiguruje čerpadlo. Pro tyto systémy je vhodné zvolit jakožto substráty savé hygroskopické materiály, a to sice vermikulit či rašelinu (Cervantes 2006). Podle Adams (2012) však pasivní systémy nejsou příliš vhodné pro pěstování konopí, jelikož se jedná o rostliny s rychlým růstem a vysokými požadavky kořenů na kyslík, což systém nemůže zajistit, jelikož roztok není okysličován.

5.3.1.1. Pěstování na vodě „Deep Water Cultivation“ (DWC)

DWC je snadný, relativně levný produktivní hydroponický systém využívaný v klasických botanických laboratořích. Skládá se z nádrže s otvorem na vrchu, do kterého umístíme děrovaný květináč s rostlinou, která má prorostlý kořenový systém. Kořeny rostliny visí směrem dolů a jsou namočené v živném roztoku. Na dno nádrže umístíme vzduchovací kámen, který okysličuje roztok a tím rostlinám napomáhá snadněji absorbovat živiny. Konkrétně by kámen měl vystačit na okysličení zhruba 20 až 30 litrů vody. Obsluha systému je poměrně nenáročná, důležité je kontrolovat hladinu roztoku a minimálně jednou do týdne jej doplňovat. Není zde zapotřebí ani časovač, jelikož čerpadla jsou v provozu 24 hodin denně (Cervantes 2006).

5.3.2. Aktivní systémy

Aktivní systémy jsou ty, které k pohybu živného roztoku k substrátu či kořenům rostliny využívají pump nebo čerpadel. Jedná se například o Filmový tok živin (NFT), Kapkovou závlahu či systém Přílivu a odlivu neboli „Ebb and flow“. Tyto systémy jsou pro pěstování konopí vhodnější, jelikož se jedná o rostliny s rychlým růstem a aktivní systém je schopen vyhovět jejím nárokům (Adams 2012).

5.3.2.1. Kapková závlaha

Podíl na rozvoji tohoto systému má uplatnění rockwoolu při pěstování rostlin. Do rockwoolových kostek se na počátku vsadí semena či řízků. Jakmile dojde k prokořenění, lze kostky umístit například do květináče s keramzitem nebo do rockwoolových desek, které se umístí na podložku z pevného plastu (Texier 2015). Tato podložka by měla být mírně ve sklonu, na jedné straně by měl být žlábek, odkud odtéká zbylý roztok do odpadní nádrže. Podél stolu vedou trubice, na které jsou napojeny hadičky, jež jsou jednotlivě svrchu připevňovány do rockwoolových kostek a pomalu ve formě kapek přivádějí živný roztok k rostlině (Cervantes 2006).

Jednou z hlavních výhod tohoto systému je, že zde rostliny vydrží krátkodobé výpadky energie. Roberto (2003) ovšem uvádí, že zřídit tento systém je drahé a obtížné, většinou bývá využíván pěstiteli rajčat.

5.3.2.2. Filmový tok živin „Nutrient Film Technique“ (NFT)

Jedná se o jeden z nejpoužívanějších aktivních uzavřených hydroponických systémů. Metoda NFT měla ohromný rozmach již v 90. letech, kdy byla hojně využívána ke komerčnímu pěstování různých druhů zeleniny (Texier 2015). V tomto systému jsou rostliny zavěšeny nad žlábkem, ve kterém jsou ponořeny kořeny, okolo nichž proudí živný roztok. Tento žlábek je umístěn v mírném náklonu 0,3 až 2 % tak, aby živný roztok z vrchu proudil okolo kořenů směrem dolů, a to v doporučeném tempu 1 litr za minutu (Benton Jones Jr. 2014). Roztok je pravidelně jednou za 24 hodin přiváděn do pěstební nádoby pumpou a rostliny z něj přijímají tolik živin, kolik je v dané fázi růstu potřeba. Vrstva roztoku, který protéká okolo kořenů by měla být velmi nízká. Jakožto vhodný materiál na výrobu NFT žlábků uvádí Benton Jones (2014) neprůhlednou polyetylenovou fólii.

Jako výhodu metody Texier (2015) uvádí dokonalé okysličování, které je zapříčiněno rovnoměrným rozložením živného roztoku v pěstební nádobě, kde tak po celé ploše dochází k reakci vody se vzduchem. Výhodou tohoto systému je také jeho prvotní relativně nízká investice do materiálů (Benton Jones Jr. 2014).

Jako nevýhodu uvádí Texier (2015) nedostačené množství cirkulované vody. To by například v případě selhání techniky mohlo být během několika hodin pro rostliny fatální. Dále je zde poměrně složité zachytit včas choroby, jelikož při vstupu do NFT systému budou choroby poměrně rychle přeneseny z rostliny na rostlinu, tedy pokud je živný roztok recirkulován a není sterilizován (Roberto 2003; Benton Jones Jr. 2005). Hrozbou může být ku příkladu houbový organismus *Pythium*, kterého se ovšem snadno vyvarujeme udržováním teploty živného roztoku pod 25 °C (Benton Jones Jr. 2014).

5.3.2.3. Příliv a odliv „Ebb and Flow“

Jedná se o uzavřený hydroponický systém, který je velice oblíbený, jelikož je poměrně nenáročný na údržbu. Vstupní investice do něj není tak vysoká a má velice jednoduchý ale účinný design, který lze odvodit již z názvu. Rostliny jednotlivě umístíme do květináčů nebo do kostek rockwoolu na speciální stůl s živným roztokem. Roztok je čerpán pumpou z nádrže směrem nahoru na stůl, který dokáže pojmout zhruba tři až deseticentimetrovou vrstvu tekutiny. Jakmile je na stůl přivedeno stanovené množství roztoku je přebytečný roztok odváděn zpět do nádrže a po vypnutí pumpy je ze stolu zcela odveden. Tato rutina by se měla opakovat každé 2-3 hodiny. Technologie zároveň zajišťuje okysličení systému (Benton Jones Jr. 2014; Texier 2015).

Jako výhodu uvádí Texier (2015) dobré provzdušňování kořenové zóny. Dále se zde v porovnání s jinými uzavřenými systémy hromadí méně solí. To je zapříčiněno tím, že je kořenový systém pravidelně ponořován. Pozitivem jsou též již zmíněné nízké počáteční náklady do systému (Roberto 2003). Naopak negativem systému je riziko přehřátí živného roztoku, které může nastat v důsledku toho, že jsou stoly poměrně málo hluboké (Sheets 2015).

6. Nároky konopí na makroživny

Rostliny se řídí takzvaným Liebigovým zákonem minima. Jedná se o ekologické pravidlo, které říká, že život organismů je vždy limitován tím prvkem, který je v minimu, a to i v případě, kdy je ostatních prvků dostatek (Townsend et al. 2010). Rostlinami je vyžadováno celkem 18 prvků, přičemž 15 z nich musí být dodáváno přímo do kořenové zóny. Mezi tyto řadíme makroprvky a mikroprvky. Makroprvky rostlina potřebuje v relativně vyšších množstvích a lze je rozdělit do dvou kategorií na primární, kam patří dusík, fosfor a draslík. Dále na sekundární makroprvky, a to sice vápník, síru a hořčík. Mikroprvky, jako například železo jsou rostlinou vyžadovány v nižších kvantitách, nicméně i tak jsou pro prosperitu a růst rostliny nezbytné.

Nároky na živiny jsou dnes stanoveny již u většiny hospodářsky významných rostlin. Není tomu tak ovšem u léčebného konopí, jelikož to se na rozdíl od jiných nemohlo rozsáhleji legálně pěstovat, a tak u něj doposavad nebyly přesně stanoveny potřebné hodnoty živin. Schémata optimálního hnojení se tak zatím stále zdokonalují a odvíjí se od poznatků získaných při pěstování konopí technického a dalších rostlin (Cockson et al. 2019).

Při dodávání živin musíme samozřejmě brát v zřetel životní fázi rostliny. Hnojit se rostlina začíná ve stáří 3 až 4 týdnů, za použití hnojiva s vyšším obsahem dusíku, jež napomáhá stimulaci růstu stonku. Po zhruba desíti týdnech, kdy se snažíme konopí přivést do květu, je vhodné aplikovat hnojivo chudší na dusík, a naopak bohaté na draslík a fosfor. Procentuální poměr NPK by měl být 4:10:10 (Dupal 2004).

Při pěstování konopí v hydroponii musíme mít na paměti fakt, že pokud používáme substráty, tak se jedná o takové, které jsou inertní, a tedy postrádají v sobě živiny. Esenciální živiny jsou proto v potřebných poměrech přidávány do zásobních nádrží, ze kterých se pak dostávají k pěstovaným rostlinám. Proto, aby živiny byly ve vhodných množstvích přijaty

rostlinami konopí je velice kritickým aspektem hodnota pH a EC živného roztoku, jež je pak veden přímo k rostlinám. Pokud je živiny v roztoku nadměrné množství poznáme to právě podle vysoké hodnoty EC (Bugbee 2004; Benton Jones Jr. 2014).

6.1. Dusík

Správný podíl makroživin je esenciální pro všechny rostliny. Mezi ty nejdůležitější patří dusík, fosfor a draslík. Právě jejich množství, a to především dusíku, ovlivňuje příjem dalších živin a dokáže determinovat velikost rostliny, potažmo její výnosnost (Barker & Pilbeam 2015). Dusík je mobilní živina a nejpohotověji dostupnou formou této živiny pro rostlinu je NH_4^+ . U používání této formy musíme být ovšem opatrní s dávkováním, neboť vyšší koncentrace je pro rostlinu toxická. Další je nitrátová forma (NO_3^-) jejíž asimilace je daleko zdoluhavější nežli u formy NH_4^+ (van Rooyen & Nicol 2022). Na příjem těchto iontů má značný vliv hodnota pH prostředí. Pokud je pH kyselější převažuje příjem NO_3^- . Jeli pH neutrální či alkalické, příjem NO_3^- a NH_4^+ se vyrovnává nebo je zvýšen příjem NH_4^+ . Roli v příjmu dusíku hraje také teplota. Při nízké teplotě se zvyšuje příjem NH_4^+ a naopak je snížen příjem NO_3^- (Vaněk et al. 2016).

Dusík je esenciální pro tvorbu aminokyselin, nukleových kyselin, enzymů, alkaloidů a také chlorofylu (Hejnák et al. 2005; Saloner & Bernstein 2020). Rostlinné bílkoviny obsahují zhruba 15 až 18,9 % dusíku (Vaněk et al. 2016). Dusík je také zodpovědný zejména za růst stonku a listů (Papastylianou et al. 2018). Nízký podíl této živiny pak může redukovat fotosyntetickou kapacitu rostliny a tím i limitovat její vzrůst. Obsah dusíku má pozitivní vliv na tvorbu a kvantitu THC. Logicky tedy, u mladších listů, které dusíku obsahují více, se setkáváme i s vyšším množstvím THC, a naopak u starších je podíl THC nižší (Aubin et al. 2015; Veazie et al. 2021).

Jakmile jsou viditelné kořínky, rostlině by mělo být optimálně dvakrát až třikrát do týdne dodáno 50 až 70 ppm dusíku. Ve stádiu nástupu intenzivního vegetativního růstu konopí vyžaduje vyšší dávky dusíku okolo 160-200 ppm a těstě před fází květu lze dávky zvýšit na 200-225 ppm. Ve fázi květu, kdy rostlina přestane růst v takové intenzitě jako ve fázi předešlé, se množství dodávaného dusíku sníží na 100 až 150 ppm (Saloner & Bernstein 2020). V návaznosti na svůj experiment Saloner & Bernstein (2020) uvádí, že se celkový výnos květenství snížil v případech, kdy se množství dusíku pohybovalo mimo hodnoty 160-240 ppm.

Deficit:

Dusík hraje důležitou roli při syntéze chlorofylu, proto se při nedostatku této živiny barva listů rostlin mění ze zdravé zelené na žlutou (Sheets 2015). Při deficitu se postupně zpomalí růst a starší listy odspoda rostliny začnou blednout a žloutnout přes žilnatinu (viz.

Obrázek č. 1). Postupně bledne celý list, načez může dojít k opadu. Celá rostlina je světlejší, než je typické, nevětví se a je vcelku drobnější (Texier 2015).



Obrázek č. 1: Deficit N (Sheets, 2015)

Nadbytek:

Při nadměrném množství dusíku dochází k bujnému růstu listů, které jsou slabší a méně odolné vůči stresu, škůdcům a chorobám. Listy se stáčí a odumírají na okrajích a špičkách (Sheets 2015). Stonky začnou též slábnout, tmavnout a jsou náchylnější k ohybu. Kořenový systém se vyvíjí pomaleji a květy jsou drobnější, případně rostlina ani nevykvete (Bjelková et al. 2017).

6. 2. Fosfor

Mimo dusík, je fosfor jedním z pro konopí nejdůležitějších makroprvků, jehož koncentrace značně ovlivňuje morfologii a fyziologii těchto rostlin. Je důležitý pro uchovávání a využívání energie, růst kořenů a metabolické procesy. Fosfor je mobilní živina čili může se přesouvat ze starších částí rostliny do novějších. Pokud tedy dojde k deficitu, zpozorujeme ho právě u starších listů (Bjelková et al. 2017). Fosfor je přijímán rostlinou ve formě aniontů H_2PO_4^- či HPO_4^{2-} (Vaněk et al. 2016). Obsah živiny v sušině se pohybuje mezi 0,1 až 0,5 %, přičemž nejvyšší koncentrace bývají u mladých rostlinek a postupně s jejich stářím klesají (Benton Jones Jr. 2005).

Při zvýšeném obsahu fosforu byly zaznamenány vyšší hmotnosti u suché hmoty listů a květů a zároveň i vyšší koncentrace THC v porovnání s rostlinami s nižšími hodnotami fosforu (Dupal 2004). Coffman & Gentner (1975) zároveň u technického konopí zpozorovali zvýšení hodnot CBD při snížení obsahu fosforu v půdě.

Shiponi & Bernstein (2021) v návaznosti na svůj experiment zároveň uvádějí, že s rostoucím množstvím fosforu do 30 ppm v živném roztoku, rostla i koncentrace dusíku v rostlině. Když se ovšem P aplikoval nad 30 ppm, koncentrace dusíku v listech a stoncích začala klesat. Koncentrace draslíku v kořenech, stonku a listech byla naopak nejvyšší při nižším množství fosforu. S koncentrací fosforu rostla i koncentrace vápníku v kořenech, a naopak ve stonku a květech bylo vápníku nejvíce při hodnotách fosforu pohybujících se pod 5 ppm.

Jako vhodné množství fosforu ve vegetativním stádiu rostliny uvádí na základě experimentu. Cockson et al., (2020) hodnotu 11,25 ppm. Ve fázi květu je spotřeba fosforu nejvyšší (Vaněk et al. 2016). Potřebná hodnota pohybuje mezi 11,25-30 ppm, přičemž

zvýšením množství nad 11,25 ppm se ale koncentrace produkovaných kanabinoidů nijak nemění (Cockson et al. 2020).

Deficit:

Symptomy deficitu fosforu se u konopí začínají projevovat poměrně rychle jak ve vegetativním stádiu, tak ve fázi květu. Rostlina nejprve začne zakrňovat a vyvíjet se pomaleji oproti ostatním (Benton Jones Jr. 2005). Postupně lze pozorovat skvrny na starších spodních listech a nafialovělé zbarvení na spodní straně listů. Následně skvrny začnou být rozsáhlejší a na okrajích listu se může objevit nekróza (Cockson et al. 2019). Nedostatek této živiny také zpomaluje nástup do květu, přičemž je ovlivněna i následná velikost květů. Klesá i odolnost rostliny vůči houbovým chorobám a hmyzím škůdcům (Benton Jones Jr. 2005).

Deficit bývá častý v případech, kdy pH pěstebního substrátu stoupne nad 7 a fosfor se nedokáže správně absorbovat. Dále pokud je v substrátu nadměrné množství zinku nebo železa. V hydroponii lze deficit řešit snížením pH na 5,5-6,2 (Texier 2015).



Obrázek č. 2: Deficit P (Sheets, 2015)

Nadbytek:

K nadměrnému obsahu fosforu dochází spíše zřídka, nicméně jeho nadbytek má negativní vliv na příjem zinku a železa rostlinou (Benton Jones Jr. 2005).

6.3. Draslík

Ačkoli je draslík rostlinami využíván v poměrně hojném množství, informací o jeho postavení vůči léčebnému konopí je minimum (Cervantes 2006). Draslík je v rostlině dobře mobilní a má vysokou schopnost průniku buněčnými membránami. Rostlinami je přijímán ve formě monovalentního kationtu K^+ v poměrně vysokých množstvích. Jeho obsah v sušině zelené hmoty se pohybuje mezi 2 až 5 % (Vaněk et al. 2016). Nároky na jeho příjem vzrůstají s průběhem růstu rostliny. Příjem draslíku je přímo ovlivněn teplotou, je tedy důležité udržovat roztok v teplotním rozsahu 21 až 27 °C (Sheets 2015).

Tato živina je velice významná, aktivuje totiž enzymatické reakce, reguluje příjem vody kořeny a také její pohyb v rostlinách (Texier 2015). Dobrá výživa draslíkem má pozitivní vliv na velikost efektivní listové plochy, potažmo pak na průběh fotosyntetických procesů a také podporuje silný růst kořenů (Vaněk et al. 2016). Podle Cervantes (2006) má draslík také spojitost s odolností vůči chorobám a hmyzím škůdcům.

Podle nedávných studií se optimální množství draslíku pohybuje mezi 60-340 ppm. Kdy hodnota 60 ppm stále není natolik nízká, aby způsobovala deficit a hodnota 340 ppm stále není tak vysoká, aby byla toxická (Bevan et al., 2021).

Deficit:

Deficit draslíku snižuje syntézu organických látek a zvyšuje intenzitu dýchání. Dochází k degeneraci chloroplastů a ke snížení tvorby floému. Snižuje se také tvorba škrobu, bílkovin a celulózy (Vaněk et al. 2016).

Vzhledem k mobilitě draslíku, jsou symptomy deficitu patrné nejprve u starších listů. Zpočátku vypadají rostliny s nedostatkem draslíku jako zdravé. Začnou být citlivější k chorobám a s pokračujícím deficitem se u starších listů objevuje postupné světlání listů od okrajů. Následně mohou vznikat nekrózy (Vaněk, 2016).



Obrázek č. 3: Deficit K (Sheets, 2015)

Nadbytek:

Nadbytek draslíku může způsobit nekrózu případně i smrt rostliny (Sheets 2015). Předávkování také způsobuje zhoršení vstřebávání hořčičku (Texier 2015).

6.4. Vápník

Vápník je imobilní živina a rostlinami je přijímán ve formě Ca^{2+} . Pohyblivost a transport v rostlině jsou omezené. Jeho příjem může být omezen kationty H^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Sr^{2+} a Mn^{2+} (Vaněk et al. 2016). Zároveň Ca^{2+} má sám o sobě příznivý vliv na příjem většiny iontů.

Tato živina je velice důležitá pro tvorbu a růst buňky, a pro zachování permeability membrány. Díky čemuž je pak zajištěna správná propustnost dusíku a sacharidů (Cervantes, 2006). Vliv má na dlouhivý růst a elasticitu buněk. Vápník také usnadňuje syntézu pektinu a je proto životně důležitý pro tvorbu nové tkáně v meristémích (Sheets 2015). Výrazně pak ovlivňuje tvorbu a růst kořenů a sílu stonků (Sheets 2015; Vaněk et al. 2016). Dále podporuje odolnost rostlin vůči chorobám (Vaněk et al. 2016).

Deficit:

Nedostatek vápníku nebývá u rostlin pěstovaných v indoor podmínkách nijak častý, spíše se s ním setkáváme u konopí pěstovaného ve venkovních podmínkách pro vlákno. Rostliny s deficitem vápníku mají zpomalený růst. Na špičkách listů se objevuje nekróza a postupem deficitu dochází k deformaci listů, případně úhynu mladších listů (Cockson et al. 2019).



Obrázek č. 4: Deficit Ca (Sheets, 2015)

Nadbytek:

Nadměrné množství vápníku může zapříčinit zhoršení příjmu hořčíku a draslíku. Při opravdu vysokém nadbytku může dojít k reakci se sírou či fosforem, což vede ke vzniku málo rozpustných sraženin (Texier, 2015). Vizuálním indikátorem nadbytku Ca mohou být podobně jako u jiných živin zkroucené špičky listů či chloróza (Sheets 2015).

6.5. Hořčík

Hořčík je méně až středně mobilní živina a rostlinami je přijímán jako kationt Mg^{2+} . Jeho obsah v sušině bývá se obvykle pohybuje pod 0,5 % (Vaněk et al. 2016). Je nepostradatelnou živinou, jelikož tvoří centrální atom v molekule chlorofylu (Cervantes 2006). Podíl vázaného hořčíku v chlorofylu ku jeho celkovému množství v rostlině se pohybuje mezi 15 až 20 % (Vaněk et al. 2016).

Konopí v porovnání s jinými rostlinami vyžaduje vysoké dávky hořčíku, není tedy podivu, že deficit této živiny bývá obvyklý, a to především v kyselých půdách. Hořčík je esenciální pro absorpci světla rostlinou a jeho nízké hodnoty snižují schopnost rostliny produkovat sacharidy (Veazie et al. 2021).

Deficit:

Jak již bylo zmíněno, deficit hořčíku je poměrně častým jevem, a to především u rostlin konopí pěstovaných v indoor prostředí. Viditelný je nejprve u starších spodních listů, kde dochází k omezení produkce chlorofylu. Začnou se zde objevovat žluté skvrny, které postupně začnou přecházet nahoru k mladším listům a kvetení je zpomalené. Vyskytnout se může také červené zbarvení listů, podobné deficitu fosforu, jde o projev synergie těchto dvou živin (Dupal 2004; Vaněk et al. 2016).



Obrázek č. 5: Deficit Mg (Sheets, 2015)

Nadbytek:

Při nadbytku hořčíku nepozorujeme žádné viditelné příznaky. Toxicita v souvislosti s konopím nebyla zaznamenána (Cervantes 2006).

6.6. Síra

Síra je imobilní živina, která bývá rostlinami většinou přijímána ve formě aniontu SO_4^{2-} (Vaněk et al. 2016). Ionty bývají zpravidla transportovány akropetálně, bazipetálně jen minimálně. Obsah síry v sušině se pohybuje mezi 0,2 až 0,5 % (Vaněk et al. 2016).

Tato živina je základním stavebním kamenem řady hormonů a vitamínů, jako je kupříkladu vitamín B₁. Je nepostradatelná pro mnohé rostlinné buňky a semena. Tato živina je zásadní pro tvorbu olejů a také pro chuť. Ve své podstatě veškerá voda, ať už říční či jezerní obsahuje nějaké množství síranu. Síra se podílí na syntéze bílkovin a je také součástí aminokyselin cystinu a thiaminu (Cervantes 2006; Barker & Pilbeam 2015). Ve velkém množství ji rostlina využívá v období svého bujného růstu. Síra zlepšuje růst kořenů a produkci semen. Sheets (2015) také zmiňuje význam síry při odolávání nízkým teplotám.

Deficit:

Deficit síry se u rostliny projevuje snížením syntézy bílkovin (Vaněk et al. 2016). Při nedostatku začnou mladé listy a později i starší dostávat světlezelený až nažloutlý nádech. Pokud deficit neustává, objeví se mezižilní žloutnutí. Stonky a řapíky listů se začnou zbarvovat do fialova. Symptomy deficitu mohou být zaměněny se symptomy nedostatku dusíku, jelikož jsou dosti podobné (Benton Jones Jr., 2005). Přičemž při jeho zhoršení dochází navíc k prodlužování a dřevnatění stonků (Cervantes 2006).



Obrázek č. 6: Deficit S (Sheets, 2015)

Nadbytek:

Nadbytečné množství této živiny by nemělo škodit, pokud se EC pohybuje v relativně nízkých hodnotách. Při vyšších hodnotách EC mají rostliny tendenci absorbovat více dostupné síry, což může mít za následek blokaci příjmu dalších živin (Cervantes 2006). Typickými příznaky bývají zmenšené tmavě zelené listy, které mohou předčasně opadat (Texier 2015).

6. 7. Interakce mezi prvky

Při výrazném překračování doporučených dávek přidávaných hnojiv a různých dalších aditiv může dojít k změnám v obsahu prvků, které narušují balanc v poměrech živin. Nevyrovnanost pak může způsobovat antagonismus nebo naopak nadměrnou stimulaci, jež vede k deficitu určitých prvků či ke snížení produkce konopí. Je tedy nesmírně důležité mít na

paměti to, že obsažené hodnoty jednotlivých prvků mohou vzájemně ovlivňovat příjem jiných a potažmo tím zásadně ovlivňovat zdraví a prosperitu rostliny.

Nadměrné množství fosforu snižuje přístupnost dusíku, železa, vápníku, draslíku a zinku. Přehnojení dusíkem snižuje schopnost příjmu draslíku, bóru a mědi. Zvyšuje se zde zároveň potřeba hořčíku. Dále nadbytek draslíku, který z živného roztoku rostlina rychle absorbuje zapříčiňuje deficit hořčíku a vápníku. Pro dobrý příjem potřebného množství vápníku a hořčíku je tedy nezbytné udržovat optimální hodnoty draslíku v kořenové zóně. V praxi to tedy znamená, že nadměrné využívání těchto prvků časem dokáže způsobit deficit jiných výše zmíněných esenciálních prvků a tím omezit zdravý růst a vývoj rostliny (Bevan et al. 2021).

6. 8. Vliv makroprvků na tvorbu kanabinoidů

Byla zpozorována korelace mezi vyšším podílem dusíku, vápníku, hořčíku a železa a zvýšeným obsahem THC (Dupal 2004). Naopak deficit některých živin jako kupříkladu draslíku vede k nárůstu obsahu THC (Chandra et al. 2017). Bósca et al. (1997) v návaznosti na svůj experiment podotýká, že obsah hořčíku v půdě negativně koreluje s koncentrací THC a CBD v listech konopí. Výrazně negativní korelace byla také zaznamenána mezi podílem draslíku v půdě a obsahem THC (Pate 1994). Dále pak byla zpozorována mezi poměry Ca/Zn a Mg/Cu a obsahem CBD (Radosavljevic-Stevanovic et al. 2014). Ovšem pozitivní korelace byla zpozorována mezi obsahem THC a s přístupným Ca/Mg a dusíkem v půdě (Radosavljevic-Stevanovic et al. 2014). Při vyšším obsahu fosforu byly zaznamenány vyšší koncentrace THC, a naopak při snížení jeho obsahu v půdě se zvýšily hodnoty CBD (Coffman & Gentner 1975; Dupal 2004).

6. 9. Vliv mikroprvků na tvorbu kanabinoidů

Pate (1994) poukazuje na negativní korelaci mezi obsahem železa či chromu v půdě a obsahem CBD v rostlině. Bylo zjištěno, že obsah CBN a THC je závislý na obsahu manganu (Radosavljevic-Stevanovic et al. 2014). Pozitivní korelace byla také zaznamenána mezi manganem a obsahy CBN (Radosavljevic-Stevanovic et al. 2014).

7. Sekundární metabolity konopí

Rostliny konopí produkují rozsáhlé spektrum látek. Celkem bylo popsáno a identifikováno přes 489 sloučenin. Mezi primární metabolity konopí se řadí například mastné kyseliny, aminokyseliny, vitaminy, sacharidy a další. Do sekundárních metabolitů, tedy těch, které pro rostlinu nejsou esenciální, lze zařadit terpeny, steroidy, alkaloidy, flavonoidy a také kanabinoidy (Fišar 2006).

7. 1. Tvorba a obsah kanabinoidů rostlin konopí

Ačkoli konopí jako takové bylo zkoumáno již od začátku devatenáctého století, až v šedesátých letech dvacátého století došlo k izolování hlavní biologicky aktivní složky *Cannabis*, a to sice delta-9-tetrahydrokanabinolu a došlo k vytvoření schématu biosyntézy kanabinoidů. Dosud bylo identifikováno 109 kanabinoidů, které se dělí do deseti podtříd a to sice: kanabigerol (CBG), kanabichromenu (CBC), kanabidiol (CBD), delta-9-

tetrahydrokanabinol (Δ^9 -THC), Δ^8 -tetrahydrokanabinol (Δ^8 -THC), kanabicyklol (CBL), kanabielsoin (CBE), kanabinol (CBN), tetrahydrokanabivarin (THCV), kanabitrilol (CBT) (ElSohly et al, 2017) (Chakravarti et al. 2014).

Fišar (2006) uvádí, že jednou ze základních charakteristik rostlin *Cannabis* je právě jejich schopnost produkovat kanabinoidy. Jedná se o terpeno-fenolické sloučeniny rozpustné v tucích či alkoholech a jsou součástí pryskyřice, která je vylučována žláznatými trichomy samičích rostlin konopí. Kanabinoidy se vyskytují na celé rostlině, vyjma kořenů a semen. Ne všechny jsou však přímo produkovány rostlinou *Cannabis*, některé vznikají rozpadem jiných kanabinoidů.

Zastoupení a kvantita nejhojnějších kanabinoidů THC a CBD má zásadní vliv na charakter rostliny, a to z hlediska potence čili její psychoaktivní síly (Thomas & ElSohly 2016). Množství obsažených kanabinoidů se z velké části odvíjí od genetických predispozic rostlin, ale také od prostředí, ve kterém rostou. Důležitým faktorem je například teplota ve spojení s vlhkostí, kdy se s růstem teploty zvyšuje i obsah kanabinoidů v rostlině, zároveň však dochází k rychlejšímu úbytku vody a transpiraci. Vliv mají i živiny, uvádí se, že železo a hořčík hrají roli v syntéze THC (Texier 2015).

7.2. Konopí, kanabinoidy a jejich využití

Rod konopí byl odpradávná využíván v řadě odvětví, díky svému širokému záběru vlastností. (Chandra et al. 2017). Markantní význam mají jeho léčebné účinky, pro které se pěstovalo již ve staré Číně. Na počátku devatenáctého století se dostalo do povědomí Evropanů a využití zde našlo například v léčbě epilepsie (Hill et al. 2010), nespavosti, astmatu, migrény nebo popálenin (Kuddus et al. 2013) (Kaczorová et al. 2020). Ve dvacátém století se začalo též využívat ve formě lihového extraktu či másla (z výhradně samičích květů) v léčbě migrén, hysterie, revmatismu či nechutenství (Kuddus et al. 2013). V Evropě až do prohibice roku 1919 ho ženy využívaly proti menstruačním bolestem (Backes & Weil 2017).

I přes tyto blahodárné účinky však často bývá ve světě vnímáno jako dosti kontroverzní rostlina, jelikož v některých případech bývá zneužíváno pro své psychoaktivní účinky a v obecném měřítku se jedná o nejvíce užívanou ilegální drogu na světě (Small 2015). Legálně lze léčebné konopí, konkrétněji to s vyšší obsahem psychoaktivního THC a nepsychoaktivního CBD, jakožto léčivo pěstovat a užívat pouze v některých zemích. Konkrétně v Evropské Unii je povoleno pěstovat rostliny s maximální hodnotou psychoaktivního THC do 0,3 % (Addo et al. 2021).

7.2.1. Tetrahydrokanabinol (THC)

Dupal (2004) uvádí, že THC, stojí za 70-100 % halucinogenních účinků *Cannabis*. Obsaženo je prakticky v každé odrůdě v různých poměrech. THC vzniká dekarboxylací tetrahydrokanabinolové kyseliny (THCA). Při dekarboxylaci kouřením může dojít až k 30% přeměně na THC, přeměna však nikdy není 100% (Dussy et al. 2005). Důležitou roli zde hraje světlo, jelikož THC je nestálé na světle a při přímém osvětlení a nevhodném skladování se oxiduje na CBN (Mechoulam, 1970).

Antispasmodikum:

THC je významné především pro své léčebné schopnosti. Květy rostlin s vyšším obsahem tohoto kanabinoidu bývají využívány jakožto antispasmodikum (Kuddus et al. 2013). Právě pro schopnost zmírňovat křeče se využívá například u pacientů s roztroušenou sklerózou, u kterých by podle některých studií měl pomáhat snížit spasticitu (Fišar 2006). THC by podle Backes & Weil (2017) mělo mít schopnost zmírňovat symptomy a zpomalovat pokrok této nemoci.

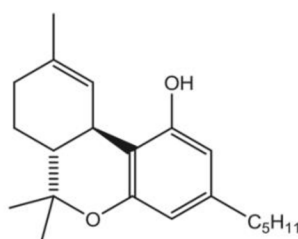
Tlumení nevolnosti:

Konopí s vyšším podílem THC pomáhá tlumit nevolnosti a zvracení u onkologických pacientů po chemoterapii a také u pacientů s HIV. Zároveň má schopnost podporovat chuť k jídlu například při nechutenství či poruchách příjmu potravy (Chandra et al. 2020).

Psychoaktivní účinky:

Mimo své léčebné schopnosti má také psychoaktivní účinky na lidský organismus. Záznamy o požívání konopí jakožto drogy pochází již ze 4. stol. př. n. l. z Indie. Hlavním zdrojem psychoaktivních účinků je právě kanabinoid THC. Užití konopí s vyšším obsahem THC se obvykle projevuje zrakovými, hmatovými i sluchovými klamy (Fišar 2009). Jejich trvání závisí na hladině THC v krvi a na jeho vazbě na kanabinoidní receptory CB₁ (Izzo et al. 2012). Typické také bývá zkreslené vnímání času a ve větším množství případů navození euforického pocitu. Ve výjimečných případech může dojít k opačnému efektu, kdy požitá látka v konzumentovi vyvolá pocit úzkosti, depresivní rozpoložení, pocity depersonalizace, poruchy vnímání a komunikace (Landa & Juřica 2020).

Toto však není jediné úskalí. Opakovaným užíváním si lze vybudovat závislost, THC se v mozku váže na kanabinoidní receptory CB₁, dochází ke zvýšení aktivity takzvané dráhy odměny, která je spojena právě s euforickými účinky. Nadměrným podáváním pak právě pro to může dojít k závislosti (Fišar 2006).



Obrázek č. 7: Chemická struktura tetrahydrokanabinolu (THC) (Thomas & ElSohly 2016)

7.2.2. Kanabidiol (CBD)

S kanabidiolem neboli CBD se také setkáváme v podstatě u všech odrůd. Jeho hodnoty se mohou pohybovat od 0 do 95 % (Milfortová 2010). Na rozdíl od THC se jedná o nepsychotropní kanabinoid, jelikož se neváže na CB₁ receptory.

Tento kanabinoid má značné množství farmaceuticky významných efektů. Využíván je pro své protizánětlivé účinky, dále jako sedativum, v léčbě epilepsie anebo schizofrenie (Dupal 2004).

Inhibice negativních účinků THC:

CBD má také schopnost výrazně prodlužovat dobu účinku konopí na lidský organismus. Zároveň má významnou schopnost inhibovat negativní účinky THC na lidský organismus. Tedy jeho přítomnost zmírňuje či úplně odbourává subjektivní změny, jako jsou stavy úzkostí, deprese či symptomy psychózy, které po požití THC mohou u některých jedinců nastat (Dupal 2004). Již v roce 1982 byla publikována první studie o zaznamenaných antipsychotických účincích kanabidiolu a vyšla na povrch myšlenka, že právě přítomnost CBD by mohlo pacienty užívající konopí jako lék chránit před potenciálním narušením psychických funkcí (Rai et al. 2017).

Zhoubná onemocnění:

Podobně jako u THC i u CBD byly zaznamenány protinádorové vlastnosti. Nikan et al. (2016) zdokumentoval schopnost CBD inhibovat růst rakovinných buněk konkrétně u rakoviny prsu.

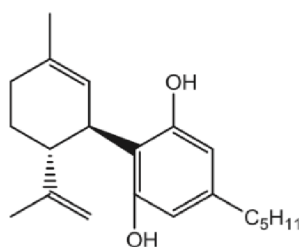
Alternativa antibiotik:

Podle některých odborníků by konopí mohla fungovat jako alternativa za antibiotika. Jeho blahodárné účinky byly zaznamenány například při léčbě popálenin, kdy pomáhá odbourat bolest, ulehčit hojení na popáleném místě a snižuje zánět (Kaczorová et al. 2020).

Schizofrenie:

CBD má výraznou schopnost snižovat halucinace, paranoiu a ostatní příznaky spojené se schizofrenií. Využívá se tedy jakožto alternativní lék této nemoci, jelikož má stejné kvalitativní účinky jako jiné registrované léky běžně užívané pro léčbu (Russo & Guy, 2006).

Konopí s vyšším podílem kanabidiolu má velice pozitivní účinky v léčbě pacientů s epilepsií, jimž doposud nedokázaly pomoci žádné známé léky (Hill et al. 2010). CBD je tedy využíváno jako lék u osob, především dětí, s farmakorezistentními typy epilepsie (Dupal 2004). U těchto pacientů, léčených konopím bylo zaznamenáno snížení záchvatů či jejich úplné vymizení.



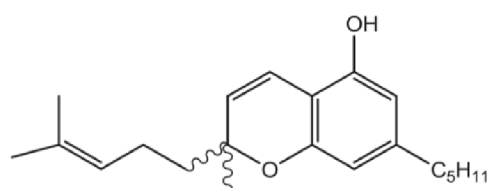
Obrázek č. 8: Chemická struktura kanabidiolu (CBD) (Thomas & ElSohly 2016)

7.2.3. Kanabichromen (CBC)

Obsah kanabichromenu (CBC) je v rostlinách nižší než obsah CBD a THC. Podle všeho by neměl přesahovat 20 % celkových kanabinoidů. Jedná se o produkt kanabigerolové kyseliny (CBGA) a na rozdíl od THC, CBD a dalších kanabinoidů se neváže na kanabinoidní receptory CB₁ a CB₂ (Izzo et al. 2012; Pattnaik et al. 2022). Jako takové nemá psychoaktivní schopnosti, nicméně by mělo být synergické s THC čili mělo by umocňovat jeho působení (Russo & Guy 2006).

CBC je nejvíce obsažen v čerstvě sklizeném konopí. Podobně jako u výše zmíněných kanabinoidů u něj byly prokázány antibakteriální, analgetické (Kaczorová et al. 2020) a antidepressivní účinky (Russo & Grotenhermen 2016). Dále by měl mít schopnost pomáhat od chronických bolestí (Russo & Grotenhermen 2016), kožních nemocí a od migrén (Pattnaik et al. 2022). Potenciál by podle experimentu z roku 2006 mohl mít kanabichromen i v léčbě rakoviny, kdy bylo dokázáno, že tento kanabinoid dokáže inhibovat tvorbu nových rakovinových buněk (de Petrocellis et al. 2011).

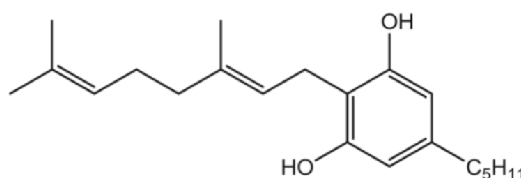
Vypozorována byla i unikátní fungicidní vlastnost, jež doposud nebyla zaznamenána u žádného jiného kanabinoidu. Tuto vlastnost vykazuje CBC ve formě kanabichromenové kyseliny, známé jako CBCA (Hanuš et al. 2016).



Obrázek č. 9: Chemická struktura kanabichromenu (CBC) (Thomas & ElSohly 2016)

7.2.4. Kanabigerol (CBG)

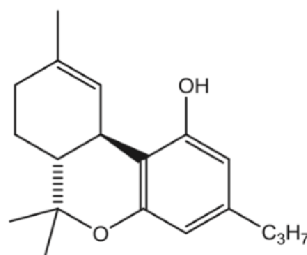
Kanabigerol (CBG) byl první sloučeninou izolovanou z *Cannabis sativa* v čisté formě. Jedná se o nepsychoaktivní látku, vyskytující se převážně u odrůd konopí technického, které má menší množství THC. Vzniká působením světla na kyselinu kanabigerolovou (CBGA), v jehož důsledku kyselina přichází o svou karboxylovou skupinu. V konopí se její podíl vůči ostatním kanabinoidům pohybuje pod 10 % (Taura et al. 1996).



Obrázek č. 10: Chemická struktura kanabigerolu (CBG) (Thomas & ElSohly 2016)

7.2.5. Tetrahydrokanabivarin (THCV)

Tetrahydrokanabivarin (THCV) je propyl-derivátem THC. Častěji se s ním setkáme u *C. indica*. Milfortová (2010) uvádí, že tento kanabinoid je obsažen u rostlin konopí z Jižní Afriky, Pákistánu, Nigérie nebo Afghánistánu. Podobně jako THC, má též psychoaktivní účinky. Ty se ovšem objevují pouze při vysokých dávkách a odeznívají rychleji. THCV by zároveň v návaznosti na výzkumy měl dokázat aktivovat receptory CB₂ a současně blokovat receptory CB₁. Tato vlastnost má perspektivní potenciál v léčbě obezity a dalších onemocnění (Cervantes 2006). Byla zaznamenána také antikonvulzivní funkce (Hill et al. 2010).



Obrázek č. 11: Chemická struktura tetrahydrokanabivarinu (THCV) (Thomas & ElSohly 2016)

7.2.6. Kanabinol (CBN)

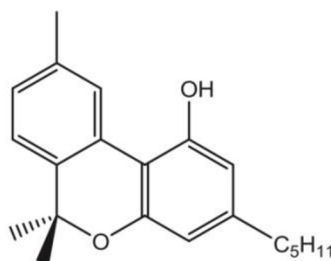
Kanabinol (CBN) není přímo produkován rostlinou a přirozeně je ho v pryskyřici jen stopové množství. Jedná se o produkt vzniklý při postupné degradaci THC, respektive jeho oxidací. V čerstvé hmotě je CBN minimálně, ovšem při špatném skladování konopí může dojít k oxidaci THC a tím právě k jeho tvorbě (Elsohly 2007).

Hovoříme-li o psychoaktivitě tohoto kanabinoidu, dosahuje maximálně 10 % účinků THC (Milfortová 2010). CBN se na rozdíl od THC neváže na kanabinoidní receptory v mozku. Za jeho typické účinky bývají považovány dezorientace, závratě, sedativní účinky a navození spánku. Právě pro tuto schopnost bývá tento kanabinoid využíván při léčbě insomnie. Je nutné podotknout, že zmíněných účinků dosáhneme v kombinaci s THC, které společně s CBN působí synergicky (Dupal 2004).

Chybí zde ovšem euforický efekt, který je poměrně častý pro THC. Tudíž vysoký obsah CBN je při produkci za účelem získání rostlin s psychoaktivními účinky jako mívá THC spíše nežádoucí. Vzhledem k tomuto faktu se nabízí otázka, zda by nebylo možné vyvolat zpětnou reakci z CBN opět na THC. Konvertovat CBD na THC již vědci totiž dokázali, ovšem pokusy o přeměnu CBN na THC zatím nebyly tak úspěšné (Dupal 2004).

Stejně jako THC dokáže kanabinoid CBN, který vzniká jeho oxidací navozovat chuť k jídlu. Výhodou pro pacienty je oproti THC fakt, že CBN nemá psychoaktivní účinky, tudíž se nemusí obávat vedlejších psychických stavů (Backes & Weil 2017).

CBN má dále schopnost snížit tělesnou teplotu a také chladící účinky, jichž lze využít při lokální aplikaci na popálená místa (Russo & Grotenhermen 2016).



Obrázek č. 12: Chemická struktura kanabinolu (CBN) (Thomas & ElSohly 2016)

7.3. Chemotypy konopí

Podle zastoupení jednotlivých kanabinoidů, a to především THC a CBD lze *Cannabis sativa* rozdělit do tří skupin, tzv. chemotypů (Rodziewicz & Kayser 2020).

Chemotyp I.: Rostliny tohoto typu jsou psychoaktivní a mají vysoké hodnoty THC a nízké CBN (Dupal 2004)

Chemotyp II.: CBD zde dominuje a THC je zde v mírném až vysokém obsahu (Dupal 2004).

Chemotyp III.: Zde především CBD a nízký obsah THC. Jedná se především o kultivary pěstované pro vlákno a olej (Dupal 2004).

Chemotyp IV.: Tyto kultivary mívají mírné až vysoké obsahy THC i CBD a obvykle bývají původem z Jižní Afriky, Nigérie, Indie či Nepálu (Dupal 2004).

7.4. Terpeny a terpenoidy

Terpeny jsou jednoduché nenasycené uhlovodíky z velké části rostlinného původu, jejichž molekuly se obvykle skládají ze dvou i více izoprenových jednotek. Jedná se o velmi těkavé a aromatické látky, které jsou obsaženy v silicích. Mají velký podíl na chuti, vůni i barvě rostlin. Produkují je stejné žlázy, které produkují kanabinoidy. Kvůli své těkavosti se značná část z nich vyskytuje pouze v čerstvém materiálu (Milfortová 2010).

Terpeny se dají využít pro určení fenotypových i některých genotypových vlastností různých odrůd konopí. Byla u nich také zaznamenána synergie s kanabinoidy, kdy společně mají značnější léčebné efekty nežli jednotlivě (Milfortová 2010). Hovoříme-li o léčebném potenciálu terpenů, Elsohly (2007) uvádí, že některé dokážou stimulovat membrány plicního systému, zklidňovat plicní cesty a usnadňovat vstřebávání jiných sloučenin. Terpenoidní sloučeniny jsou tak začleňovány do plicních léčivých přípravků, jako jsou bronchiální inhalátory a látky potlačující kašel.

7.4.1. Monoterpeny

Monoterpeny jsou menší a lehčí terpeny, které se poměrně rychle odpařují. Mezi ně se řadí alfa-pinen, jež by měl mít schopnost podporovat bdělost a paměť (Smith 2015). Tento terpen lze nalézt i v jehlicích borovice.

Dalším monoterpenem je myrcen, který má relaxační a sedativní účinky a pomáhá uvolnit svaly. U myrcenu se prokázala schopnost zastavovat aktivitu některých karcinogenů (Smith 2015). Tento terpen lze nalézt také u chmelu

Limonen má charakteristicky citrusové aroma. Do organismu je snadno a rychle přijímán inhalací. Má antidepresivní schopnost, dokáže mírnit úzkostné stavy a měl by mít protirakovinné schopnosti (Russo 2011).

Dále mezi monoterpeny řadíme beta-pinen, terpinolen a *cis*-ocimen (Milfortová 2010).

7.4.2. Seskviterpeny

Dalšími jsou seskviterpeny, to jsou větší a těžší terpeny, které se nevypařují takovou rychlostí jako monoterpeny. Řadí se mezi ně humulen a beta-karyofylen, který se rovněž podílí na aromatu konopí. Beta-karyofylen je zároveň jediný terpenoid, který přímo interaguje s endokanabinoidním systémem a aktivuje B2 receptor. Má protizánětlivé a nepсихоaktivní účinky. Autoři uvádí, že by mohl mít potenciál v léčbě některých typů rakoviny (Russo, 2011). tento terpen se vyskytuje také u černého pepře (Smith 2015).

7.4.3. Terpenoidy

Oxidací terpenů vznikají terpenoidy. Zhruba 140 různých terpenoidů stojí za typickým pachem konopí (Milfortová 2010). Jejich obsah se odlišuje v závislosti na odrůdě a typu konopí. Obdobně jako kanabinoidy jsou koncentrovány především v trichomech samičího květenství (Fischedick et al. 2010).

8. Metodika

8.1. Parametry pěstebního prostoru

Za účelem výzkumu byla na České zemědělské univerzitě v Praze, na Fakultě agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů v Budově B vybudována pěstírna konopí. Zde se nacházejí čtyři pěstební místnosti, každá z nich o ploše 15 m², přičemž ve třech jsou umístěny čtyři pěstební stoly a v poslední místnosti, kde jsou umístěny mateřské rostliny a zakořeňující řízky, jsou stoly dva. Jeden takový stůl má plochu 2 m². U každého ze stolů jsou umístěny dvě plastové nádrže o maximálním objemu 100 litrů, do jedné z nich je dáván živný roztok a druhá slouží v případě pěstování v otevřeném hydroponickém systému jako odpadní.

Živný roztok je přiváděn na stůl k samostatným rostlinám pomocí kapilár. Pěstební stoly jsou uzpůsobeny k recirkulačnímu systému hydroponie, ale také k systému otevřenému, při kterém je odváděn odpadní roztok do druhé nádrže a dále se již nepoužívá.

Klima v pěstírně je udržováno v potřebných hodnotách díky vzduchotechnické jednotce, která dokáže udržovat a zaznamenávat relativní vlhkost vzduchu, teplotu a koncentraci CO₂. Relativní vlhkost vzduchu je během kultivace udržována na 40 %. CO₂ je do atmosféry pěstebních prostor přiváděno pomocí generátoru spalujícího metan, přičemž koncentrace CO₂ je udržována na 550 ppm. Teplota je stabilně během vegetačního cyklu 25 °C při denní fázi a během noční fáze klesá na 22 °C.

Světelný režim je zajišťován za pomoci šesti vysokotlakých sodíkových výbojek (HPS) s výkonem 1000 W, jež rostlinám poskytují plné světelné spektrum.

8.2. Rostlinný materiál

Rostlinné řízky byly pořízeny z matečních rostlin. Celkem bylo připraveno zhruba 250 řízků, které tři týdny kořenily v kultivační místnosti v rockwoolových kostkách. Následně bylo vyselektováno 220 rostlin, které byly přesazeny do květináčů naplněných keramikou. V pěstební místnosti tedy bylo na každém stole rozmístěno 55 rostlin, přičemž každý stůl obsahoval jednu variantu, přičemž se od se tyto jednotlivé varianty lišily svými schémata výživy. Po přesazení následovala vegetační fáze, která trvala 1. týden a probíhala za fotoperiody o 18 hodinách světla a 6 hodinách tmy. Příštích 8 týdnů pak trvala generativní fáze. Zde byla světelná perioda nastavena na 12 hodin světla a 12 hodin tmy.

Druhý cyklus se uskutečnil za obdobných podmínek jako cyklus první. Rozdílný byl ovšem zvolený hydroponický systém. Zvolen byl systém otevřený hydroponický systém, u kterého je použitý živný roztok odváděn do odpadní nádrže a již není dále recirkulován.

8.3. Vzorkování

V průběhu celého pěstebního cyklu byly pravidelně jednou za týden odebírány z každého ze stolů tři rostliny, zastupující jednu výživovou variantu. Byly z nich odstraněny kořeny a zvažily se v čerstvém stavu. Následně se jednotlivé rostliny rozdělily na tři části (stonek, list, květ) a tyto části se jednotlivě zvažily. Následně se květy usušily v sušárně za teploty 25 °C do vlhkosti 8-10 %, zhruba týden. Vzorky byly sušeny za teploty 105 °C po dobu jednoho dne. Poté se všechny tyto rostlinné části převážily a byl u nich zkoumán obsah makroživin, mikroživin a obsah dusíku.

8.4. Suchý rozklad

Suchého rozkladu bylo využito pro stanovení makroživin a mikroživin (vyjma dusíku). V křemenné kádince je vždy naváženo 0,5 g homogenizovaného rostlinného vzorku. Kádinka se následně přikryje hodinovým sklíčkem a umístí se na topnou desku, kde stupňovitě (po 60 minutách) zvyšujeme teplotu na 160 °C, 220 °C, 280 °C a na 350 °C. Po tomto procesu jsou vzorky s kádinkami přesunuty do muflové pece, kde jsou vystavovány teplotám 450–500 °C a zůstávají zde do vychladnutí. Poté je do kádinek přidán 1 ml HNO₃ (65 %). Kádinky jsou následně přesunuty na topnou desku a po dobu 60 minut se za teploty 120 °C kyselina odpařuje. Následně vychladlou kádinku propláchneme za pomoci HNO₃ (1,5 %) a vložíme do ultrazvukové lázně. Vzorek se tak oddělí a přelije se do zkumavky, kterou doplníme o HNO₃ (1,5 %) do objemu 25 ml. Poté probíhá vlastní stanovení koncentrace jednotlivých živin pomocí emisního spektrometru s indukčně vázanou plazmou.

8.5. Stanovení celkového obsahu dusíku v rostlině

Pro stanovení celkového obsahu dusíku v rostlině byla využita Kjeldahlova metoda. Vždy je do skleněných trub naváženo 0,5 g vzorku, ke kterému jsou přidány 2 g katalyzátoru (směs 100 g K₂SO₄, 1 g CuSO₄·5H₂O a 0,1 g Se) a 10 ml 95% H₂SO₄. Mineralizace vzorků pak probíhá 90 minut při 420 °C. Dusík se tímto způsobem převede na amoniak a tento je pak destilován s vodní parou do H₃BO₃ a určí se obsah dusíku v daném vzorku.

9. Výsledky experimentu

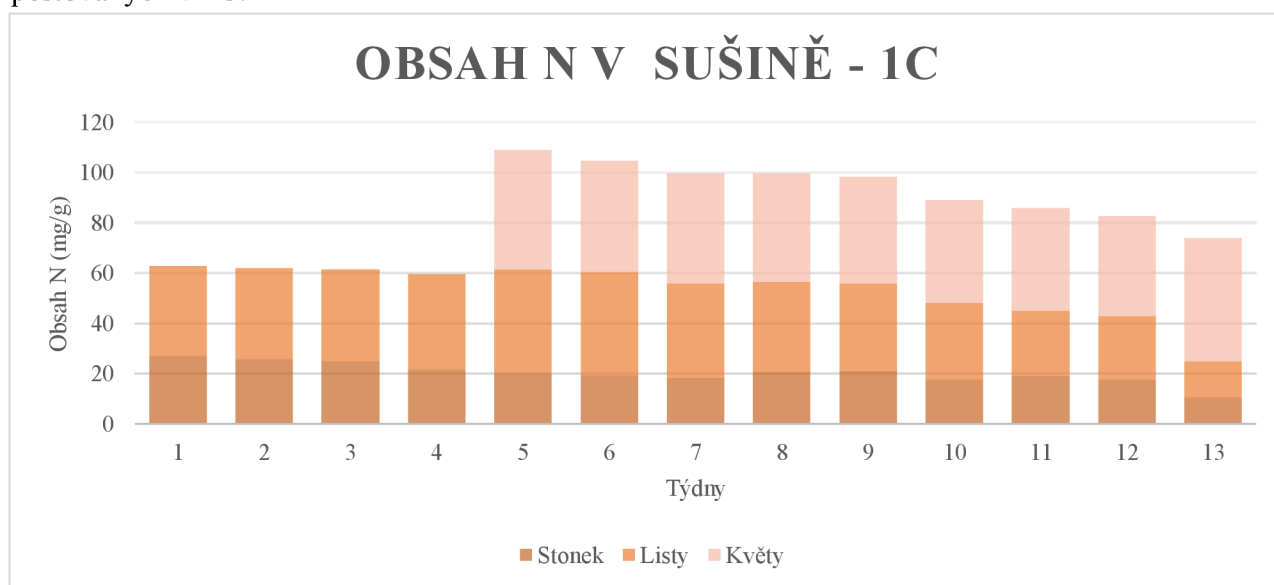
V experimentu byly porovnávány dva hydroponické pěstební systémy v průběhu cyklů o třinácti týdnech. První cyklus (1C) byl uskutečněn na uzavřeném hydroponickém systému, čili na takovém, kde se živný roztok opakovaně recirkuluje. Ve druhém cyklu (2C) bylo využito systému otevřeného, kde je naopak využitý živný roztok odváděn do odpadní nádrže a dále se k rostlinám nedostává. Sledován byl vždy jednou za týden obsah dusíku v jednotlivých rostlinných částech, dále odběr dusíku rostlinami a také hmotnost sušených rostlinných částí. Na základě získaných výsledků se u každého ze sledovaných parametrů porovnávalo, jaký z hydroponických systémů byl efektivnější.

9.1. Obsah dusíku

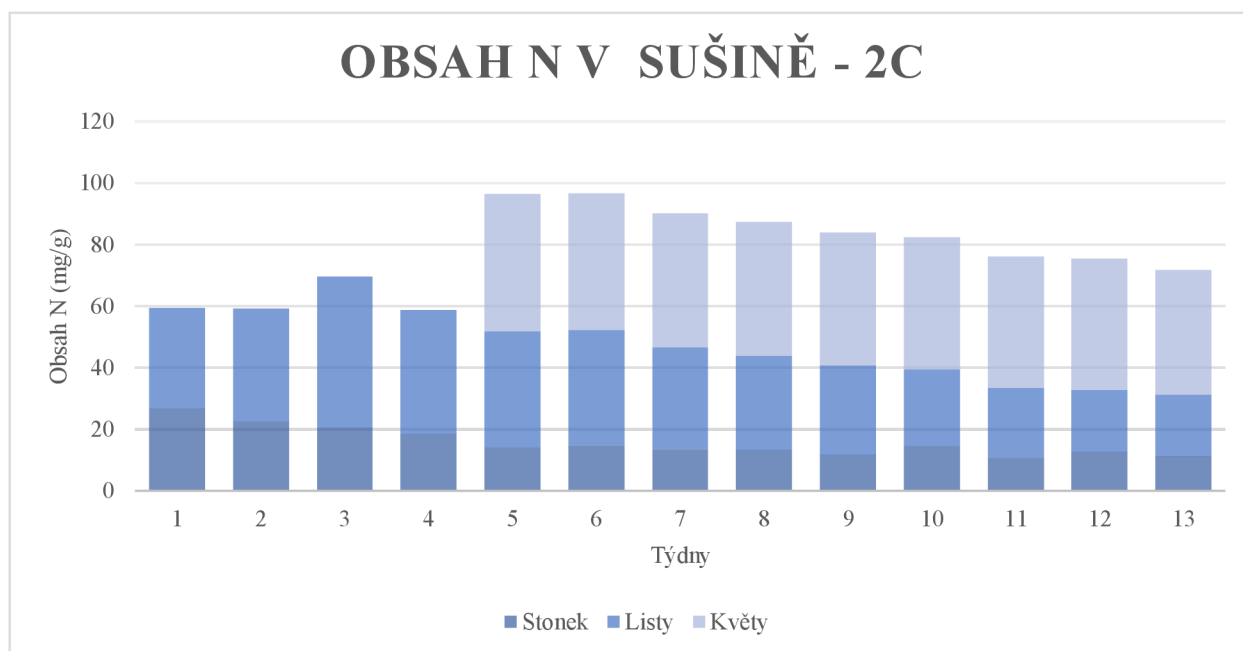
Obsah dusíku byl obecně u obou hydroponických systémů nejnižší u stonku a nejvyšší u květů rostlin. Hodnoty dusíku ve stonku se v prvních třech týdnech držely u 1C ve stabilních hodnotách. V porovnání se systémem 1C, obsah dusíku ve stoncích u 2C od prvního do čtvrtého týdne strměji klesal. K značnému poklesu u 2C pak došlo v pátém týdnu. Následně od pátého až do třináctého týdne byly zpozorovány výrazné rozdíly mezi obsahem dusíku ve stoncích mezi jednotlivými hydroponickými systémy. Obecně lze konstatovat, že vyšší obsahové hodnoty N byly zjištěny v 1C.

U listů začal obsah N narůstat v pátém týdnu u 1C a ve třetím týdnu u 2C. Zároveň v daných týdnech rostliny konopí dosáhly nejvyšších hodnot za celý cyklus (1C, 41, 39 mg/g; 2C 48,85 mg/g). Od měření v sedmém týdnu začalo u obou systému docházet k poklesu obsahu živiny. V posledním 13. týdnu výrazně poklesl obsah N u 1C oproti týdnu předešlému, kdy z 25,14 mg/g klesl na 14,46 mg/g.

Evidentní rozdíl v obsahu N v květech byl vidět v pátém týdnu měření. Následně se hodnoty mezi jednotlivými systémy výrazně nelišily. Nejvýraznější rozdíl mezi obsahem N u květu pak nastal ve třináctém týdnu, kdy byl obsah u 1C v porovnání s 2C vyšší o 21,06 % (1C, 49,03 mg/g; 2C, 40,50 mg/g). Celková koncentrace dusíku byla vyšší u rostlin konopí pěstovaných v 1C.



Graf č. 1: Obsah dusíku v sušině u uzavřeného systému



Graf č. 2: Obsah dusíku v sušíně u otevřeného systému

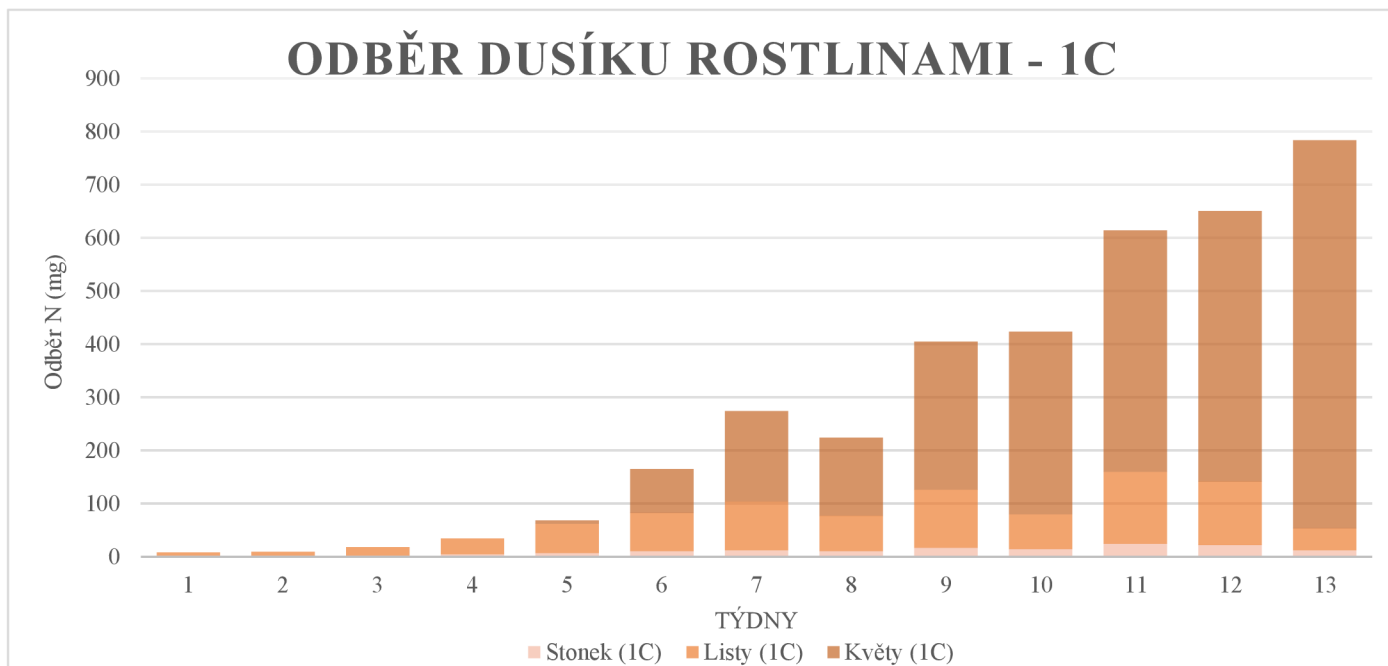
9.2. Odběr dusíku

Dále byl v experimentu sledován odběr dusíku rostlinami v jednotlivých hydroponických systémech. Tyto hodnoty byly získány součinem hmotnosti biomasy (g) a obsahovými hodnotami dusíku (mg/g) v jednotlivých týdnech cyklů.

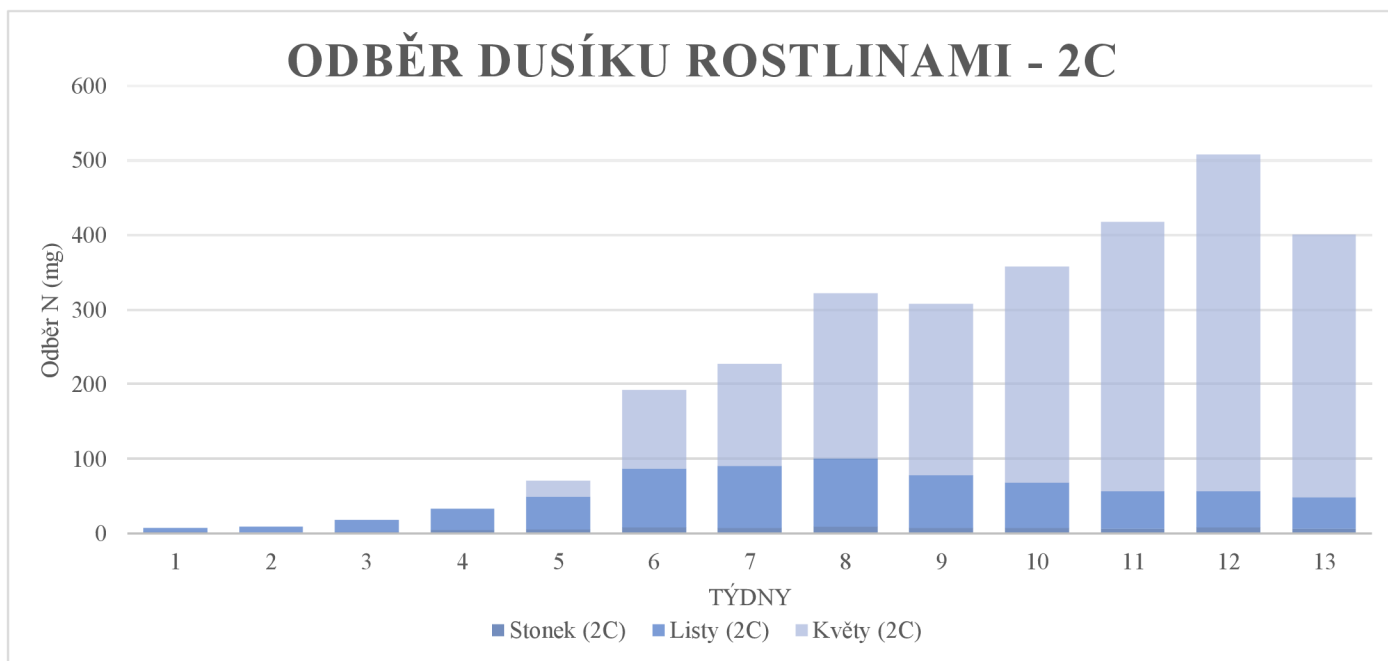
Hodnoty odběru dusíku u 1C se v prvních třech týdnech u stonku držely v podobných hodnotách. Výrazněji vzrůstat začaly v šestém týdnu (1C, 10,9 mg; 2C, 8, 41 mg) a do měření v osmém týdnu se u obou systému pohybovaly ve stabilních hodnotách. U systému Recycling bylo dosaženo výrazně nejvyššího odběru N ve stonku v 11. týdnu (24,52 mg) a ke znatelnému poklesu došlo ve 13. týdnu (1C, 12,53 mg).

Od sedmého až do třináctého týdne byly zpozorovány výrazné rozdíly mezi odběrem dusíku u stonku v jednotlivých systémech. Obecně lze konstatovat, že vyšší výnosy N ve stonku byly u 1C. Nejvýraznější rozdíl mezi výnosem N u stonku byl zpozorován v 11. týdnu, kdy byla výnosnost 1C vyšší o 18,09 mg.

Nejvýraznější odlišnost ve výnosnosti listů nastala v 11. týdnu, kdy hodnoty naměřené u 1C překonaly 2C o 172 % (1C, 135,62 mg; 2C, 49,76). Výnosnost N u květů byla od pátého do osmého týdne znatelně vyšší ve 2C. Od devátého týdne až do konce cyklu se výnosnost u 1C zvýšila a překonala hodnoty druhého systému.

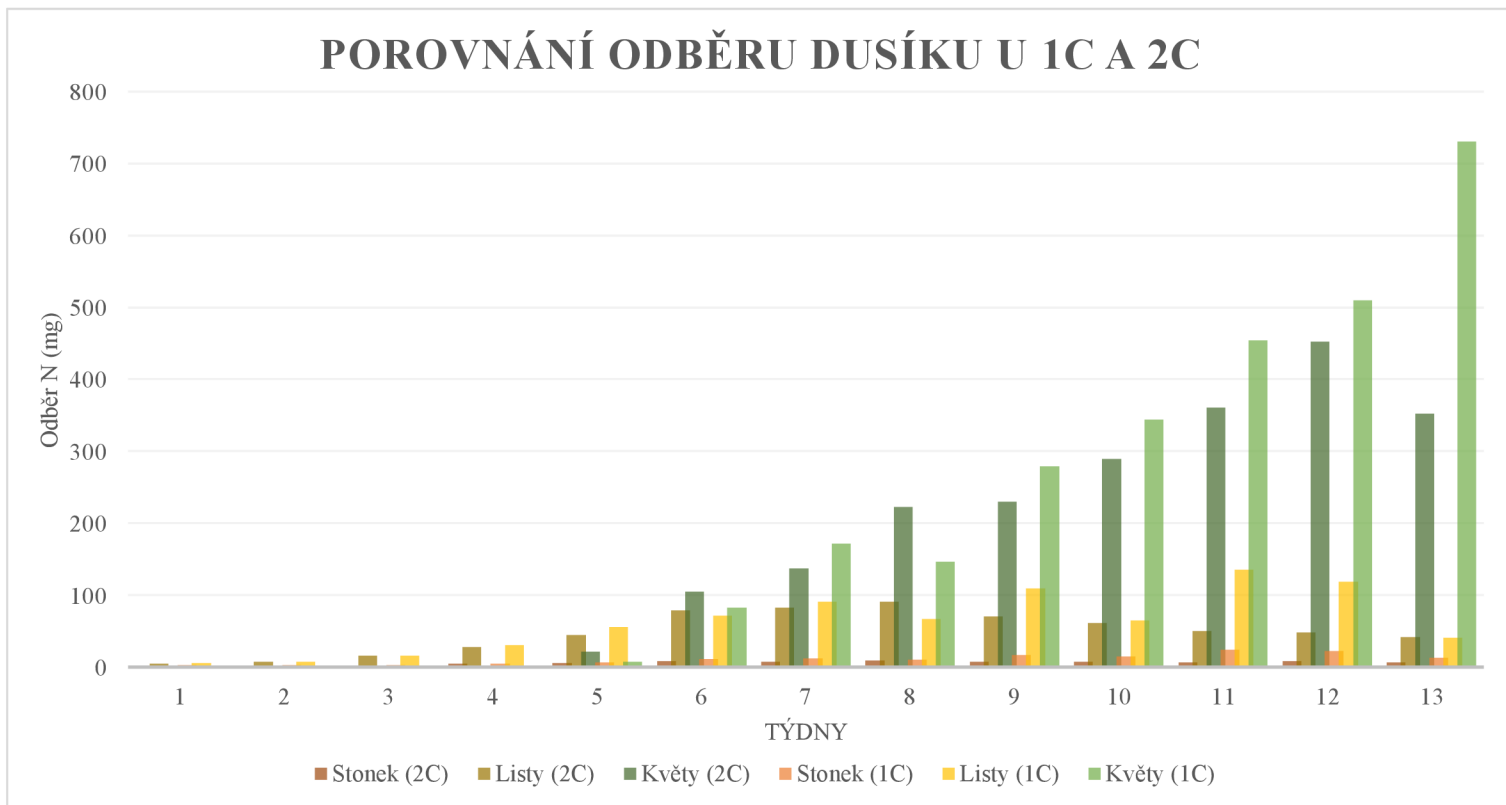


Graf č. 3: Odběr dusíku u uzavřeného systému



Graf č. 4: Odběr dusíku u otevřeného systému

POROVNÁNÍ ODBĚRU DUSÍKU U 1C A 2C

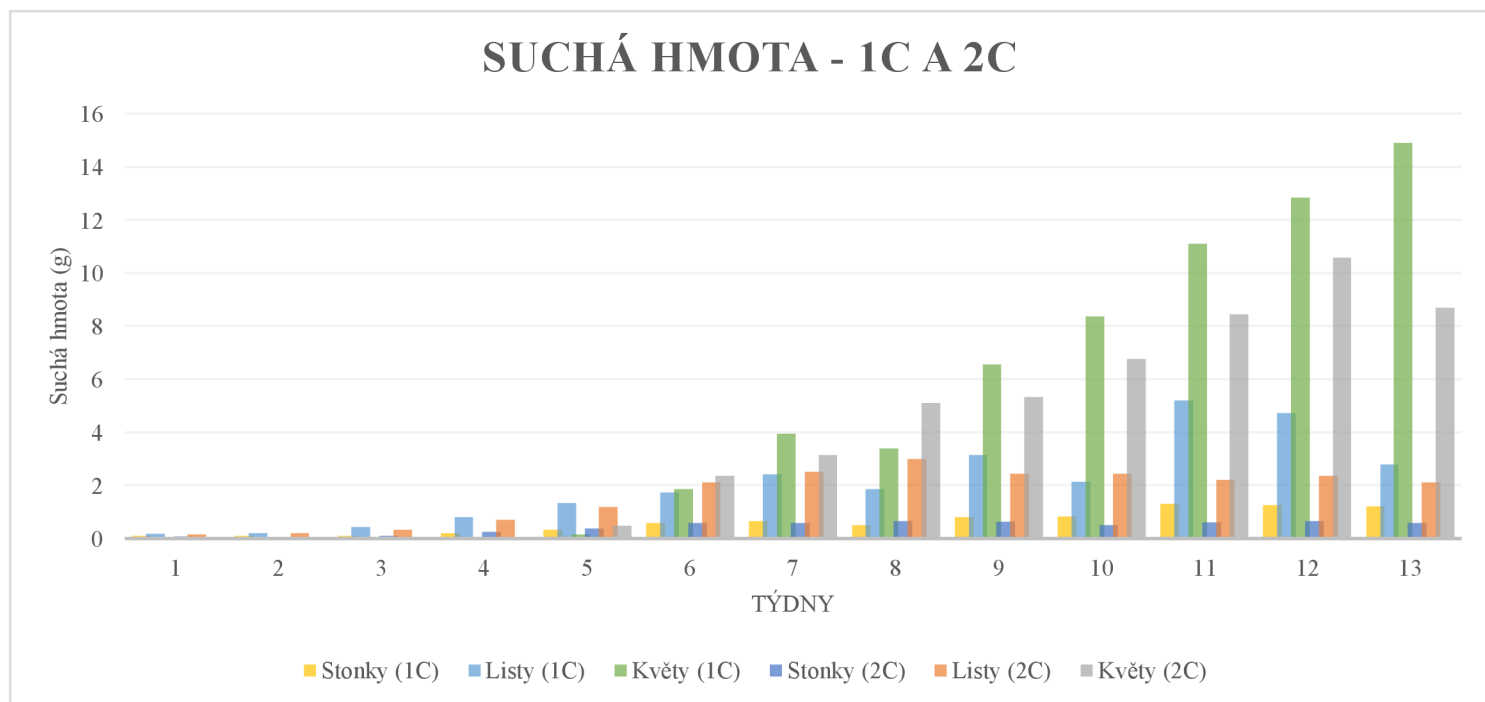


Graf č. 5: Porovnání odběru dusíku u uzavřeného systému (1C) a otevřeného systému (2C)

9.3. Nárůst biomasy

Vyšší nárůst biomasy u všech měřených rostlinných částí vykazovaly rostliny pěstované v 1C. Hmotnost stonků v posledním týdnu pěstebního cyklu byla u 1C o 111,7 % vyšší než u 2C. Hmotnost listů byla o 33,33 % vyšší a hmotnost květů o 71,26 %.

SUCHÁ HMOTA - 1C A 2C



Graf č.6: Porovnání příbytku suché hmoty u uzavřeného systému (1C) a otevřeného systému (2C)

10. Diskuze

Cílem experimentu bylo sledovat odběr dusíku v sušině a jeho obsah v jednotlivých sušených rostlinných částech v průběhu dvou vegetačních cyklů o délce třinácti týdnů a porovnat v těchto dvou cyklech efektivitu dvou hydroponických systémů – uzavřeného a otevřeného, a jejich vliv na obsah a odběr dusíku. Dalším cílem je pak v závislosti na zjištěné výsledky posoudit, jaký systém byl účinnější pro tvorbu biomasy, obsah a odběr dusíku u rostlin konopí.

V prvním pěstebním cyklu, byl sledován systém uzavřený (1C) spočívající v opakované recirkulaci živného roztoku. Texier (2015) považuje systém za ekonomicky výhodnější a zároveň za šetrnější vůči životnímu prostředí z hlediska hospodaření s vodou. Průměrně totiž systém nercirkulační vypustí až o 98,8 % více vody nežli ten recirkulační (de la Rosa-Rodríguez et al. 2020). Potenciál roztoku je v tomto systému rostlinami maximálně využit. Za nevýhodu systému autor považuje vyšší riziko výskytu kořenových chorob, růstu řas a také neživou organickou hmotu jako je opadané listí, které pak může způsobit hnilobu a tím poslat celý experiment k předčasnému konci. Tento systém se ukázal být na základě výsledků z hlediska výnosnosti dusíku a přírůstku rostlinné hmoty efektivnější než druhý pozorovaný uzavřený systém (2C). Jak vyplývá z grafu č.6, hmotnost suchých listů, stonků i květů odebraných v posledním týdnu cyklu byla vyšší právě u 1C. Hmotnost stonků zde byla konkrétně o 111,7 % vyšší, u listů o 33,33 % a u květů o 71,26 % vyšší než u 2C.

Experiment provedený na rajčatech obdobně v obou zmíněných hydroponických systémech téže vypovídal o pozitivním vlivu recirkulačního systému na hmotnost sušiny (Lippert 1993). Abd-Elmoniem et al. (2006) také zaznamenali lehce vyšší výtěžek biomasy u recirkulačního systému. Vyšší efektivitu produkce zaznamenali i de la Rosa-Rodríguez et al. (2020), kdy recirkulační systém vyprodukoval o 26,9 % více plodů na litr nežli necirkulující systém. K opačnému závěru ovšem dospěli (Dasgan & Ekici 2005), kteří ve svém experimentu porovnávali oba zmíněné hydroponické systémy. Konkrétněji jejich vliv na růst rajčat. Podle nich byla hmotnost čerstvé biomasy vyšší u systému otevřeného. Dle Fayeziadeh et al. (2021) jsou znatelně vyšší hodnoty rychlosti transpirace právě u otevřeného systému (v experimentu z roku 2021 průměrně 3,54 mmol/m²). Rychlost transpirace pozitivně koreluje se zabráněním snížení účinnosti fotosyntézy v rostlinách a v souvislosti s tím zvyšuje nárůst biomasy. To by mohlo vysvětlovat vyšší efektivitu na tvorbu biomasy u tohoto systémů.

Příjem a obsah dusíku je ovlivněn rovnováhou mezi nimi. Především v recirkulačním systému je právě tento faktor zásadní pro udržení optimální výživy (de la Rosa-Rodríguez et al. 2020). Koncentrace dusíku byla v případě obou hydroponických systémů nejnižší ve stonku a nejvyšší v květech. Obecně lze na základě výsledků konstatovat, že vyšší obsah živiny ve stoncích byl u rostlin v 1C, průměrný obsah N zde byl 20,21 mg/g. U 2C byl průměrný obsah 15,74 mg/g. U květů byl průměrný obsah u 1C a 2C relativně podobný, u 1C vyšší o 0,274 mg/g. Celková koncentrace N byla tedy vyšší u 1C.

Opačného výsledku ovšem dosáhli Miller et al. (2020), kteří při pěstování salátu zaznamenali u uzavřeného systému nižší koncentrace N. Tento výsledek mohl být zapříčiněn nerovnováhou mezi přijímanými živinami, která u recirkulačního systému nastává s vyšší pravděpodobností nežli u nercirkulačního (de la Rosa-Rodríguez et al. 2020).

Z výsledků vyplývá, že odběr dusíku byl u každé z rostlinných částí v sušině vyšší u 1C. Jak lze sledovat v grafu č.5, výrazný rozdíl ve výnosnosti nastal v jedenáctém týdnu u listů, kdy 1C překonal více než dvojnásobně 2C (1C vyšší o 172 %).

11. Závěr

Práce je zaměřena na vliv makroživin na růst, prosperitu a obsah kanabinoidů u rostlin konopí. Dále se věnuje porovnání různých hydroponických systémů pěstování a jejich vlivu na efektivitu pěstování. Aktuálně jsou nároky na makroživiny stanoveny již u většiny hospodářsky významných rostlin, u léčebného konopí tomu tak však zatím není. Vyvážený podíl makroživin je zásadní pro každou rostlinu. Jejich množství má vliv na příjem ostatních živin, velikost rostliny, její výnosnost a také na obsah kanabinoidů. Pozitivní korelace byla zaznamenána mezi vyššími hodnotami N, P, Ca, Fe a Mg a obsahem THC. Naopak nižší obsah P v půdě má za následek vyšší hodnoty kanabinoidu CBD. Kanabinoidy jsou sekundární metabolity konopí, které jsou součástí pryskyřice a lze je nalézt v celé rostlině vyjma kořenů a semen. Nejhojněji zastoupené kanabinoidy THC a CBD mají zásadní vliv na charakter rostlin z hlediska její potence. THC stojí za 70-100 % halucinogenních účinků konopí. Využití nachází v lékařské praxi jakožto antispasmodikum či v tlumení nevolností u onkologických pacientů. CBD je nepsychoaktivního charakteru a sloužit může jakožto inhibitor negativních účinků THC, v léčbě schizofrenie nebo jakožto alternativa antibiotik.

V odvětví pěstování léčebného konopí se stává často využívanou metodou pěstování hydroponický systém. Hydroponie je způsob pěstování ve vodním prostředí za nepřítomnosti substrátu, či v substrátu inertním, neobsahujícím živiny. Výhodou je absolutní kontrola nad dodávanými živinami a rychlejší růst a výnos rostlin bez potřeby použití pesticidů. Základně se tento systém dělí na otevřený a uzavřený. V uzavřeném systému, kde je živný roztok opakovaně recirkulován dokážou rostliny využít potenciálu dodávaných živin na maximum. Systém je po ekonomické i ekologické stránce výrazně výhodnější než. Nevýhodou je zde vyšší riziko přenosu kořenových chorob ve srovnání s otevřeným systémem. U otevřeného není roztok recirkulován, ale je po použití odváděn do odpadní nádrže.

V našem experimentu byla sledována efektivita těchto dvou systémů na příbytek biomasy, obsah a odběr N. Obsah N se ukázal být u obou systémů nejvyšší u květů, přičemž v systému uzavřeném se v posledním týdnu ukázal být obsah N o 21,06 % vyšší než u otevřeného. Vyšší obsahové hodnoty N v uzavřeném systému byly zaznamenány též u stonků a listů. Odběr N se opět ukázal být vyšší u uzavřeného systému, kdy v 11. týdnu naměřené hodnoty prokazovaly až o 172 % vyšší odběr N u listové hmoty v sušině nežli u systému otevřeného. Posledním porovnávaným parametrem byla hmotnost sušiny. Zde opět vykazovaly vyšší hodnoty rostliny pěstované v uzavřeném systému, kdy v posledním týdnu byla hmotnost stonku vyšší o 111,7 % než u otevřeného. Závěrem lze říct, že experiment prokázal vyšší příbytek rostlinné hmoty, obsahu dusíku a také odběr dusíku u uzavřeného recirkulačního hydroponického systému. Vzhledem k výsledkům můžeme konstatovat, že se jedná o vhodnější alternativu pěstování konopí, a to nejen z produkčního hlediska ale i po ekonomické stránce a v rámci ochrany zdrojů, a to sice vody a hnojiv využitých v procesu pěstování.

12. Použitá literatura

- Abd-Elmoniem EM, Abdrabbo MA, Farag AA, Medany MA. 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. 2012. Weedology/Marihuana - Vše o pěstování konopí, 1st edition. Positive Publishers, Nizozemsko.
- Addo PW, Desaulniers Brousseau V, Morello V, MacPherson S, Paris M, Lefsrud M. 2021. Cannabis chemistry, post-harvest processing methods and secondary metabolite profiling: A review. *Industrial Crops and Products* **170**:2–4. Elsevier B.V.
- 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. ASRJETS.
- Aubin M, Seguin P, Vanasse A, Tremblay GF, Mustafa AF, Charron J. 2015. Industrial Hemp Response to Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilization. *Crop, Forage & Turfgrass Management* **1**:1–10. Wiley.
- Backes M, Weil A. 2017. Cannabis Pharmacy: The Practical Guide to Medical Marijuana, 1st edition. Black Dog & Leventhal, New York.
- Barker A v., Pilbeam DJ. 2015. Handbook of plant nutrition, 2nd edition. CRC Press, Boca Raton.
- Benton Jones Jr. J. 2005. Hydroponics A Practical Guide for the Soilless Grower Second Edition, 2nd edition. CRC Press, Boca Raton.
- Benton Jones Jr. J. 2014. Complete Guide for Growing Plants Hydroponically. CRC Press, Boca Raton.
- Bevan L, Jones M, Zheng Y. 2021. Optimization of N, P, K for soilless production of Cannabis sativa in the flowering stage using response surface analysis. School of Environmental Science, Department of Plant Agriculture **120**:1–3. Available from www.preprints.org.
- Bjelková M, Šmirous P, Vrbová M, Vaculík A. 2017. Komplexní metodika pěstování konopí setého. Agritec Plant Research s.r.o., Šumperk.
- Bósca I, Máthé P, Hangyel L. 1997. Effect of nitrogen on tetrahydrocannabinol (THC) content in hemp (Cannabis sativa L.) leaves at different positions. *Journal of the International Hemp Association* **4**:78–79.
- Bugbee B. 2004. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. *Acta Horticulturae* **648**:99–112. International Society for Horticultural Science.
- Cervantes J. 2006. Marijuana horticulture: the indoor/outdoor medical grower's bible. Van Patten Publishing, Portland.

- Chakravarti B, Ravi J, Ganju RK. 2014. Cannabinoids as therapeutic agents in cancer: Current status and future implications. *Oncotarget* **5**:5852–5872. Impact Journals LLC.
- Chandra S, Lata H, ElSohly MA. 2017. *Cannabis sativa L.* - botany and biotechnology. Springer International Publishing, Mississippi.
- 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.
- Cockson P, Landis H, Smith T, Hicks K, Whipker BE. 2019. Characterization of nutrient disorders of *Cannabis sativa*. *Applied Sciences* **9**:4–7. MDPI AG.
- Cockson P, Schroeder-Moreno M, Veazie P, Barajas G, Logan D, Davis M, Whipker BE. 2020. Impact of phosphorus on cannabis sativa reproduction, cannabinoids, and terpenes. *Applied Sciences* **10**:1–19. MDPI AG.
- Coffman CB, Gentner WA. 1975. Cannabinoid Profile and Elemental Uptake of *Cannabis sativa L.* as Influenced by Soil Characteristics. *Agronomy Journal* **67**:491–497.
- 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**:1–6. Elsevier B.V.
- Dasgan HY, Ekici B. 2005. Comparison of open and recycling systems for ion accumulation of substrate, nutrient uptake and water and water use of tomato plants. *Acta Horticulturae* **697**:399–408. International Society for Horticultural Science.
- de la Rosa-Rodríguez R, Lara-Herrera A, Trejo-Téllez LI, Padilla-Bernal LE, Solis-Sánchez LO, Ortiz-Rodríguez JM. 2020. Water and fertilizers use efficiency in two hydroponic systems for tomato production. *Horticultura Brasileira* **38**:47–52. Sociedade de Olericultura do Brasil.
- de Petrocellis L, Ligresti A, Schiano Moriello A, Allarà M, Bisogno T, Petrosino S, Stott CG, Marzo V di. 2011. Effects of cannabinoids and cannabinoid-enriched Cannabis extracts on TRP channels and endocannabinoid metabolic enzymes. *British Journal of Pharmacology* **163**:1479–1494.
- Dupal L. 2004. *Kniha o marihuaně*. Mat'a, Praha.
- Dussy FE, Hamberg C, Luginbühl M, Schwerzmann T, Briellmann TA. 2005. Isolation of Δ^9 -THCA-A from hemp and analytical aspects concerning the determination of Δ^9 -THC in cannabis products. *Forensic Science International* **149**:3–10. Elsevier Ireland Ltd.
- Elsohly MA. 2007. *Marijuana and the Cannabinoids*. Human Press Inc., New Jersey.
- ElSohly MA, Radwan MM, Gul W, Chandra S, Galal A. 2017. Phytochemistry of *Cannabis sativa L.* *Progress in the chemistry of organic natural products* **103**:1–36.
- Fayezizadeh MR, Ansari NAZ, Albaji M, Khaleghi E. 2021. Effects of hydroponic systems on yield, water productivity and stomatal gas exchange of greenhouse tomato cultivars. *Agricultural Water Management* **258**:3–7. Elsevier B.V.

- Fišar Z. 2006. Fytokannabinoidy. *Chemické Listy* **100**:233–242.
- Fišar Z. 2009. Phytocannabinoids and endocannabinoids. *Current Drug Abuse Reviews* **2**:51–75.
- 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.
- Green G. 2001. *The Cannabis Grow Bible*. Green Candy Press, San Francisco.
- Hanuš LO, Meyer SM, Muñoz E, Tagliabatella-Scafati O, Appendino G. 2016. Phytocannabinoids: A unified critical inventory. *Natural Product Reports* **33**:1357–1392. Royal Society of Chemistry.
- Hejtník V, Zámečnicková B, Zámečnick J, Hnilička F. 2005. *Fyziologie rostlin*. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Hill AJ, Weston SE, Jones NA, Smith I, Bevan SA, Williamson EM, Stephens GJ, Williams CM, Whalley BJ. 2010. 9-Tetrahydrocannabinol suppresses in vitro epileptiform and in vivo seizure activity in adult rats. *Epilepsia* **51**:1522–1532.
- Izzo AA, Capasso R, Aviello G, Borrelli F, Romano B, Piscitelli F, Gallo L, Capasso F, Orlando P, di Marzo V. 2012. Inhibitory effect of cannabichromene, a major non-psychoactive cannabinoid extracted from *Cannabis sativa*, on inflammation-induced hypermotility in mice. *British Journal of Pharmacology* **166**:1444–1460.
- Kaczorová D, Béres T, Bjelková M, Kuchař M, Tarkowski P, Čavar Zeljković S. 2020. O konopí bez předsudků. *Chemické Listy* **114**:277–284.
- Kuddus M, Ginawi IAM, Al-Hazimi A. 2013, October. *Cannabis sativa*: An ancient wild edible plant of India.
- Landa L, Juřica J. 2020. *Léčebné konopí v současné medicínské praxi*. Grada Publishing, Praha.
- Lippert F. 1993. Amounts of organic constituents in tomato cultivated in open and closed hydroponic systems. *Acta Horticulturae* **339**:113–124. Stuttgart.
- Milfortová L. 2010. Kanabinoidy. *Kontakt* **12**:343–351.
- Miller A, Adhikari R, Nemali K. 2020. Recycling Nutrient Solution Can Reduce Growth Due to Nutrient Deficiencies in Hydroponic Production. *Frontiers in Plant Science* **11**:1–10. Frontiers Media S.A.
- Nikan M, Nabavi SM, Manayi A. 2016. Ligands for cannabinoid receptors, promising anticancer agents. *Life Sciences* **146**:124–130. Elsevier Inc.
- Papastylianou P, Kakabouki I, Travlos I. 2018. Effect of nitrogen fertilization on growth and yield of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* **46**:197–201. Academic Press.
- Pate DW. 1994. Chemical ecology of *Cannabis*. *Journal of the International Hemp Association* **2**:32–37.

- Pattnaik F, Nanda S, Mohanty S, Dalai AK, Kumar V, Ponnusamy SK, Naik S. 2022. Cannabis: Chemistry, extraction and therapeutic applications. *Chemosphere* **289**:2–8. Elsevier Ltd.
- Radosavljevic-Stevanovic N, Markovic J, Agatonovic-Kustrin S, Razic S. 2014. Metals and organic compounds in the biosynthesis of cannabinoids: A chemometric approach to the analysis of Cannabis sativa samples. *Natural Product Research* **28**:511–516. Taylor and Francis Ltd.
- Rai A, Sharma A, Parashar B. 2017. Cannabis Sativa: Boon Or Curse. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* **6**:332–338. Available from www.wjpps.com.
- Roberto K. 2003. *How-To Hydroponics*, 4th edition. Future Garden Press, New York.
- Rodziewicz P, Kayser O. 2020. Cannabis sativa L. – Cannabis. Pages 233–264 *Medicinal, Aromatic and Stimulant Plants*. Springer International Publishing, Dortmund.
- Russo E, Guy GW. 2006. A tale of two cannabinoids: The therapeutic rationale for combining tetrahydrocannabinol and cannabidiol. *Medical Hypotheses* **66**:234–246. Churchill Livingstone.
- Russo EB. 2011. Taming THC: potential cannabis synergy and phytocannabinoid-terpenoid entourage effects LINKED ARTICLES. *British Journal of Pharmacology* **163**:1344–1364. Available from <http://dx.doi.org/10.1111/bph.2011.163.issue-7> www.brjpharmacol.org.
- Russo EB, Grotenhermen F. 2016. Current Therapeutic Cannabis Controversies and Clinical Trial Design Issues. *Frontiers in Pharmacology* **7**:2–14. Frontiers Media S.A.
- Saloner A, Bernstein N. 2020. Response of Medical Cannabis (Cannabis sativa L.) to Nitrogen Supply Under Long Photoperiod. *Frontiers in Plant Science* **11**. Frontiers Media S.A.
- Sheets J. 2015. *Homegrown Marijuana Create a Hydroponic Growing System in Your Own Home*. Cool Springs Press, Miami.
- Shiponi S, Bernstein N. 2021. The Highs and Lows of P Supply in Medical Cannabis: Effects on Cannabinoids, the Ionome, and Morpho-Physiology. *Frontiers in Plant Science* **12**:1–18. Frontiers Media S.A.
- Small E. 2015. Evolution and Classification of Cannabis sativa (Marijuana, Hemp) in Relation to Human Utilization. *Botanical Review* **81**:189–294. Springer New York LLC.
- Smith O. 2015, March 6. The Cannabis - Terpene Synergy. Available from <https://cannabisdigest.ca/cannabis-terpene-synergy/> (accessed March 5, 2022).
- Taura F, Morimoto S, Shoyama Y. 1996. Purification and Characterization of Cannabidiolic - acid Synthase from Cannabis sativa L. *The Journal Of Biological Chemistry* **271**:17411–17416.
- Texier W. 2015. *Hydroponics for Everybody: All About Home Horticulture*. Quick American Archives, Paříž.

- Thomas BF, ElSohly MA. 2016. *The Analytical Chemistry of Cannabis: Quality Assessment, Assurance, and Regulation of Medicinal Marijuana and Cannabinoid Preparations*. Elsevier, Amsterdam.
- Townsend CR, Begon M, Harper JL. 2010. *Základy ekologie*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- van Rooyen IL, Nicol W. 2022. Nitrogen management in nitrification-hydroponic systems by utilizing their pH characteristics. *Environmental Technology & Innovation* **26**:102360.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin*. Profi Press, Praha.
- Veazie P, Cockson P, Logan D, Whipker B. 2021. Magnesium's Impact on Cannabis sativa 'BaOx' and 'Suver Haze' Growth and Cannabinoid Production. *Journal of Agricultural Hemp Research* **2**:2–21.
- Zetta A, Paull A. 2020. *The Cannabis Grow Bible: Growing Marijuana For Beginners How to Grow Marijuana Indoor & Outdoor, The Definitive Guide - Step by Step, Cannabis Strains*. Elmarnissi, USA.

13. Seznam grafů a obrázků

Obrázek č. 1: Deficit N (Sheets, 2015)	22
Obrázek č. 2: Deficit P (Sheets, 2015)	23
Obrázek č. 3: Deficit K (Sheets, 2015)	24
Obrázek č. 4: Deficit Ca (Sheets, 2015)	25
Obrázek č. 5: Deficit Mg (Sheets, 2015)	25
Obrázek č. 6: Deficit S (Sheets, 2015)	26
Obrázek č. 7: Chemická struktura tetrahydrokanabinolu (THC) (Thomas & ElSohly 2016)..	29
Obrázek č. 8: Chemická struktura kanabidiolu (CBD) (Thomas & ElSohly 2016).....	30
Obrázek č. 9: Chemická struktura kanabichromenu (CBC) (Thomas & ElSohly 2016)	31
Obrázek č. 10: Chemická struktura kanabigerolu (CBG) (Thomas & ElSohly 2016).....	31
Obrázek č. 11: Chemická struktura tetrahydrokanabivarinu (THCV) (Thomas & ElSohly 2016).....	32
Obrázek č. 12: Chemická struktura kanabinolu (CBN) (Thomas & ElSohly 2016)	32
Graf č. 1: Obsah dusíku v sušině u uzavřeného systému	37
Graf č. 2: Obsah dusíku v sušině u otevřeného systému	38
Graf č. 3: Odběr dusíku u uzavřeného systému.....	39
Graf č. 4: Odběr dusíku u otevřeného systému	39
Graf č. 5: Porovnání odběru dusíku u uzavřeného systému (1C) a otevřeného systému (2C).	40
Graf č.6: Porovnání příbytku suché hmoty u uzavřeného systému (1C) a otevřeného systému (2C).....	40