

**Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Význam makroživin, zejména dusíku,
při hydroponickém pěstování léčebného konopí**

Bakalářská práce

Autor práce: Petryakova Ksenia

Obor studia: Zahradnictví

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

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Význam makroživin, zejména dusíku, při hydroponickém pěstování 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 datum odevzdání _____

Poděkování

Rád(a) bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce, panu prof. Ing. Pavlu Tlustošovi, CSc., dr. h. c., za jeho ochotný přístup, užitečné připomínky a čas, který mi byl ochoten věnovat. Dále bych chtěla poděkovat své konzultantce, Alexandře Kuklinové, za její obětavou pomoc, cenné rady a trpělivost, kterou mi prokázala během práce na projektu. Velké díky patří také mé rodině a přátelům, kteří byli mou oporou po celou dobu mého studia. Vaše neustálá podpora a povzbuzení byly pro mě klíčové v dobách, kdy jsem to nejvíce potřebovala

Význam makroživin, zejména dusíku, při hydroponickém pěstování léčebného konopí

Souhrn

Hydroponie patří k moderním způsobům celoročního pěstování rostlin. Umožňuje regulaci výživného stavu rostlin během celé vegetace a při dodržování hygienických přístupů minimalizuje potřeby chemické ochrany rostlin. Dusík je jednou z klíčových živin pro růst rostlin i tvorbu přírodních látek, vzhledem k tomu, že ho rostlina přijímá ve více formách a ve velkém množství je třeba věnovat výživě dusíkem zvýšenou pozornost.

Tato práce zkoumá vliv makroživin (P, K, Ca, Mg, S), především dusíku, v živném roztoku na rozvoj nadzemní biomasy, květenství a koncentraci hlavních kanabinoidů v hydroponicky pěstovaných rostlinách. Hydroponie je metodou pěstování rostlin ve vodním prostředí bez substrátu, umožňuje pěstitelům plnou kontrolu nad výživou rostlin.

Cílem bakalářské práce bylo popsat jednotlivé hydroponické pěstební systémy, jejich výhody a nevýhody, význam živin, zejména dusíku a jeho forem pro růst rostlin léčebného konopí a tvorbu kanabinoidů i dalších přírodních látek a hnojiva vhodná pro hydroponické pěstování rostlin, zejména léčebného konopí. Práce dále porovnává různé hydroponické systémy a jejich vliv na kvalitu a množství vyprodukované sušiny.

Různé studie ukazují, že léčebně konopí lépe reaguje na přísun dusičnanů (NO_3^-) než na amonnou formu (NH_4^+). Rostliny s nižším podílem NH_4^+ (0–30%) v roztoku mají lepší fyziologickou odezvu a vyšší fotosyntetické aktivity, což vede k větší velikosti rostlin a lepším výnosům ve srovnání s rostlinami s vyšším obsahem NH_4^+ v živném roztoku. Výzkumy také ukazují, že optimalizace množství dusíku může zvýšit produkci biomasy a kvalitu rostlin, ale extrémní úrovně dusíku mohou snižovat produkci kanabinoidů a terpenoidů. Doporučuje se, aby celkový příjem dusíku pro komerční produkci kanabinoidů byl mezi 60 a 210 mg/l. Nadměrné dávky dusíku mohou ovlivnit fotosyntézu a snížit výnosy vláken konopí, což poukazuje na potřebu pečlivé regulace hnojení v praxi.

Během období intenzivního vegetativního růstu konopí potřebuje vyšší dávky dusíku, přibližně 160-200 mg.l⁻¹ N. Těsně před květní fází je možné množství dusíku zvýšit na 200-225 mg.l⁻¹ N. V květní fázi, kdy intenzita růstu klesá, se doporučuje snížit dávku dusíku na 100 až 150 mg.l⁻¹ N. V experimentu bylo zjištěno, že celkový výnos květenství klesl, pokud byla dávka dusíku mimo rozmezí 160-240 mg.l⁻¹ N (Saloner & Bernstein 2020).

Klíčová slova: Cannabis, hydroponie, živiny, dusík, biomasa, kanabinoidy, hnojiva

The Importance of Major Nutrients, Mainly Nitrogen for Hydroponically Grown Medical Cannabis

Summary

Hydroponics belongs to modern methods of year-round plant cultivation. It allows for the regulation of the nutritional status of plants throughout the vegetation period, and when adhering to hygienic practices, it minimizes the need for chemical plant protection. Nitrogen is one of the key nutrients for plant growth and the formation of natural substances, as the plant absorbs it in multiple forms and in large quantities, necessitating particular attention to nitrogen nutrition.

This thesis examines the influence of macronutrients (P, K, Ca, Mg, S), primarily nitrogen, in the nutrient solution on the development of above-ground biomass, flowering, and the concentration of main cannabinoids in hydroponically grown plants. Hydroponics, a method of cultivating in a water-based environment without substrate, allows growers full control over plant nutrition. The work also compares different hydroponic systems and their impact on the quality and quantity of the produced dry matter.

The aim of the bachelor's thesis was to describe individual hydroponic cultivation systems, their advantages and disadvantages, the significance of nutrients, especially nitrogen and its forms for the growth of medicinal cannabis plants, and the formation of cannabinoids and other natural substances, as well as fertilizers suitable for hydroponic cultivation of plants, particularly medicinal cannabis.

Various studies show that medicinal cannabis responds better to nitrate NO_3^- supply than to ammonium form NH_4^+ . Plants with a lower percentage of NH_4^+ (0–30%) in the solution have healthier physiology and higher photosynthetic activities, leading to larger size and better yields compared to plants with a higher content of NH_4^+ . Research also shows that optimizing the amount of nitrogen can increase biomass production and plant quality, but extreme levels of nitrogen may reduce the production of cannabinoids and terpenoids. It is recommended that the total nitrogen intake for commercial production of cannabinoids should be between 60 and 210 mg/l. Excessive doses of nitrogen can affect photosynthesis and reduce the yields of hemp fibers, highlighting the need for careful fertilization regulation in practice.

During the period of intensive vegetative growth, cannabis needs higher doses of nitrogen, approximately 160-200 $\text{mg.l}^{-1}\text{N}$. Just before the flowering phase, the amount of nitrogen can be increased to 200-225 $\text{mg.l}^{-1}\text{N}$. In the flowering phase, when the growth intensity decreases, it is recommended to reduce the nitrogen dose to 100 to 150 $\text{mg.l}^{-1}\text{N}$. In the experiment, it was found that the total yield of flowering decreased if the dose of nitrogen was outside the range of 160-240 $\text{mg.l}^{-1}\text{N}$ (Saloner & Bernstein 2020).

Keywords: Cannabis, hydroponics, nutrients, nitrogen, biomass, cannabinoids, fertilizers.

1. Úvod.....	8
2. Cíl práce.....	9
3. Léčebné konopí	10
3.1 Historie a vývoj pěstování konopí pro léčebné účely	10
3.2 Definice.....	11
3.3 Taxonomie konopí.....	12
3.3.1 Konopí seté	13
3.3.2 Konopí indické	13
3.3.3 Konopí rumištní	13
3.3.4 Konopí afghánské	13
4. Obsah léčivých látek v konopí	14
4.1 Kanabinoidy	14
4.1.1 Tetrahydrokanabinol (THC)	15
4.1.2 Kanabidiol (CBD)	16
4.1.3 Kanabinol (CBN)	17
4.1.4 Tetrahydrokanabivarin (THCV).....	17
4.1.5 Kanabichrom (CBC).....	18
4.2 Endokanabinoidní systém	18
4.3 Legislativní aspekty.....	19
5. Význam dusíku pro výživu konopí.....	20
5.1 Formy dusíku.....	21
5.2 Vliv dusíku na tvorbu biomasy	21
5.3 Vliv dusíku na tvorbu kanabinoidu a dalších látek	22
5.4 Uplatnění forem v jednotlivých hydroponických systémech	23
5.5 Dusíkaté hnojiva v hydroponii.....	23
5.6 Vliv dalších živin na příjem dusíku	24
5.7 Výhody použití dusíku v hydroponie	24
5.8 Nevýhody.....	25
5.9 Nedostatek.....	25
5.10 Nadbytek.....	26
6. Význam ostatních živin v pro konopí.....	27
6.1 Kategorie makroživin a jejich funkce v rostlinách	27
6.1.1 Fosfor (P)	28
6.1.2 Draslík (K)	29
6.1.3 Hořčík (Mg)	30
6.1.4 Vápník (Ca)	31

6.1.5 Síra (S)	32
7. Hydroponické pěstování.....	32
7.1 Historie a vývoj hydroponie	32
7.2 Principy hydroponie	33
7.2.1 Živný roztok	34
7.2.2 Pěstební média.....	34
7.2.3 Hodnota pH živného roztoku.....	34
7.2.4 Hnojiva v hydroponii.....	35
7.3 Výhody a nevýhody hydroponického pěstování.....	36
7.3.1 Výhody	36
7.3.2 Nevýhody	36
8. Závěr	38
Seznam literatury.....	39
Seznam grafů a obrázků.....	48

1. Úvod

Rostoucí zájem o léčebné využití konopí vede k legislativním změnám a přehodnocování dříve zakořeněných postojů ve veřejném vnímání, což otevírá prostor pro rozvoj tohoto oboru. Nicméně dnes je v mnoha zemích regulováno zákony jeho pěstování a užívání (Baldino et al. 2020).

Nedávné změny v politice dekriminalizace spolu s novými vědeckými zjištěními posílily zájem o terapeutické možnosti konopí a umožnily cestu k udělování marketingových licencí pro výrobky založené na konopí (Brunetti et al. 2020). Přestože je v současné době konopí čím dál více akceptováno jako léčebný prostředek pro širokou škálu zdravotních potíží, stále existuje nedostatek vědecky podložených informací o optimálních metodách jeho pěstování pro medicínské účely.

Navzdory existenci několika farmaceutických produktů založených na konopí, jako jsou Marinol® (dronabinol) a Cesamet® (nabilon), se nejčastěji využívají bylinné léčiva. Problémem však zůstává absence standardizovaných metodik pro tyto bylinné přípravky a nedostatek protokolů pro dávkování, což lékařům ztěžuje předepisování specifických léčebných postupů (Brunetti et al. 2020).

Hydroponické pěstování je často preferováno, protože umožňuje přesné regulování podmínek, což vede k vyšší předvídatelnosti a kvalitě úrody. Kontrola nad složením živin a prostředím, ve kterém rostliny rostou, je klíčová pro maximální produkci účinných látek. Ve své práci jsem se zaměřila především na nutriční aspekty pěstování, kde makroživiny, zejména dusík, hrají zásadní roli. Dusík je nezbytný pro růst a vývoj rostlin, ovlivňuje syntézu klíčových biologicky aktivních látek a má zásadní vliv na kvalitu a množství produkované biomasy.

2. Cíl práce

Hydroponie patří k moderním způsobům celoročního pěstování rostlin. Umožňuje regulaci výživného stavu během celé vegetace a při dodržování hygienických přístupů minimalizuje potřeby chemické ochrany rostlin. Dusík je jednou z klíčových živin pro růst rostlin i tvorbu přírodních látek, vzhledem k tomu, že ho rostlina přijímá ve více formách je třeba věnovat výživě dusíkem zvýšenou pozornost.

Cílem bakalářské práce bude popsat jednotlivé hydroponické pěstební systémy, jejich výhody a nevýhody, význam živin, zejména dusíku a jeho forem pro růst rostlin léčebného konopí a tvorbu kanabinoidů i dalších přírodních látek a hnojiva vhodná pro hydroponické pěstování rostlin, zejména léčebného konopí.

3. Léčebné konopí

3.1 Historie a vývoj pěstování konopí pro léčebné účely

Cannabis sativa je tradičně využíváno v medicíně už od starověku a dnes je považováno za slibnou možnost léčby mnoha onemocnění. Jeho farmaceutické účinky jsou způsobeny stovkami sekundárních metabolitů, jako jsou kanabinoidy, terpeny a flavonoidy, které se převážně nacházejí ve samičích květech (Bernstein et al. 2019)

Použití konopí v medicíně se dlouhou tradicí a bylo zdokumentované již před několika tisíciletími, jak potvrzují archeobotanické nálezy pozůstatků konopí a písemná svědectví nalezená v prastarých textech. Tyto doklady zahrnují posvátné spisy védské tradice, jež tvoří základ ájurvedy (zhruba 800 let př. n. l.) až po první známou farmakopeu, čínský „Shen Nong Ben Cao Jing“ (1. století př. n. l.).

Začátek moderní éry medicínálního konopí lze datovat do 19. století (Pisanti & Bifulco 2019).

William Brooke O'Shaughnessy (1809-1889), který studoval medicínu v Edinburghu a později se přestěhoval do Kalkaty, v roce 1839 publikoval studii o konopí. Zjistil, že v Evropě byly psychoaktivní účinky konopí téměř neznámé, kromě experimentů s hašišem mezi některými mladíky v Marseille. Zdůrazňoval, že účinky konopí souvisely s obsahem smolnatých látek, které v evropských variantách chyběly, pravděpodobně kvůli odlišnostem v klimatu, i když se rostliny z Evropy a Jižní Asie vizuálně nelišily (Crocq 2020). Po návratu do Anglie v 1841 O'Shaughnessy přivezl semena *Cannabis indica*. Chemici se pokoušeli izolovat aktivní složky z jeho extraktů, ale úspěch nastal až v roce 1964. O'Shaughnessyho studie a překlady Silvestra de Sacy o konopí zvýšily zájem o *Cannabis indica* a hašiš v Evropě. (Pisanti & Bifulco 2019).

Jacques-Joseph Moreau de Tours, Esquirolův student, cestoval mezi lety 1836 a 1840 po Blízkém východě a zkoumal účinky hašiše, který používal na sebe ve formě dawamesku, směsi konopných listů a květů s máslem a růží, jasmínem nebo medem. Tuto směs sdílel s pařížskými spisovateli, včetně Théophila Gautiera, a pozoroval u sebe čisté blaženství, ale i myšlenkovou dezorganizaci a zkrácení času. Doufal, že studium konopí odhalí mechanismy psychóz a abúlie způsobené touto rostlinou (Crocq 2020).

O'Shaughnessy ve své knize uvádí úspěšné pokusy s konopím na lidech proti revmatismu, křečím, a zejména proti svalovým spasům u tetanu a vztekliny. Moreau, který působil jako asistent lékaře v psychiatrickém ústavu Charenton u Paříže, využíval konopí z jiných důvodů. Během cest s pacienty do dalekých zemí zjistil běžné používání hašiše mezi Araby a rozhodl se pro systematické testování konopných přípravků, nejprve na sobě a pak na studentech. V roce 1845 publikoval 'Du Hachisch et de l'Alienation Mentale: Etudes Psychologiques', obsahující podrobný popis akutních efektů konopí a jeho význam pro výzkum mentálních onemocnění (Zuardi 2005).

Carlo Erba neizoloval aktivní látky konopí, ale v 1849 otevřel laboratoř pro výrobu konopných přípravků proti migréně, nevolnosti a artritidě, které se staly úspěšnými. Obavy z vysokých nákladů na dovoz léčiva z Egypta a potřeby dostatečných zásob rostliny byly částečně

vyřešeny lékárníkem Pietrem Burgem, který experimentoval s levně pěstovaným konopným olejem z italské odrůdy *cannabis sativa* (Samorini 1996).

V roce 1899 farmakolog Walter Ernest Dixon zdůraznil, že inhalace konopí je obzvláště efektivní díky rychlému účinku. Shoemaker poukázal na její úspěšnost u neuralgie, migrény a dalších stavů. Konopí bylo také využíváno v léčbě opiátové závislosti. Sir William Osler v roce 1915 označil konopí za nejlepší lék na bolesti hlavy, což vedlo k jeho širokému předepisování proti migrénám, úzkostem a nespavosti (Pisanti & Bifulco 2019).

V průběhu 20. století se začala konopí efektivně používat v medicíně k odstraňování příznaků a léčbě rozličných onemocnění. Případy jejího využití se pohybují mezi ověřenými léčbami a spekulacemi. Avšak všechny tyto příklady budí pozornost u každého, kdo se nechce otočit zády k bolesti druhých. Zkušenosti pacientů přinášejí svědectví nejen o terapeutickém potenciálu marihuany, ale také o výzvách, kterým čelí ti, kdo jsou donuceni získávat tento přípravek mimo zákonné cesty (Bridgeman & Abazia 2017).

Konopí bylo nahrazeno jinými sedativy a analgetiky, jako je aspirin, a ve 20. století omezení ve Spojených státech omezila jeho použití, zvláště po Marihuanovém daňovém zákonu z roku 1937 a jeho zařazení do Seznamu IV podle Úmluvy OSN v roce 1961 společně s heroinem. V roce 1970 bylo konopí klasifikováno jako droga Seznamu 1 v USA, což ztížilo výzkum. Studie mezi švédskými vojáky ukázala, že konopí může být rizikem pro schizofrenii, ale alternativní výklad naznačuje, že souvislost mezi konopím a schizofrenií může být důsledkem patologie endokanabinoidního systému, ne nutně přímé příčiny schizofrenie (Crocq 2020).

V roce 1979 Alfred Chang zkoumal účinky delta-9-THC na pacienty s kostními tumory, zjišťující, že THC snižuje nevolnost a zvracení a s vyšší dávkou roste jeho účinnost.

Od roku 1985 mohou onkologové předepisovat syntetické THC (Marinol), ale inhalace marihuany může být efektivnější kvůli proměnlivé absorpci orálního THC (Grinspoon & Bakalar 1997).

V roce 1996 se Kalifornie stala prvním státem, který povolil legální přístup a využívání botanického konopí pro léčebné účely pod lékařským dohledem, a to přijetím Zákona o soucitném užívání (Bridgeman & Abazia 2017).

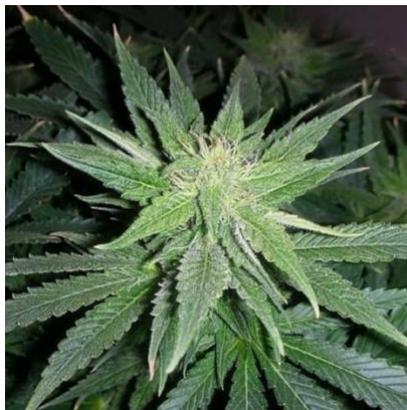
3.2 Definice

Cannabis patří mezi nejstarší rostliny významné z ekonomického hlediska, které lidstvu poskytují vlákno pro výrobu tkanin a papíru, semena jako zdroj potravy pro lidi a krmivo pro zvířata, a také aromatickou pryskyřici s psychoaktivními a léčebnými složkami (Clarke 1981). První doložené využití konopí pro léčebné účely bylo zaznamenáno kolem roku 400 našeho letopočtu (Zias et al. 1993). Lidský výběr pro různorodé užití a přírodní selektivní tlaky v různých klimatických podmínkách vedly k vývoji rozmanitých forem růstu a chemických

složení. Při zlepšování rekreačních form konopí byly využity inovativní tradiční šlechtitelské metody, což vedlo k vytvoření řady odrůd bohatých na kanabinoidy, vhodných pro medicínské použití (Clarke 1981).

3.3 Taxonomie konopí

Konopí na obrázku č. 1 Soma (2005) v botanice je zařazeno do čeledi *Cannabaceae* a rodu *Cannabis* (Žahour 2007). Rostlina je jednoletá, která se rozšiřují se ze semene, prospívá výrazně na slunných, otevřených stanovištích s půdou lehkou a dobře drenážívanou, za přítomnosti hojnosti živin a vody. V období od jara do podzimu, trvající 4 až 8 měsíců, může konopí dorůst výšek až 5 metrů (přibližně 16 stop) (Clarke 1981).



Obrázek č. 1: Rostlina *cannabis sativa* (Soma 2005).

Konopí se také klasifikuje geograficky na severní (*bodalis*), jižní (*australis*), středoruské (*medioruthenica*) a hašišové typy (*asiatika*). Z hlediska zemědělského využití jsou nejvýznamnější jižní a středoruské typy, které pokrývají přibližně 90% všech pěstitelských ploch na světě. Jedna z motivací pro pěstování konopí je výroba kanabinoidů, psychoaktivních chemických látek, jež jsou využívány v léčbě různých onemocnění. Přestože kanabinoidy mají potenciální léčebný význam, často jsou vnímány jako nebezpečné a návykové látky bez terapeutického přínosu (Měříčková 2015).

Semena konopí klíčí 3. až 7. den po výsevu a adaptují se na dlouhé dny růstem a zvýšením lístků. Po letním slunovratu, s kratšími dny, nastupuje fáze květu, směřující k cyklovému závěru. Kvetení vyžaduje světlo do 12–14 hodin denně. Jakékoli narušení nočního režimu může kvetení oddálit, někdy i urychlit. Větší prostor umožňuje vznik květonosných větví, s přechodem k tvorbě semen a pryskyřice (Clarke 1981).

Samičí květy, umístěné na koncích stonků a v listových úžlabích, obsahují jedno vejce a pevně spojený perianth. Samčí květy mají pět žlutavých okvětních lístků a pět prašníků (Frag & Kayser 2017). Trichomy, žlázovité útvary, obalují listy, poupata a stonky rostliny, nacházejí se v hojném množství (Bonini et al. 2018). Plod z každého květu představuje jedno malé, hladké, světle hnědošedé semínko, jež se přenáší na následující generaci (Frag & Kayser 2017).

Na obrázku č. 2 jsou tvary listů jednotlivých druhů konopí: *cannabis indica*, *cannabis sativa*, *cannabis ruderalis* (Adhikary et al. 2021).

3.3.1 Konopí seté

Cannabis sativa se převážně vyskytuje v Asii, Americe a Africe. Každé z těchto míst přináší své unikátní charakteristiky, přičemž sdílejí několik společných rysů: jsou to vysoké a štíhlé rostliny s rozsáhlým kořenovým systémem, mají dlouhé a úzké listy a rozptylují se mezi několika osamocenými květenstvími (Cervantes 2006). Tento druh, známý také jako konopí seté, představuje jeden z nejčastějších typů konopí. Rozlišují se v něm dva poddruhy: „*Cannabis sativa* ss. *Spontanea*“, což je divoké konopí s charakteristickým nízkým a pevným stonkem, malými listy a drobnými plody, považované za jednoletý plevel vhodný pro samovolný výsev, a „*Cannabis sativa* ssp. *Culta*“, kulturní konopí, které se vyznačuje větším stonkem, listy a semeny a dorůstá větší výšky než jeho divoký protějšek (Měřičková 2015).

3.3.2 Konopí indické

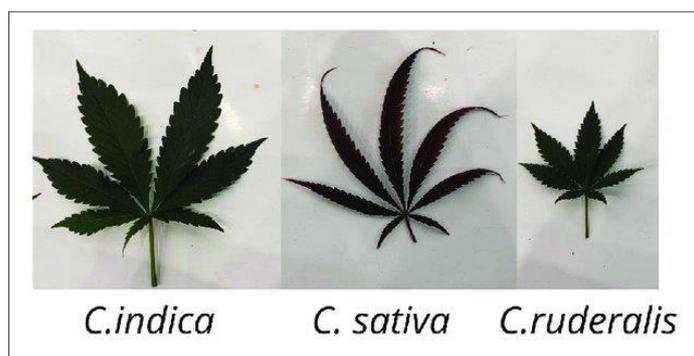
Cannabis indica, obvykle pěstované v Indii, Sýrii, Íránu, Severní Africe (Měřičková 2015) a Pákistánu (Cervantes 2006), je vyhledávané pro výrobu hašiše díky vysokému obsahu THC v pryskyřici samičího květu. Tento druh dosahuje výšky přibližně 1,5 metru a vyniká bohatým květenstvím a semeny (Měřičková 2015).

3.3.3 Konopí rumištní

Cannabis ruderalis patří k odrůdám *Sativa spontanea* (Cervantes 2006), známý také jako konopí rumištní se vyznačuje středně vysokým obsahem psychoaktivních látek a je rozpoznatelné podle svého kompaktního vzrůstu, obvykle okolo 60 cm, s tenkým vláknitým stonkem a velkými listy (Měřičková 2015). Občas dochází k záměně tohoto druhu s výrazně účinnější Indicou, avšak *Ruderalis* je víceméně považován za běžný plevel. Má tendenci vyvolávat spíše bolest hlavy než pocit euforie (Cervantes 2006).

3.3.4 Konopí afghánské

Cannabis afghanica, odrůda *sativy*, má svůj původ v současném Afghánistánu. Tato rostlina obvykle nenarůstá výš než 1,5 metru a je specificky kultivována především pro produkci hašiše (Cervantes 2006).



Obrazek č. 2: Tvary listů jednotlivých druhů konopí: *cannabis indica*, *cannabis sativa*, *cannabis ruderalis* (Adhikary et al. 2021).

4. Obsah léčivých látek v konopí

4.1 Kanabinoidy

Existují samčí a samičí exempláře marihuany, avšak pro medicínské účely se využívají především samičí rostliny. I když samotné květy nevyrábějí pryskyřici, stávají se bohatým zdrojem kanabinoidů díky akumulaci pryskyřice na jejich vrcholech (Mack & Joy 2000).

Samičí květenství a částečně listy konopí jsou bohatě pokryta pryskyřicí, klíčovým produktem s psychoaktivními a léčivými účinky. Obsahuje trichomy s fytokanabinoidy a terpeny, které dávají konopí jeho unikátní vůni (Micalizzi et al. 2021). Přestože kanabinoidy samy o sobě nejsou nositeli vůně, jsou to terpeny, které tvoří základní aromatické prvky v esenciálním oleji z konopí (Hendriks et al. 1978; Ross & ElSohly 1996).

Z ekonomického a medicínského pohledu jsou klíčové terpenoidní sekrece z hlavových buněk na samičích květech, bohaté na kanabinoidy a hustě rozložené, zatímco samčí rostliny pro výrobu léčiv nejsou důležité kvůli nedostatku žlázových trichomů. Vrcholy stonků vytvářejí pryskyřice s vysokým obsahem kanabinoidů (> 80%), plné aromatických terpenů (Clarke 1998). Žlázy produkující pryskyřici, bohaté na kanabinoidy a terpeny, mohou sloužit jako adaptační mechanismus pro obranu proti škůdcům a plísňovým infekcím (Pate 1994).

Medicínské konopí je obvykle dostupné jako marihuana s vysokým obsahem THC (až 30 % sušiny) a minimem CBD, pěstovaná z vybraných odrůd. Tyto odrůdy jsou selektivně šlechtěny pro vysokou psychoaktivitu a často se rozmnožují vegetativně, což zajišťuje zachování jejich genotypu s vysokým THC (McPartland & Clarke 2000).

Koncentrace specifických kanabinoidů v rostlině marihuany se mohou značně lišit v závislosti na různých pěstitelských podmínkách, jako je typ půdy, teplota a vlhkost. Dále kanabinoidy podléhají degradaci vlivem tepla, vlhkosti a světla, což znamená, že způsob

skladování může mít významný dopad na množství kanabinoidů v sušených květech nebo listech (Mack & Joy 2000). Různé odrůdy konopí se liší v obsahu kanabinoidů. Afghánské rostliny jsou bohaté na kanabidiol (CBD), který může ovlivňovat inhibiční neurotransmisi a má léčebné účinky. Naopak, thajské rostliny obsahují tetrahydrokanabivarin (THCV), analog THC, který indukuje rychlou euforii. Tato variabilita v chemickém složení odrůd odráží jejich různé medicínské a rekreační využití (Cervantes 2006).

V marihuane bylo identifikováno přes 460 chemických sloučenin, včetně více než šedesáti kanabinoidů s charakteristickou strukturou obsahující 21 uhlíkových atomů. Kromě THC marihuana obsahuje i kanabidioly a kanabinoly, kde rostlina nejprve produkuje kanabidioly, které se postupně mění na THC a nakonec na kanabinoly (Grinspoon & Bakalar 1997). Biosyntéza kanabinoidních sloučenin je unikátní pro konopí, a v současnosti se vyvíjejí odrůdy s určitými chemickými profily pro široké průmyslové a farmaceutické využití (McPartland & Clarke 2000). Kanabinoidy, zastávající významnou část pryskyřice, mohou tvořit až 30 % hmotnosti sušených květinových vrcholů. V extraktech získaných parní destilací se však kanabinoidy objevují jen v minimálních množstvích (McPartland & Mediavilla 2002). Proces biosyntézy kanabinoidů začíná spojením geranylpyrofosfátu s C10 nebo C12 polyketidem, což vede k tvorbě kanabigerovarinu (CBGV) nebo kanabigerolu (CBG). Produkci THC, CBD, CBC a dalších látek jako THCV, CBDV, CBCV řídí tři enzymy: T, D a C, které využívají CBGV a CBG v závislosti na dostupném substrátu (Clarke 1998). Biosyntéza CBD a THC je kontrolována dvojicí ko-dominantních alel, které kódují různé izoformy syntázy pro přeměnu CBG na CBD nebo THC (de Meijer et al. 2003).

Některé kanabinoidy mohou vyvolávat pocit radosti. Celkem je známo přibližně 40 různých kanabinoidů, avšak jen malá část z nich má psychotropní účinky. Tady je popis základních kanabinoidů: (Cervantes 2006).

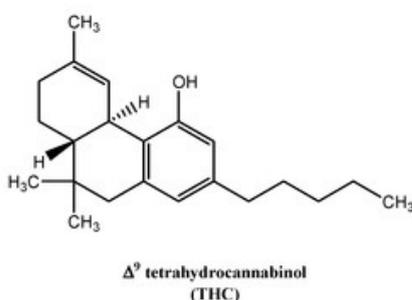
4.1.1 Tetrahydrokanabinol (THC)

Nejdůležitějším psychoaktivním prvkem je delta-9-THC (také známý jako THC), který se vyskytuje ve 1 až 5 % hmotnosti. Existují i jiné formy THC s podobnou účinností, ale v omezených množstvích a jen v některých odrůdách. Byly vyvinuty i syntetické látky příbuzné THC, jako synhexyl, nabilon, a levonantradol (Grinspoon & Bakalar 1997)

Delta-9-THC (trans-tetrahydrokanabinol), který je ukazan na obrázku č. 3 Bongiorno et al. (2023), známější jako Δ^9 THC, je hlavním psychoaktivním kanabinoidem v konopí, tvořícím až 25% sušených květů některých odrůd marihuany. Naopak, technické konopí obsahuje Δ^9 THC jen v minimálním množství. Tento kanabinoid je hlavním zdrojem psychoaktivních účinků konopí. Delta-8-THC, který má také euforické účinky, se vyskytuje v konopí pouze v malých množstvích, což vede vědky a šlechtitele k většímu zaměření na Δ^9 THC, které je efektivnější a hojnější. Všeobecně jsou Δ^9 THC a Δ^8 THC společně označovány jako THC (Cervantes 2006).

Základní rozlišení mezi konopím určeným pro průmyslové využití a konopím pro léčebné účely spočívá v tom, že medicínální konopí je pěstováno metodou sinsemilla, při níž se sbírají jen neopylené samičí květy s vysokým obsahem THC. V extenzivním pěstování se poměr mezi samčími a samičími jedinci určuje na základě genetiky, klimatických a půdních podmínek. Je nutné rozpoznat samičí exempláře a z pěstitelského procesu vyloučit samčí rostliny (Žuk-Gołaszewska & Gołaszewski 2018).

Mnoho aktivních drog a léčivých látek proniká do tukových buněk organismu. Rozdíl, avšak ne unikátní vlastnost THC, spočívá v tom, že z tukových buněk se uvolňuje pomalu. Tukové buňky, ve kterých se THC zdržuje, nejsou v přítomnosti drogy poškozeny, stejně jako mozek a ostatní orgány. Mnoho drog, včetně THC, je rozpustných v tucích. To jim umožňuje snadno pronikat do buněk po celém těle, rozpouštějíc se v buněčných membránách, které jsou většinou složené z lipidů (tuků) (Zimmer & Morgan 1997).



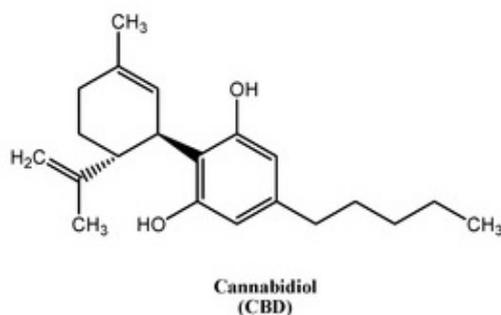
Obrázek č. 3: Chemická struktura delta-9-tetrahydrokanabinolu (THC) (Bongiorno et al. 2023).

4.1.2 Kanabidiol (CBD)

Kanabidiol, neboli CBD, který je ukazan na obrázku č. 4 Bongiorno et al. (2023), se také objevuje téměř ve všech odrůdách konopí, přičemž jeho množství se liší od stopových počtů až po téměř 95% podíl všech kanabinoidů v dané rostlině. CBD má tendenci mírnit příchod euforie, zároveň však prodlužuje její trvání (Cervantes 2006).

CBD získané z čerstvých listů a květů konopí přináší tělu unikátní nutriční a léčebné benefity. Tento kanabinoid, který nepůsobí psychoaktivně, vyniká jako výrazný antioxidant. Rovněž je CBD vysoce efektivní v boji proti nádorovým onemocněním a nabízí možnosti pro prevenci a terapii mnoha seriózních, včetně dlouhodobých, zdravotních stavů. Díky endokanabinoidnímu systému, jenž je v lidském těle rozprostřen skrze kanabinoidní receptory, může aplikace CBD přispět k obnovení správné funkce všech orgánových systémů, včetně řešení problémů s buněčnými spoji a regulace imunitního systému (Serkov & Danilov 2021).

CBD má potenciál modifikovat fyziologické a psychologické účinky THC, což může mít v medicínském kontextu cenné modulační účinky (McPartland & Clarke 2000).

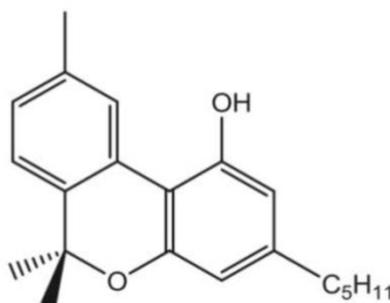


Obrázek č. 4: Chemická struktura kanabidiolu (CBD) (Bongiorno et al. 2023).

4.1.3 Kanabinol (CBN)

Kanabinol (CBN), který je ukazan na obrázku č. 5 Bongiorno et al. (2023), je vedlejším produktem degradace THC a obvykle se v čerstvém konopí vyskytuje jen v stopových množstvích (Cervantes 2006) a nevzniká přímo z rostliny (ElSohly 2007). Na druhou stranu, ve zralém nebo sušeném materiálu je obsah CBN vyšší (Cervantes 2006). CBN patří mezi nejznámější fytochemikálie v rostlině *Cannabis sativa*. Zatímco v různých rostlinách a houbách byly identifikovány různé fytochemikálie, kanabinol byl zatím objeven pouze v konopí (Maioli et al. 2022).

CBN má maximálně 10 % psychoaktivních účinků THC (Milfortová 2010) a nepůsobí přímo na kanabinoidní receptory v mozku. Jeho hlavní účinky zahrnují dezorientaci, závratě a sedativní efekty, které mohou podporovat spánek, což je využíváno při léčbě insomnie. CBN a THC společně působí synergicky, ale CBN sám o sobě nevyvolává euforii typickou pro THC (Dupal 2004).

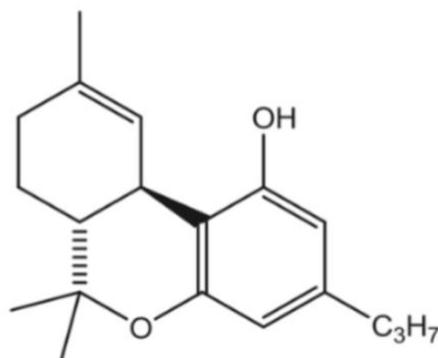


Obrázek č. 5: Chemická struktura kanabinolu (CBN) (Thomas & ElSohly 2016).

4.1.4 Tetrahydrokanabivarin (THCV)

Tetrahydrokanabivarin, který je ukazan na obrázku č. 6 Thomas & ElSohly (2016), je zajímavý kanabinoid, který se často vyskytuje u odrůd *Cannabis indica*. V porovnání s THC, které je hlavním psychoaktivním složením konopí, THCV má podobné účinky, ale ty se objevují

při vyšších dávkách a rychleji odeznívají (Milfortová 2010). THCV se vyznačuje kratší tříuhlíkovou skupinou namísto pětiuhlíkového pentylu, což přispívá k charakteristické vůni rostliny. Tetrahydrokanabivarin je přítomen v odrůdách marihuany z jihovýchodní a střední Asie i z afrických regionů a je známý svým rychlým, avšak krátkodobým, euforickým účinkem. Je však zajímavé, je jeho schopnost aktivovat receptory CB2 a zároveň blokovat receptory CB1. To dává THCV perspektivní potenciál v léčbě obezity a dalších onemocnění (Cervantes 2006).

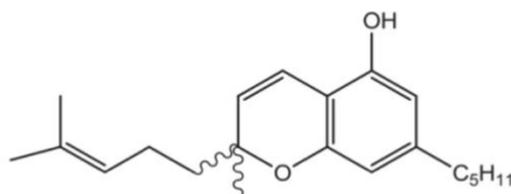


Obrázek č. 6: Chemická struktura tetrahydrokanabivarinu (THCV) (Thomas & ElSohly 2016)

4.1.5 Kanabichrom (CBC)

Kanabichromen (CBC), který je ukazan na obrázku č. 7 Thomas & ElSohly (2016), může tvořit až 20% kanabinoidního spektra rostliny, je stále předmětem vědeckého zkoumání (Cervantes 2006).

CBC vzniká jako produkt kanabigerolové kyseliny (CBGA). Na rozdíl od THC, CBD a dalších kanabinoidů, CBC se nespojuje s kanabinoidními receptory CB1 a CB2, což znamená, že nemá psychoaktivní účinky (Izzo et al. 2012). Existuje domněnka, že CBC může synergicky působit s THC a umocňovat jeho efekty, nicméně výzkum tohoto kanabinoidu je zatím v počátečních fázích (Cervantes 2006).



Obrázek č. 7: Chemická struktura kanabichromenu (CBC) (Thomas & ElSohly 2016)

4.2 Endokanabinoidní systém

Endokanabinoidní systém (EDG) reguluje kognitivní a emoční funkce v lidském nervovém systému, včetně chování a neurologických stavů jako je epilepsie (Capodice & Kaplan 2021). EDG hraje zásadní roli v růstu centrální nervové soustavy, adaptabilitě synapsí a odpovědi na vnitřní i vnější podněty. Tento systém se skládá z receptorů pro kanabinoidy, endogenních kanabinoidů (také známých jako endokanabinoidy) a enzymů pro jejich tvorbu a rozklad. Endogenní kanabinoidy, vlastní lipidy těla interagující s těmito receptory, částečně imitují efekty psychoaktivních prvků v konopí, zejména Δ -9-THC (tetrahydrokanabinol), a ovlivňují tak naše chování (Lu Hc & Mackie 2017).

Zahrnuje dva typy receptorů: CB1, hojně přítomný v mozku a některých periferních tkáních (Capodice & Kaplan 2021). Naše tělo vyrábí endokanabinoidy, molekuly s podobnou strukturou jako ty nalezené v konopí, aby aktivovalo tyto receptory. Prvně identifikovaný endokanabinoid, anandamid, dostal jméno podle sanskrtského slova pro blaženost, "ananda". Tyto malé molekuly v našem mozku jsou podobné látkám obsaženým v konopí, jež lidé využívají tisíce let. Konopí tak efektivně využívá tento dávný mechanismus na buněčné úrovni (Grinspoon 2021).

Receptor CB2, nacházející se hlavně ve slezině a imunitních buňkách. CB1 se vyskytuje i v jiných částech těla, jako jsou svaly či trávicí systém, zatímco CB2 je méně rozšířen v centrálním nervovém systému (Capodice & Kaplan 2021). Lokalizovan hlavně v imunitních tkáních, je zásadní pro řízení imunitní reakce a podílí se na regulaci střevního zánětu, křečí a bolesti při zánětlivých střevních onemocněních. Receptory CB2 představují obzvláště slibné cíle pro farmaceutický výzkum, neboť jejich aktivace nevede k psychoaktivnímu efektu spojenému s aktivací receptorů CB1, což eliminuje typický nežádoucí účinek spojený s užíváním konopí (Grinspoon 2021).

Zapojení endokanabinoidního systému ve vývoji schizofrenie je podpořeno důkazy, že vyšší spotřeba konopí zvyšuje riziko schizofrenie a že akutní použití konopí či syntetických kanabinoidů může u citlivých osob indukovat psychotické stavy (Lu Hc & Mackie 2017).

4.3 Legislativní aspekty

Hlavní psychoaktivní kanabinoidy, včetně THC a jeho variant, jsou na Seznamu I Úmluvy o psychotropních látkách z 1971 kvůli riziku závislosti a možným zdravotním a sociálním problémům. The International Narcotics Control Board (INCB) v roce 2017 aktualizovala terminologii ohledně medicínského využití kanabinoidů, přičemž termín „léčivé kanabinoidy“ se nyní vztahuje pouze na extrahované nebo syntetizované kanabinoidy, které prošly klinickými studiemi a mají licenci pro léčebné použití (International Drug Policy Consortium 2023).

Podle nového nařízení vyhlášky č. 219/2022 Sb., která upravuje předchozí vyhlášku č. 236/2015 Sb. o využívání konopných léčiv.

V § 2 se za odstavce 1 vkládá nový odstavec 2, který zní: ze je nyní při lůžkové péči nutné, aby ošetřující lékař dodržoval limitní množství konopí pro pacienty. Tento limit je stanoven na maximálně 6 g sušeného konopí nebo ekvivalentní množství 6/7 g konopného extraktu denně, přičemž musí být léčivo připraveno na základě speciální žádanky s modrým pruhem.

V § 4 se doplňují odstavce 5 a 6, které znějí: pravidla pro předepisování konopných léčiv v rámci lůžkové péče. Ošetřující lékař může nyní v zdravotní dokumentaci pacienta písemně indikovat použití konopného přípravku, pokud má příslušnou specializaci nebo doporučení od lékaře s touto specializací, který pacienta léčil ambulantně před hospitalizací, nebo od konzultujícího lékaře během pobytu v nemocnici. Takové doporučení musí být zaznamenáno ve zdravotní dokumentaci nejpozději v den vydání žádanky s modrým pruhem. Konopný léčivý přípravek pro hospitalizovaného pacienta může být připraven v lékárně jen na základě této speciální žádanky, za předpokladu, že dávka nepřesáhne stanovený denní limit (Zákony pro lidi 2024).

V České republice existují pro pacienty dvě legální cesty k získání léčebného konopí:

a) Dovezené ze zahraničí

Ministerstvo zdravotnictví ČR skrze Inspektorát omamných a psychotropních látek umožňuje dovoz léčebného konopí z ciziny. Importované konopí musí odpovídat všem stanoveným normám pro kvalitu a složení účinných látek podle českých zákonů. Cena takového konopí se odvíjí od ceníku výrobce či distributora a v tuzemsku není regulována.

b) Pěstované v ČR

Za dohledem nad domácím pěstováním léčebného konopí stojí Státní ústav pro kontrolu léčiv, popřípadě Státní agentura pro konopí pro léčebné použití, které vydávají licence pro jeho kultivaci a zajistí komplexní kontrolu nad procesem od pěstování až po distribuci do lékáren. Cena konopí pěstovaného na území ČR není pevně stanovena a určuje se nejnižší cenovou nabídkou v rámci veřejného výběrového řízení dle zákona o veřejných zakázkách (Státní ústav pro kontrolu léčiv 2010).

Nyní již nebude nutné získávat povolení nebo licenci od státního orgánu pro práci s technickým konopím či jeho pěstování, vyvážení, dovážení, či likvidaci jeho odpadů pro průmyslové, potravinářské, kosmetické, technické či zahradnické účely. Avšak, aby stát měl přehled o velkopěstitelích, nový § 29b zavádí povinnost ohlašování pro ty, kdo pěstují technické konopí na ploše větší než 100 m². Tito pěstitelé musí celnímu úřadu hlásit informace o osetých pozemcích, plánovaném využití pro následující období, místech sklizně nebo zneškodnění rostlin a množství sklizeného konopí (Ježek 2021).

5. Význam dusíku pro výživu konopí

Konopí preferuje vysoké množství dusíku během svého vegetativního růstu. Protože se dusík rychle vyplavuje z půdy, je nutné ho často doplňovat (Cervantes 2006).

5.1 Formy dusíku

Rostliny absorbují dusík formou iontů, specificky jako kation amonný (NH_4^+) nebo anion nitrátový, dusičnanový (NO_3^-). Zásadní roli při příjmu rostlinami hraje pH prostředí. V kyselém prostředí dominuje absorpce NO_3^- , zatímco v neutrálním až zásaditém prostředí se příjem NH_4^+ a NO_3^- vyrovnává, případně převládá příjem NH_4^+ (Pavlíková et al. 2008), nižší teploty snižují absorpci a využití NO_3^- iontů. Dusík se transportuje do nadzemních částí rostlin v minerální formě (NO_3^-). Redukce dusičnanů v rostlinách, převážně v listech pomocí enzymů, probíhá z nitrátů na nitrity, dále na hypornitrity a hydroxylamin až na amoniak. Vytvořený NH_3 je vázán na oxokyseliny, což vede k syntéze aminokyselin, jako je například asparagová kyselina vzniklá z oxalacetátu a amoniaku. Aminokyseliny mohou vázat další molekuly amoniaku, čímž vznikají amidy jako asparagin a glutamin, které redukují toxicitu amoniaku v tkáních. Z těchto aminokyselin a amidů se syntetizují další aminokyseliny, základní stavební jednotky peptidů a polypeptidů, vytvářené podle genetického kódu uloženého v RNA (Vaněk et al. 2012).

Rostliny jsou schopné vstřebávat dusík přímo ve formě neporušených aminokyselin, což znamená, že roztoky z hydrolyzátů bílkovin a aminokyselin mohou podporovat růst rostlin a zvyšovat obsah dusíku v nadzemní biomase (Malik et al. 2022).

V hydroponickém pěstování se často používá kombinace obou forem dusíku pro dosažení optimálního růstu (Cervantes 2006). Optimalizace poměru NH_4^+ k NO_3^- je klíčová a může se lišit v závislosti na druhu pěstované kultury. Zkušenosti ukazují, že poměr 20% NH_4^+ a 80% NO_3^- může přinést dobré výsledky. Tento poměr však není univerzální a může se lišit v závislosti na specifických potřebách různých druhů rostlin (Texier 2015).

5.2 Vliv dusíku na tvorbu biomasy

Dusík (N) je zásadní pro růst a vývoj rostlin, ovlivňuje syntézu bílkovin, chlorofylu, nukleových kyselin a je klíčovým prvkem v rostlinném metabolismu. Dostatek dusíku je kritický pro růst a fungování rostlin, činící dusíkovou výživu jedním z hlavních environmentálních faktorů rostlinné produkce (Saloner & Bernstein 2020). Dusík je nezbytný pro tvorbu aminokyselin, enzymů, DNA, chlorofylu a některých sekundárních metabolitů, což podporuje rozvoj listů a stonků a zvyšuje robustnost rostliny (Cervantes 2006).

Analýza ukázala, že dusík (N) a fosfor (P) jsou klíčové pro předpověď výnosů květů, s výraznou pozitivní korelací mezi výnosem květů a vegetativním růstem. Větší rostliny obvykle produkují vyšší výnosy květů, přičemž dusík zásadně ovlivňuje velikost rostlin díky své roli v syntéze chlorofylu a Rubisco, esenciálních pro fotosyntézu (Bevan et al. 2021).

Výsledky naznačují, že ideální koncentrace dusíku pro růst a aktivitu rostlin během vegetativního období je 160 mg.l⁻¹ N v amonné (NH₄⁺) a dusičnanové formě (NO₃⁻) (Saloner & Bernstein 2020).

Jiné výzkumy prokázaly, že medicínální konopí efektivněji prosperuje s příjmem NO₃⁻ než s NH₄⁺. Rostliny s nízkou koncentrací NH₄⁺ (0–30% N) byly lépe vyvinuté, měly vyšší hladiny fotosyntetických pigmentů a dosáhly větší velikosti a lepších výnosů oproti rostlinám, které dostávaly vyšší množství NH₄⁺ (Saloner & Bernstein 2022). Použitím 240 kg N ha⁻¹ ve formě NO₃⁻ došlo k nárůstu výnosu biomasy průmyslového konopí, suché hmotnosti stonků a hmotnosti květenství o 37,3 %, 48,2 % a 16 % oproti skupině bez hnojení (Papastylianou et al. 2017). Studie prokázala, že zvýšený přísun exogenního dusíku může podpořit růst rostlin, akumulaci sušiny a zvýšení obsahu dusíku v konopí během vegetativní fáze, ale množství dusíku by nemělo překročit 6,0 mmol/l. (Yang et al. 2021).

V této studii bylo použito 80% N ve formě NO₃⁻ a 20% ve formě NH₄⁺ a na každé ošetření bylo použito pět rostlin, které byly pěstovány po dobu dalších 32 dnů. Jakmile se u rostliny objeví kořínky, je optimální dodávat jí 50 až 70 mg.l⁻¹ N dusíku dvakrát až třikrát týdně. Během období intenzivního vegetativního růstu konopí potřebuje vyšší dávky dusíku, přibližně 160-200 mg.l⁻¹ N. Těsně před květní fází je možné množství dusíku zvýšit na 200-225 mg.l⁻¹ N. V květní fázi, kdy intenzita růstu klesá, se doporučuje snížit dávku dusíku na 100 až 150 mg.l⁻¹ N. V experimentu bylo zjištěno, že celkový výnos květenství klesl, pokud byla dávka dusíku mimo rozmezí 160-240 mg.l⁻¹ N (Saloner & Bernstein 2020).

5.3 Vliv dusíku na tvorbu kanabinoidu a dalších látek

Vztah mezi primárním a sekundárním metabolismem rostlin, zejména při příjmu dusíku (N), ovlivňuje tvorbu metabolitů, jako jsou terpenoidy a kanabinoidy v konopí (Song et al. 2023).

Klíčovým prvkem vedoucím k poklesu tvorby kanabinoidů a terpenoidů je množství dusíku v tkáních. Optimální dávka NO₃⁻ možná kolem 80-160 mg.l⁻¹ N (Saloner & Bernstein 2021). Nižší střední koncentrace NH₄⁺ v rozmezí 10–30 % (20–60 mg N/kg) nepřinesly fyziologické poškození a měly jen mírný negativní dopad na květy a produkci kanabinoidů (Saloner & Bernstein 2022).

Výzkumné zjištění pro komerční výrobu kanabinoidů uvádí, že extrémně vysoké úrovně hnojiv nejsou vhodné kvůli snížené koncentraci a produkci kanabinoidů a doporučuje, že optimální dávkování dusíku by mělo být v rozmezí 60 až 210 mg/l (Dilena et al. 2023).

Výsledky naznačily, že pro pěstování rostlin s vysokým výnosem a obsahem kanabinoidů je optimální dávkou hnojiva přibližně 389 mg N/l ve formě NH₄⁺. Tuto dávku poskytuje kapalné organické hnojivo Nutri Plus Organic Grow (4.0 N; 1.3 P; 1.7 K) během vegetativního stádia růstu konopí v organických substrátech založených na kokosových vláknech (Caplan et al. 2017).

Ve studii byl zkoumán vliv dusíku na fotosyntézu, vlákninu a olej v semenech konopí pěstovaného v Lotyšsku. Vyšší dávky dusíku (100 kg/ha jako NH₄NO₃) zvýšily obsah

chlorofylu a aktivitu fotosystému II, ale snížily výnos vlákna o 8 % oproti neohnojeným rostlinám. Tento efekt ukazuje na závislost dusičnanové asimilace na uhlíku, což omezuje tvorbu sacharidů (Landi et al. 2019).

5.4 Uplatnění forem v jednotlivých hydroponických systémech

Výzkum provedený Lennardem a Leonardem (2006), srovnával efektivitu systému NFT (nutrient film technique) s pěstováním na substrátech a DWC (deep water culture), odhalil, že NFT systém vykazoval nejnižší výnosy salátu a byl o 20 % méně efektivní v využití NO_3^- . Tento fenomén může souviset s menším počtem kořenů, které jsou ve styku s akvaponickou vodou, na rozdíl od systému DWC, kde jsou všechny kořeny plně ponořeny. V NFT systémech dochází k tomu, že kořeny kvůli omezenému prostoru v žlabech vytvářejí vrstvy, což může snižovat jejich kontakt s živným roztokem (Cooper 1979). Tento závěr byl podpořen nedávným přehledem Maucieriho a ukázal, že NFT byly nejméně úspěšným hydroponickým systémem mezi hodnocenými systémy (Maucieri et al. 2018).

5.5 Dusíkaté hnojiva v hydroponii

Během vegetativní fáze se zvyšuje potřeba dusíku pro růst zelených listů, přičemž je třeba zachovat dostatek fosforu a draslíku. V období květu se doporučuje použití hnojiv s nižším obsahem dusíku a vyšším obsahem draslíku, fosforu a vápníku, aby se podpořil rozvoj hustých a těžkých květenství (Cervantes 2006).

Organická hnojiva jsou bohatá na pomalu uvolňující dusík a prospěšné mikroorganismy, které zlepšují vodní kapacitu, aeraci a strukturu půdy (Torres & Somera 2022). Organická hnojiva poskytují pomalejší uvolňování a jsou méně rozpustná ve formách dusíku a fosforu ve srovnání s mnohými syntetickými hnojivy a mohou uvolnit jen mezi 25 % a 60 % svého obsahu dusíku (Prasad et al. 2004). Ve většině organických hnojiv převažuje dusík ve formě NH_4^+ (tj. s vysokým poměrem $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) (Gül et al. 2007), který mohou rostliny přijímat přímo nebo v jiných formách (Shinohara et al. 2011).

Například kuřecí trus je ceněný pro svůj vysoký obsah dusíku, fosforu, draslíku a stopových prvků. Může být aplikován přímo na povrch substrátu nebo promíchán s substrátem před výsadbou rostlin. Trus získaný z kurníků může navíc obsahovat peří, což přidává úctyhodných 17 % dusíku navíc. Vlhký kuřecí trus obsahuje 15 % dusíku, zatímco v sušeném stavu má dusík 4 %. Mořské guáno je známé pro svůj bohatý obsah dusíku a množství dalších živin (Cervantes 2006).

Minerální dusíkatá hnojiva, kde N dodáván ve formě NH_4^+ a NO_3^- .

Síran amonný ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) je hnojivo obsahující 21 % dusíku a 24 % síry. Tento dusík je ve formě NH_4^+ , což znamená, že se rychle rozpouští v půdní vodě a je sorbován do půdního komplexu.

Močovina ($CO(NH_2)_2$) je hnojivo s 46 % dusíku. Rychle se rozpouští a štěpí na NH_4^+ a uhličitou kyselinu, což může mírně zvýšit pH. Je efektivní jak při základním hnojení, tak při během vegetace.

Dusičnan amonný (NH_4NO_3), s 34 % dusíku, je univerzální hnojivo, které je efektivní během vegetace a je vhodné pro přihnojování. Poskytuje obě formy NH_4^+ a NO_3^- (Vaněk et al. 2012).

5.6 Vliv dalších živin na příjem dusíku

Výtěžek květenství konopí reagoval na zvyšující se dávky dusíku (N) a fosforu (P), ale na dávky draslíku (K) v testovaném rozmezí nereagoval. Všechny léčebné metody byly navrženy tak, aby dosahovaly stejného poměru NH_4^+/NO_3^- , který je 1:16. Na základě modelu reakce rostlin byl nejvyšší průměrný výnos 144 g/rostlina dosažen při koncentracích dusíku a fosforu 194 $mg.l^{-1}$ a 59 $mg.l^{-1}$. Analýza ukazuje, že výnos nejlépe reagoval na dusík v rozmezí 160-230 $mg.l^{-1}$ a na fosfor v rozmezí 40-80 $mg.l^{-1}$ (Bevan et al. 2021).

Výsledky prokázaly, že výnos květenství se mění v reakci na hladiny dusíku (N) a fosforu (P), s optimálními hodnotami odhadovanými na 194 $mg.l^{-1}$ a 59 $mg.l^{-1}$ ve amonné (NH_4^+) a dusičnanové formě (NO_3^-). Na hladinu draslíku (K) výnosy květenství v testovaném rozsahu nereagovaly (Bevan et al. 2021).

Výsledky naznačují, že poměr NH_4^+/NO_3^- má značný vliv na příjem kationtů Ca a Mg. Tyto kationty soutěží s NH_4^+ o absorpci, což má za následek jejich sníženou koncentraci v rostlinách konopí, jak dokazují zmenšené hodnoty v rostlinných orgánech při hnojení amonného formou N (Bernstein et al. 2005), avšak celkové množství K v rostlině se snížilo s vyšším podílem NH_4^+ (data nejsou uvedena), což odráží známou konkurenci mezi kationty o kořenovou absorpci (White 2012). Koncentrace P, většinou absorbovaná jako anion $H_2PO_4^-$ v experimentálním prostředí pH (není přesně specifikována hodnota), se snižovala s rostoucím podílem NO_3^- , což ilustruje antagonistické vztahy mezi absorpcemi NO_3^- a $H_2PO_4^-$ u konopí (Gniazdowska & Rychter 2000).

Poměr NH_4^+/NO_3^- měl pouze mírný vliv na koncentrace stopových prvků Mn, Zn, Fe a Cu v rostlinách, s nejvýraznějšími odpověďmi a nejvyšší akumulací v kořenech. Tyto výsledky, ukazující zvýšené hromadění v kořenech a citlivost na nedostatek nebo toxicitu jiných živin, korespondují s dříve pozorovanými trendy v akumulaci mikroelementů u medicínského konopí (Saloner & Bernstein 2020).

5.7 Výhody použití dusíku v hydroponie

Dusík (N) je kritickou minerální živinou, která má klíčový vliv na růst, výnosy a kvalitu zemědělských plodin (Carranca et al. 2018). Tato živina je nezbytná součást chlorofylu, nukleových kyselin, aminokyselin, proteinů, rostlinných hormonů a koenzymů a hraje roli v syntéze primárních a sekundárních metabolitů, včetně fenolových a aromatických sloučenin (Cheng et al. 2020). Dusík také podporuje buněčné dělení a růst vegetativních i reprodukčních orgánů jako jsou lusky, květy, listy a stonky, ovlivňuje absorpci a rozdělení ostatních živin

během kvetení a tvorby plodů (Carranca et al. 2018). Náležitá hladina dusíku je zásadní pro raný růst listů, který ovlivňuje fotosyntetickou plochu a expanzi plodů (Heo & Park 2020).

Forma NO_3^- je pro rostliny výhodná, protože umožňuje akumulaci ve tkáních až do relativně vysokých koncentrací bez toxických účinků. Tvoří tak zásobu pro období intenzivního růstu, kdy je rychle spotřebovávána a přeměňována na NH_3 , který je začleněn do aminokyselin pro syntézu bílkovin. NH_4^+ mohou rostliny využít k syntéze aminokyselin (Vaněk et al. 2012).

Výsledky naznačují, že ideální koncentrace dusíku pro růst a aktivitu rostlin během vegetativního období je $160 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ N}$ v amonné (NH_4^+) a dusičnanové formě (NO_3^-) (Saloner & Bernstein 2020), zatímco formy NH_4^+ a NO_3^- mají vliv na aktivitu a růst během vegetace a jiné výzkumy ukázaly, že medicínální konopí efektivněji prosperuje s příjmem NO_3^- oproti NH_4^+ (Saloner & Bernstein 2022).

5.8 Nevýhody

Toxicita NH_4^+ je v rostlinách dobře zdokumentovaným jevem (Britto & Kronzucker 2002). V výzkumu rostliny, které byly hnojeny pouze NH_4^+ , se projevil vážné znaky toxicity. Toto ovlivnění bylo tak intenzivní, že došlo k zastavení výměny plynů v listech, významnému poklesu obsahu vody a fotosyntetických pigmentů, zvýšení osmotického potenciálu a porušení membránové stability. Tyto změny negativně zasáhly všechny sledované růstové a fyziologické parametry, což vyústilo ve významný pokles produkce biomasy a vývoj viditelných symptomů toxicity, vedoucí nakonec k úhynu rostlin (Saloner & Bernstein 2022). Když převládá příjem NH_4^+ , dochází celkově k nižšímu příjmu iontů, zejména kationtů jako jsou Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2} (Vaněk et al. 2012).

Je známo, že vysoké hladiny NO_3^- vedou ke zvýšení pH rhizosféry (Crawford & Glass 1998). Tito autoři ve výzkumu zaznamenali výrazné zvýšení pH výluhu při použití čistého NO_3^- , zatímco kombinace NO_3^- a NH_4^+ na pH nezpůsobila změny. To ukazuje na potenciální nevýhodu používání NO_3^- jako jediného zdroje dusíku, obzvláště při pěstování hydroponicky nebo v inertním médiu, jako je perlit (Saloner & Bernstein 2022). Vysoká nabídka této formy dusíku a méně příznivé podmínky pro růst mohou způsobit, že značná část NO_3^- zůstane v pletivech rostlin (v různých částech jako jsou kořeny, stonky a listy, především ve vakuolách), což má nepříznivé účinky: zvýšení spotřeby dusíku na jednotku produkce znamená nižší efektivitu využití dusíku, což snižuje ekonomiku hnojení (Vaněk et al. 2012).

5.9 Nedostatek

Nedostatek dusíku, klíčové živiny pro biosyntézu základních buněčných komponent, omezuje růst rostlin tím, že snižuje produkci esenciálních metabolitů, zpomaluje metabolismus a vývoj. U konopí se ukázalo, že dostupnost dusíku výrazně ovlivňuje jejich fyziologii a morfologii (Saloner & Bernstein 2020).

Poruchy v příjmu dusíku způsobují v rostlinách narušení metabolismu, omezení růstu, pokles výnosů a často i kvality produkce. Nedostatek dusíku vede k slabším a nižším rostlinám se světlejším zbarvením, což ukazuje obrázek č. 8 Cervantes (2006), způsobeným omezenou tvorbou chlorofylu, což snižuje fotosyntézu a produkci biomasy. Omezený růst nadzemních částí má za následek také sníženou tvorbu kořenů a jejich energetické zásobování, což dále snižuje schopnost rostlin přijímat živiny. Rostliny s omezeným příjmem N mají kratší vegetační dobu, rychleji dozrávají, ale to vede ke snížení výnosu a kvality, zejména semen (Vaněk et al. 2012).



Obrázek č. 8: Nedostatek N (Cervantes 2006).

Symptomy nedostatku dusíku v rostlinách zahrnují nejdříve žloutnutí starších listů, úplné žloutnutí od základu rostliny, postupné žloutnutí dalších listů s možným opadem a následně žloutnutí mladých listů, ztrátu zelené barvy a změny v morfologii kořenů, které rostou delší než širší. Rostlina redistribuuje dusík k novějším listům, což může vypadat jako rychlé zrání.

Odstranění nedostatku dusíku zahrnuje aplikaci dusíkatého hnojiva nebo kombinovaného hnojiva s vyšším obsahem N. Zlepšení by mělo být viditelné do 4-5 dnů. Použití biohnojiv, také přináší zlepšení díky podpoře absorpce dusíku rostlinami. Třeba kuřecí trus, který je ceněn pro svůj vysoký obsah dusíku a dalších živin. Toto hnojivo lze aplikovat přímo na povrch substrátu nebo zapracovat do substrátu před výsadbou. Trus získaný přímo z kurníků může obsahovat peří, což přidává dalších 17 % dusíku, což je významný bonus. Dusík v kuřecím trusu dosahuje 15 % ve vlhké formě. (Cervantes 2006).

5.10 Nadbytek

Nadbytek dusíku se vyskytuje méně často, obvykle v latentní formě. Amonná forma dusíku více omezuje klíčení a růst mladých rostlin, zatímco nitrátová forma má menší vliv (Vaněk et al. 2012). Přemíra dusičnanů může být toxická, jelikož způsobuje tvorbu dusitanů a oxidů dusíku, které jsou při vysokých koncentracích pro rostliny vysoce toxické (Anjana & Iqbal 2007). Nadměrný dusík v rostlinách způsobuje bujný růst listů, zvyšuje náchylnost k škůdcům a plísním, oslabuje stonky a narušuje transport živin. To může vést až k blokaci

průtoku vody, hnědnutí a opadávání listů. Kořeny rostou pomalu, tmavnou a hynou, květy jsou malé a řídké (Cervantes 2006).

Experiment s květináči probíhal ve skleníku Yunnanské univerzity v Kunmingu, Čína. Semena byla vysázena do plastových květináčů (30 cm × 20 cm) s 1,2 kg rašeliny a ukázal, že nadměrné použití dusíkatých hnojiv může vést k nižší produktivitě a výnosům konopí kvůli stresu a zvýšenému výskytu škůdců a nemocí. Studie ukázaly, že konopí během vegetace absorbuje až 88,2% dusíku, což významně ovlivňuje tvorbu biomasy (Yang et al. 2021). Předávkování dusíkem způsobuje nadprodukcí organických N-molekul, což spotřebovává mnoho metabolické energie a snižuje dostupnost energie a sacharidů, čímž omezuje tvorbu biomasy. Zároveň jsou procesy absorpce a asimilace dusíku energeticky náročné a při vysoké nabídce dusíku se jejich intenzita zvyšuje (Mengel & Viro 1978) ještě více snižují dostupnost energie (Saloner & Bernstein 2020).

Odstranění intoxikace rostlin N zahrnuje vymývání toxinů y pomocí jemného hnojiva. V těžkých případech se doporučuje použít trojnásobek vody oproti objemu substrátu. V prvním týdnu po léčbě by se nemělo přidávat dusíkaté hnojivo a pokud rostliny zůstanou příliš zelené, je třeba snížit množství dusíku (Cervantes 2006).

6. Význam ostatních živin v pro konopí

Minerální výživa hraje zásadní roli v životním cyklu rostlin, ovlivňuje jak jejich růst, tak specifické funkce. S narůstajícím množstvím vědeckých poznatků se stále více potvrzuje, že jak makroprvky, tak mikroprvky mají klíčový vliv na sekundární metabolismus rostlin. Využití správné kombinace výživových opatření, zahrnující organická hnojiva, doplňky a biostimulanty, je proto nezbytné nejen pro zdravý růst, ale i pro produkci léčivých substancí v rostlinách, včetně lékařského konopí (Cervantes 2006). Rostliny vyžadují alespoň 14 minerálních prvků a jsou absorbovány rostlinnými kořeny z půdního roztoku a přesouvají se přes kořenovou strukturu buďto apoplastickou (prostor mezi buňkami) nebo symplastickou (skrz buňky) cestou do stelární oblasti, kde jsou přijaty do xylému pro transportaci směrem nahoru k listům (White & Brown 2010).

Makroprvky nebo makroživiny, jsou v rostlinách přítomny v množstvích od několika desetin až do několika procent. Mezi ně patří dusík (N), fosfor (P), draslík (K), vápník (Ca), hořčík (Mg) a síra (S) (Vaněk et al. 2012).

6.1 Kategorie makroživin a jejich funkce v rostlinách

Koncentrace hromaděných makro- a mikroprvků v konopí se mění v závislosti na různých faktorech, jako jsou druh a kultivar rostliny, geografická lokalita, na níž rostlina roste, použití pesticidů a hnojiv, postupy sušení konopí a také podmínky, za nichž je konopí skladováno (Zafeiraki et al. 2021). Mobilní prvky, jako jsou dusík, fosfor, draslík, hořčík a zinek, hrají klíčovou roli v životě rostlin, umožňují jim flexibilně reagovat na nutriční potřeby různých částí rostliny (Cervantes 2006).

6.1.1 Fosfor (P)

Během počátečních fází životního cyklu, jako je klíčení, zakořeňování, vegetativní růst a zejména kvetení, projevuje konopí zvýšenou potřebu fosforu (Cervantes 2006). Je klíčové pro vývoj rostlin, zejména pro růst kořenového systému a transport cukrů z listů. Podílí se na dýchání, fotosyntéze a urychluje enzymatické reakce (Sirieva & Sirieva 2020).

Specializovaná hnojiva používána při kvetení konopí, jsou bohatá na vodorozpustný fosfor, klíčový pro energetický metabolismus a fotosyntézu rostlin. Fosfor je důležitý pro energetickou výměnu, distribuci a využití energie, podporuje vývoj pryskyřice a semen a přispívá k produkci kvalitních květů (Cervantes 2006).

Rostliny přijímají fosfor jako anionty kyseliny fosforečné, hlavně ve formách $H_2PO_4^-$ a HPO_4^- (Vaněk et al. 2012), s obsahem této živiny v sušině kolísajícím mezi 0,1 a 0,5 %. Nejvyšší hladiny se obvykle vyskytují u mladých rostlin, avšak s postupujícím stářím klesají (Benton Jones 2005). Coffman & Gentner (1975) zjistili, že u technického konopí dochází ke zvýšení obsahu CBD při snížení fosforu v půdě.

Na základě experimentu uvádí Cockson et al. (2020) jako vhodné množství fosforu ve vegetativním stádiu rostliny hodnotu 11,25 ppm. Ve fázi květu je pak spotřeba fosforu nejvyšší (Vaněk et al. 2016), a potřebná hodnota se pohybuje mezi 11,25 a 30 ppm (Cockson et al. 2020).

Nízké teploty a omezená mineralizace fosforu mohou způsobit dočasný nedostatek fosforu. Rostliny reagují aktivací fosfatáz a speciálních transportérů v kořenech pro zlepšení absorpce a rozšiřují kořenový systém pro zvýšení příjmu fosforu. Efektivní absorpce fosforu je klíčová na začátku vegetačního období (Vaněk et al. 2012).

Nedostatek:

Nedostatek fosforu je častý, ale často špatně diagnostikovaný, s absorpcí ovlivněnou pH substrátu. Při pH nad 7 nebo pod 5,8, a přebytku železa a zinku, rostliny absorbují fosfor hůře (Cervantes 2006). U rostlin se vyskytuje méně často a bez zřetelných příznaků; rostliny nemohou plně vykonávat všechny biochemické funkce při nízkém obsahu fosforu. Začátek vegetačního období je klíčový pro příjem fosforu, který může být v chladném nebo suchém počasí omezen. Přestože zvýšení zásoby fosforu je možné, výrazný nedostatek je obtížné zcela odstranit (Vaněk et al. 2012).



Obrázek č. 9: Nedostatek P (Cervantes 2006).

Nedostatek fosforu způsobuje zpomalení růstu, menší listy s tmavě zelenou barvou a fialovými skvrnami, což ukazuje obrázek č. 9 Cervantes (2006). Žilnatina, listy a stonky

mohou získat červenofialový odstín. Postižené listy mohou tmavnout a sklánět se dolů. Květenství se objevuje později, snižuje se tvorba poupa i semen.

Léčba nedostatku fosforu zahrnuje úpravu pH půdy na optimální hodnoty: 5,5-6,2 pro hydroponii, 6-7 pro jílovité půdy, a 5,5-6,5 pro půdy v nádobách. Přidání organických materiálů, jako je guáno, kostní moučka nebo přírodní fosfáty, zlepšuje obsah fosforu v fosforu (Cervantes 2006).

6.1.2 Draslík (K)

Rostliny přijímají draslík jako kationt K^+ aktivně při nízkých a pasivně při vysokých koncentracích v půdě. "Luxusní konzumace" může omezit absorpci Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} . Absorpce K^+ závisí na vlhkosti, teplotě a světle: v teple a vlhku je příjem vyšší, ve stínu potřebují rostliny více K^+ (Vaněk et al. 2012). Obsah této látky v sušině zelené hmoty kolísá mezi 2 a 5 % (Vaněk et al. 2016). Podle nedávných studií je optimální rozsah koncentrace draslíku mezi 60 až 340 ppm, přičemž hodnota 60 ppm je stále dostatečně vysoká, aby nezpůsobila nedostatek (Bevan et al. 2021).

Draslík (K) hraje zásadní roli ve všech fázích růstu konopí, přičemž půdy bohaté na draslík mají lepší odolnost proti bakteriím a plísním. Tento prvek je klíčový pro syntézu a transport cukrů, škrobu a uhlovodíků v rostlině, což je nezbytné pro jejich energetickou bilanci a růst. Draslík podporuje dělení buněk, zvyšuje chlorofylovou koncentraci v listech a reguluje otvírání a zavírání pórů, což umožňuje efektivnější výměnu plynů a lepší využití světla (Cervantes 2006). To je klíčová živina pro rostliny, zapojená do klíčových procesů jako regulace průduchů, osmoregulace a podpora absorpce vápníku a hořčíku. Jako "prvek kvality" ovlivňuje draslík sekundární metabolismus, včetně produkce fenolů, flavonoidů, karotenoidů a organických kyselin, což má význam pro výrobu léčivých sloučenin v konopí (Saloner & Bernstein 2022).

Draslík ovlivňuje přes 40 enzymů, podporuje tvorbu koenzymů jako ATP, NADP a zlepšuje fotosyntézu tím, že zvyšuje transport elektronů v chloroplastech. S dostatkem K se zvyšuje výroba ATP a glukózy, což posiluje fotosyntetickou aktivitu (Vaněk et al. 2012).

Nedostatek:

Jeho nedostatek vede k výraznému poklesu obsahu sacharózy a škrobu, zpomaluje se transport asimilátů z listů a zvyšuje se spotřeba cukrů při dýchání (Sirieva & Sirieva 2020).

Výrazný nedostatek draslíku vede k viditelným vizuálním symptomům, jako je usychání okrajů spodních listů a nekrotizace listového pletiva, často končící opadem listů, což ukazuje obrázek č. 10 Cervantes (2006). To je způsobeno neschopností transportu K k okrajům listů, zatímco meristémy a mladší listy jsou zásobovány přednostně (Vaněk et al. 2012).

Stonky rostlin se stávají křehkými a slabými. Nedostatek vede k zvyšování teploty listové hmoty, což má za následek destrukci proteinů uvnitř buněk. Zvláště na okrajích listů, kde je evaporace nejintenzivnější, se mohou objevit symptomy připomínající spálení.



Obrázek č. 10: Nedostatek K (Cervantes 2006).

Léčba nedostatku draslíku: Přidejte hnojivo s obsahem dusíku, fosforu a draslíku (N-P-K). Někteří pěstitelé přidávají draslík přímo do živného roztoku (Cervantes 2006).

6.1.3 Hořčík (Mg)

Hořčík je rostlinami absorbován ve formě kationtu Mg^{+2} , je důležitým prvkem pro rostlinný růst a metabolismus. Jeho absorpce je ovlivněna chemickým a elektrickým gradientem uvnitř rostlinných buněk. Nitráty podporují absorpci hořčíku, ale v kyselém prostředí je absorpce hořčíku omezena vyšší koncentrací vodíkových iontů a rozpustností jiných kationtů, jako je hliník a železo. Úprava pH vápněním může zlepšit příjem hořčíku (Vaněk et al. 2012).

Typicky se obsah Mg v sušině pohybuje pod 0,5 % (Vaněk et al. 2016). Je klíčovým živinovým prvkem, neboť představuje centrální atom v molekule chlorofylu (Cervantes 2006). Podíl vázaného hořčíku v chlorofylu k jeho celkovému obsahu v rostlině se obvykle nachází v rozmezí 15 až 20 % (Vaněk et al. 2016).

Mg je klíčový makroprvek pro rostliny, nezbytný pro fotosyntézu, aktivaci enzymů, včetně ribulóza-1,5-bisfosfát karboxylázy-oxigenázy a je centrálním atomem chlorofylu. Podílí se na využívání energie, je důležitý pro tvorbu ATP, nukleových kyselin, proteinů, regulaci metabolismu sacharidů a transport asimilátů (Morad & Bernstein 2023).

Nedostatek.

Nedostatek fosforu obvykle způsobuje charakteristické vizuální symptomy, jako je světlejší zelené zbarvení a nepravidelné rozložení chlorofylu na starších listech, což ukazuje obrázek č. 11 Cervantes (2006). Tento stav je známý jako chloróza (Vaněk et al. 2012). Celková barva rostliny se může změnit během několika týdnů. V extrémních případech rostlina zbledne a žloutne, následně hnědne a nakonec odumírá (Cervantes 2006).



Obrázek č. 11: Nedostatek Mg (Cervantes 2006).

Nedostatek může způsobit hromadění asimilátů v listech a snížení růstové rychlosti, což má za následek kratší kořeny, menší výhonky a nekrotické skvrny na listech. Mg dále interaguje s kationty jako jsou draslík a vápník, což ovlivňuje jeho absorpci rostlinami. Vysoké hladiny těchto kationtů mohou omezit vstřebávání hořčíku, což ovlivňuje rostlinný růst a vývoj (Morad & Bernstein 2023). I malý nedostatek hořčíku může mít vliv na růst, bez řešení nedostatku může zásadně ovlivnit výnos (Cervantes 2006).

6.1.4 Vápník (Ca)

Vápník je absorbován rostlinami ve formě kationtu Ca^{+2} především pasivně pomocí kořenových špiček, které často reagují na jeho přítomnost v půdním roztoku. Obsah vápníku v sušině rostlin je velmi proměnlivý, obvykle se nachází v rozmezí 0,4 až 1,5 % (Vaněk et al. 2012). Ca je klíčový pro tvorbu buněčné struktury a jejich růst, stejně jako pro udržení funkčnosti buněčných membrán a jejich integrity, což umožňuje správnou distribuci dusíku a cukrů v rostlině. Rovněž je důležitý pro aktivitu enzymů, které jsou zapojeny do budování robustních buněčných a kořenových struktur. Přítomnost vápníku je nezbytná v každém vrcholu rostoucího kořene (Cervantes 2006). Samotný vápník pozitivně ovlivňuje příjem mnoha dalších iontů (Vaněk et al. 2012).

Nedostatek

Symptomy deficitu Ca jsou slabé stonky, tmavě zelené listy, zpomalující se růst. Mladé listy jsou první, které vykazují varovné signály. Silný nedostatek způsobuje deformaci a odumírání mladých stonků. Růstové výhony stagnují, výnosy klesají. Při vysoké vlhkosti vzduchu se na koncích listů projevuje nedostatek vápníku (Cervantes 2006).

6.1.5 Síra (S)

Síra je nezbytná pro tvorbu hormonů, vitamínů, včetně vitamínu B1. Je nezbytná pro většinu rostlinných buněk a semínek. Klíčovou roli hraje v produkci olejů a ovlivňuje také chuť (Cervantes 2006), obvykle rostlinami absorbována ve formě aniontu SO_4^{-2} (Vaněk et al. 2016). Její přítomnost pomáhá udržovat stabilní pH vody a je běžná ve vodních zdrojích. Síranová forma síry je důležitá pro tvorbu proteinů a aminokyselin, jako je cystein a thiamin, a podílí se na tvorbě rostlinných olejů a procesech dýchání rostlin (Cervantes 2006). Koncentrace síry v sušině se typicky pohybuje mezi 0,2 a 0,5 % (Vaněk et al. 2016).

Nedostatek:

Nedostatek síry způsobuje omezení syntézy bílkovin a enzymů, což omezuje využití organických látek obsahujících dusík a snižuje produkci sacharidů. To vede ke snížení obsahu škrobu a sacharózy. Typickým vizuálním projevem nedostatku síry je žloutnutí listů, včetně nervatury začínající od nejmladších a postupně se šířící na starší listy, což ukazuje obrázek č. 12 Cervantes (2006). Nejmladší listy nejprve zesvětlají, pak žloutnou a mohou mít růžový nádech. Jejich růst je omezený do šířky, což je dělá úzkými a dlouhými (Vaněk et al. 2012).



Obrázek č. 12: Nedostatek S (Cervantes 2006).

7. Hydroponické pěstování

7.1 Historie a vývoj hydroponie

První formu hydroponického pěstování lze najít u indiánských kmenů v Jižní Americe a Mexiku, kde na plovoucích vorech z rákosy a kukuřice s vrstvou bahna z vulkanických oblastí pěstovali rostliny, které čerpaly živiny jak z půdy, tak přímo z vody. Tento systém byl podpořen lokálními podmínkami jako teplá voda, bohatost solí a dostatečné prokysličení (Texier 2015).

Termín "hydroponie" zavedl Gericke v roce 1937 a je široce využíván v experimentální i praktické oblasti. Koncept pěstování rostlin ve vodních roztocích se vyvíjel od druhé poloviny 19. století a navazoval na minerální teorii výživy rostlin od Liebiga (1840). Tato teorie inspirovala rozsáhlý výzkum v oblasti nutričních potřeb rostlin, vedoucí k rozvoji hydroponie

jako metody pěstování bez půdy, používající minerální živiny. Významní vědci jako Sachs, Knop, a Hoagland přispěli k pochopení, že rostliny absorbují minerální látky pro svůj růst (Vaněk et al. 2012).

Vědecký zájem o pěstování ve vodě projevil anglický botanik John Woodward, který experimentálně prokázal, že rostliny přijímají živiny z vodního prostředí. Porovnáním rostlin ve vodě z říčního toku a v destilované vodě zjistil, že rostliny jsou úspěšnější ve vodě s obsahem živin z řeky. Woodward také experimentoval s přidáním různých množství zeminy do vody, což ukázalo, že vyšší obsah zeminy zlepšuje růst a schopnost rostlin čerpat živiny (Texier 2015).

Hydroponie prošla čtyřmi hlavními vývojovými fázemi:

1. Potvrzení možnosti pěstovat rostliny bez půdy na základě minerální výživy.
2. Studium významu minerálních a mikroprvků, včetně jejich nedostatků a nadbytků.
3. Rozšířené experimenty s různými plodinami a substráty, jako jsou živné roztoky a pískové kultury.
4. Aplikace hydroponie v praxi, podpořená novými technologiemi a materiály, zvláště ve zahradnictví, s významným pokrokem ve druhé polovině 20. století (Vaněk et al. 2012).

7.2 Principy hydroponie

Tradiční zemědělství je pod tlakem kvůli velkému využívání přírodních zdrojů, pesticidů a hnojiv. Aktuálně je pod zemědělskou činností 38 % veškeré dostupné půdy, s očekáváním nárůstu na 593 milionů hektarů (na 12,1%) do roku 2050, což vyvolává obavy o ekosystémy a ekologickou stabilitu (Pomoni et al. 2023). Nyní podle informace z OSN pro výživu a zemědělství, rozloha zemědělské půdy činí zhruba 16 milionů km² (1,6 miliardy hektarů), což odpovídá jedné třetině z celkových 48 milionů km² (Ritchie & Roser 2024.)

Hydroponie by mohla být odpovědí na degradaci půdy, znečištění a vodní nedostatek, nabízí efektivní řešení pro udržitelné zemědělství. Tato metoda minimalizuje spotřebu vody a umožňuje pěstování rostlin i v obtížných podmínkách, přičemž je šetrná k životnímu prostředí. Hydroponie zvyšuje produktivitu na menší ploše a produkuje kvalitnější a zdravější potraviny (Evloeva et al. 2023)

Huos et al. (2020) popisují hydroponické systémy jako efektivní pro průmyslovou produkci zeleniny, díky jejich sofistikovanosti a automatizaci. Tyto systémy jsou vybaveny řídicí jednotkou a senzory pro sledování teploty, vlhkosti a vodní hladiny, což umožňuje optimalizaci podmínek pro růst rostlin. Hydroponie je také vnímána jako ekologicky udržitelná metoda, podporující ochranu životního prostředí a socioekonomický rozvoj. Seaman a Bricklebank (2011) zdůrazňují, že hydroponie je metoda pěstování bez zeminy a vody, kde se rostliny vyvíjejí ve vodním roztoku s přesně dávkovanými živinami. Tato technika umožňuje efektivní dodávání živin přímo ke kořenům, což zvyšuje efektivitu a produktivitu pěstování (Pomoni et al. 2023).

V hydroponii, metodě pěstování bez půdy, jsou rostliny živěny živným roztokem s rozpustnými hnojivy. Tento roztok je periodicky recirkulován kolem kořenů, umožňuje lepší absorpci živin díky vyššímu obsahu kyslíku v médiu. Hydroponické pěstování, zvláště u konopí, vede k rychlejšímu růstu rostlin, jelikož mají stálý a snadno dostupný přístup k živinám. Naproti tomu, i nejlepší půdní substráty nedokáží poskytnout tolik kyslíku, jak hydroponie (Cervantes 2006).

7.2.1 Živný roztok

Hydroponie se odlišuje od tradičního pěstování v půdě a kultivace na substrátech použitím specifických pěstebních médií (živných roztoků) a aplikací pokročilých metod ekologické regulace pro nastavení pH, elektrické vodivosti (EC) a teploty (Baiyin et al. 2021). Živný roztok v hydroponii tvoří vodní roztok, sestávající hlavně z anorganických iontů nutných solí, které zajišťují živiny nezbytné pro růst vyšších rostlin (Steiner 1968). Základní složení živných roztoků zahrnuje dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík a síru, doplněné o mikroprvky (Trejo-Téllez & Gómez-Merino 2012).

V půdě se živiny ke kořenům dostávají rozšiřováním kořenového systému, masovým tokem a difuzí, v hydroponii substráty umožňují doručení živin na kořenovou hranici skrze turbulentní difuzi, což je proces, při kterém nepravidelný pohyb částic tekutiny zajišťuje přenos iontů živin k povrchu kořenů (Baiyin et al. 2021).

7.2.2 Pěstební média

Pěstování bez půdy využívá inertní materiály, jako štěrk či kokosové vlákno, obohacené o živný roztok s esenciálními prvky pro růst rostlin (Patil et al. 2020).

Bezpůdní substráty zajišťují rozvoj kořenů a dodávají rostlinám kyslík, vodu a živiny, přičemž pro marihuanu jsou klíčové struktura substrátu, pH a nutriční obsah. Velikost a charakter částic ovlivňují aeraci, drenáž a absorpci živin. Substráty s většími částicemi podporují lepší drenáž a aeraci. Nepravidelně tvarované substráty jako perlit zvyšují povrchovou plochu pro uchování vody. Substráty je třeba před použitím vypláchnout, aby se odstranily nečistoty (Cervantes 2006).

Aktuálně se vyvíjejí nové substráty pro lepší podmínky kořenů, nabízející dostatečnou oporu, vodu, živiny a aeraci (Patil et al. 2020).

7.2.3 Hodnota pH živného roztoku

Hodnota pH označuje koncentraci iontů H^+ a OH^- ve vodě, určující její kyselost nebo zásaditost. Na stupnici pH od 0 (maximálně kyselá) přes 7 (neutrální) do 14 (maximálně zásaditá) vyšší hodnoty H^+ signalizují kyselost, zatímco převaha OH^- ukazuje na zásaditost (Texier 2015).

Optimální pH pro konopí v hydroponii se pohybuje mezi 5,5 a 6,5, ideálně kolem 5,8 až 6,0, což umožňuje efektivní příjem živin. Stabilita pH je klíčová pro zdravý růst, přičemž nutrienty jsou v hydroponickém roztoku lépe dostupné než v půdě. Malé kolísání pH o 0,5 obvykle nepředstavuje problém. Rozpustnost živin závisí na pH, které by mělo být v hydroponii nižší než v půdě, a liší se podle typu rostliny a pěstebního média (Cervantes 2006).

7.2.4 Hnojiva v hydroponii

Hlavním účelem hnojiva je poskytnout rostlinám dostatek živin, které potřebují pro jejich zdravý růst, přitom však bez nadměrného množství. Metabolismus konopí se vyvíjí s jeho růstem a mění se i jeho nutriční potřeby. V raných stádiích rostlina potřebuje více fosforu, zatímco během vegetativní fáze se zvyšuje potřeba dusíku pro růst zelených listů, přičemž je třeba zachovat dostatek fosforu a draslíku. V období květu se doporučuje použití hnojiv s nižším obsahem dusíku a vyšším obsahem draslíku, fosforu a vápníku, aby se podpořil rozvoj hustých a těžkých květenství (Cervantes 2006).

Organická hnojiva jsou bohatá na pomalu uvolňující dusík a prospěšné mikroorganismy, které zlepšují vodní kapacitu, aeraci a strukturu půdy (Torres & Somera 2022), poskytují rostlinám výživu ve formě organických komplexů, které se nevyplavují dešťovou vodou a tvoří v půdě zásobu živin. Tyto živiny se stávají dostupnými pro rostliny pouze po rozkladu mikroorganismy (Texier 2015). Jednou z možností, jak získat organické živiny pro hydroponii, jsou organické odpady z chovu zvířat. Nicméně, jejich využití jako hnojiva může v uzavřených zavlažovacích systémech způsobit problémy s nadměrným obsahem solí. Tato salinita může negativně ovlivnit schopnost rostlin absorbovat potřebné živiny (Kechasov et al. 2021). Mezi běžná organická hnojiva patří zvířecí hnůj nebo krevní moučka (Lim et al. 2015). Jejich kvalita závisí na původu, včetně domácího a zemědělského odpadu. Metody výroby jako kompostování nebo digesce ovlivňují dostupnost živin. Organická hnojiva jsou bohatá na pomalu uvolňující dusík a prospěšné mikroorganismy, které zlepšují vodní kapacitu, aeraci a strukturu půdy (Torres & Somera 2022).

Organická hnojiva mohou zlepšit chuť konopí, ale jejich úspěšné využití vyžaduje specifické znalosti pěstitele. Při volbě organického pěstování je třeba brát v úvahu podmínky půdy, umístění a hygienu. Pěstování konopí venku je často snazší než v interiéru, díky přístupu k přírodním zdrojům (Cervantes 2006).

Minerální hnojiva ve formě rozpuštěných solí jsou rostlinami absorbována přímo. (Texier 2015). Rozpustná minerální hnojiva jsou vhodná pro indoorové pěstování v kontejnerech, protože se snadno rozpouštějí ve vodě, jsou snadno kontrolovatelná a umožňují jednoduché doplňování a vyluhování z pěstebního média. Granulovaná minerální hnojiva jsou efektivní, ale vyžadují opatrné dávkování, aby se předešlo toxické akumulaci prvků, které nelze z pěstebního média rychle odstranit a mohou poškodit rostliny (Cervantes 2006). Příklady hnojiv jsou epsomská sůl a fosfátová moučka (Torres & Somera 2022) a hnojivo Osmocote (Cervantes 2006).

7.3 Výhody a nevýhody hydroponického pěstování

7.3.1 Výhody

Klíčové přednosti hydroponického pěstování zahrnují redukcí chemických přísad (např. hnojiv a pesticidů) (Pomoni et al. 2023). Lepší zdraví a rychlejší růst hydroponicky pěstovaných rostlin snižují potřebu pesticidů, jelikož rychle rostoucí a odolné rostliny lépe odolávají škůdcům a chorobám (Texier 2015).

Další je možnost pěstování rostlin bez půdy, a efektivnější využití pozemků (Pomoni et al. 2023). Hydroponie zvyšuje efektivitu prostorového využití tím, že umožňuje hustší výsadbu bez soutěže o půdu, díky čemuž rostliny mohou růst blíže u sebe a vytvářet tak hustou zeleň, takže optimalizace využití živin eliminuje jejich ztráty a ochraňuje podzemní vody a půdní mikroorganismy před kontaminací (Texier 2015). Díky tomu, hydroponie výrazně omezuje výskyt půdních škůdců a chorob. Použití metod integrovaného boje proti škůdcům [IPM] je v hydroponickém systému účinnější díky využití biologické kontroly a omezení chemických pesticidů. Toto přístupu zajišťuje zdravější rostliny a bezpečnější zemědělské produkty (Jensen 1999).

Produkty získané z takového způsobu pěstování, jako jsou listy nebo plody, obsahují méně půdních nečistot, což snižuje riziko šíření půdních chorob a zároveň omezuje potřebu praní, což vede k úsporám vody a energie.

V hydroponických systémech se eliminuje potřeba přípravy půdy a odstraňování plevelů, a navíc umožňují využít země, které nejsou vhodné pro běžné pěstování v půdě (Verdoliva et al. 2021).

Dodatečné zavlažování umožňuje přesnou kontrolu nad výživou rostlin s možností neustálého monitorování, kolik živin je dostupných přímo kořeny. Zároveň hydroponie výrazně snižuje spotřebu vody tím, že všechna voda je efektivně využita rostlinami bez ztráty do půdy či odpařením, což přispívá k lepší efektivitě vodního hospodářství díky cílenému zavlažování přímo ke kořenům (Texier 2015). Takže výzkum prokázal, že hydroponické systémy umožňují přesnou regulaci růstových podmínek, což vede k rychlejšímu růstu rostlin a vyšší úrodě oproti tradičním způsobům zemědělství. Dále bylo zjištěno, že optimalizace dodávky živin a úprava prostředí v kořenové zóně může výrazně zlepšit zdraví rostlin a jejich produktivitu (Rajaseger et al. 2023).

Díky těmto výhodám hydroponie minimalizuje negativní vliv na ekosystém a nabízí progresivní přístup k pěstování zemědělských produktů v regulovaných podmínkách (Pomoni et al. 2023).

7.3.2 Nevýhody

Hlavní nevýhodou hydroponie je vyšší riziko v aplikované dávce živin oproti půdě, která má pufrací schopnosti stabilizovat prostředí kolem kořenů. Zatímco půda s mikroorganismy a chemickými reakcemi může napravit nerovnováhu, hydroponie nabízí méně

prostoru pro chyby a riziko rychlé ztráty úrody při selhání techniky, jako je například pH metr. Pěstování v hydroponii je rychlejší, ale vyžaduje větší pozornost a přesnost ve správě živin a podmínek, což zvyšuje riziko poškození rostlin (Texier 2015). Vysoké provozní náklady, potřeba speciálních technických dovedností a velké počáteční investice jsou hlavní bariérami využívání hydroponie. Energie tvoří 95,3 % celkové spotřeby, z toho 4,7 % je elektrická energie. Počáteční výdaje, energetické náklady, vyžadované odborné znalosti a potřeba stálého dohledu činí adopci hydroponických technologií náročnější (Pomoni et al. 2023).

Dále je to teplota, která je klíčovým faktorem pro hydroponii, s ideálním rozmezím teplot kořenové zóny mezi 18°C a 22°C. Překročení 26°C zpomaluje růst a při 35°C může dojít k rychlému úhynu rostlin kvůli nedostatku rozpuštěného kyslíku v kořenech. Pro řešení odvodu nadměrného tepla existují různé strategie, včetně cirkulace chladného vzduchu, izolace, vodních chladičů nebo chladičích podložek, zvláště v tropických oblastech nebo při použití umělého osvětlení (Texier 2015).

Poslední je zvýšená spotřeba energie: Celková roční potřeba energie představuje 95,3 % veškeré spotřebované energie, přičemž 4,7 % z tohoto množství se věnuje přímo spotřebě elektrického proudu (Pomoni et al. 2023)

8. Závěr

Práce se zaměřuje na vliv makroživin na růst rostlin léčebného konopí a na obsah kanabinoidů v rostlinách konopí. Dále zkoumá různé hydroponické systémy pěstování a jejich vliv na efektivitu pěstování. Zatímco nároky na makroživiny jsou již stanoveny u většiny hospodářsky významných rostlin, u léčebného konopí tomu tak není. Vyvážený poměr makroživin je klíčový pro každou rostlinu a ovlivňuje příjem ostatních živin, velikost rostliny, její výnos a také obsah kanabinoidů.

V hydroponii, metodě pěstování bez půdy, jsou rostliny vyživovány pomocí živného roztoku s rozpustnými hnojivy, který periodicky recirkuluje kolem kořenů. Toto uspořádání umožňuje lepší absorpci živin díky zvýšenému obsahu kyslíku v médiu. Hydroponické pěstování, zejména konopí, zajišťuje rychlejší růst rostlin, jelikož mají stálý a snadno dostupný přístup k živinám, což je výhoda oproti nejlepším půdním substrátům, které nedokážou poskytnout stejné množství kyslíku.

Dusík (N) je zásadní pro syntézu chlorofylu, nukleových kyselin, aminokyselin, proteinů, rostlinných hormonů a koenzymů a podílí se na tvorbě primárních a sekundárních metabolitů, včetně fenolových a aromatických sloučenin (Saloner & Bernstein 2020). Dusík také podporuje buněčné dělení a růst vegetativních i reprodukčních orgánů a ovlivňuje absorpci a rozdělení ostatních živin. Správná hladina dusíku je nezbytná pro raný růst listů, který má vliv na fotosyntetickou plochu a expanzi plodů (Cervantes 2006).

Rostliny přijímají dusík ve formě iontů, buď jako kation amonný (NH_4^+) nebo anion nitrátový NO_3^- . Významnou roli hraje pH prostředí; v kyselém prostředí dominuje absorpce NO_3^- , zatímco v neutrálním až zásaditém se vyrovnává příjem NH_4^+ a NO_3^- , nebo převládá NH_4^+ . Nižší teploty snižují příjem a využití iontů. Dusík se transportuje do nadzemních částí rostlin v minerální formě NO_3^- a je redukován v listech na amoniak (NH_3), který je vázán na oxokyseliny a vede k syntéze aminokyselin, např. asparagové kyseliny. Aminokyseliny mohou vázat další amoniak, čímž vznikají amidy jako asparagin a glutamin, které redukují toxicitu NH_3 v tkáních (Vaněk et al. 2012).

V jedné studii bylo aplikováno 80% dusíku ve formě NO_3^- a 20% ve formě NH_4^+ v vegetativní růstové fázi. Rostliny byly hnojeny 50 až 70 mg.l^{-1} N dusíku dvakrát až třikrát týdně. Během vegetativního růstu konopí potřebuje vyšší dávky dusíku (160-200 mg.l^{-1} N), před květní fází se množství zvyšuje (200-225 mg.l^{-1} N) a v květní fázi se snižuje (100-150 mg.l^{-1} N) (Saloner & Bernstein 2020).

Toxicita NH_4^+ je dobře zdokumentovaná; převládání NH_4^+ snižuje příjem iontů, zejména kationtů jako Ca, K, Mg, což může vést k úhynu rostlin. Vysoké hladiny NH_3 zvyšují pH rhizosféry.

Poměr $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ má vliv na příjem kationtů Ca a Mg, a s vyšším podílem NH_4^+ se snižuje množství K v rostlině, což odráží konkurenci mezi kationty o kořenovou absorpci.

Seznam literatury

- Adhikary D, Kulkarni M, El-Mezawy A, Mobini S, Elhit M, Gjuric R, Ray A, Polowick P, Slaski JJ, Jones MP. 2021. Medical cannabis and industrial hemp tissue culture: Present status and future potential. *Frontiers in Plant Science* **12**:627240.
- Anjana US, Iqbal M. 2007. Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **27**:45-57.
- Asao T. 2012. Hydroponics - a standard methodology for plant biological researches. IntechOpen, London.
- Baiyin B, Tagawa K, Yamada M, Wang X, Yamada S, Shao Y, An P, Yamamoto S, Ibaraki Y. 2021. Effect of nutrient solution flow rate on hydroponic plant growth and root morphology. *Plants* **10**:1840.
- Baldino L, Scognamiglio M, Reverchon E. 2020. Supercritical fluid technologies applied to the extraction of compounds of industrial interest from *Cannabis sativa* L. and to their pharmaceutical formulations: A review. *The Journal of Supercritical Fluids* **165**:104960.
- Benton Jones Jr. J. 2005. Hydroponics A Practical Guide for the Soilless Grower Second Edition, 2nd edition. CRC Press, Boca Raton.
- Bernstein DM, Laney C, Morris EK, Loftus EF. 2005. False beliefs about fattening foods can have healthy consequences. *Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America* **102**:13724–13731.
- Bernstein N, Koch S, Gorelick J, Zerahia R. 2019. Impact of N, P, K, and humic acid supplementation on the chemical profile of medical cannabis (*Cannabis sativa* L). *Frontiers in Plant Science* **10**:736.
- Bernstein N, Ioffe M, Luria G, Bruner M, Nishri Y, Philosoph-Hadas S, Salim S, Dori I, Matan E. 2011. Effects of K and N nutrition on function and production in *Ranunculus asiaticus*. *Pedosphere* **21**:288–301.
- Bevan L, Jones M, Zheng Y. 2021. Optimisation of nitrogen, phosphorus, and potassium for soilless production of *Cannabis sativa* in the flowering stage using response surface analysis. *Frontiers in Plant Science* **12**:764103.

- Bonini SA, Premoli M, Tambaro S, Kumar A, Maccarinelli G, Memo M, Mastinu A. 2018. *Cannabis sativa*: a comprehensive ethnopharmacological review of a medicinal plant with a long history. *Journal of Ethnopharmacology* **227**: 300–315.
- Bongiorno P, Lopalco A, Casiraghi A, Spennacchio A, Pitruzzella A, Lopedota AA, Minghetti P, Denora N. 2023. Digital technologies applied to control the one-step process of cannabis olive oil preparations. *Pharmaceutics* **15**:870.
- Brunetti P, Pichini S, Pacifici R, Busardò FP, del Rio A. 2020. Herbal Preparations of Medical Cannabis: A Vademecum for Prescribing Doctors. *Medicina* **56**:237.
- Bridgeman MB, Abazia DT. 2017. Medicinal cannabis: history, pharmacology, and implications for the acute care setting. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* **42**:180–188.
- Britto DT, Kronzucker HJ. 2005. Nitrogen acquisition, PEP carboxylase, and cellular pH homeostasis: new views on old paradigms. *Plant, Cell & Environ* **28**:1396–1409.
- Capodice JL, Kaplan SA. 2021. The endocannabinoid system, cannabis, and cannabidiol: Implications in urology and men's health. *Current Urology* **15**:95-100.
- Caplan D, Dixon M, Zheng Y. 2017. Optimal rate of organic fertilizer during the vegetative-stage for cannabis grown in two coir-based substrates. *American Society for Horticultural Science* **52**:1307-1312.
- Carranca C, Brunetto G, Tagliavini M. 2018. Nitrogen nutrition of fruit trees to reconcile productivity and environmental concerns. *Plants* **7**:4.
- Cervantes J. 2006. *Marijuana horticulture: the indoor/outdoor medical grower's bible*. Van Patten Publishing, Vancouver.
- Cervantes J. 2023. *We grow cannabis!* Van Patten Publishing, Vancouver.
- Coffman CB, Gentner WA. 1975. Cannabinoid Profile and Elemental Uptake of *Cannabis sativa* L. as Influenced by Soil Characteristics. *Agronomy Journal* **67**:491–497.
- 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**:958.
- Cheng X, Liang Y, Zhang A, Wang P, He S, Zhang K, Wang J, Fang Y, Sun X. 2020. Using foliar nitrogen application during veraison to improve the flavor components of grape and wine. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **101**:1288–1300.
- Clarke RC. 1981. *Marijuana botany*. Ronin Publishing, Berkeley.

- Clarke RC. 1998. Hashish! Red Eye Press, Los Angeles.
- Cooper A. 1979. The ABC of NFT. 1st edition. Grower Books, London.
- 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.
- Crawford NM, Glass ADM. 1998. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. *Trends in Plant Science* 3:389–395.
- Crocq MA. 2020. History of cannabis and the endocannabinoid system. *Dialogues Clin Neuroscience* 22:223-228.
- Daud M, Handika V, Bintoro A. 2018. Design and realization of fuzzy logic control for ebb and flow hydroponic system. *International Journal of Scientific & Technology Research* 7:138-144.
- Dilena E, Close DC, Hunt I, Garland SM. 2023. Investigating how nitrogen nutrition and pruning impacts on CBD and THC concentration and plant biomass of *cannabis sativa*. *Scientific Reports* 13:19533.
- Dupal L. 2004. Kniha o marihuaně. Mat'a, Praha.
- de Meijer EPM, Bagatta M, Carboni A. 2003. The inheritance of chemical phenotype in *Cannabis sativa* L. *Genetics* 163:335–346.
- Elsohly MA. 2007. Marijuana and the cannabinoids. Human Press Inc, New Jersey.
- Evloeva MR, Sarkenova SB, Sedunova NS, Tleuova ZSh. 2023. Hydroponics - as way to grow plants without soil. *Bulletin of Science* 3:1274-1281.
- Farag S. 2017. The cannabis plant: botanical aspects. Pages 3-12 in Kayser O, editor. *Handbook of Cannabis and Related Pathologies*. Technical University Dortmund, Dortmund.
- Garzón J, Montes L, Garzón J, Lampropoulos G. 2023. Systematic review of technology in aeroponics: introducing the technology adoption and integration in sustainable agriculture model. *Agronomy Journal* 13:2517.
- Gniazdowska A, Rychter AM. 2000. Nitrate uptake by bean (*Phaseolus vulgaris* L.) roots under phosphate deficiency. *Plant and Soil* 226:79–85.

- Grinspoon L, Bakalar JB. 1997. *Marihuana: the forbidden medicine*. Yale University Press, Connecticut.
- Grinspoon P. 2021. *The endocannabinoid system: essential and mysterious*. Harvard Health Publishing, Massachusetts.
- Gromenko IV. 2023. Aeroponics or method of growing coniferous plants in the air. *Construction Economics* **5**:28-33.
- Gül A, Kıdoğlu F, Anaç D. 2007. Effect of nutrient sources on cucumber production in different substrates. *Scientia Horticulturae* **113**:216-220.
- Hendriks H, Malingre TM, Batterman S, Bos R. 1978. The essential oil of *Cannabis sativa* L. *Pharmaceutisch weekblad* **1113**: 413–424.
- Heo S, Park WP. 2020. Effects of nitrogen deficiency and resupply on the absorption of mineral nutrients by tangor cultivar ‘Shiranuhi’ (*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) grown in a hydroponic system. *Plants* **11**:2351.
- The International Narcotics Control Board (INCB) report for 2022, regulated cannabis markets and international legal tensions: a missed opportunity. International Drug Policy Consortium, London. Available from: <https://www.drugsandalcohol.ie/39287/>(<https://www.drugsandalcohol.ie/39287/> (accessed April 2024).
- Jensen MH. 1999. Hydroponics worldwide. *Acta Horticulturae* DOI: 10.17660/ActaHortic.1999.481.87.
- Ježek M. 2021. Zmírnění právní regulace pěstování a distribuce konopí v České republice. *Ecovis*. Available from: <https://www.ecovislegal.cz/aktuality/zmirneni-pravni-regulace-pestovani-a-distribuce-konopi-v-ceske-republice/?fbclid=IwAR3PvCicbcUAemLN6W8k1CBuZCK9WuQ4gW-Gx9cz-3Ab8E-XN9bzJniqoA> (accessed March 2024).
- 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**:1444–146.
- Kechasov D, Verheul MJ, Paponov M, Panosyan A, Paponov IA. 2021. Organic waste-based fertilizer in hydroponics increases tomato fruit size but reduces fruit quality. *Frontiers in Plant Science* **12**:680030.

- Landi S, Berni R, Capasso G, Hausman JF, Guerriero G, Esposito S. 2019. Impact of nitrogen nutrition on *cannabis sativa*: an update on the current knowledge and future prospects. *International Journal of Molecular Sciences* **20**:5803.
- Lennard WA, Leonard BV. 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International* **14**: 539–550.
- Lim SL, Wu TY, Lim PN, Shak KPY. 2015. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **95**:1143–1156.
- Lu HC, Mackie K. 2016. An introduction to the endogenous cannabinoid system. *Biol Psychiatry* **79**:516–525.
- Mack A, Joy J. 2000. *Marijuana as medicine?: the science beyond the controversy*. National Academies Press, Washington.
- Malík M, Velechovský J, Praus L, Janatova A, Kahánková Z, Klouček P, Tlustoš P. 2022. Amino acid supplementation as a biostimulant in medical cannabis (*Cannabis sativa L.*) plant nutrition. *Frontiers in Plant Science* **13**:868350.
- Maioli C, Mattoteia D, Amin HIM, Minassi A, Caprioglio D. 2022. Cannabinol: history, syntheses, and biological profile of the greatest “minor” cannabinoid. *Plants* **11**:2896.
- Mahmoud A, ElSohly. 2006. *Marijuana and the cannabinoids*. Humana Press, New Jersey.
- Maucieri C, Nicoletto C, Junge R, Schmautz Z, Sambo P, Borin M. 2018. Hydroponic systems and water management in aquaponics: a review. *Italian Journal of Agronomy* **13**: 1-11.
- McPartland J, Clarke RC, Watson DP. 2000. *Hemp diseases and pests*. CAB International, Wallingford.
- McPartland J, Mediavilla V. 2002. Cannabis and cannabinoids: pharmacology and therapeutic potential. Pages 401-409 in Grotenhermen F, Russo E, editors. *Haworth Integrative Healing Press*, New York.
- Menezes IMNR, Nascimento P de A, Yamamoto CI, Oliveira A. 2022. Evaluation of trace elements in cannabis products. *Journal of Food Composition and Analysis* **113**:104721.
- Mengel K, Viro M. 1978. The significance of plant energy status for the uptake and incorporation of NH₄-nitrogen by young rice plants. *Soil Science and Plant Nutrition* **24**:407–416.
- Měřičková K. 2015. *Marihuana v medicíně [MSc. Thesis]*. Univerzita Palackého, Olomouc.

- Micalizzi G, Vento F, Alibrando F, Donnarumma D, Dugo P, Mondello L. 2021. *Cannabis Sativa L.*: a comprehensive review on the analytical methodologies for cannabinoids and terpenes characterization. *Journal of Chromatography A* **1637**: 461864.
- Milfortová L. 2010. Kanabinoidy. *Kontakt* **12**:343–351.
- Morad D, Bernstein N. 2023. Response of medical cannabis to magnesium (Mg) supply at the vegetative growth phase. *Plants* **12**:2676.
- Nursyahid A, Helmy H, Karimah AI, Setiawan TA. 2021. Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic nutrition controlling system using linear regression method. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* **1108**:012033.
- Papastylianou P, Kakabouki I, Travlos I. 2017. Effect of nitrogen fertilization on growth and yield of industrial hemp (*Cannabis sativa L.*). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* **46**:197–201.
- Pate DW. 1994. Chemical ecology of cannabis. *Journal of the International Hemp Association* **2**:32–37.
- Patil ST, Kadam US, Mane MS, Mahale DM, Dhekale JS. 2020. Hydroponic growth media (substrate): a review. *International Research Journal of Pure & Applied Chemistry* **21**:106-113.
- Pavlíková D, Pavlík M, Balík J. 2008. Vliv amonného dusíku na metabolismus rostlin. *Agrochimica* **48**:3-8.
- Pisanti S, Bifulco M. 2019. Medical Cannabis: a plurimillennial history of an evergreen. *Journal of Cellular Physiology* **234**:8342-8351
- Pomoni DI, Koukou MK, Vrachopoulos MG, Vasiliadis L. 2023. A review of hydroponics and conventional agriculture based on energy and water consumption, environmental impact, and land use. *Energies Journal* **16**:1690.
- Prasad M, Simmons P, Maher MJ. 2004. Release characteristics of organic fertilizers. *Acta horticulturae* **644**:163-170.
- 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.

- Rajaseger G, Lun Chan K, Yee Tan K, Ramasamy S, Cho Khin M, Amaladoss A, Haribhai PK. 2023. Hydroponics: current trends in sustainable crop production. *Bioinformation* **19**:925-938.
- Ross RA, ElSohly MA. 1996. The volatile oil composition of fresh and air-dried buds of *Cannabis sativa L.* *Journal of natural products* **59**:49–51.
- Ritchie H, Roser M. 2024. Half of the world’s habitable land is used for agriculture. *Our World in Data*, U.S.A. Available from: <https://ourworldindata.org/global-land-for-agriculture> (accessed April 2024).
- Saloner A, Bernstein N. 2020. Response of medical cannabis (*Cannabis sativa L.*) to nitrogen supply under long photoperiod. *Frontiers in Plant Science* **11**:572293.
- Saloner A, Bernstein N. 2021. Nitrogen supply affects cannabinoid and terpenoid profile in medical cannabis (*Cannabis sativa L.*) *Industrial Crops and Products* **167**:113516.
- Saloner A, Bernstein N. 2022. Effect of potassium (K) supply on cannabinoids, terpenoids and plant function in medical cannabis. *Agronomy Journal* **12**:1242.
- Saloner A, Bernstein N. 2022. Nitrogen source matters: high NH₄/NO₃ ratio reduces cannabinoids, terpenoids, and yield in medical cannabis. *Frontiers in Plant Science* **13**:830224.
- Samorini G. 1996. L'erba di Carlo Erba: per una storia della canapa indiana in Italia. *Nautilus* 1845-1948.
- Serkov VA, Danilov MV. 2021. Cannabidiol content in single house plants varieties of seed hemp and dependence of its accumulation on hydrothermal mode. *International Agricultural Journal* **2**:87-90.
- Sirieva TA, Sirieva YN. 2020. Role of mineral nutrition in hydroponic cultivation. *New Impulses of Development: Research Issues* **1**: 128-136.
- Soma. 2005. Organic marijuana, soma style: the pleasures of cultivating connoisseur cannabis (marijuana tips). *Quick American Archives*, U.S.
- Song C, Saloner A, Bernstein N, Fait A. 2023. Nitrogen deficiency stimulates cannabinoid biosynthesis in medical cannabis plants by inducing a metabolic shift towards production of low-N metabolites. *Industrial Crops and Products* **202**:116969.
- Státní ústav pro kontrolu léčiv. 2010. Konopí pro léčebné použití. SUKL, Praha. Available from <https://www.sukl.cz/konopi-pro-lecebne-pouziti> (accessed April 2024).

- Steiner AA. 1968. Soilless culture, proceedings of the IPI 1968 6th colloquium of the international potash institute. InTech DOI: 10.5772/37578.
- Sheets J. 2015. Homegrown marijuana create a hydroponic growing system in your own home. Cool Springs Press, Miami.
- Shinohara M, Aoyama C, Fujiwara K, Watanabe A, Ohmori H, Uehara Y, Takano M. 2011. Microbial mineralization of organic nitrogen into nitrate to allow the use of organic fertilizer in hydroponics. *Soil Science and Plant Nutrition* **57**:190-203.
- Texier W. 2015. Hydroponics for everybody: all about home horticulture. Quick American Archives, U.S.
- Torres EC, Somera CGG. 2022. How organic fertilizers can be used as a plant nutrient source in hydroponics: a review. *Applied Science and Engineering Progress* **16**:1-25.
- Thomas BF, ElSohly MA. 2016. The analytical chemistry of cannabis: quality assessment, assurance, and regulation of medicinal marijuana and cannabinoid preparations. Elsevier, Amsterdam.
- Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC. 2012. Nutrient solutions for hydroponic systems. In *Hydroponics—A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. IntechOpen DOI: 10.5772/37578.
- Vetchinnikov AA, Antsiferova DV, Teslenko AYU, Kechkova EV. 2017. Tures of fertilizers application for crops cultivation in hydro- and aeroponics technologies. *Agrochemical Bulletin* **2**:33-36.
- Verdoliva SG, Gwyn-Jones D, Detheridge A, Robson P. 2021. Controlled comparisons between soil and hydroponic systems reveal increased water use efficiency and higher lycopene and β -carotene contents in hydroponically grown tomatoes. *Science Horticulture* **279**:109896.
- Vaněk V a kolektiv. 2012. *Výživa zahradních rostlin*. Academia, Praha.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin*. Profi Press, Praha.
- White PJ, Brown PH. 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany* **105**:1073–1080.

- White P. J. (2012). Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: short-distance transport. Pages 7-47 in Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition), editor. Academic Press, London.
- Wimmerova L, Keken Z, Solcova O, Bartos L, Spacilova M. 2022. A comparative LCA of aeroponic, hydroponic, and soil cultivations of bioactive substance producing plants. Sustainability Journal **14**:2421.
- Yang Y, Zha W, Tang K, Deng G, Du G, Liu F. 2021. Effect of nitrogen supply on growth and nitrogen utilization in hemp (*Cannabis sativa L.*). Agronomy Journal **11**: 2310.
- Zákony pro lidi. 2023. Vyhláška č. 219/2022 Sb, kterou se mění vyhláška č. 236/2015 Sb., o stanovení podmínek pro předepisování, přípravu, distribuci, výdej a používání individuálně připravovaných léčivých přípravků s obsahem konopí pro léčebné použití, ve znění vyhlášky č. 307/2020 Sb. AION CS, s.r.o. 2010–2024. Available from <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2022-219> (accessed March 2024).
- Zafeiraki E, Kasiotis KM, Nisianakis P, Kyriaki M. 2021. Macro and trace elements in hemp (*Cannabis sativa L.*) cultivated in Greece: risk assessment of toxic elements. Frontiers in Chemistry **9**:654308.
- Zafeiraki E, Kasiotis KM, Nisianakis P, Machera K. 2021. Macro and trace elements in hemp (*Cannabis sativa L.*) cultivated in Greece: risk assessment of toxic elements. Frontiers in Plant Science **9**:654308.
- Zimmer L, Morgan JP. 1997. Marijuana myths, marijuana facts. The Lindesmith Center, New York.
- Zias J, Stark H, Seligman J, Levy R, Werker E, Breuer A, Mechoulam R. 1993. Early medical use of cannabis. Nature **363**: 215–215.
- Zuardi AW. 2005. History of cannabis as a medicine: a review. Brazilian Journal of Psychiatry **28**:153-7.
- Žuk-Gołaszewska K, Gołaszewski J. 2018. *Cannabis sativa L.* – cultivation and quality of raw material. Journal of Elementology **23**:971-984.
- Žahour D. 2007. Osobnost uživatelů konopných drog dle NEO-PI-R ve vztahu k vybraným proměnným [BSc. Thesis]. Masarykova univerzita, Brno.

Seznam grafů a obrázků

Obrázek č. 1: Rostlina <i>Cannabis sativa</i> (Soma 2005)	11
Obrázek č. 2: Listí odrůd: <i>cannabis indica</i> , <i>cannabis sativa</i> , <i>cannabis ruderalis</i> (Adhikary et al. 2021)	12
Obrázek č. 3: Chemická struktura tetrahydrokanabinolu (THC) (Bongiorno et al. 2023).....	14
Obrázek č. 4: Chemická struktura kanabidiolu (CBD) (Bongiorno et al. 2023)	14
Obrázek č. 5: Chemická struktura kanabinolu (CBN) (Thomas & ElSohly 2016).....	15
Obrázek č. 6: Chemická struktura tetrahydrokanabivarinu (THCV) (Thomas & ElSohly 2016).....	15
Obrázek č. 7: Chemická struktura kanabichromenu (CBC) (Thomas & ElSohly 2016).....	15
Obrázek č. 8: Nedostatek N (Cervantes 2006).....	20
Obrázek č. 9: Nedostatek P (Cervantes 2006).....	21
Obrázek č. 10: Nedostatek K (Cervantes 2006).....	23
Obrázek č. 11: Nedostatek Mg (Cervantes 2006).....	23
Obrázek č. 12: Nedostatek S (Cervantes 2006).....	22