

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

KATEDRA BIOLOGIE

Bakalářská práce

**Vliv magnetických kapalin na klíčivost a
růst bělohořčice seté**

(Leucosinapis alba (L.) Spach)

Vypracovala: Vlčková Vlasta

Vedoucí práce: RNDr. Božena Šerá, Ph.D.

České Budějovice, 2016

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledky obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáváním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum:

Podpis studenta:

Poděkování:

Touto formou děkuji RNDr. Boženě Šeré, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, za čas, který mi věnovala při zpracovávání a vyhodnocování výsledků a za odbornou pomoc.

Poděkování také patří Ing. Zdeňce Maděrové, Ph.D. za odbornou konzultaci a přípravu ferrofluidových roztoků.

Anotace:

Nanomateriály jsou dnes hojně komerčně využívány. Jedním z významných typů nanomateriálů jsou oxidy kovů. Předmětem této bakalářské práce je zjistit vliv magnetických kapalin na klíčivost a počáteční růst semen hořčice bílé. Tato práce vyžaduje pečlivý přístup při zakládání pokusů, odečtu dat a následně i jejich vyhodnocení. Vzešlá biomasa byla na konci každého pokusu vysušena a zvážena. Cílem práce je zjistit, jaké mají koncentrace ferrofluidů vliv na klíčivost.

Anotation:

Nanomaterials are now widely used commercially. One of the major types of nanomaterials are metal oxides. The object of this work is to determine the effect of magnetic fluids germination and initial growth of white mustard seeds. This work requires a careful approach when setting up experiments, data reading and subsequent evaluation. Emanating biomass at the end of each experiment dried and weighed. The aim is to identify the concentration of ferrofluid have an impact on germination.

Obsah

1. ÚVOD.....	1
2. NANOTECHNOLOGIE	2
2.1 NANOMATERIÁLY.....	2
2.2. NANOROZTOKY	6
3. TESTY TOXICITY	7
4. KLÍČIVOST	11
4.1 KLÍČIVOST SEMEN	11
5. VZCHÁZIVOST	13
6. METODIKA.....	14
6.1. KONTROLNÍ VÝZKUM	17
6.2. VÝZKUM ZA POUŽITÍ KYSELÉHO FERROFLUIDU VČETNĚ KONTROLNÍHO VÝZKUMU OŠETŘENÉHO	19
6.3. VÝZKUM ZA POUŽITÍ CITRÁTOVÉHO FERROFLUIDU VČETNĚ KONTROLNÍHO VÝZKUMU OŠETŘENÉHO	20
6.4. VÝZKUM ZA POUŽITÍ ALKALICKÉHO FERROFLUIDU VČETNĚ KONTROLNÍHO VÝZKUMU OŠETŘENÉHO	20
6.5. KONTROLNÍ VÝZKUM POMOCÍ pH	21
6.6. STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ VÝZKUMU	22
7. VÝSLEDKY	23
7.1.VÝSLEDKY KONTROLNÍHO VÝZKUMU	23
7.2. VÝSLEDKY VÝZKUMU ZA POUŽITÍ KYSELÉHO FERROFLUIDU VČETNĚ KONTROLNÍHO VÝZKUMU OŠETŘENÉHO.....	23
7.3. VÝSLEDKY VÝZKUMU ZA POUŽITÍ CITRÁTOVÉHO FERROFLUIDU VČETNĚ KONTROLNÍHO VÝZKUMU OŠETŘENÉHO	25
7.4. VÝSLEDKY VÝZKUMU ZA POUŽITÍ ALKALICKÉHO FERROFLUIDU VČETNĚ KONTROLNÍHO VÝZKUMU OŠETŘENÉHO	27
7.5. VÝSLEDKY KONTROLNÍHO VÝZKUMU POMOCÍ pH	29

7.6. SOUHRNNÉ PROCENTUÁLNÍ VÝSLEDKY MĚŘENÍ	30
8. DISKUSE.....	32
9. ZÁVĚR.....	34
10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	35
11. SEZNAM OBRÁZKŮ.....	38
12. SEZNAM TABULEK.....	39

1. ÚVOD

Nanotechnologie a nanomateriály jsou termíny, které jsou spojeny s intenzivně se rozvíjenými obory, které využívají strukturu materiálů na nanomateriálové úrovni. Ve své práci bych se chtěla zabývat toxicitou stabilní koloidní suspenze magnetických nanočástic oxidů železa vázaných v tekutém nosiči (rozpuštědle) sledovanou pomocí testů klíčivosti semen. Tedy, jaký má vliv použití magnetických kapalin (Ferrofluid) na klíčivost semen bělohořčice seté. V dnešní době se klade velký důraz na to, aby různá chemická rezidua nevstupovala do potravních řetězců člověka. Práce přispěje poznání, zdali jsou nanočástice oxidů železa schopné vstoupit do potravního řetězce přes semena zemědělských plodin.

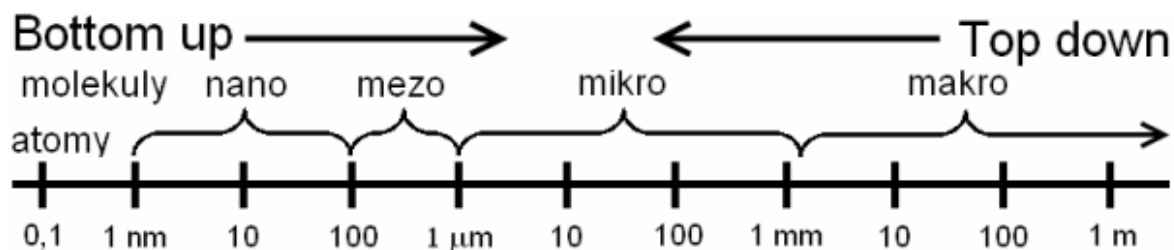
2. NANOTECHNOLOGIE

V posledních letech se nejenom vědci, ale i laická veřejnost zabývá tím, jaký má pro nás význam vědní obor *nanotechnologie*. Pojmy jako *nanotechnologie* a *nanomateriály* pronikají pomalu a nenásilně do života nás všech, aniž si to uvědomujeme. Jde však o to, jaké dopady nanotechnologie nebo používáním výrobků, které obsahují nanomateriály, budou mít v budoucnu vliv nejenom na naše zdraví, ale i na celé životní prostředí. V současné době již využíváme nanomateriály např. v podobě odolné keramiky proti poškrábání nebo nepropustnosti opalovacích krémů proti UV záření.

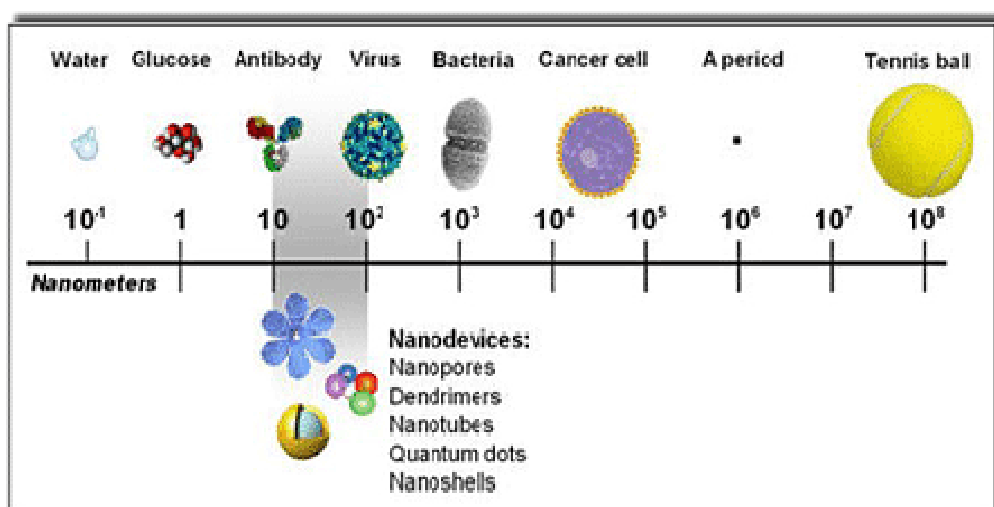
2.1 NANOMATERIÁLY

Jak si lze tedy nanotechnologii představit? Za nanomateriály můžeme označit pouze takové materiály, které se vyznačují těmito vlastnostmi:

- mají nejméně jeden rozměr mezi 1 až 100 nm,
- v porovnání se stejným materiálem, který však nemá nanorozměry, využívají fyzikální a chemické vlastnosti na úrovni atomů nebo molekul,
- nanotechnologie obecně využívá dva základní přístupy tvorby nanostruktur:
 - technologie založená na vytváření menších struktur z větších pomocí mechanických nebo chemických metod (označovanou názvem *Top-down*) a opačnou technologií (*Bottom-up*), kde se z molekul a dokonce i samotných atomů sestavují cílové nanostruktury (*Obr. 1*), (*Obr. 2*).

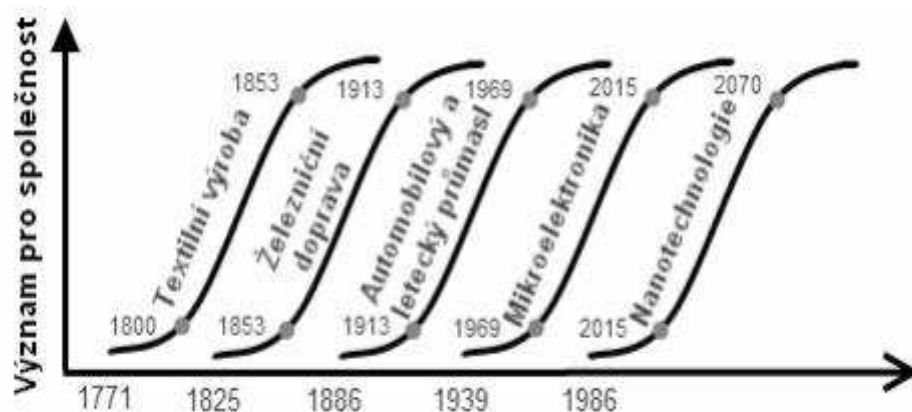


Obrázek 1. Rozdělení rozměrové škály a směry základních přístupů tvorby nanostruktur (Hošek, 2010).



Obrázek 2. Konstrukční prvky nanotechnologie (TU, Liberec)

Využití nanomateriálů a nanotechnologií je velmi rozsáhlé a již v současné době nalézají uplatnění v mnoha oblastech života jako například elektronika, zdravotnictví, strojírenství, stavebnictví, chemický průmysl, textilní průmysl, elektrotechnický průmysl, optický průmysl, kosmický průmysl, vojenský průmysl, životní prostředí a zemědělství. Vývojový trend zachycuje obr. 3.



Obrázek 3. Charakter průběhu jednotlivých fází vědeckotechnického vývoje společnosti (Hošek, 2010)

Další charakteristikou nanomateriálů je jejich obrovský nárůst poměru plochy povrchu k velikosti částic nanomateriálů – to znamená, že počet atomů, které vytváří povrch částic je mnohonásobně vyšší než počet atomů uvnitř částice. Tento poměr pak velmi ovlivňuje fyzikální i chemické vazby na hranicích zrn materiálu. Chování nanočástic se řídí kvantovou fyzikou. Kvantové jevy pak určují nové možnosti nanomateriálů.

Dalo by se říci, že o atomech víme již vše, ale víme prozatím jen velmi málo o tom, jak se chovají atomy v seskupeních velikostí nanočástic a jak tím vznikají neočekávané a neobvyklé vlastnosti.

Inspirací využití nanotechnologie v zemědělství byla příroda sama. Ukázala nám, jak dokáže ochránit povrch rostlin a hmyzu. Nejznámějším příkladem je „lotosový květ“ (Obr. 4). Lotosový květ, i když vyrůstá z bahna, není špinavý. Je to způsobeno tím, že voda z listů okamžitě stéká. Voda má jen velmi malý kontakt s povrchem listu, proto zůstává rostlina stále čistá. To je zapříčiněno trichomy, které jsou na povrchu listu. Stejně tak funguje využití impregnace, která odpuzuje kapaliny a nečistoty, brání jim jejich přilnutí do struktury materiálu a velmi tak zjednodušuje běžné čištění a údržbu.



Obrázek 4. Lotosový efekt (attribution: Thomas Brown)

Zemědělský výzkum se v současné době také zabývá tím, jak co nejlépe využít nanotechnologii v oblasti klíčivosti. Hlavním cílem je využít takové roztoky nanočástic, které díky své správné koncentraci spustí obranný mechanismus rostliny bez vzniku skutečného stresového faktoru a způsobí:

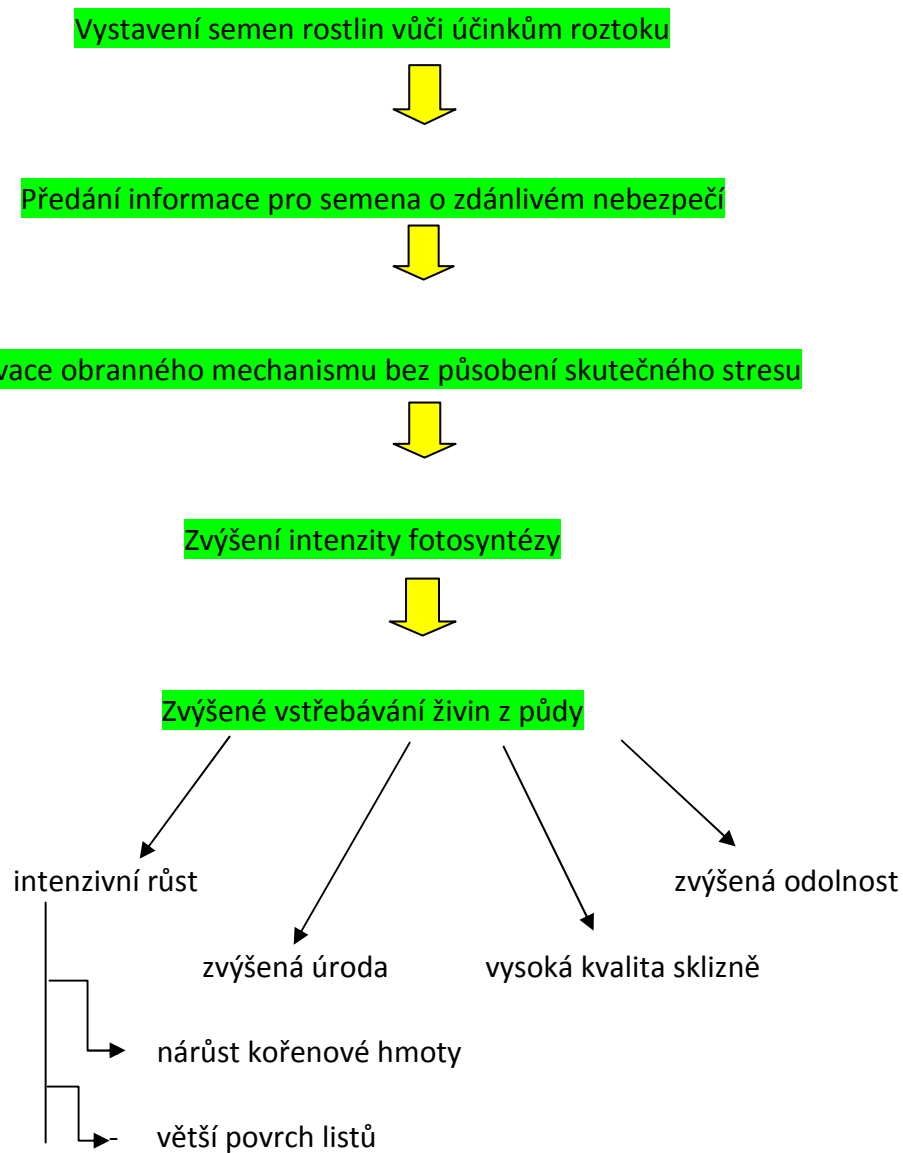
- 100 % klíčivost v jakémkoliv prostředí,
- intenzivní růst rostlin,
- vyšší výnos,
- vysokou kvalitu úrody,
- zvýšenou odolnost rostlin vůči chorobám,
- zvýšenou odolnost rostlin vůči stresu.

2.2. NANOROZTOKY

Nanoroztoky by měly již v samém zárodku semene spustit obranný mechanismus, aniž by vystavoval budoucí rostlinu skutečnému nebezpečí. Již při klíčivosti by vlivem nanoroztoků docházelo k reakcím, které by se projevovaly posílením kořenů. Ty by pak byly schopné vstřebávat větší množství živin v půdě. Tímto již při klíčení výrazně začíná narůstat hmota rostliny, zvyšuje se její odolnost a také je větší předpoklad vyššího výnosu.

Nanoroztoky se od klasických hnojiv odlišují tím, že nejsou zdrojem živin pro rostlinu, ale také se liší i svým složením. Neobsahují žádné bakterie, škodlivé organismy, hormony a dokonce nemění ani genetickou stavbu rostlin. Nanoroztoky působí tak, aby využívaly chemické komunikační kanály rostliny a aby i v téměř minimální koncentraci předaly při styku s kořenovým systémem rostliny zprávu, že jí hrozí nebezpečí. Rostlina je tak „zpravena“ o hrozícím nebezpečí. (Baluška et al., 2001).

Koncentrace nanoroztoku však musí být přesně dávkovaná, protože pokud by rostlina převzala velké množství stresové látky, vedlo by to k její „deprivaci“ a tím bychom dosáhli opačného, nežádoucího účinku. Nanoroztoky je tedy třeba dávkovat pouze v takovém množství, aby rostlině předaly informaci o nebezpečí, které však není bezprostřední, ale vzdálené natolik, aby ohrožená rostlina nechřadla, ale zareagovala přesně opačným způsobem (Obr. 5). Tento opačný efekt se projevuje tak, že rostlina aktivuje svůj ochranný a obranný mechanismus, který jí umožní se vypořádat s budoucí hrozbou.



Obrázek 5. Obecný princip působení roztoku

3. TESTY TOXICITY

Vědci se zabývají otázkou, zda jsou produkty nanotechnologických procesů bezpečné. Nanočástice díky své velikosti mohou snadno vnikat do biologických systémů. Biologická aktivita nanočástic závisí na těchto parametrech:

- na velikosti, ale také i na tvaru nanočástice,
- morfologii nanočástic,
- chemickém složení povrchu,
- povrchových vlastnostech (povrch, pórovitost),
- zbytcích chemických reziduí z procesu syntézy a stabilizace nanočástic.

Velká toxicita u nanočástic je limitujícím faktorem pro širší využití v praxi a jsou předmětem současného výzkumu. V současné době bylo zjištěno, že některé nanočástice právě díky své velikosti mohou pronikat z plic do krevního oběhu a následně do jednotlivých orgánů lidského těla. S přesností nelze určit, jak se budou nanočástice v krevním oběhu chovat. Z dlouhodobého hlediska nelze vyloučit ani nevýznamnost pronikání nanočástic přes kůži. Je třeba také se zabývat studiem, jaké představují riziko nanočástic v organismu. Je také známo, že tím, že jsou nanočástice dostatečně malé, mohly by pronikat přímo do buněk přes buněčnou stěnu.

Nanomateriály také představují možné ohrožení životního prostředí. Většina nanomateriálů pravděpodobně někde mohou zůstat a hromadit se v životním prostředí i dlouho po tom, co daný produkt ztratí své užité vlastnosti. Právě tato životnost i velké nahromadění mohou poškodit jednotlivé složky životního prostředí. Nanomateriály mohou poškodit citlivou ekologickou rovnováhu v životě člověka. Bylo zjištěno, že nanočástice stříbra jako antimikrobiologického prostředku mohou poškodit mikroby v biosféře a tím mohou ovlivnit i organismy na vyšší úrovni.

V současné době prozatím není dostatečné množství informací o nanomateriálech i o nanoproduktech, které mohou buď přímo nebo nepřímo ohrožovat život nebo životní prostředí. Je tedy důležité, abychom při vývoji, výrobě, ale i spotřebě postupovali podle pravidla předběžné opatrnosti a chovat se

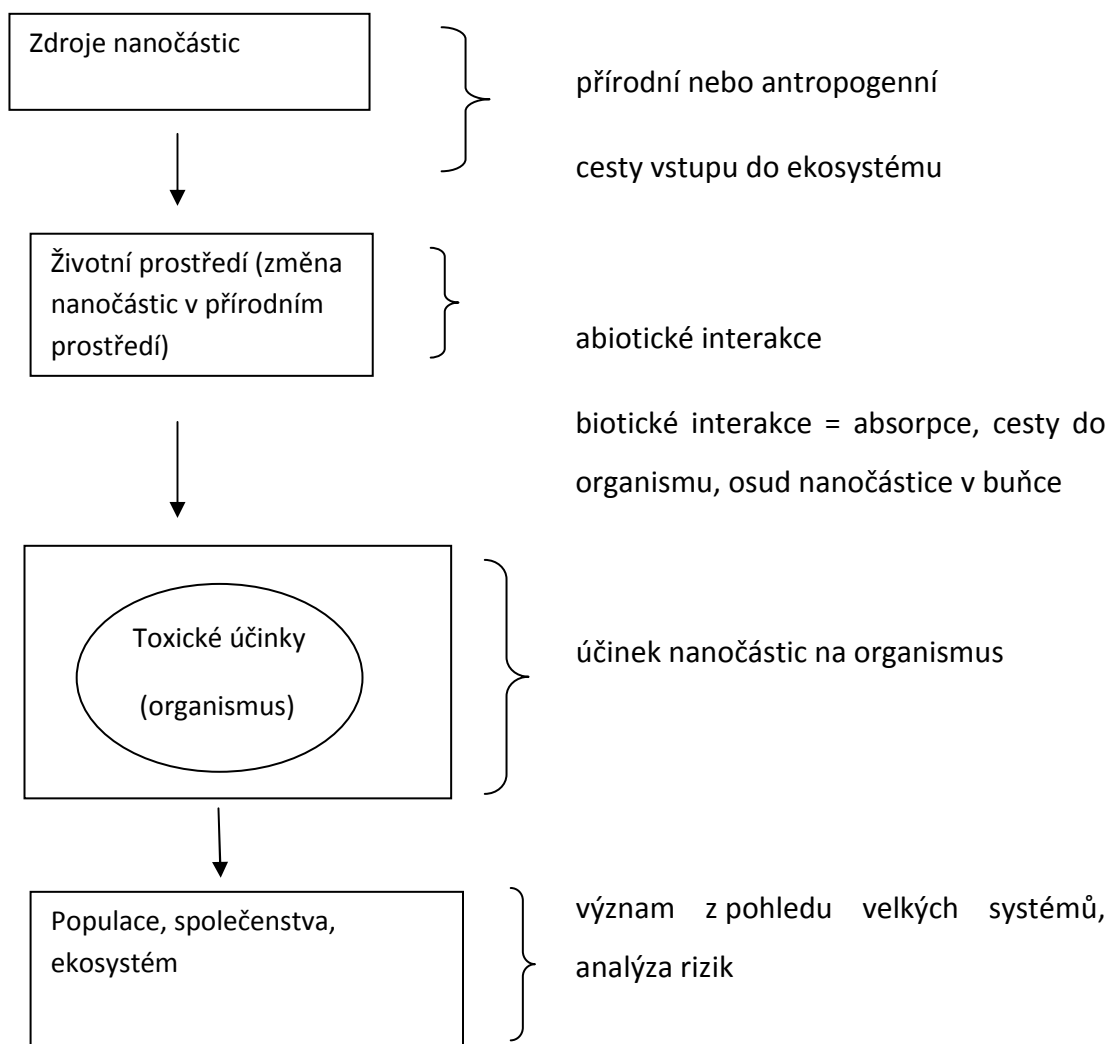
obezřetně do té doby než bude vyvinuta kontrola nanosystémů a nanoproduktů. Je velmi důležité identifikovat i adresně popsat jaké hrozí nebezpečí dopadů pro lidský život, vývoj populace, životní prostředí i případně pro průmysl (Obr. 6).

Nebezpečí nanočástic spočívá zejména v jejich velikosti a tvaru (Brar a kol., 2010). K první interakci biologického materiálu s nanočásticemi dochází mezi buněčnou membránou a danými nanočásticemi. Právě tato interakce je velmi závislá na fyzikálně chemických vlastnostech nanočástic. Malá změna v jejich velikosti, tvaru, náboji nebo chemickém složení může vést k radikálně odlišným interakcím s živými systémy (Mahmoudi a kol., 2014, Zhang a kol., 2012). V případě malé velikosti nanočástic, která je ~ 5 nm, tedy menší než tloušťka lipidové dvojvrstvy, může docházet k zabudování nanočástice právě do lipidové dvojvrstvy, což může vést k narušení membrány, případně k zanesení pórů prostupujících cytoplazmatickou membránou. Zatímco velikost nanočástic je kritická pro udržení buněčné membrány v původním stavu, tvar použitých nanočástic může hrát významnou roli jako definovaný kontaktní povrch mezi nanočásticemi a cytoplazmatickou membránou (Mahmoudi a kol., 2014).

Toxicita nanomateriálů může být způsobena různými důvody. U nanostruktur bylo prokázáno, že mají elektronické, optické a magnetické vlastnosti, které se vztahují k jejich fyzickým rozměrům, rozpad těchto nanostruktur by mohl vést k jedinečnému toxickému efektu, který je těžké předpovídat (Borm a kol., 2006, Fischer a Chan, 2007). Povrchy nanostruktur jsou zapojeny v mnoha katalytických a oxidačních reakcích, jestliže tyto reakce indukují cytotoxicitu, může být výsledná toxicita větší než u podobného sypkého materiálu, protože poměr povrch-objem je pro materiály s nanoměřítkem mnohem větší (Fischer a Chan, 2007).

Standardy, týkající se používání nanomateriálů z hlediska ochrany lidí a prostředí jsou shrnuty v dokumentu ISO/TR 13121:2011. Hodnocení rizika u nanomateriálů značně komplikuje velká různorodost nanomateriálů a nedostatek dat na různých úrovních hodnocení (Filipová et al., 2012). S tím souvisí i nutná opatření na omezení

průmyslových, automobilových a dalších emisí zdrojů nechtěných nanočástic, jejichž škodlivý účinek lze považovat vzhledem k chemickému složení za prokázaný.



Obrázek 6. Působení nanočástic

4. KLÍČIVOST

Klíčivost semen je jeden z nejběžnějších ukazatelů, které nám vypovídají o fitness sledované populaci rostlin a vyjadřují tak kvalitu osiva. Existují certifikované laboratoře, které provádí přesným postupem prací a limitními hodnotami pro jednotlivé druhy semen testy klíčivosti. Tyto testy pak dávají pěstitelům důležité informace o budoucí úrodě i výtěžnosti. Vysoká klíčivost nám vypovídá nejen o vysoké vitalitě osiva, ale dává nám určitou záruku o kvalitě budoucího porostu. Vitalita semen je pro pěstitele jedním z důležitých hledisek a mohli bychom říci, že v přírodních podmínkách tak představuje maximální možný výnos z plodin při působením přírodních vlivů i klimatickým podmínkám.

Testy klíčivosti lze provádět nejen na šlechtěných semenech, která se používají v zemědělství, ale také i pro semena v lesnictví, případně i pro plevele a jiné divoce rostoucí druhy rostliny. Je totiž i v zájmu každého zemědělství, aby vědělo jaký vliv má divoce rostoucí plevel na růst sledovaného osiva.

V dnešní době je kladen důraz na to, aby se v zemědělství omezily chemické postřiky, které škodí životnímu prostředí. V zájmu budoucích výnosů je však třeba využít takových prostředků, aby jejich použití bylo pro přírodu co nejšetrnější a s minimálními náklady.

4.1 KLÍČIVOST SEMEN

Pro to, abychom mohli sledovat klíčivost semen, musíme mít kvalitní zralé semeno, případně nažku nebo obilku. Zralé semeno ale nevyklíčí bez vnějších vlivů jakou je voda, světlo, teplo. Do té doby je semeno v klidovém stadiu a čeká na impuls.

Teprve při působení vnějších podmínek může semeno vyklíčit, pokud jeho zárodek je dobře vyvinutý a dozrálý. Schopnost klíčit přítomností a množstvím fytohormonů v semeni, ale také tloušťkou a tvrdostí osemení. Tyto vlastnosti jsou dědičné. Abychom mohli uvést příklad různorodé tvrdosti osemení je například semeno ořechu a bělohořčice seté. Ořechová skořápka na to, aby praskla a vyklíčila, potřebuje velmi dlouhé působení vlhka a chladnější okolní podmínky než bělohořčice setá. Ta v první řadě pro svou klíčivost potřebuje světlo a teplo. To jsou však jen prvotní příznaky různorodé klíčivosti z pohledu laika. Dalším rozdílem při stanovování klíčivosti je také to, že u většiny druhů rostlin jsou dozralá semena schopna vyklíčit až po nějaké době klidu, která je pro různé druhy specifická. Rozdílem této klíčivosti je například to, že některé druhy mohou klíčit již na mateřské rostlině, jiné hned po vysemenění a některé právě až po překonání semenného klidu, tzv. dormance.

Pro to, aby semena mohla vyklíčit, potřebují především vlhkost, správnou teplotu, světlo, ale také i vlastnosti substrátu, tj. přítomnost patogenů, solí, stopových prvků apod. Dalšími faktory, které mohou ovlivnit klíčení je:

- správný způsob sběru semen,
- správné uskladnění – aby semena nebyla uskladněna např. v moc vlhkých podmínkách, suchých nebo dokonce horkých podmínkách apod.,
- mechanické poškození například při sběru,
- stáří semen,
- ožer a poškození semen hmyzem nebo jinými zvířecími škůdci,
- kvalita kultivačního substrátu,
- technika výsevu.

Správně vyklíčené semeno považujeme, pokud má dobře vyvinutý kořínek, který by měl mít zpravidla 1 – 2 mm a měl by být bez jakýchkoliv defektů (zkroucený, uhnívající apod.). Dalším důležitým faktorem pro to, abychom mohli považovat

semeno za správně vyklíčené, je bez jakýchkoliv anomálií, protože toto všechno může ovlivnit výsledky a závěry s porovnáním s jinými výsledky.

5. VZCHÁZIVOST

Rozdíl klíčivosti oproti vzcházivosti je ten, že klíčivost zjišťujeme v laboratořích pomocí testů s cílem získat informace o počtu klíčivých rostlin ze vzorků. Výhodou těchto testů je, že jsou prováděny za optimálních podmínek pro klíčení semen a je možná jejich opakovatelnost a tedy také reprodukovatelnost dat. Tím se mohou výsledky klíčivosti porovnávat.

Na rozdíl od klíčivosti je však důležitější vzcházivost, kterou vždy s obavami sledují pěstitelé. Vzcházivost je vlastně schopnost rostlin vyrovnaného klíčení v polních, lesních a jiných podmínkách. Polní vzcházivost se vyjadřuje procentuelním vyjádření množství semen, která vzešla z celkového počtu vyšetřovaných klíčivých semen. Teprve po vzejití semen můžeme říci jaký je vztah mezi kvalitou a vitalitou semen a přírodními podmínkami. Tyto výsledky se oproti laboratorním výsledkům mohou výrazně lišit. Je to dáno například suchem nebo naopak velkým vlhkem, nízkými nebo vysokými teplotami, kvalitou půdy. To co ovlivňuje kvalitu vzcházení, je také dáno agrochemickými faktory, tj. jaká předplodina byla použita, způsob a termín setí, jaká hnojiva i pesticidy byly použity.

Pro pěstitele je důležité, aby osivo bylo vysoce kvalitní, protože tak pak předchází riziku, jako jsou špatné polní vzcházivosti, ale i do budoucna výnosů zrna. Nízká vzcházivost je pak předzvěstí toho, že mladé budoucí rostlinky budou málo vitální. Malá vitalita totiž naznačuje nižší produkční schopnost s porovnáním s osivem vysoce vitálním. U osiva vysoce vitálního je vždy porot hustý, kvalitní a také tím si zajišťuje obranu před divoce rostoucími rostlinami, plevele a dá se předpokládat, že

budoucí výnos bude nejen kvalitní, ale pěstitelům zaručí pro příští sezonu zase kvalitní semeno.

Porovnávat hodnoty vzcházivosti s hodnotami klíčivosti v laboratořích je tedy velmi obtížné a variabilní, protože mezi těmito parametry jsou rozdíly nepředvídatelné a mohou být velké. Proto se v laboratořích provádějí různé testy, které by nám měly do budoucna stanovit co nejpřesnější laboratorní vzcházivost semen. K těmto výsledkům se dochází tak, že se při klíčivosti semena zatěžují různými stresujícími faktory:

- uměle se vytváří nepříznivé podmínky pro klíčivost – teplo, chlad, vlhko, sucho,
- používají se semena uměle poškozená či jinak deformovaná,
- používají se semena přestárlá.

Tyto stresující faktory nám uměle vyjadřují nižší vitalitu semen a laboratoře pak mohou kopírovat reálné přírodní podmínky. Tím i laboratorní výsledky z těchto testů mohou být srovnatelné s realitou. Polní vzcházivost je totiž důležitý parametr, který odpovídá vzcházení semenáčků botanických druhů testovaných v jejich přirozeném prostředí.

6. METODIKA

Výzkum vlivu magnetických kapalin (Ferrofluidů) na semena bělohořčice seté (Obr. 7) byl prováděn v laboratoři za použití Petriho misek, inkubátoru, ferrofluidů a semen bělohořčice seté.



Obrázek 7. Semeno bělohořčice seté (vlastní fotografie)

Fáze výzkumu probíhaly jako:

- kontrolní výzkum,
- výzkum za použití kyselého ferrofluidu (magnetická vodní koloidní suspenze oxidů železa stabilizovaná kyselinou chloristou),
- výzkum na použití citrátového ferrofluidu (magnetická vodní koloidní suspenze oxidů železa stabilizována citranem sodným),
- výzkum za použití alkalického ferrofluidu (magnetická vodní koloidní suspenze oxidů železa stabilizována tetrametylamonium hydroxidem),
- kontrolní výzkum za pomoci pH (pH bylo připraveno zředěním příslušných stabilizátorů do vody).

Všechny tři typy ferrofluidových roztoků byly dodány z Ústavu půdní biologie, Biologického centra AV ČR, v.v.i., laboratoř biomagnetických technik v Českých Budějovicích. Dodané roztoky byly použité v koncentracích:

- 0,1 mg/ml
- 0,25 mg/ml
- 0,5 mg/ml
- 1 mg/ml

Ferrofluidy je tekutina složená z nanočástic magnetických oxidů železa o velikosti 10-20 nm. Použité koncentrace ferrofluidových roztoků byly připraveny zředěním v destilované vodě.

Pro následný kontrolní výzkum při ověření vlivu pH na klíčivost semen bělohořčice seté byly zkoumány pH roztoků před a po moření semen (Tab. 1).

Magnetismus ferrofluidů se nevyčerpá a proto má velký potenciál do budoucna. Díky magnetickým vlastnostem feromagnetických a ferimagnetických částic můžeme dosáhnout toho, aby ferrofluid tekla do kopce nebo se na jeho povrchu tvořily trsy, které mají směr siločar magnetického pole. V magnetickém poli ferrofluid vytváří zajímavé tvary.

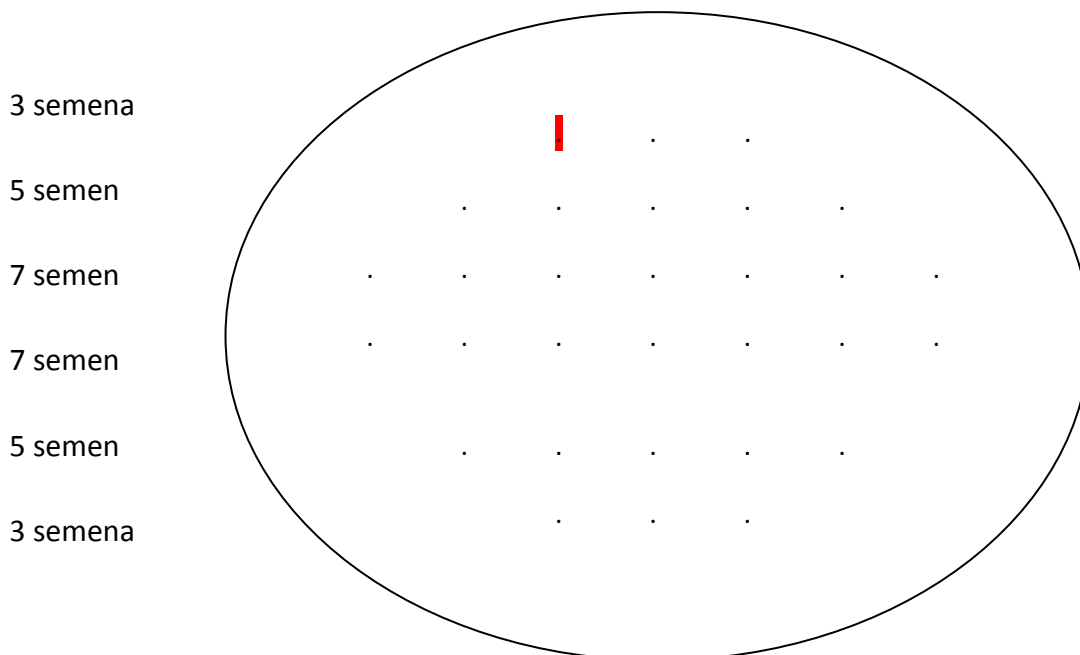
Svou konzistencí připomíná rtuť, ale není toxický. Je však nutné s ním pracovat opatrně, protože zanechává obtížně odstranitelné skvrny jak na oblečení, tak i na kůži.

Tabulka 1. Výsledná tabulka před měřením a po měření kyselosti v pH

Ferrofluid	koncentrace (mg/ml)	pH před mořením	pH po moření
kyselý	0,1	3,2	6,4
	0,25	3	4,9
	0,5	2,5	3,5
	1	2,2	3
citrátový	0,1	5,7	6,6
	0,25	6,5	6,6
	0,5	6,6	6,7
	1	6,6	7
alkalický	0,1	11,2	10,9
	0,25	11,5	11,2
	0,5	12,1	11,6
	1	12,4	11,9
kontrola s kyselinou chloristou		2,2	2,9
kontrola s citranem sodným		6,6	6,7
kontrola s tetrametylamonium hydroxidem		12,3	12

6.1. KONTROLNÍ VÝZKUM

Na Petriho misku o průměru 9 cm byly o stejném průměru umístěny 3 filtrační papíry, které jsme přelili 6 ml destilované vody. Na takto vlhké filtrační papíry byla umístěna semena v pravidelných řadách i sloupcích, aby bylo možné provádět kvalifikované odečty. Způsob umístění spočíval umístit semena do šesti řad (Obrázek 8).



Obrázek 8. Petriho miska s pravidelně umístěnými semeny před klíčením s označenou první pozicí (červená barva uvnitř)

První pozici semínka jsme si museli označit, aby při následných kontrolních odečtech jsme vždy porovnávali výsledné měření u stejné rostliny. Po rozmístění semen jsme Petriho misky uzavřeli víčkem a umístili do inkubátoru. V inkubátoru byla nastavena teplota na cca 22 °C a ponechali jsme je takto 24 hodin.

Po 24 hodinách jsme u klíčků delších než 1 mm začali s kontrolním měřením a poté opět umístili do inkubátoru. Stejně měření klíčků jsme prováděli ještě 3. den (Obrázek 9) a opět misky umístili do inkubátoru.

5. den bylo provedeno měření celé rostlinky a zapsané hodnoty délek byly statisticky zprůměrovány (Tab. 2). Po provedeném měření jsme všech 30 vyklíčených rostlinek zvážili, abychom zjistili jejich celkovou hmotnost. Po zvážení byly přendány do papírového sáčku a usušeny. Po jejich vysušení byly rostlinky opět zváženy a naměřené hodnoty zapsané do tabulky.

Výzkum jsme prováděli současně na 5ti Petriho miskách v celkovém počtu 150 ks semínek bělohořčice seté.



Obrázek 9. Petriho miska s naklíčenými semínky 30 semínek a pokus se provádí v 5ti miskách

6.2. VÝZKUM ZA POUŽITÍ KYSELÉHO FERROFLUIDU VČETNĚ KONTROLNÍHO VÝZKUMU OŠETŘENÉHO

Na Petriho misku o průměru 9 cm byly o stejném průměru umístěny 3 filtrační papíry, které jsme přelili 6 ml destilované vody. Na takto vlhké filtrační papíry byla umístěna semena, která byla na 10 minut vložena do 50 ml 5 % roztoku chromanu sodného (SAVO). Po působení 10 minut byla semena opláchnuta vychlazenou převařenou vodou. Tím byla docílena u semen desinfekce a odmaštění.

Poté se všechna semena umístila do jedné epruety a přelila 50 ml roztoku ferrofluidu o dané koncentraci, tj. byl proveden výzkum při koncentraci 0,1; 0,25; 0,5 a 1 mg/ml. V epruetě byla semena promíchávána s daným roztokem po dobu 2 hodin a teprve potom byla semena umístěna na Petriho misky. Způsob umístění spočíval jako v kontrolním výzkumu.

Opět byla semena v uzavřených Petriho miskách umístěna do inkubátoru o teplotě cca 22 °C. První odečet byl prováděn po 24 hodinách, další 3. den a poslední

měření bylo v 5. dnu. Tento den byla semena zvážena, usušena, opět zvážena a naměřené hodnoty zapsané v tabulkách.

6.3. VÝZKUM ZA POUŽITÍ CITRÁTOVÉHO FERROFLUIDU VČETNĚ KONTROLNÍHO VÝZKUMU OŠETŘENÉHO

Na Petriho misku o průměru 9 cm byly o stejném průměru umístěny 3 filtrační papíry, které jsme přelili 6 ml destilované vody. Na takto vlhké filtrační papíry byla umístěna semena, která byla na 10 minut vložena do 50 ml 5 % roztoku chromanu sodného (SAVO). Po působení 10 minut byla semena opláchnuta vychlazenou převařenou vodou. Tím byla docílena u semen desinfekce a odmaštění.

Poté se všechna semena umístila do jedné epruety a přelila 50 ml roztoku ferrofluidu o dané koncentraci, tj. byl proveden výzkum při koncentraci 0,1; 0,25; 0,5 a 1 mg/ml. V epruetě byla semena promíchávána s daným roztokem po dobu 2 hodin a teprve potom byla semena umístěna na Petriho misky. Způsob umístění spočíval jako v kontrolním výzkumu.

Opět byla semena v uzavřených Petriho miskách umístěna do inkubátoru o teplotě cca 22 °C. První odečet byl prováděn po 24 hodinách, další 3. den a poslední měření bylo v 5. dnu. Tento den byla semena zvážena, usušena, opět zvážena a naměřené hodnoty zapsané v tabulce.

6.4. VÝZKUM ZA POUŽITÍ ALKALICKÉHO FERROFLUIDU VČETNĚ KONTROLNÍHO VÝZKUMU OŠETŘENÉHO

Na Petriho misku o průměru 9 cm byly o stejném průměru umístěny 3 filtrační papíry, které jsme přelili 6 ml destilované vody. Na takto vlhké filtrační papíry byla

umístěna semena, která byla na 10 minut vložena do 50 ml 5 % roztoku chromanu sodného (SAVO). Po působení 10 minut byla semena opláchnuta vychlazenou převařenou vodou. Tím byla docílena u semen desinfekce a odmaštění.

Poté se všechna semena umístila do jedné epruety a přelila 50 ml roztoku ferrofluidu o dané koncentraci, tj. byl proveden výzkum při koncentraci 0,1; 0,25; 0,5 a 1 mg/ml. V epruetě byla semena promíchávána s daným roztokem po dobu 2 hodin a teprve potom byla semena umístěna na Petriho misky. Způsob umístění spočíval jako v kontrolním výzkumu.

Opět byla semena v uzavřených Petriho miskách umístěna do inkubátoru o teplotě cca 22 °C. První odečet byl prováděn po 24 hodinách, další 3. den a poslední měření bylo v 5. dnu. Tento den byla semena zvážena, usušena, opět zvážena a naměřené hodnoty zapsané v tabulce.

U všech koncentrovaných roztoků byla vždy měřena pH hodnota a to:

- před mícháním v epruetě
- po míchání v epruetě

Důvodem měření pH bylo, aby se následná kontrola provedla ve stejném rozsahu pH jako předešlé pokusy.

6.5. KONTROLNÍ VÝZKUM POMOCÍ pH

Na Petriho misku o průměru 9 cm byly o stejném průměru umístěny 3 filtrační papíry, které jsme přelili 6 ml destilované vody. Na takto vlhké filtrační papíry byla umístěna semena, která byla na 10 minut vložena do 50 ml 5 % roztoku chromanu sodného (SAVO). Po působení 10 minut byla semena opláchnuta vychlazenou převařenou vodou. Tím byla docílena u semen desinfekce a odmaštění.

150 semen se umístilo do jedné ze tří epruet ve které byla jednotlivě provedena simulace na kyselé, alkalické a citrátové prostředí pomocí pH (Tabulka 1). V těchto prostředích jsem zkoumala vliv pH daných koncentrací ferrofluidů. V epruetě byla semena promíchávána s daným roztokem po dobu 2 hodin a teprve potom byla semena přendána na Petriho misky. Způsob umístění spočíval jako v kontrolním výzkumu.

Opět byla semena v uzavřených Petriho miskách umístěna do inkubátoru o teplotě cca 22 °C. První odečet byl prováděn po 24 hodinách, další 3. den a poslední měření bylo v 5. dnu. Tento den byla semena zvážena, usušena, opět zvážena a naměřené hodnoty zapsané v tabulce.

6.6. STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ VÝZKUMU

Statistické vyhodnocování dat bylo zaměřeno na porovnání vlivu jednotlivých typů ferrofluidů na klíčivost a počáteční růst bělohořčice seté. U bazálních dat byla nejdříve provedena logaritmická transformace a to z důvodu jejich normalizace. Poté byl použita jednorozměrná analýza variance a následně Tukey test, vše na hladině pravděpodobnosti $\alpha \leq 0,05$. Tyto výsledky ukázaly jak se které z použitých koncentrací ferrofluidů navzájem lišily (zahrnuty byly vždy obě kontroly). Vzhledem ke zjednodušení jsou získané výsledky komentovány vždy jen ke kontrole s destilovanou vodou. Komplexní výsledky budou statisticky vyhodnoceny v rámci širšího kontextu výzkumu. Všechny hodnoty byly zaznamenávány a zpracovávány v programech Microsoft Office Excel a Statistica.

7. VÝSLEDKY

7.1. VÝSLEDKY KONTROLNÍHO VÝZKUMU

Abychom mohli porovnávat jaký vliv měly magnetické kapaliny na růst i klíčivost semen bělohořčice seté, je třeba znát hodnoty průměrných přírůstků i délek za normálních laboratorních podmínek. Tyto hodnoty nám udává Tabulka 2.

Tabulka 2. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků u neošetřené kontroly

Neošetřená kontrola	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	1,09	32,80		
			26,50	795,00
3. den	27,59	827,80		
			31,97	959,20
5. den	59,57	1787,00		

7.2. VÝSLEDKY VÝZKUMU ZA POUŽITÍ KYSELÉHO FERROFLUIDU VČETNĚ KONTROLNÍHO VÝZKUMU OŠETŘENÉHO

Z naměřených hodnot jsme pro porovnání přírůstků vypočetli průměrné hodnoty délek i přírůstků semenáčků (Tabulka 3, 4, 5, 6). Výzkumem bylo zjištěno, že v porovnání s kontrolním výzkumem jsou průměrné hodnoty délek i přírůstků velmi nízké. Vliv kyselého ferrofluidu za každé koncentrace měl velmi negativní vliv na klíčivost i růst bělohořčice seté.

Tabulka 3. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití kyselého ferrofluidu o koncentraci 0,1 mg/ml

Kyselý ferrofluid	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	0,03	1,00		
			1,74	52,20
3. den	1,77	53,20		
			10,60	318,00
5. den	12,37	371,20		

Tabulka 4. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití kyselého ferrofluidu o koncentraci 0,25 mg/ml

Kyselý ferrofluid	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	0,02	0,60		
			2,05	61,60
3. den	2,07	62,20		
			6,01	180,40
5. den	8,09	242,60		

Tabulka 5. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití kyselého ferrofluidu o koncentraci 0,5 mg/ml

Kyselý ferrofluid	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	0,00	0,00		
			0,06	1,80
3. den	0,06	1,80		
			0,17	5,00
5. den	0,23	6,80		

Tabulka 6. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití kyselého ferrofluidu o koncentraci 1 mg/ml

Kyselý ferrofluid	∅ délek	Σ délek	∅ přírůstků	Σ přírůstků
1. den	0,01	0,20		
			0,11	3,40
3. den	0,12	3,60		
			0,17	5,20
5. den	0,30	8,80		

7.3. VÝSLEDKY VÝZKUMU ZA POUŽITÍ CITRÁTOVÉHO FERROFLUIDU VČETNĚ KONTROLNÍHO VÝZKUMU OŠETŘENÉHO

Z naměřených hodnot jsme pro porovnávání přírůstků vypočetli průměrné hodnoty délek i přírůstků semenáčků (Tabulka 7, 8, 9, 10). Použití citrátového ferrofluidu za použití různých koncentrací velmi pozitivně ovlivňoval klíčivost i růst bělohořčice seté. Ze všech použitých koncentrací byla koncentrace ferrofluidu 0,5 mg/ml vyrovnaná v průměru délek i přírůstků. Průměrné přírůstky byly oproti kontrolnímu výzkumu o 23,81 % vyšší a průměrná délka u posledního dne měření byla pouze o 0,2 % menší. Při použití koncentrace 0,1 mg/ml byly průměrné přírůstky vyšší o 28,34 %, ale průměrné délky byly už menší o 3,02 %. Při vzrůstající koncentraci citrátového ferrofluidu byla tendence klíčivosti i růstu ve 3. a 5. dni měření sestupná.

Tabulka 7. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití citrátového ferrofluidu o koncentraci 0,1 mg/ml

Citrátový ferrofluid	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	0,67	20,00		
			16,07	482,20
3. den	16,74	502,20		
			41,03	1230,80
5. den	57,77	1733,00		

Tabulka 8. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití citrátového ferrofluidu o koncentraci 0,25 mg/ml

Citrátový ferrofluid	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	1,03	31,00		
			17,17	515,20
3. den	18,21	546,20		
			17,51	525,20
5. den	35,71	1071,40		

Tabulka 9. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití citrátového ferrofluidu o koncentraci 0,5 mg/ml

Citrátový ferrofluid	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	0,61	18,20		
			19,25	577,60
3. den	19,86	595,80		
			39,58	1187,40
5. den	59,44	1783,20		

Tabulka 10. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití citrátového ferrofluidu o koncentraci 1 mg/ml

Citrátový ferrofluid	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	0,63	19,00		
			17,54	526,20
3. den	18,17	545,20		
			21,77	653,20
5. den	39,95	1198,40		

7.4. VÝSLEDKY VÝZKUMU ZA POUŽITÍ ALKALICKÉHO FERROFLUIDU VČETNĚ KONTROLNÍHO VÝZKUMU OŠETŘENÉHO

Z naměřených hodnot jsme pro porovnávání přírůstků vypočetli průměrné hodnoty délek i přírůstků semenáčků (Tabulka 11, 12, 13, 14). Vliv alkalického ferrofluidu je zde výrazný a negativní. Čím vyšší koncentrace, tím, se strmě snižují průměrné délky i přírůstky. Hodnoty ve srovnání s kontrolním výzkumem, ale i citrátovým ferrofluidem jsou téměř nulové. Pouze u koncentrace 0,1 a 0,25 mg/ml jsou patrné přírůstky délek i průměrné přírůstky. Při koncentraci 0,25 mg/ml jsou sice v posledním dni průměrné přírůstky vyšší o 15,57 %, ale průměrná délka je o 10,25 % nižší.

Tabulka 11. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití alkalického ferrofluidu o koncentraci 0,1 mg/ml

Alkalický ferrofluid	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	1,23	36,80		
			25,90	777,00
3. den	27,13	813,80		
			29,81	894,20
5. den	56,93	1708,00		

Tabulka 12. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití alkalického ferrofluidu o koncentraci 0,25 mg/ml

Alkalický ferrofluid	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	0,60	18,00		
			16,44	493,20
3. den	17,04	511,20		
			36,99	1109,60
5. den	54,03	1620,80		

Tabulka 13. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití alkalického ferrofluidu o koncentraci 0,5 mg/ml

Alkalický ferrofluid	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	0,00	0,00		
			0,11	3,20
3. den	0,11	3,20		
			0,15	4,60
5. den	0,26	7,80		

Tabulka 14. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití alkalického ferrofluidu o koncentraci 1 mg/ml

Alkalický ferrofluid	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	0,00	0,00		
			0,00	0,00
3. den	0,00	0,00		
			0,08	2,40
5. den	0,08	2,40		

7.5. VÝSLEDKY KONTROLNÍHO VÝZKUMU POMOCÍ pH

Z naměřených hodnot jsme pro porovnávání přírůstků vypočetli průměrné hodnoty délek i přírůstků semenáčků (Tabulka 15, 16, 17). Negativní vliv je zde patrný u použití kyselého i alkalického ferrofluidu.

Velmi pozitivní vliv citrátového ferrofluidu za pomoci pH prostředí je zde výrazný. V posledním dni měření průměrná délka je o 11,82 % vyšší oproti kontrolnímu výzkumu a současně jsou i viditelné průměrné přírůstky a to o 17,14 % více.

Tabulka 15. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití kyselého ferrofluidu za pomoci pH prostředí

Kyselý ferrofluid + pH prostředí	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	0,09	2,80		
			2,05	61,60
3. den	2,15	64,40		
			4,78	143,40
5. den	6,93	207,80		

Tabulka 16. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití citrátového ferrofluidu za pomoci pH prostředí

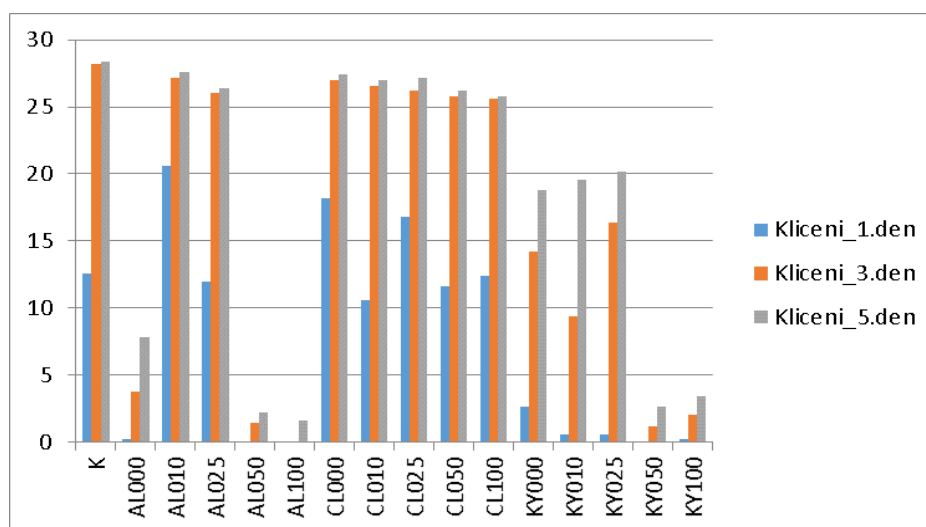
Citrátový ferrofluid + pH prostředí	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	1,22	36,60		
			27,93	838,00
3. den	29,15	874,60		
			37,45	1123,60
5. den	66,61	1998,20		

Tabulka 17. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití alkalického ferrofluidu za pomoci pH prostředí

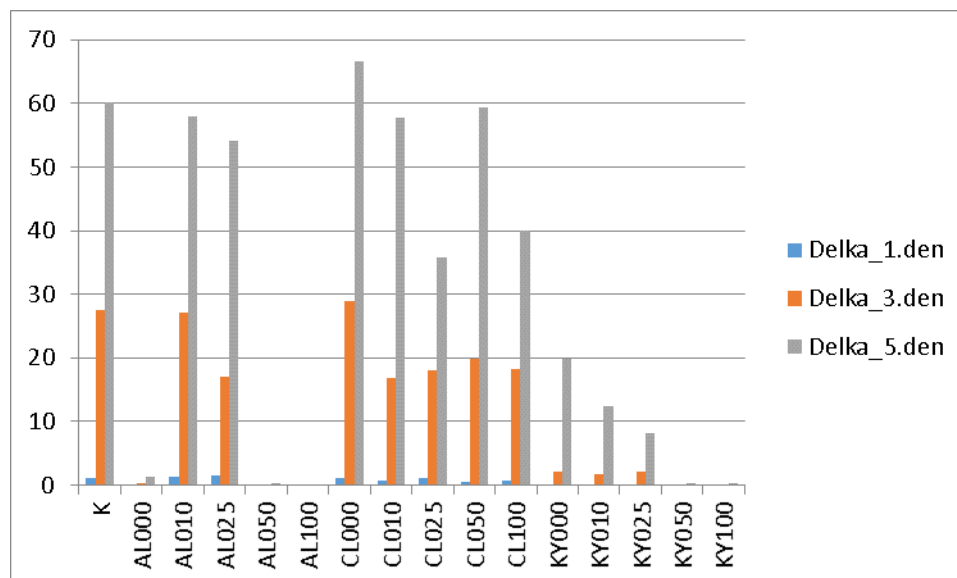
Alkalický ferrofluid + pH prostředí	Ø délek	Σ délek	Ø přírůstků	Σ přírůstků
1. den	0,01	0,20		
			0,38	11,40
3. den	0,39	11,60		
			0,97	29,20
5. den	1,36	40,80		

7.6. SOUHRNNÉ PROCENTUÁLNÍ VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Pro určení vlivu jednotlivých ferrofluidů byla data vyhodnocena vícefaktorovou analýzou variance (rozptylu) ANOVA, která umožňuje ověřit zda použité roztoky jsou rovnocenné kontrolnímu výzkumu. Průměry byly porovnány za použití Tukey HSD testu. Z výsledků tabulky 18 je patrné, že použití citrátového ferrofluidu o koncentraci 0,5 mg/ml je klíčení i délka semenáčků v posledním dni měření téměř srovnatelná s kontrolním měřením (Obrázek 10, 11 a Tabulka 18)).



Obrázek 10. Vliv na klíčivost za použití koncentrací ferrofluidů v jednotlivých prostředích



Obrázek 11. Vliv jednotlivých koncentrací ferrofluidů v daných prostředí na délku rostlin

Tabulka 18. Procentuální výsledky zjištěného měření klíčivosti a růstu bělohořčice seté

Varianta	Klíčení 1.den		Klíčení 3.den		Klíčení 5.den		Délka 1.den		Délka 3.den		Délka 5.den		Hmotnost čerstvá		Hmotnost sušina	
	%	HSD	%	HSD	%	HSD	%	HSD	%	HSD	%	HSD	%	HSD	%	HSD
K=100%																
K	100	a	100	a	100	a	100	a	100	b	100	a	100	a	100	ad
AL000	2	bc	13	b	27	bc	1	a	1	ac	2	b	36	b	118	bcd
AL010	163	b	96	a	97	a	112	a	98	b	96	a	113	a	111	ab
AL025	95	a	92	a	93	a	137	a	62	b	90	a	116	a	107	ab
AL050	0	bc	5	bc	8	c	0	a	0	ac	0	bc	40	bc	89	cd
AL100	0	bc	0	c	6	cd	0	a	0	ac	0	bc	41	bc	102	abd
K	100	a	100	a	100	a	100	a	100	a	100	a	100	acd	100	a
CL000	144	bc	96	a	96	a	112	a	105	a	111	a	36	b	118	a
CL010	84	a	94	a	95	a	61	ac	61	b	96	a	86	c	116	a
CL025	133	ac	93	a	96	a	95	ab	66	b	59	a	123	d	169	a
CL050	92	a	91	a	92	a	55	bc	72	b	99	a	101	acd	113	a
CL100	98	a	91	a	91	a	58	bc	66	b	66	a	104	acd	109	a
K	100	a	100	a	100	a	100	a	100	a	100	a	100	f	100	a
KY000	21	b	50	b	66	b	8	b	8	b	33	b	46	acd	104	a
KY010	5	b	33	c	69	b	3	b	6	b	21	b	56	abe	119	b
KY025	5	b	58	a	71	b	2	b	8	b	13	b	66	b	111	ab
KY050	0	b	4	d	9	c	0	b	0	b	0	b	34	c	112	ab
KY100	2	b	7	de	12	cd	1	b	0	b	1	b	38	ce	110	ab

Pozn.: Ve sloupcích HSD jsou uvedeny výsledky Tukey testu, různá písmena vyjadřují statisticky významný rozdíl (viz metodika)

8. DISKUSE

Téma zabývající se vlivem nanočástic na klíčivost semen se začíná objevovat v literatuře. Zjištěné výsledky a závěry jsou odlišné v závislosti na chemickém složení nanočástice, velikosti a podmínkách pokusů. Všechny práce byly prováděny s cílem zjistit největší dopad nanočástic na klíčivost i růst bělohořčice seté. Mezi nejdůležitější faktory, které ovlivňovaly rozdíly v klíčivosti použití kyselých ferrofluidů . U těchto kyselých ferrofluidů je výrazně nižší klíčivost a růst ve všech zkoumaných měření, Hmotnost čerstvých rostlin se procentuálně téměř neliší od hmotnosti sušiny. Z toho je patrné, že vlivem stresového faktoru a ferrofluidů si budoucí rostlina vytvářela mnohem více rostlinné hmoty.

V citrátovém prostředí nejsou znatelné výrazné změny při působení jednotlivých koncentrací ferrofluidů. Hmotnost čerstvých rostlin i sušiny se statisticky neliší od kontrolního výzkumu.

V alkalickém prostředí nejsou znatelné výrazné negativní změny vlivy ferrofluidů, ale statisticky jsou zde změny pozorovatelné. Při porovnání kontrolního výzkumu s výzkumem přes pH je vidět negativní působení alkalického prostředí. Tato data jsou statisticky zaznamenána a porovnávána v Tabulce 18.

Tato studie potvrdila výsledky Lopez-Luna J. et al (2015), že použití citrátu sodného jako surfaktantu pro magnetické částice vykazuje velmi malý až žádný toxický efekt na rostlinu.

Bombin S. et al. (2015) shrnul a ukázal, že obalení nanočástice má významný vliv na cytotoxicitu, což se potvrdilo i během této práce. Ve studii došel k závěru: *„Significant effects of both positively and negatively charged nanoparticles were observed on pollen viability, pollen tube growth and seed production. Additionally our results indicate that nanoparticles toxicity is highly dependent on nanoparticle concentration and on the number of nanoparticle applications to plants“*. (překlad: „Významné účinky obou kladně i negativně nabitých nanočástic byly pozorovány na

životaschopnosti pylu, růstu pylových láček a produkci semen. Výsledky ukazují, že toxicita nanomateriálů je vysoce závislá na koncentraci nanočástic a na počtu nanočástic aplikovaných na rostlinu “).

9. ZÁVĚR

Stanovený cíl této bakalářské práce byl splněn. Bylo zjištěno jaký vliv mají magnetické kapaliny na klíčivost a růst bělohořčice seté. Pro srovnání byl proveden kontrolní výzkum, který nám určoval jaká je klíčivost a růst bělohořčice seté v laboratorních podmínkách.

Nanočástice obsažené v roztocích ferrofluidů skutečně ovlivňovaly růst i klíčení semen. Z naměřených hod i statistického vyhodnocení velmi negativně na semena působil alkalický ferrofluid o koncentraci vyšší než 0,25 mg/ml. Při vysoké koncentraci těchto ferrofluidů docházelo k téměř nulové klíčivosti a pokud klíčivost nastala, klíčky u semenáčků nebyly schopné růstu.

Podobné tomu bylo i u kyselých ferrofluidů s vyšší koncentrací než 25 mg/ml. U nižší koncentrace kyselých ferrofluidů docházelo sice u 5. dne k téměř 70 % klíčivosti, ale délka semenáčků byla pouze 50 % oproti kontrolnímu výzkumu.

Pozitivní vliv na klíčivost a růst bělohořčice seté měl pouze citrátový ferrofluid a to pouze v koncentraci 50 mg/ml. Při této koncentraci docházelo jak k vyrovnanému klíčení, tak i k růstu v měřené délce semenáčků. Výsledkem tohoto zjištění, že v případě zachování počáteční opatrnosti by mohly nanočástice vstupovat do potravního řetězce člověka.

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Baluška F., et al., 2001: Nanotechnologies for pesticides and veterinary medicines: regulatory considerations. Australian: Pesticides and Veterinary Medicines Authority, 252 s., ISBN 978-1-922188-89-2 (electronic).

Bláha L., Šerá B. (eds), 2014: Příspěvky k problematice zemědělského pokusnictví: contribution to agricultural experimentation. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 140 s.

Bláha L., Šerá B. (eds), 2013: Význam celistvosti rostliny ve výzkumu, šlechtění a produkci: importance of plant integrity in research, plant breeding and production. Nové Hrady: Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Ústav nanobiologie a strukturní biologie, 195 s.

Bláha L., Šerá B. (eds), 2012: Vybrané kapitoly z fyziologie rostlin a zemědělského výzkumu: selected topics in plant physiology and agricultural research. Nové Hrady: Ústav nanobiologie a strukturní biologie CVGZ AV ČR v.v.i., 200 s.

Bláha L., Hnilička F. (eds), 2011: Aktuální kapitoly z fyziologie rostlin a zemědělského výzkumu 2011. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 256 s.

Bombin S., LeFebvre M., Sherwood J., Xu Y., Bao Y., Ramonell K., 2015: Developmental and Reproductive Effects of Iron Oxide Nanoparticles in *Arabidopsis thaliana*. International Journal of Molecular Science, 24174-24193 s. ISSN 1422-0067.

Borm P. J. A., Robbins D., Haubold S., Kuhlbusch T., Fissan H., Donaldson K., Schins R., Stone V., Kreyling W., Lademann J., Krutmann J., Warheit D., Oberdorster E. (2006): The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC. Particle and Fibre Toxicology 3:11.

Brar S. K., Verma M., Tyagi R. D., Surampalli R. Y. 2010. Engineered nanoparticles in wastewater and wastewater sludge – Evidence and impacts. *Waste Management*. 30, pp. 504-520.

Filipová Z., Kukutschová J., Mašláň M., 2012: Rizika nanomateriálů. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 88 s.

Fischer HC, Liu L., Pang KS, Chan WCW, 2006: Pharmacokinetics of nanoscale quantum dots: in vivo distribution, sequestration, and clearance in the rat. *Adv Funct Mater*, 16-1299-1305.

Hošek J., 2010: Úvod do nanotechnologie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 170 s.

Lopez-Luna J., de la Rosa G., Hernandez-Viezcás J.A., Castillo-Michel H., Botez, C.E., Penalta-Videa J.R., Gardea-Torresdey J.L., 2015: Developmental and Reproductive Effects of Iron Oxide Nanoparticles in *Arabidopsis thaliana*. *International Journal of Molecular Science*, 24174-24193 s. ISSN 1422-0067.

Mahmoudi M., Meng J., Xue X., Liang X. J., Rahman M., Pfeiffer Ch., Hartman R., Gil P. R., Pelaz B., Parak W. J., del Pino P., Carregal-Romero S., Kanaras A. G., Selvan S. T. 2014. Interaction of stable colloidal nanoparticles with cellular membranes. *Biotechnology Advances*. 32, pp. 679-692

Máchová J., Svobodová Z., Vykusová B., 1994: Ekotoxikologické hodnocení výluhů tuhých průmyslových odpadů. Vodňany: Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, s. p., 50 s.

Zhang X.-Q., Xu X., Bertrand N., Pridgen E., Swami A., Farokhzad O. C. 2012. Interactions of nanomaterials and biological systems: Implications to personalized nanomedicine. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 64, pp. 1363-1384

Attribution: „Thomas Brown [Attribution, CC BY-SA 2.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>)], via Wikimedia Commons.“
Převzato z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lotus_Leaf_\(5780807820\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lotus_Leaf_(5780807820).jpg)

Technická univerzita Liberec. Převzato z: <http://nano.tul.cz>

11. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Rozdělení rozměrové škály a směry základních přístupů tvorby nanostruktur (Hošek, 2010).....	3
Obrázek 2. Konstrukční prvky nanotechnologie (TU, Liberec).....	3
Obrázek 3. Charakter průběhu jednotlivých fází vědeckotechnického vývoje společnosti (Hošek, 2010).....	4
Obrázek 4. Lotosový efekt (attribution: Thomas Brown)	5
Obrázek 5. Obecný princip působení roztoku.....	7
Obrázek 6. Působení nanočástic	10
Obrázek 7. Semeno bělohořčice seté (vlastní fotografie).....	15
Obrázek 8. Petriho miska s pravidelně umístěnými semeny před klíčením s označenou první pozicí (červená barva uvnitř)	18
Obrázek 9. Petriho miska s naklíčenými semínky 30 semínek a pokus se provádí v 5ti miskách	19
Obrázek 10. Vliv na klíčivost za použití koncentrací ferrofluidů v jednotlivých prostředí.....	30
Obrázek 11. Vliv jednotlivých koncentrací ferrofluidů v daných prostředí na délku rostlin ..	31

12. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Výsledná tabulka před měřením a po měření kyselosti v pH	17
Tabulka 2. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků u neošetřené kontroly	23
Tabulka 3. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití kyselého ferrofluidu o koncentraci 0,1 mg/ml	24
Tabulka 4. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití kyselého ferrofluidu o koncentraci 0,25 mg/ml	24
Tabulka 5. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití kyselého ferrofluidu o koncentraci 0,5 mg/ml	24
Tabulka 6. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití kyselého ferrofluidu o koncentraci 1 mg/ml	25
Tabulka 7. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití citrátového ferrofluidu o koncentraci 0,1 mg/ml	26
Tabulka 8. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití citrátového ferrofluidu o koncentraci 0,25 mg/ml	26
Tabulka 9. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití citrátového ferrofluidu o koncentraci 0,5 mg/ml	26
Tabulka 10. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití citrátového ferrofluidu o koncentraci 1 mg/ml	27
Tabulka 11. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití alkalického ferrofluidu o koncentraci 0,1 mg/ml	27
Tabulka 12. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití alkalického ferrofluidu o koncentraci 0,25 mg/ml	28
Tabulka 13. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití alkalického ferrofluidu o koncentraci 0,5 mg/ml	28
Tabulka 14. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití alkalického ferrofluidu o koncentraci 1 mg/ml	28
Tabulka 15. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití kyselého ferrofluidu za pomoci pH prostředí	29

Tabulka 16. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití citrátového ferrofluidu za pomoci pH prostředí	29
Tabulka 17. Průměrné hodnoty délek a přírůstků semenáčků za použití alkalického ferrofluidu za pomoci pH prostředí	30
Tabulka 18. Procentuální výsledky zjištěného měření klíčivosti a růstu bělohořčice seté	31