

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
BIOLOĢIJAS FAKULTĀTE
AUGU FIZIOLOĢIJAS KATEDRA

SMAGĀ METĀLA SVINA UZKRĀŠANĀS KUKURŪZAS
AUGOS UN IETEKME UZ FIZIOLOĢISKAJIEM
PARAMETRIEM SAISTĪBĀ AR VERMIKOMPOSTA
SATURU SUBSTRĀTĀ

Bakalaura darbs

Autors: Zaiga Landorfa

Stud. apl. Nr. z111047

Darba vadītāja: Dr. biol., doc. Māra Vikmane

RĪGA 2017

KOPSAVILKUMS

Svina pieaugošā piesārņojuma un tā lielās toksicitātes dzīvajos organismos dēļ ir ļoti svarīgi meklēt efektīvus un praktiski pielietojamus līdzekļus, kas ļautu samazināt tā piesārņojumu. Pēdējā laikā tiek vērsta uzmanība uz dabiskas izcelsmes materiāliem kā iespējamiem svina saistītājiem. Viens no tādiem ir vermikomposts, kura sastāvā lielā daudzumā esošo humīnvielu spēja saistīt smagos metālus, tiek skaidrota ar vermikomposta iespējamo pozitīvo efektu.

Darba mērķis ir noskaidrot, kāda ir svina ietekme uz kukurūzas (*Zea mays*) augšanas un fizioloģiskajiem parametriem un kā tie izmainās, pievienojot substrātam vermikompostu, kā arī noteikt, vai pievienotais vermikomposts samazina svina uzkrāšanos augos.

Lai īstenotu darba mērķi, iekārtoja laboratorijas izmēģinājumu ar svina un 10, 20, 30% vermikomposta, kā arī kontroles (augšne) variantiem. Augu ontogēnēzē noteica augšanas, hlorofila satura un fluorescences rādītāju izmaiņas, auga svaigo un sauso masu, kā arī svina daudzumu saknēs un lapās.

Vermikomposts samazina svina negatīvo efektu, taču ne visos rezultātos tas redzams viennozīmīgi. Vermikomposts būtiski samazina svina uzkrāšanos kukurūzā. Vermikomposts 10 un 20% substrātā ir efektīvs līdzeklis svina uzkrāšanās un toksicitātes samazināšanā augos.

Atslēgas vārdi: svins, vermikomposts, *Zea mays*, augšana, hlorofila fluorescences.

SUMMARY

Because of increased pollution of lead and its high toxicity in living organisms, it is very important to find an effective and practical using means to reduce its pollution. In the last time it focuses on naturally-occurring material as possible lead bundler. One of these is the vermicompost, which contains large amount of humic substances which have the ability to bind heavy metals, this property is associated with the vermicompost potential positive effect.

The aim of this work is to find out, what is the effect of lead on corn (*Zea mays*) growth and physiological parameters and how they change with the addition of vermicompost in substrate, to determine whether the attached vermicompost reduces lead accumulation in the plant.

In order to achieve the aim of work there was placed laboratory experiment with a lead and control variants without vermicompost (soil) and 10%, 20% and 30% vermicompost variants. During ontogenesis of corn identified changes of growth parameters, chlorophyll content and fluorescence indicator changes, fresh and dry weight of the plant parts as well as the content of lead in leaf and roots.

Vermicompost reduce negative effects of lead, but not in all results it can see clearly. Vermicompost significantly reduces the lead accumulation in maize. The results show that vermicompost in 10% and 20% concentration is an effective means to reduce lead accumulation and toxicity in plants.

Key words: vermicompost, lead, *Zea mays*, growth, chlorophyll fluorescence.

SATURS

| | |
|---|----|
| IEVADS..... | 6 |
| 1. LITERATŪRAS APSKATS | 8 |
| 1.1 Svina piesārņojums, tā ietekme uz augu augšanu un attīstību | 8 |
| 1.1.1. Smagā metāla svina raksturojums un akumulācija augos | 8 |
| 1.1.2. Augu augšana un attīstība augsnes svina piesārņojuma ietekmē | 9 |
| 1.1.3. Fizioloģisko procesu aktivitātes izmaiņas augos svina piesārņojuma ietekmē | 10 |
| 1.2. Fotosintēze, tās raksturojums un nozīme augos..... | 12 |
| 1.2.1. Fotosintēzes raksturojums | 12 |
| 1.2.2. Hlorofila nozīme augos | 13 |
| 1.2.3. Hlorofila <i>a</i> fluorescences..... | 14 |
| 1.3. Vermikomposta raksturojums un ietekme uz augu augšanu | 16 |
| 1.3.1. Humīnvielas, to nozīme augu augšanā..... | 17 |
| 1.3.2. Humīnvielu ietekme uz smagajiem metāliem..... | 19 |
| 1.4. Kukurūzas raksturojums | 20 |
| 2. MATERIĀLI UN METODES | 22 |
| 2.1. Modeļobjekta kukurūzas šķirnes ‘Zlota Karlova’ raksturojums..... | 22 |
| 2.2. Vermikomposta ”Ekozeme” un augsnes raksturojums..... | 22 |
| 2.3. Laboratorijas izmēģinājuma iekārtošana | 23 |
| 2.4. Augu materiāla sagatavošana un augšanas apstākļu raksturojums | 25 |
| 2.5. Augšanas parametru (vasas garuma un masas) mērījumi | 25 |
| 2.6. Hlorofila kvantitatīvā noteikšana..... | 25 |
| 2.6. Hlorofila <i>a</i> fluorescences analīze..... | 26 |
| 2.8. Pb koncentrācijas noteikšana paraugos..... | 26 |
| 2.9. Datu apstrāde | 27 |
| 3. REZULTĀTI | 28 |
| 3.1. Svina un substrātā pievadītā vermikomposta ietekme uz augu augšanu | 28 |
| 3.1.1. Augšanas parametri | 28 |
| 3.1.2. Svaigās un sausās masas izmaiņas kukurūzā svina un vermikomposta ietekmē | 30 |
| 3.2. Fotosintēzi raksturojošu rādītāju izmaiņas kukurūzā svina un vermikomposta ietekmē.... | 33 |
| 3.2.1. Hlorofila daudzums | 33 |

| | |
|---|----|
| 3.2.2. Hlorofila <i>a</i> fluorescences parametri | 35 |
| 3.3. Svina koncentrāciju izmaiņas analīze | 39 |
| 4.DISKUSIJA | 42 |
| SECINĀJUMI..... | 47 |
| PATEICĪBAS..... | 48 |
| LITERATŪRAS SARAKSTS..... | 49 |

IEVADS

Smago metālu piesārņojums augsnē ir kļuvis par ļoti nopietnu problēmu mūsdienu pasaulē. Lielais rūpniecības apjoms, intensīvā lauksaimniecība, automobiļu izplūdes gāzes, metālrūpniecība ir izraisījuši smago metālu nokļūšanu vidē. Smago metālu pieaugošās koncentrācijas vidē jau ir kļuvušas dabai un cilvēkam kaitīgas.

Augi kā primārais akumulants smagos metālus uzņem no augsnes un nelielā daudzumā no gaisa. Viens no lielākajiem smago metālu piesārņotājiem ir svins (Pb). Tam, tāpat kā citiem smagajiem metāliem, ir būtiska ietekme uz augu attīstību, daudziem fizioloģiskajiem procesiem. Tā ietekmē samazinās ražu apjomi, ar augiem kā vienu no galvenajiem barības avotiem tas nokļūst cilvēka organismā un izraisa dažādas nopietnas veselības problēmas.

Lai risinātu smago metālu piesārņojuma problēmu, tiek meklētas un pētītas dažādas metodes, kā samazināt to daudzumu augsnē, uzņemšanu augos. Viens no piemēriem ir fitoremediācija – augu, hiperakumulantu, izmantošana, lai panāktu augsnes atbrīvošanu no smagajiem metāliem.

Tiek meklētas vēl arī citas alternatīvas. Viena no tām - dabiskas izcelsmes materiāli, kas varētu saistīt smago metālu jonus un tādējādi padarīt tos augiem nepieejamus. Viennozīmīgu secinājumu par efektīvāko līdzekli vēl nav, lai tos iegūtu, vēl ir jāveic daudzi pētījumi.

Viens no pētījumu objektiem ir vermikomposts. Tā labās īpašības un pozitīvais rezultāts saistīts ar vermikomposta sastāvā esošo humīnvielu spēju piesaistīt smagos metālus, kas novērstu to pieejamību augam. Vermikomposta kā efektīva līdzekļa izmantošana smago metālu saistīšanai augiem nepieejamā formā tiek pārbaudīta un pētīta eksperimentos, tomēr pētījumu vēl ir diezgan maz, kas ļautu izdarīt secinājumus, uz kuru pamata varētu izveidot universālu metodi, kurā iekļautas konkrētas koncentrācijas, iegūstamais rezultāts, ievērojot arī tā atšķirības starp sugām. Lai vermikompostu jau praktiski varētu izmantot lauksaimniecībā un citur stipri piesārņotās augsnēs smago metālu jonu saistīšanai, vēl jāveic liels daudzums pētījumu.

Bakalaura darbā pētīta smagā metāla svina uzkrāšanās kukurūzas *Zea mays* augos, ietekme uz augšanu, fizioloģisko procesu norisi, kā arī izraisīto efektu izmaiņas saistībā ar pievadītā vermikomposta koncentrāciju.

Darba mērķis ir noskaidrot kukurūzas augšanas un fizioloģisko parametru izmaiņas svina ietekmē, kā tās izmainās pievadot atšķirīgas vermikomposta koncentrācijas, kā arī to, vai ir vērojama vermikomposta pozitīvā ietekme svina uzkrāšanās samazināšanā.

Lai īstenotu darba mērķi, izvirzīti šādi uzdevumi:

- iekārtot laboratorijas izmēģinājumu augsnes kultūrā kukurūzas augiem ar kontroles, svina nitrāta un svina nitrāta sastāvā esoša slāpekļa (amonija nitrāta) variantiem pieaugošā vermikomposta koncentrācijā;
- noteikt svina uzkrāšanos augos saistībā ar vermikomposta saturu substrātā;
- raksturot kukurūzas augšanu vermikomposta, svina un slāpekļa ietekmē;
- noteikt hlorofila kvantitatīvo daudzumu augu lapās ontoģenēzē;
- noteikt fluorescences rādītājus F_v/F_m , F_v/F_o , RC/ABS, PI abs un PI total augu lapās ontoģenēzē;
- novākt eksperimentu un noskaidrot svina un svina nitrāta sastāvā esošā slāpekļa ietekmi uz augu biomasu saistībā ar vermikomposta saturu substrātā;
- atrast un skaidrot sakarību starp fizioloģisko parametru un kukurūzas biomasas izmaiņām saistībā ar svina, slāpekļa un vermikomposta saturu substrātā.

Darba hipotēze: vermikomposts substrātā samazina svina uzņemšanu augā un tā izraisītos negatīvos efektus fizioloģisko procesu norisē.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1 Svina piesārņojums, tā ietekme uz augu augšanu un attīstību

1.1.1. Smagā metāla svina raksturojums un akumulācija augos

Svins (Pb) ir viens no izplatītākajiem un toksiskākajiem smagajiem metāliem (Aira, 2002). Svina pielietošana ir ļoti daudzpusīga, to izmanto akumulatoru, cauruļvadu, ierīču, kas aizsargā pret radioaktīvo starojumu, krāsu, keramikas (svinu saturoša glazūra) ražošanā, tas tiek pievienots degvielai un atrodas automobiļu izplūdes gāzēs. Svina iegūšana no svinu saturošām rūdām, plašā izmantošana metālapstrādē un daudzveidīgās pielietošanas iespējas ir izraisījušas tā nokļūšanu vidē. Pagājušajā gadsimtā liels svina daudzums nokļuvis vidē lielās karadarbības apjoma dēļ. Svina koncentrācija piesārņotajās augsnēs ir 400 – 800 mg kg⁻¹, industriālajos rajonos var būt 1000 mg kg⁻¹ (Domy, 2001; Tangahu et al., 2011; Xu et al., 2016; Zhu, 2017). Svins ir toksisks cilvēka organismam, tā uzkrāšanās var izraisīt veselības problēmas: ietekmē nervu sistēmu, gremošanas, reproduktīvo un citas sistēmas (Taty-Costodes et al., 2003)

Svins nav augiem būtiski nepieciešamais minerālelements, taču, ja augsnē atrodas svina joni augiem pieejamā formā, tie tiek absorbēti un uzkrājas dažādās auga daļās, kur ietekmē fizioloģiskos procesus, attīstību. Svina jonu uzņemšanu augos regulē dažādi apstākļi, kā, piemēram, augsnes pH līmenis, augsnes daļiņu lielums, katjonu apmaiņas kapacitāte, sakņu eksudāti, sakņu virsmas laukums (Tangahu et al., 2011; Hadī, Aziz, 2015)

Svina uzņemšanu augu saknēs samazina svina jonu piesaistīšanās organiskiem vai koloidāliem materiāliem substrātā, svina nogulšņu veidošanās, kā arī paša auga izraisītas barjeras. Saknes izdala vielas – eksudātus, kas saista svina jonus un neļauj tiem nokļūt sakņu šūnās. Sakņu izdalītās gļotas satur uronskābes, pie kuru karboksilgrupām piesaistās svina joni, tādā veidā netiekot tālāk iekšā sakņu šūnās. Gļotām degradējoties, daļa saistīto metālu tiek atbrīvoti (Sharma, Shanker, 2005).

Ja svina joni nokļūst sakņu šūnās, to transports uz citām auga daļām arī tiek kavēts. Svins iekļūst saknēs, pievienojoties jonu apmaiņas vietām šūnapvalkos, kur lielākoties tiek uzglabāts svina karbonātu formā (Jarvis, Leung, 2002). Saknēs svins veido stipras saites ar karbohidrātgalaktouronskābes un glukuronskābes karboksilgrupām, kas ierobežo to transportu caur apoplastu. (Sharma, Shanker, 2005). Nepiesaistoties pie šīm vielām, svins radiāli saknes parenhīmas šūnās pārvietojas galvenokārt pa apoplastu, nešķērsojot membrānas, un akumulējas

pirms endodermas. Endoderma darbojas kā daļēja barjera svina transportam uz auga virszemes daļām, to nodrošina endodermas Kaspari svītras (Seregin, Ivanov, 1997; Verma, Dubey, 2003). Svina uzkrāšanās auga virszemes daļās ir novērojama mazākā koncentrācijā nekā saknēs. Svina transporta kavējošie mehānismi tomēr nespēj aizturēt visu saknēs uzņemto jonu daudzumu, ja tas ir liels, un daļa svina dažādās koncentrācijās uzkrājas arī citās auga daļās. Tajās svina koncentrācija samazinās virzienā no lapām uz stumbru, ziedkopu, sēklām. Šī secība var atšķirties starp augu sugām. Lielākā daļa svina uzkrājas šūnapvalkos, vakuolās (līdz pat 96%). Neliels daudzums svina sasniedz arī kodolu, hloroplastus un mitohondrijus (Sharma, Shanker, 2005).

1.1.2. Augu augšana un attīstība augsnes svina piesārņojuma ietekmē

Augā uzņemtie svina joni ietekmē fizioloģiskos procesus, kavē tā augšanu. Svina izsauktie efekti, to stiprums atkarīgs no uzņemtā svina daudzuma. Minimāli piesārņotā augsnē uzkrāto jonu ir tik maz, ka tie var arī būtiski neietekmēt auga procesus, attīstību, taču ļoti piesārņotā augsnē augšanas traucējumi un šūnu bojājumi var būt tik lieli, ka augs aiziet bojā. Vizuālie nespecifiskie svina toksicitātes simptomi ir strauja sakņu augšanas kavēšana, hloroze, kavēta auga augšana, sakņu melnēšana (Hadi F., Aziz. T. 2015).

Viens no iemesliem, kāpēc svina ietekmē tiek kavēta augu attīstība, izmainās fizioloģisko procesu aktivitāte, ir oksidatīvais stress, kuru, palielinot skābekļa aktīvo savienojumu veidošanos, izraisa svins. Skābekļa aktīvo formu uzkrāšanās rezultātā tiek nodarīts kaitējums šūnu membrānu funkcijām, augu augšanai (Sharma, Shanker, 2005, Hadi, Aziz, 2015).

Uz svina piesārņojumu vispirms reaģē auga saknes. Tās ātri atbild uz akumulēto svinu – samazinās to augšana, izmainās zarošanās raksts. Pētījumā par svina ietekmi uz augu augšanu *Zea mays* dīgštiem konstatēta spēcīga primāro sakņu augšanas kavēšana, īsāka zarošanās zona un kompaktākas laterālās saknes (Ravikumar, Thamizhiniyazin, 2014, Hadi, Aziz, 2015).. M. Wierzbicka pētījumā par svina nitrāta ietekmi uz sīpola sakņu augšanu noteikta sakņu augšanas samazināšanās. Izpētīts, ka šo augšanas samazināšanos ietekmē svina izraisīti mitotiski traucējumi, hromosomu lipīgums, kā rezultātā motiek šūnu dalīšanās kavēšana sakņu galos (Wierzbicka, 1994).

Nozīmīgi augšanas traucējumi, auga attīstības procesu kavēšana novērota arī citās auga daļās. Pētījumā par svina ietekmi uz rīsu sēklu dīgšanu un dīgstu augšanu novērots, ka svins kavē gan sēklu dīgšanu, gan dīgstu augšanu, samazinot sēklu dīgspēju, sakņu un dzinumumu garumu,

sakņu un dzinumumu sauso masu (Mishra, Choudhuri, 1998). Svina izraisītā augšanas kavēšana izraisa augu sausās masas samazināšanos. Pētījumos par svina ietekmi novērota vērā ņemama sausās masas samazināšanās svina variantu augiem. Tomēr dažos gadījumos novērots, ka svina ietekmē palielinās sausā masa. Autori to izskaidro ar palielinātu šūnapvalku polisaharīdu sintēzi svina iedarbībā (Wierzbicka, 1998).

1.1.3. Fizioloģisko procesu aktivitātes izmaiņas augos svina piesārņojuma ietekmē

Augu šūnās uzkrātie svina joni ietekmē ļoti daudzu fizioloģisko procesu norisi. Gandrīz visos gadījumos šī ietekme ir kavējoša, tā izraisa funkcionālus traucējumus, ietekmē vielu sintēzi, šūnu dalīšanos. Fizioloģisko procesu aktivitātes kavēšana izraisa auga augšanas samazināšanos, nepietiekamu vielu sintēzi un minerālvielu uzņemšanu, tā kavē auga attīstību. (Malkowski et al., 2005; Hadi, Aziz, 2015)

Svina ietekmē samazinās un tiek izmainīta dažādu vielu sintēze. Svina toksicitāte samazina proteīnu saturu audos un izraisa nozīmīgas izmaiņas lipīdu sastāvā. Dīgstošos rīsos novērots, ka palielinātā svina koncentrācijā samazinās DNS, RNS un proteīnu sintēze (Sharma, Shanker, 2005; Gautam et al., 2008). Pētījumā novērots, ka *Zea mays* augos svina ietekmē ir būtiskas glikolipīdu izmaiņas, īpaši monogalaktozil diaglicerolā, kas ir saistīts ar membrānu caurlaidību hloroplastos. Svina ietekmē samazinās nepiesātināto un palielinās piesātināto taukskābju saturs (Stefanov et al., 1993).

Svina toksicitāte izraisa daudzu enzīmu aktivitātes izmaiņas dažādos metaboliskajos ceļos. Lielākoties svina izraisītā enzīmu aktivitātes kavēšana ir rezultāts svina mijiedarbībai ar enzīmu – SH grupām. Vēl svina kavējošo iedarbību izraisa – COOH grupu bloķēšana. Svina joni kavē vienu no svarīgākajiem enzīmiem hlorofila biosintēzē – gamma-amino levulinātdehidrogenāzi. Svins kavē pentožu fosfāta ceļa enzīmu aktivitāti. Kavējošā darbība vērojama arī ribulozo-bis-fosfāta karboksilāzes un oksigenāzes un daudzu citu enzīmu darbībā (Hadi, Aziz, 2015).

Pētījumos ir pierādījusies arī svina aktivējošā ietekme uz enzīmu darbību. Šo procesu pamatā ir svina ietekmētas enzīmu sintēzes izmaiņas, enzīmu inhibitoru imobilizācija, svina toksicitātes izraisīta efektormolekulu sintēze. Dažādi pētījumi parāda acidofosfatāzes, alfa-amilāzes un peroksidāzes, RNS hidrolizējošo enzīmu ribonukleāzes un proteāzes aktivitātes paaugstināšanos (Sharma, Shanker, 2005).

Citu autoru pētījumos ir novērots, ka svins ietekmē arī elpošanas apjomus un ATP daudzumu. Augstās koncentrācijās svinam ir kavējoša iedarbība uz elpošanu un ATP sintēzi. Taču zemās koncentrācijās svinam ir stimulējoša ietekme uz elpošanu. Atdalītām zirņu, miežu, kukurūzas lapām 5 mM svina nitrātā 24 stundu intervālā novērota elpošanas stimulācija par 20-50%. Zirņu un kukurūzas lapās novērota svina izraisīta ATP satura palielināšanās un ATP/ADP attiecības pieaugums (Romanowska et al., 2002).

Svina ietekmē samazinās transpirācijas apjoms un ūdens daudzums audos. Piedāvātie skaidrojumi šim efektam ir svina izraisītā augšanas samazināšanās un attiecīgi arī svarīgākā transpirācijas orgāna – lapu – laukuma samazināšanās. Svins samazina to savienojumu daudzumu, kas ir saistīti ar šūnu turgora un šūnapvalku plasticitātes uzturēšanu, tādā veidā samazinot ūdens potenciālu šūnās. Svins palielina ABS daudzumu, tā veicinot atvārsnīšu aizvēršanos (Hadi, Aziz, 2015).

Pētījumos par augu minerālo barošanos konstatēts, ka svina ietekmē vērojamas izmaiņas minerālelementu uzņemšanā. Augsnē ar augstu svina saturu augiem ir izmaiņas minerālvielu balansā. Vairumā gadījumu svins bloķē katjonu – K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} un anjonu – NO_3^- uzņemšanu saknēs (Sharma, Shanker, 2005; Hadi, Aziz, 2015, 2005). Pētījumā par svina ietekmi uz labības dīgļiem svina toksicitāte izraisa kālija jonu noplūdi no sakņu šūnām (Malkowski et al., 2002).

Svins negatīvi ietekmē fotosintēzes procesu. Novērots, ka svins izraisa fotosintēzes intensitātes samazināšanos, kas ir rezultāts deformētai hloroplasta struktūrai, samazinātai hlorofila, blastohinona, karotinoīdu sintēzei, traucētam elektronu transportam, Kalvina cikla enzīmu aktivitātes kavēšanai. Svina ietekmē augos novērojama palielināta hlorofila degradācija, ko izraisa paaugstināta hlorofilāzes aktivitāte. Novērots, ka svina ietekme vairāk izpaužas uz hlorofilu *b* nekā hlorofilu *a* (Lamhamdi et al., 2013; Hadi, Ravikumar, Thamizhiniyazin, 2014, Aziz, 2015). Svins ietekmē donora un akceptora vietas fotosistēmā II, citohroma *b/f* kompleksā un fotosistēmā I. Fotosistēma II ir jutīgāka pret svina ietekmi nekā fotosistēma I (Vodnik et al., 1999).

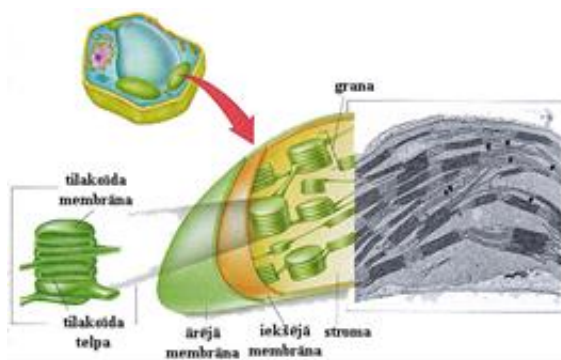
Ne visos gadījumos svina ietekme uz fotosintēzes procesu ir kavējoša. Pētījumā par svina ietekmi uz tilakoīdu veidošanos gurķos un papēlēs noteikts, ka zemās svina koncentrācijās ir vērojama hlorofila daudzuma palielināšanās, savukārt 50 mM svina koncentrācijā vērojama spēcīga hlorofila daudzuma samazināšanās (Sengar, Pandey, 1996).

1.2. Fotosintēze, tās raksturojums un nozīme augos

1.2.1. Fotosintēzes raksturojums

Fotosintēze ir process augos (arī aļģēs un daļā baktēriju), kurā gaismas kvantu enerģija, neorganiskās vielas ūdens un oglekškābā gāze tiek izmantoti, lai sintezētu ar enerģiju bagātus oglekļa savienojumus. Gaismas enerģiju fonu veidā uztver specializētas sistēmas un pārvērš ķīmisko saišu enerģijā, kas ir augiem izmantojama enerģijas forma (Mohr, Scopher, 1995; Leegood et al., 2000)

Fotosintēzi augos nodrošina hloroplasti – augu šūnu organellas, kas specializētas fotosintēzes procesa veikšanai. Hloroplasti gaismas ietekmē attīstās no meristēmu šūnu organellām proplastīdām. Hloroplastu kompartmenti ir iekšējā un ārējā hloroplasta membrāna, stroma – pusšķidra hloroplastu iekšējā vide, iekšējo membrānu sistēma – tilakoīdi, lumens - tilakoīdu iekšējā telpa, granas - tilakoīdu kaudzītes un lamellas, kas saista tilakoīdus starp granām (skatīt 1. attēlu). Tilakoīdu membrānās atrodas fotosintezējošie pigmenti. (Hopkins, Hüner, 2009)



1. attēls Hloroplasta uzbūve.

Figure 1. Structure of chloroplast.

(http://www.dzm.lu.lv/bio/IT/B_11/info_bio/h.html)

Fotosintēzes procesā gaismas enerģijas uztveršanu veic pigmenti – specifiskas molekulas, kas ir spējīgas absorbēt noteikta viļņa garuma gaismu. Augu pigmenti ir hlorofili, karotinoīdi, fikobilīni (ūdensaugiem) un antociāni. Antociāni atrodas vakuolās, nepiedalās fotosintēzē, bet gaismas enerģiju transformē siltuma enerģijā. Fotosintēzes procesā nozīmīgākais – hlorofils *a*. Fotosintēzes pigmenti apkopoti divās fotosistēmās (Mohr, Scopher, 1995; Hall, Rao, 1999).

Fotosintēzes procesu iedala no gaismas atkarīgajās jeb fotoķīmiskajās un no gaismas neatkarīgajās jeb bioķīmiskajās reakcijās. Gaismas reakcijas notiek tilakoīdu membrānās, tajās

sintezējas ATP un NADPH un izdalās skābeklis. Tumsas reakcijas notiek hloroplasta stromā, tajās sintezējas ogļhidrāti (Hall, Rao, 1999; Ieviņš, 2016).

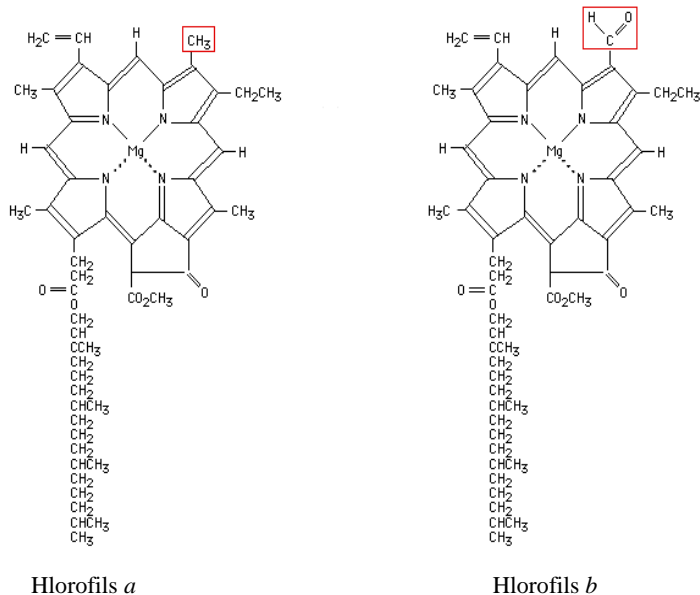
Fotosintēze sākas ar fotona uztveršanu, tas notiek fotosistēmu antenu pigmentu molekulās, kuras gaismas kvantu enerģiju (galvenokārt ar induktīvo rezonansi) nodod fotosistēmas centrā esošajai hlorofila *a* molekulai. Šī hlorofila molekula pāriet ierosinātā stāvoklī un nodod elektronu enerģijas pārnesei ķēdei. Katrai molekulai nododot elektronus pa šo ķēdi, notiek arī protonu pārvietošana starpmembrānu telpā, tas izraisa protonu gradienta veidošanos. Protonu gradients kā elektroķīmiskās enerģijas avots tiek izmantots ATP sintēzē. Elektronu donors elektronu enerģijas pārnesei ir ūdens. Atdodot elektronu, ūdens sadalās protonos un skābeklī. Iegūtās ATP molekulas tiek izmantotas saistītā CO₂ reducēšanai par ogļhidrātu molekulām. (Ieviņš, 2016)

Fotosintēzes procesa norisi nodrošina fotosistēmas - vairāki makromolekulārie kompleksi un to reakcijas. Fotosistēma I (FS I) un fotosistēma II (FS II) ir no gaismas atkarīgi pigmentu-proteīnu kompleksi. FS I ir plastocianīna-ferredoksīna oksidoreduktāze, ferredoksīnam pānesot elektronus uz NADP⁺ reduktāzi, H⁺ klātbūtnē veidojas NADPH. FS II ir ūdens-plastohinona oksidoreduktāze. Fotosistēmā II ar hlorofila *a* ierosināšanu un tā elektronu nodošanu feofitīnam sākas elektronu transports. Citohroma *b₆f* komplekss ir no gaismas neatkarīga plastohinola-plastocianīna oksidoreduktāze, kas veic protonu pārnesei no stromas uz tilakoīdu lūmenu. ATP sintāze, izmantojot elektronu transportā izveidojušos protonu gradientu, sintezē ATP (Hall, Rao, 1999; Ieviņš, 2016).

1.2.2. Hlorofila nozīme augos

Hlorofili ir svarīgākie fotosintēzes pigmenti, jo vienīgie, uztverot fotonus, spēj gaismas enerģiju pārvērst ķīmiskajā enerģijā, precīzāk, tieši hlorofils *a* to spēj. Šī enerģija tālāk tiek izmantota ogļhidrātu molekulu sintēzē. Bez hlorofiliem fotosintēzes process nebūtu iespējams (Mohr, Scopher, 1995).

Hlorofili pēc ķīmiskās uzbūves ir makromolekulāri tetrapiroli, tie satāv no tetrapirola (porfirīna) gredzena un fitola. Tetrapirola gredzena centrā atrodas Mg²⁺. Dabā ir sastopamas vairākas hlorofilu formas, vaskulārajos augos – tikai hlorofils *a* un hlorofils *b*. Tie atšķiras ar funkcionālo grupu 3. C pozīcijā, hlorofilam *b* tajā ir aldehīdgrupa, hlorofilam *a* – metilgrupa (skatīt 2. attēlu) (Mohr, Scopher, 1995; Raven, Johnson, 2002.).



2. attēls. Hlorofila *a* un *b* struktūrformulas.

Figure 2. Structure formulas of chlorophyll *a* and *b*.

Pārveidots no http://eesc.columbia.edu/courses/ees/slides/life/chlorophyll_a_b.gif

Hlorofila biosintēze norit hloroplastos vairāku reakciju procesā. Tā sākas ar aminolevulīnskābes sintēzi no glutamīnskābes. Tālāk enzīmu katalizētās reakcijās veidojas starpsavienojumi porfobilinogēns, protoporfirīns IX, monovinil-protohlorofilīds *a*, hlorofilīds *a* un pēdējā reakcijā pats hlorofils *a*, kura pārvēršanos par hlorofilu *b* katalizē hlorofila *a* oksigenāze (Ieviņš, 2016)

Hlorofila molekulas hloroplastos ir saistītas ar proteīniem. Tās atrodas fotosistēmas I un fotosistēmas II kompleksos. Hlorofils *b*, tāpat kā citi pigmenti, ir palīgpigments jeb antenas molekula. Hlorofils *a* ir reakcijas centra molekula. Antenas pigmenti absorbē fotonus un nodod tos tālāk reakcijas centra molekulai – hlorofilam *a*, kura elektroni tiek ierosināti. Hlorofils *a* gaismas enerģiju pārvērš ķīmiskajā, savus ierosinātos elektronus nododot elektronu akseptoriem pa elektronu transporta ceļu, kurā izveidojies protonu elektroķīmiskais gradients kalpo ATP un NADPH sintēzei. (Hopkins, Hüner, 2009)

1.2.3. Hlorofila *a* fluorescence

Hlorofils gaismu absorbē noteiktā gaismas viļņu spektra daļā, galvenokārt, zilajā un sarkanajā. Šī iemesla dēļ raksturīgā hlorofila krāsa ir zaļa. Hlorofilam *a* un hlorofilam *b* atšķiras

absorbcijas maksimumi – hlorofilam *a* sarkanajā spektra daļā tas ir 660 nm, hlorofilam *b* 640 nm un zilajā spektra daļā attiecīgi 440 un 460 nm. (Hall, Rao, 1999; Ieviņš, 2016)

Hlorofilam absorbējot sarkanās gaismas spektra daļu, ir novērojama fluorescence. Absorbējot zilās gaismas spektra daļu, ierosinātais hlorofils ātri pāriet zemākā ierosinājuma stāvoklī – 10^{-12} s laikā, kas ir nepietiekams laiks fluorescences indukcijai (Netto et al, 2005; Ieviņš, 2016).

Analizējot fluorescences intensitāti un citus rādītājus, var noteikt fotosintēzes intensitāti. Tā kā fotosintēzes process ir augu barības vielu avots un maksimālajā intensitātē var noritēt labvēlīgos apstākļos (ūdens pieejamība nepieciešamā daudzumā, gaismas daudzums, minerālvielas, kas nepieciešamas gan hlorofila, gan citu molekulu sintēzē u.c.), fotosintēzes intensitāte ir rādītājs, kas raksturo vispārējo auga stāvokli, dzīvotspēju. Fotosintēzes efektivitātes pazemināšanās liecina par nelabvēlīgām apstākļu izmaiņām, kas neļauj augam pilnvērtīgi funkcionēt (Mohr, Schopfer, 1995; Ieviņš, 2016).

Nosakot hlorofila *a* fluorescenci, var gūt priekšstatu par vispārējo fotosintēzes norisi (Hall, Rao, 1999). Jo spēcīgāka ir fluorescence, jo mazāk absorbētās enerģijas augs izmanto fotosintēzei (Netto et al, 2005).

Literatūrā visbiežāk atsaucas uz tādu rādītāju izmaiņām, kā F_v/F_m , RC/ABS, F_v/F_o un PI (Piniar *et al.*, 2005; Panda *et al.*, 2006; He *et al.*, 2008).

F_v/F_m raksturo FS II reakciju centru efektivitāti – parāda kāda daļa absorbētās gaismas aiziet uz fotosintēzi. Parametra samazināšanās norāda uz fotosistēmas spējas samazināšanos reducēt primāro akceptoru Q_a (Panda *et al.*, 2006), kā arī uz traucējumiem elektronu transporta ķēdē (Skorzynska-Polit, Baszynski, 2000). Par tipisko F_v/F_m rādītāja vērtību bezstresa apstākļos augošiem C_3 augiem uzskata absolūtāsvērtības no 0,800 līdz 0,830 (Bown *et al.*, 2009).

RC/ABS raksturo attiecību starp hlorofila molekulām reakciju centros un antenu pigmentiem (Piniar *et al.*, 2005). Reakcijas centrus veido fotoķīmiski aktīvas molekulas, bet antenu pigmenti kalpo kā „palīgpigmenti”. (Mohr, Schopfer, 1995). Antenu pigmentu skaita palielināšanās norāda uz fotosistēmu darbības traucējumiem, t.i. uz neaktīvo hlorofila molekulu daudzuma pieaugumu.

F_v/F_o – parāda ūdens fotolīzes aktivitāti. Parametrs attēlo mainīgas (F_v) un iekšējas nulles (F_o) fluorescences attiecību, to var interpretēt kā fotosistēmas II aktivitāti raksturojošo lielumu. Parametra samazināšanās norāda uz negatīvām izmaiņām fotosistēmas elektronu donoru pusē (Skorzynska-Polit, Baszynski, 2000).

PI raksturo auga vitalitātes stāvokli. Apvieno vairākus rādītājus, kas veicina fotosintēzes norisi, kā aktīvo reakciju centru blīvumu, uzņemtās enerģijas pārvietošanās ātrumu uz elektronu transporta ķēdēm un elektronu transporta enerģijas plūsmas ātrumu (Piniar *et al.*, 2005). Parametrs parāda fotosistēmas iekšējo kapacitāti – spēju pretoties vides radītajiem ierobežojumiem un līdz ar to spēju veikt fotosintētisko enerģijas pārvēršanās procesu.(He *et al.*, 2008).

1.3.Vermikomposta raksturojums un ietekme uz augu augšanu

Vermikomposts ir dabiskais mēslojums, ko iegūst, sliekām pārstrādājot organiskos atkritumus. Vermikompostēšanas procesā slieku zarnu mikroflora mineralizē organiskajās vielās saistītos barības elementus bioloģiski pieejamā formā. (Manyuchi *et al.*, 2013, Sahariah *et al.*, 2015,)

Vermikomposta auglību, pozitīvo ietekmi uz augu augšanu nosaka tā bagātīgais sastāvs. Vermikomposts satur lielu daudzumu minerālelementu, kas nepieciešami augu augšanai, tas ir bagāts ar slāpekli, kāliju, fosforu, kalciju, magniju. Turklāt šie minerālelementi ir augiem uzņemamā formā.(Sigh *et al.*, 2011; Manyuchi *et al.*, 2013). Vermikomposts satur arī organiskās vielas kā humīnvielas un fitohormonus – citokinīnus, auksīnus, giberelīnus. Vermikompostam ir augiem labvēlīgas fizikālās īpašības – tas uzlabo augsnes struktūru, ir porots, labi aerēts, labi saglabā ūdeni. Tas palielina augsnes „labvēlīgo“ mikroorganismu populāciju daudzveidību un aktivitāti (Sigh *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2015).

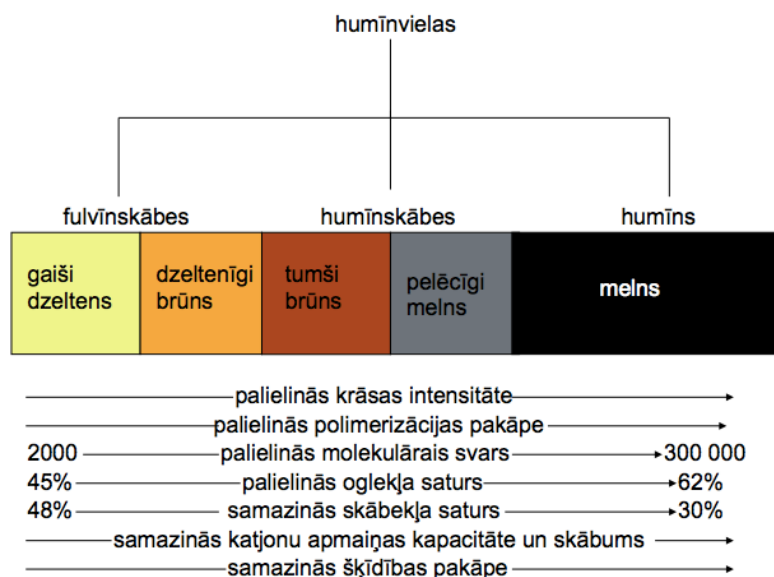
Vermikomposts daudzveidīgā sastāva un citu dažādo pozitīvo efektu dēļ būtiski uzlabo augu augšanu, ietekmē to fizioloģiskos procesus. Pētījumos par vermikomposta ietekmi pierādījies, ka tas uzlabo sēklu dīgšanu, dīgstu dzīvotspēju, augu augšanu, ziedēšanu, sakņu attīstību, augļu kvalitāti (Sigh *et al.*, 2011). Pēc Hussain u.c. eksperimenta vermikomposts koncentrācijās no 0,75% līdz 2% uzlabo bāmijas, gurķa, zeltainās pupiņas sēklu dīgšanu. Koncentrācija, kas lielāka par 2% samazina sēklu dīgšanu. Salīdzinot ar kontroles variantiem, *Parthenium* vermikomposts uzlaboja tādas augšanas parametrus kā dzinumumu garums, sakņu garums, dzinumumu un sakņu sausā masa. Zeltainajām pupiņām pozitīvs efekts konstatēts koncentrācijās 0,75 – 4%, bāmijai līdz 8% koncentrācijai, gurķim līdz 20% koncentrācijai (Hussain *et al.*, 2016).

Vermikomposts ir bagātīgs humīnvielu avots, kas ir svarīgākās organiskās vielas vidē. Tās sastopamas arī augsnes humusā, kompostos, ūdens vidē, kur veidojas organismu noārdīšanās

procesā, taču daudz lēnākā ātrumā nekā vermikomposta veidošanās procesā. Humīnvielas ir svarīgākais vermikomposta komponents, tās uzlabo minerālelementu uzņemšanu, augu metabolisma procesus, masas pieaugumu un arī citus jau iepriekš minētos vermikomposta efektus. Ar humīnvielām arī ir saistīta vermikomposta spēja neitralizēt smago metālu jonus (Chen, Aviad, 1990; Asik et al., 2009; Theng, Yuan, 2009; Meng et al., 2017).

1.3.1 Humīnvielas, to nozīme augu augšanā

Humīnvielas pēc to šķīdības tiek iedalītas trīs frakcijās - humīnskābes, fulvīnskābes, humīns. Humīnskābes ir šķīstošas sārmos, fulvīnskābes – sārmos un skābēs, bet humīns nešķīst ne sārmos, ne skābēs (skatīt 3. attēlu)(Theng, Yuan, 2009).



3. attēls. Humīnvielu klasifikācija un ķīmiskās īpašības.

Figure 4. Classification and chemical properties of humic substances.

No Ķirses A. Bakalaura darba (pārveidots no Stevenson 1982).

Pētījumi ļāvuši noskaidrot svarīgāko par humīnvielu uzbūvi un veidošanos, bet pilnīgu humīnvielu molekulāro uzbūvi un visas to veidošanās procesa reakcijas, kas saistītas ar to daudzveidīgajām īpašībām, vēl nav izdevies izpētīt. Dažādi autori uzskata, ka humīnvielas ir polimērs materiāls ar lielu molekulāro masu – 100-300 kDa – un ka to izcelsme ir lignīna sadalīšanās un abiotiskie katalizatori kā primārie minerāli, silikāti (Trevisan et al., 2010). Pēc Alvarez-Puebla u.c. modeļa humīnvielas ir makromolekulārs savienojums, kurā monomērās daļas

nejaušu oksidācijas un kondensācijas procesu rezultātā veido polimērus. Heterogēnās molekulas turas kopā, pateicoties hidrofobiskām mijiedarbībām un ūdeņraža saitēm. Šo spēku kopums stabilizē molekulāro agregātu struktūru (Alvarez-Puebla et al., 2005).

Humīnvielām ir ļoti daudzveidīga un būtiska ietekme uz augu augšanu. To ietekme var būt tieša vai netieša. Netiešie efekti ir augsnes īpašību uzlabošana kā augsnes sakopojumi, caurlaidība, aerācija, ūdens uzturēšanas kapacitāte, minerālvielu transports un pieejamība, mikrobioloģiskā aktivitāte un populācijas, katjonu apmaiņas kapacitāte. Tiešie efekti ir humīnvielu uzņemšana auga audos un to bioķīmiskā ietekme uz auga fizioloģiskajiem procesiem (Chen, Aviad, 1990; Mohamed, 2012).

Humīnvielu ietekme uz palielinātu minerālelementu daudzumu, paaugstinātu pieejamību un uzņemšanu augos saistīta ar paaugstinātu katjonu apmaiņas kapacitāti, humīnvielu spēju saistīt elementus, veidot ar tiem šķīstošus savienojumus. Ilggadēji humīnvielu pētījumi ļāvuši noskaidrot, ka to sastāvā ir karboksil un fenolu hidroksil grupas, kā rezultātā katjonu apmaiņas kapacitāte humīnvielās ir 5-100 reizes lielāka nekā vienkāršos māla minerālos (Meng et al., 2017). Humīnvielas var iedarboties ar oksīdiem, hidroksīdiem, minerālelementiem un organiskiem savienojumiem, metālu joniem, veidojot ūdenī šķīstošus vai nešķīstošus savienojumus. Caur šo savienojumu veidošanu humīnvielas var mobilizēt, izšķīdināt, transportēt metālu jonus un organiskos savienojumus augsnē un ūdenī, akumulēt tos augsnes horizontos (Trevisan et al., 2010).

Daudzi pētījumi pierādījuši, ka humīnvielas palielina uzņemto minerālelementu daudzumu. Piemēram, pētījumā par humīnvielu ietekmi uz minerālvielu uzņemšanu kviešos sāls apstākļos, pierādīts, ka humīnskābes palielina P, K, Mg, Na, Cu un Zn uzņemšanu (Asik et al., 2009). Pētot humīnvielu frakcijas humīnskābju ietekmi, noskaidrots, ka humīnskābes palielina slāpekļa uzņemšanu kukurūzas dzinumos (Canellas et al., 2010). Uzņemto minerālelementu daudzuma palielināšanās uzlabo daudzus augu attīstības rādītājus. Novērots, ka humīnskābju stimulējošajam efektam uz augu augšanu ir korelācija ar paaugstinātu minerālelementu uzņemšanu (Chen, Aviad, 1990).

Pētījumi par humīnvielu ietekmi uz augu augšanu parādījuši to pozitīvo ietekmi uz augu biomasas pieaugumu. Daudzos pētījumos pierādīts, ka humīnvielas uzlabo sakņu, lapu un dzinumu augšanu, daudzu labības sugu dīgšanu (Trevisan et al., 2010). Novērots sakņu garuma pieaugums un sekundāro sakņu attīstības stimulācija (Chen, Aviad, 1990), palielināta dīgšana un dīgstu augšana (Asik et al., 2009). Pētījumā par humīnskābju un fulvīnskābju ietekmi uz

balzamīnes attīstību, noskaidrots, ka gan humīnskābes, gan fulvīnskābes ietekmē augu garumu, ziedu un pumpuru daudzumu, sakņu un dzinumu sauso un svaigo masu, augu diametru. Abu humīnvielu frakciju pozitīvākā ietekme novērojama koncentrācijā 40 mg kg⁻¹ (Esringū et al., 2015). Humīnvielu ietekme uz augu augšanu ir atkarīga no to koncentrācijas, sugas, substrāta (Trevisan et al., 2010).

Augšanas aktivitātes palielināšanās saistīta ar humīnvielu ietekmi arī uz citiem procesiem ne tikai minerālelementu daudzuma un pieejamības paaugstināšanu. Daudzos pētījumos pierādītā humīnvielu pozitīvā ietekme uz sakņu, lapu un dzinumu augšanu tiek skaidrota ar humīnvielu iedarbību fizioloģiskos un metaboliskos procesos. Humīnskābju ietekmē paaugstinās fotosintēzes efektivitāte un palielinās hlorofila daudzums (Esringū et al., 2015). Nelielas humīnvielu frakcijas var tikt uzņemtas augā, kur tās palielina membrānu caurlaidību (Chen, Aviad, 1990). Humīnvielu ietekme uz augu metaboliskajiem procesiem ir elpošanas, enzīmu aktivitātes un proteīnu sintēzes izmaiņas. Humīnvielu ietekmes izpētes studijas ļāvušas pieņemt hipotēzi, ka humīnvielas ietekmē augu attīstību, iedarbojoties gēnu transkripcijā, kas iesaistīti meristēmu veidošanā un organizācijā, šūnas cikla un mikrocaurulīšu veidošanās organizācijā, citokinēzē (Trevisan et al., 2010).

Svarīgi, ka humīnvielu pozitīvais efekts ir atkarīgs arī no to koncentrācijas augsnē. Tipiska reakciju dinamika ir palielināta augšana, palielinoties humīnvielu koncentrācijai, bet ļoti augstās koncentrācijās humīnvielas kavē augu augšanu. (Chen, Aviad, 1990)

1.3.2. Humīnvielu ietekme uz smagajiem metāliem

Smago metālu pieaugošā piesārņojuma dēļ pēdējos gados tiek veikti pētījumi, lai atklātu efektīvus, lētus, praktiski izmantojamus līdzekļus to toksicitātes samazināšanai. Vieni no pētījumu objektiem – potenciālajiem smago metālu saistītājiem – ir organiskas izcelsmes materiāli. Tie ir kokogles, augu daļu pārpalikumi kā salmi, arī vermikomposts. Tā spējas samazināt smago metālu toksicitāti ir saistītas ar humīnvielām, kas, kā citu metālu saistīšanu un transportēšanu, ietekmē arī smago metālu procesus augsnē (Bakar et al., 2015; Meng et al., 2017).

Humīnvielu sastāvā esošās karboksil un fenolu hidroksil grupas spēj piesaistīt smago metālu jonus, veidojot virsmas savienojumus ar tiem (Meng et al., 2017). Humīnvielas var iedarboties ar smago metālu joniem, veidojot ūdenī šķīstošus vai nešķīstošus savienojumus.

Smago metālu savienojumu akumulācija substrātā var samazināt to toksicitāti (Trevisan et al., 2010).

Veiktajos pētījumos ir novērots, ka vermikomposts ir spējīgs saistīt smagos metālus un tā ietekmē samazinās augos uzņemtais smago metālu daudzums. Zhu u.c. pētījumā par govju mēslu un to vermikomposta ietekmi uz smago metālu Pb^{2+} un Cd^{2+} saistīšanu vidē noskaidrots, ka vermikomposts labāk saista metālus, bet efektīvi to dara arī govju mēsli. Abi materiāli svinu saista apmēram 3-4 reizes labāk nekā kadmiju. Pēc Pinto u.c. eksperimenta no bioloģiskajiem materiāliem kā augsnes remediatoriem labākie rādītāji ir vermikompostam un vermikomposta cietajiem atlikumiem. Šiem materiāliem ir augsta kadmija aizturēšanas kapacitāte, kā arī zema kadmija pieejamība augiem (Pinto et al., 2016; Zhu et al., 2017).

1.4. Kukurūzas raksturojums

Bakalaura darbā par modeļobjektu izmantots viendīgļlapju klases, graudzāļu dzimtas, kukurūzu ģints augs parastā kukurūza *Zea mays*. Kukurūza ir kultūraugs, graudaugs, taču morfoloģiski tā atšķiras no citām labības sugām.

Parastā kukurūza ir viengadīgs lakstaugs. Tās stumbrs (jeb stublājs) atkarībā no šķirnes var sasniegt 0,6-6 m garumu, tas ir spēcīgs, resns, ar irdenu serdi. Stumbru posmos sadala mezgli, tajos attīstās lapas. Kukurūzu lapas ir platas, garas (līdz pat 1 m), ar lineāru dzīslējumu. Vienam stumbram atkarībā no tā formas izveidojas 8-45 lapas. Kukurūzas saknes ir spēcīgi attīstītas, attīstības sākumā no dīglsaknes veidojas primārā sakņu sistēma, pēc tam no stumbra apakšzemes posmiem attīstās sekundārā sakņu sistēma. No stumbra virszemes apakšējiem mezglēm veidojas balstssaknes jeb gaisa saknes, tās palielina stumbra stabilitāti, nodrošina izturību pret veldri.

Kukurūza ir vienmājas augs ar šķirtdzimuma ziediem, tai raksturīga svešappute. Apputeksnēšanu nodrošina vējš. Stumbra galos veidojas skaras ar vīrišķajiem ziediem, lapu žāklēs izvietojas sievišķās ziedkopas – vālītes. Tajās pēc apaugļošanās izveidojas graudi. Vālītēm ir cilindriskā vai nedaudz koniskā forma, tās ietver seglapas. Apputeksnēšanos nodrošina ļoti gari matveida irbuļi., ziedu nogatavošanās laikā, tiem pagarinoties, drīksnas izaug, parādās virs seglapām.

Kukurūzas pēc graudu veida, graudu iekšējās uzbūves un plēkšķainības iedala 8 varietātēs (Ruža u.c., 2004).

2. MATERIĀLI UN METODEDES

2.1. Modelobjekta kukurūzas šķirnes ‘Zlota Karlova’ raksturojums

Bakalaura darba laboratorijas izmēģinājumos izmantoja parastās kukurūzas (*Zea mays*) cukura varietātes (*Saccharata*) šķirni ‘Zlota Karlova’. Sēklas ir poļu izcelsmes, ražojusi firma Toraf. Iepakojumā - 20 g sēklu, 1g satur 5 - 7 sēklas. Tās nav bojātas vai pelējušas, derīgas līdz 2019. gada decembrim. ‘Zlota Karlova’ ir ļoti agrīna kukurūzas šķirne, tehnisko gatavību tā sasniedz 90 dienu laikā. Augi ir līdz 140 cm augsti, vāļītes 10 - 17 cm garas, cilindriskas formas. Sēklas sēj aprīlī līdz jūnijā 4 - 6 cm dziļumā, 25 - 30 cm attālumā. Piemērotas audzēšanai saulainās, no valdošiem vējiem pasargātās vietās auglīgās augsnēs.

2.2. Vermikomposta ‘Ekozeme’ un augsnes raksturojums

Laboratorijas izmēģinājumos izmantots vermikomposts ‘Ekozeme’ un smilšmāla augsne (no ZVidzemes). Vermikomposta minerālelementu sastāvu, tāpat arī izmantotās augsnes sastāvu, noteica Latvijas Universitātes Bioloģijas institūta augu minerālās barošanās laboratorijas vadītāja A. Osvalde (skatīt 2.1. tabulu).

2.1 tabula

Eksperimentā izmantotās augsnes un vermikomposta minerālelementu sastāvs.

Table 2.1.

The content of mineralelements in soil and vermicompst used in experiment.

| Elements | Augsne | Vermikomposts “Ekozeme” |
|-------------------|--------|----------------------------|
| N | 90 | 730 |
| P | 316 | 4251 |
| K | 560 | 16500 |
| Ca | 1700 | 25000 |
| Mg | 320 | 4500 |
| S | 23 | 925 |
| Fe | 925 | 420 |
| Mn | 145 | 165 |
| Zn | 11 | 80 |
| Cu | 2.75 | 6.00 |
| Mo | 0.09 | 0.04 |
| B | 1.1 | 3.0 |
| Na | 32 | 780 |
| pH _{KCl} | 5.87 | 7.29 |
| EC mS/cm | 1.84 | 36.7 |

2.3. Laboratorijas izmēģinājuma iekārtošana

Laboratorijas izmēģinājumu iekārtoja Rīgā, Dabaszinātņu akadēmiskā centra siltumnīcā 2017. gada 14. februārī un novāca 6. aprīlī.

Izmēģinājumā iekārtoja kontroles (augzne) un trīs vermikomposta koncentrāciju variantus – 10%, 20% un 30% no kopējā substrāta tilpuma. Pilotizmēģinājumā noskaidroja optimālo svina koncentrāciju - 1000 mg l⁻¹ tīrvielas. Kā svina avotu izmantoja svina nitrātu Pb(NO₃)₂. Tā kā savienojumā ir slāpeklis, katrā vermikomposta koncentrācijas variantā iekārtoja papildus variantu, lai noskaidrotu, kāda ir slāpekļa ietekme uz augiem. Izmantoja amonija nitrātu NH₄NO₃. Izmēģinājuma varianti - 2.2.tabulā. Izmēģinājumu iekārtoja 1 litra veģetācijas traukos. Pēc elementārās bilances metodes (Riņķis, Ramane 1989). aprēķināja, cik vienam litram substrāta jāpievieno attiecīgi svina nitrāts un amonija nitrāts.

$$x = A \cdot 100 \cdot B^{-1}$$

x – vielas (mēslojuma deva) mg·l⁻¹

A – tīrviela savienojumā (mēslojuma devā) %

B – tīrviela molekulā %.

Aprēķina piemērs: cik mg·l⁻¹ jāpievieno substrātam Pb(NO₃)₂ un NH₄NO₃, lai pievadītu attiecīgo Pb un N daudzumu?

| Pb(NO ₃) ₂ | NH ₄ NO ₃ |
|--|--|
| Pb ₁₀₀₀ = 1000 · 100 · 62,56 ⁻¹ = 1598 mg·kg | 1. Cik šajos mg Pb(NO ₃) ₂ ir N tīrvielas %? $1598 = x \cdot 100 \cdot 8,5^{-1} = 135,9$ 2. Cik jāpievieno NH ₄ NO ₃ lai iegūtu šo tīvielu? $Pb_{1000} = 135,9 \cdot 100 \cdot 35^{-1} = 388 \text{ mg} \cdot \text{kg}$ |

Svina nitrātu un amonija nitrātu pagatavoja 10% dejonizēta ūdens šķīdumā.

2.2 tabula.

Izmēģinājuma varianti, vermikomposta (%), svina nitrāta un amonija nitrāta daudzums viena parauga substrātā.

Table 2.2.

Experiment variants, vermicompost (%), lead nitrate and amonium nitrate amount in one example substrate.

| Variants | Pb (NO ₃) ₂ | | NH ₄ NO ₃ | |
|---|------------------------------------|---------|---------------------------------|---------|
| | mg l ⁻¹ | ml, 10% | mg l ⁻¹ | ml, 10% |
| VC ₀ augsne | - | - | - | - |
| VC ₀ +N _(no Pb 1000) | - | - | 388 | 3,8 |
| VC ₀ + Pb ₁₀₀₀ | 1598 | 16 | - | - |
| VC ₁₀ | | | | |
| VC ₁₀ +N _(no Pb 1000) | | | 388 | 3,8 |
| VC ₁₀ + Pb ₁₀₀₀ | 1598 | 16 | | |
| VC ₂₀ | | | | |
| VC ₂₀ +N _(no Pb 1000) | | | 388 | 3,8 |
| VC ₂₀ + Pb ₁₀₀₀ | 1598 | 16 | | |
| VC ₃₀ | | | | |
| VC ₃₀ +N _(no Pb 1000) | | | 388 | 3,8 |
| VC ₃₀ + Pb ₁₀₀₀ | 1598 | 16 | | |

Kopā ir 12 varianti, bioloģisko atkārtojumu skaits katram variantam – 10.

Vermikompostu pievienoja: 10% variantā – 100 ml uz 1 l substrāta, 20% variantā - 200 ml un 30% variantā - 300 ml. Vienlaikus 20 litru tilpuma plastmasa traukā sagatavoja substrātu katra varianta 10 paraugiem, augsnei pievienojot attiecīgo vermikomposta daudzumu, lai substrāta kopējais tilpums būtu 10 litri. Augsnes varianti – bez vermikomposta. Tad pievienoja attiecīgos svina nitrāta un amonija nitrāta 10% šķīduma daudzumus. Kontroles variantu substrātiem pievienoja tādu pat daudzumu dejonizētu ūdeni. Pagatavoto substrātu maisīja, līdz tas sasniedza vienmērīgu konsistenci. Tad to sadalīja vienādās daļās un ievietoja 1 l veģetācijas traukos.

2.4 Augu materiāla sagatavošana un augšanas apstākļu raksturojums

Kukurūzas sēklas starp filtrpapīriem diedzēja 5 dienas. Katram izmēģinājuma variantam sagatavoja 10 veģetācijas traukus. Traukā apmēram 1cm dziļumā iedēstīja sadīgušās sēklas. Veģetācijas traukus uz 5 dienām pārklāja ar tumšu plēvi, lai nodrošinātu mitrumu un tumsu, kas veicina sēklu dīgšanu.

Kukurūzu laistīja divas reizes nedēļā, eksperimenta beigās – katru dienu, ar dejonizētu ūdeni. Pirmo reizi augus laistīja piecas dienas pēc iesēšanas. Katrā laistīšanas reizē mainīja trauku izkārtojumu ar www.random.org funkciju, kas ļauj izveidot nejaušas rindas. Trešajā eksperimenta nedēļā no katra varianta 10 bioloģiskajiem atkārtojumiem izvēlējās 5 tipiskākos, kurus izmantoja turpmākajiem mērījumiem.

2.5. Augšanas parametru (vasas garuma un masas) mērījumi

Laboratorijas izmēģinājuma laikā, sākot ar trešo nedēļu, katru nedēļu mērīja augu garumu, to mērot līdz garākās lapas galam.

Laboratorijas izmēģinājuma novākšanas dienā noteica šādus augšanas parametrus: lapu svaigā masa, stumbra svaigā masa, stumbra garums līdz ziedkopas sākumam, zieda svaigā masa. Pēc auga daļu paraugu iegūšanas un nomērīšanas tos lika termostatā 60 °C temperatūrā, lapas un ziedus žāvēja 3-5 dienas (atkarībā no viena auga lapu daudzuma un masas, zieda lieluma), stumbrus nedēļu līdz pusotrai nedēļai. Nedēļu pēc izžāvēšanas un augu daļu uzglabāšanas istabas temperatūrā (~ 22 °C) noteica sauso masu.

Trīs dienas pēc laboratorijas izmēģinājuma novākšanas skaloja augu saknes, pēc izskalošanas tās nosusināja, ļāva nožūt apmēram trīs stundas, tad noteica sakņu svaigo masu. Saknes lika termostatā 60 °C temperatūrā, žāvēja trīs dienas, nosvēra sakņu sauso masu.

2.6. Hlorofila kvantitatīvā noteikšana

Sākot ar kukurūzas augšanas ceturto nedēļu, katru nedēļu mērīja hlorofila kvantitatīvo daudzumu lapās. Mērīšanu veica, izmantojot hlorofila satura mērītāju CCCM-300 (*OptiSciences, Inc*). Sākot mērījumus, to nokalibrēja, tad auga lapu ielika spraugā mēraparāta galviņā, tā lai netiktu saspīestas un mērītas lapas dzīslas, sagaidīja pīkstienu, kas nozīmē, ka mērījums veikts,

un turpināja mērīšanu citām lapām. Ar hlorofila satura mērītāju noteica hlorofila daudzumu $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$.

2.6. Hlorofila *a* fluorescences analīze

Hlorofila *a* fluorescences analīzei izmantoja hlorofila *a* fluorescences mērītāju Handy PEA (*Hansatech Instruments*). Tas darbojas pēc nepārtrauktās (ātrās) fluorescences analīzes jeb OJIP testa. Mērāmie paraugi tika aptumšoti vismaz uz 20 minūtēm. Tas nepieciešams, lai mērīšanas laikā visas antenu pigmentu molekulas būtu vienādā stāvoklī un būtu iespējams nomērīt parauga maksimālo fotoķīmisko aktivitāti. Paraugu aptumšošanai izmanto speciālus klipšus, 20 min. pēc aptumšošanas tiem pielika aparāta sensorus, tos attaisīja un veica mērījumu. Balstoties uz hlorofila *a* fluorescenci, Handy PEA veic ļoti daudz fotosintēzi raksturojošu parametru analīzi. Svarīgākie no tiem, kurus izmanto fotosintēzes efektivitātes raksturošanai, ir Fv/Fm, Fv/Fo, PI Inst, ABS/RC, PI abs, PI total. Iepriekš literatūras apskatā jau tika izklāstīts, ko katrs no šiem simboliem raksturo.

Hlorofila *a* fluorescences analīzi veica katru nedēļu (reizi nedēļā), sākot ar ceturto eksperimenta nedēļu.

2.8. Pb koncentrācijas noteikšana paraugos

Svina jonu koncentrāciju lapu un sakņu paraugos noteica BIOR institūta Pārtikas un vides izmeklējumu laboratorijas laborants Konstantīns Bavrins, izmantojot induktīvi saistītās plazmas masspektrometru 7700 Series ICP-MS (*Agilent Technologies*). Darba autore piedalījās paraugu sagatavošanas procesā.

Svina koncentrāciju noteica svina variantu un kontroles varianta augu lapu un sakņu paraugiem. Analīzei izmantoja katra varianta 5 augu (saknēm 3) homogēnu sauso masu. Paraugu sagatavošanai izmantoja 0.3 mg katra varianta sausās masas. Tam pievienoja ūdeņraža peroksīdu (H_2O_2), lai samazinātu gāzu izdalīšanos tālākajā apstrādes procesā, un slāpekļskābi, kas izvelk metālus. Sagatavotos paraugus karsēja mikroviļņu krāsnī MARS 6 203/60 (*Matthevs, NC*) speciālā režīmā. Tad tos ievietoja induktīvi saistītās plazmas masspektrometrā, kur, paraugu izsmidzinot, tas pāriet gāzes stāvoklī, tad tiek aizdedzināts un pāriet plazmas stāvoklī – tajā

elementi sadalās izotopos, kurus nosaka pēc to masas un koncentrāciju paraugā - pēc to daudzuma (nepublicēta informācija pēc K. Bavrina).

2.9. Datu apstrāde

Darbā iegūtos datus apstrādāja ar datorprogrammu Microsoft Excel, aprēķinot vidējās aritmētiskās vērtības, standartkļūdu, izveidojot atbilstošus grafikus. Statistiski nozīmīgas izmaiņas rezultātos tika noteiktas, izmantojot t-testu pie ticamības līmeņa 0.95.

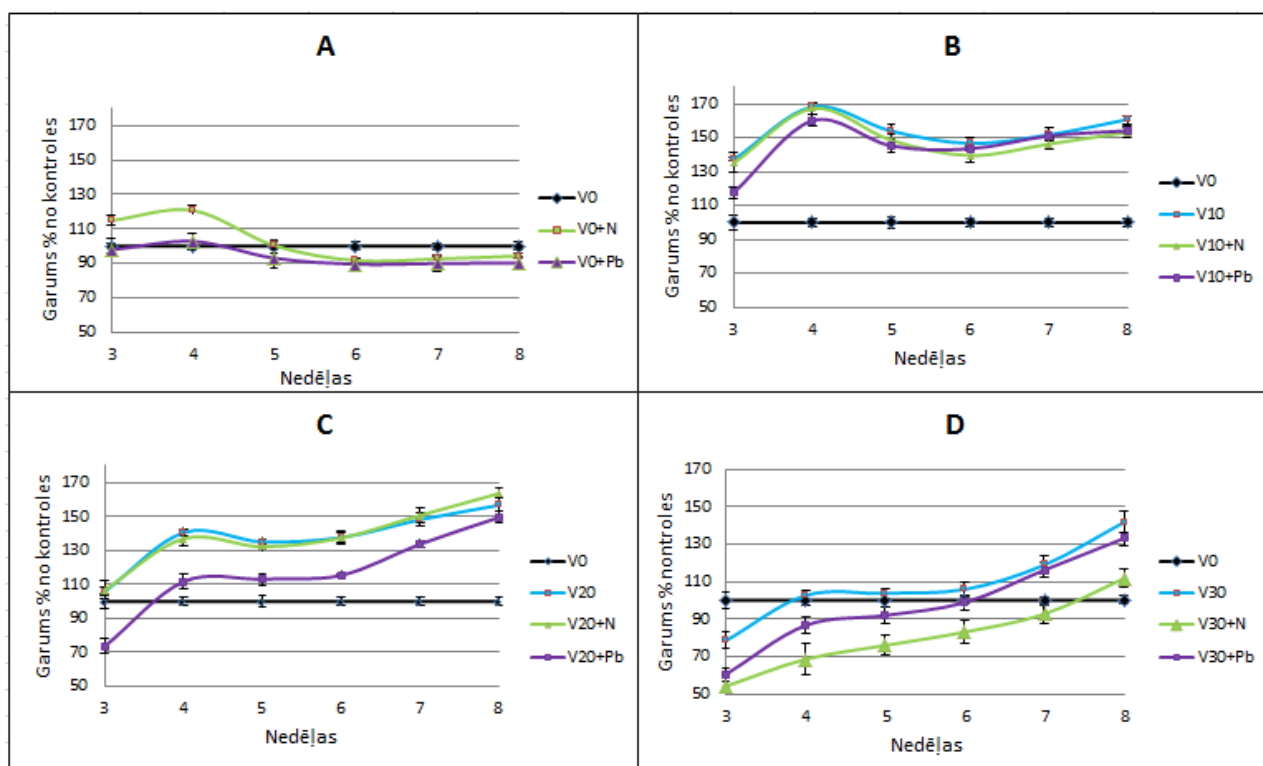
3. REZULTĀTI

3.1. Svina un substrātā pievadītā vermikomposta ietekme uz augu augšanu

Lai raksturotu augu augšanu svina un vermikomposta ietekmē, ontogēnēzes laikā veica augu garuma mērījumus, pēc eksperimenta novākšanas augu daļas nosvēra un ieguva to svaigās masas, pēc izžāvēšanas ieguva sausās masas.

3.1.1. Augšanas parametri

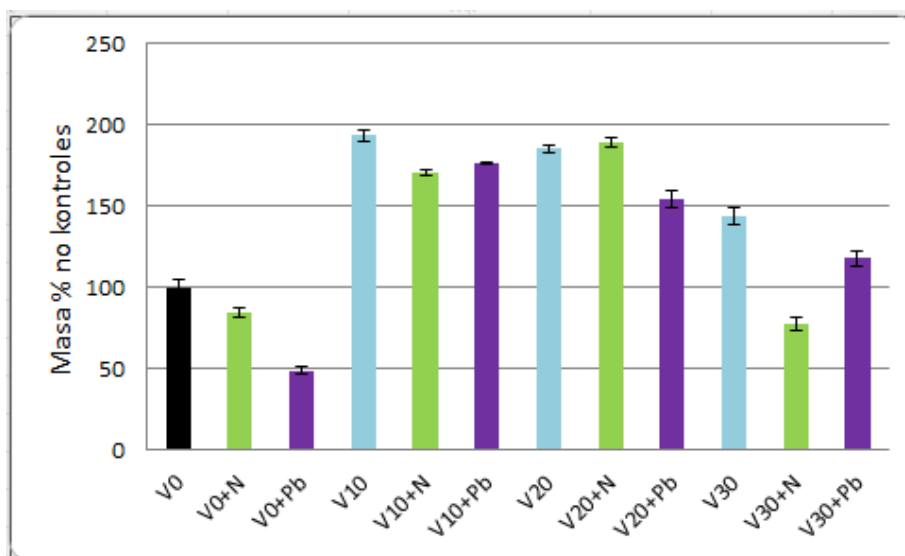
Augu augšanas mērījumus veica ik pēc 7 dienām, sākot ar eksperimenta trešo nedēļu. Kukurūzas garumu augšanas periodā noteica, mērot no stumbra sākuma līdz garākās lapas galam. Novācot eksperimentu augu ziedēšanas laikā (52. dienā pēc iekārtošanas), noteica stumbru garumu no stumbra sākuma līdz ziedkopas sākumam.



4. attēls. *Zea mays* garuma izmaiņas ontogēnēzē svina un vermikomposta ietekmē. A – varianti bez vermikomposta, B – 10% vermikomposta varianti, C – 20% vermikomposta varianti, D – 30% vermikomposta varianti, VO – kontrole (augšne), N – amonija nitrāts, Pb – svina nitrāts. Rezultāti ir vidējie \pm SE no 5 bioloģiskajiem atkārtojumiem.

Figure 4. *Zea mays* length changes during ontogenesis in lead and vermicompost influence. A – variants without vermicompost, B - 10% vermicompost variants, C - 20% vermicompost variants, D - 30% vermicompost variants, VO – control (soil), N – ammonium nitrate, Pb – lead nitrate. Data are means from 3 different measurements \pm SE Data are means from 5 different measurements \pm SE.

Izpētot kukurūzas garuma izmaiņas ontoģenēzē (4. attēls), var novērot, ka, salīdzinot ar kontroli, 10 un 20% vermikomposts būtiski uzlabo augu augšanu, taču 30% vermikomposta variantā, acīmredzot, pārāk lielais minerālelementu daudzums kavē augšanu – tikai eksperimenta pēdējās divas nedēļās šo variantu augu garums ir lielāks nekā kontrolei. Tā kā neveica papildmēslošanu, augu garuma pieaugums eksperimenta beigās, salīdzinot ar kontroles varianta augiem, iespējams, skaidrojams tāpēc, ka augi bija uzņēmuši no substrāta barības vielas un tādējādi tika mazināts osmotiskais stress. Turklāt, vērojams, ka V30+N un V30+Pb variantos, kas satur vēl papildus slāpekli, augšana atpaliek no V30, kas arī pierāda minerālelementu pārbagātību. Redzams, ka augsnes variantā apstrāde ar slāpekli (svina un amonija nitrātu), ne tikai nav uzlabojusi, bet pat ir kavējusi augu augšanu (izņemot amonija nitrāta variantu ontoģenēzes sākumā). Augsnes variantā arī redzama svina negatīvā ietekme uz kukurūzas augšanu. Vermikomposta variantos var redzēt, ka svina ietekme uz kukurūzu augšanas laikā samazinās – sākumā tā ir kavējoša, bet pēdējajā eksperimenta nedēļā svina variantu garums būtiski neatšķiras no atbilstošās vermikomposta un slāpekļa kontroles.



5. attēls. *Zea mays* stumbra garuma izmaiņas svina un vermikomposta ietekmē. V0 – kontrole (augzne), V10, V20, V30 – 10%, 20%, 30% vermikomposts, N – amonija nitrāts, Pb – svina nitrāts. Rezultāti ir vidējie \pm SE no 5 bioloģiskajiem atkārtojumiem.

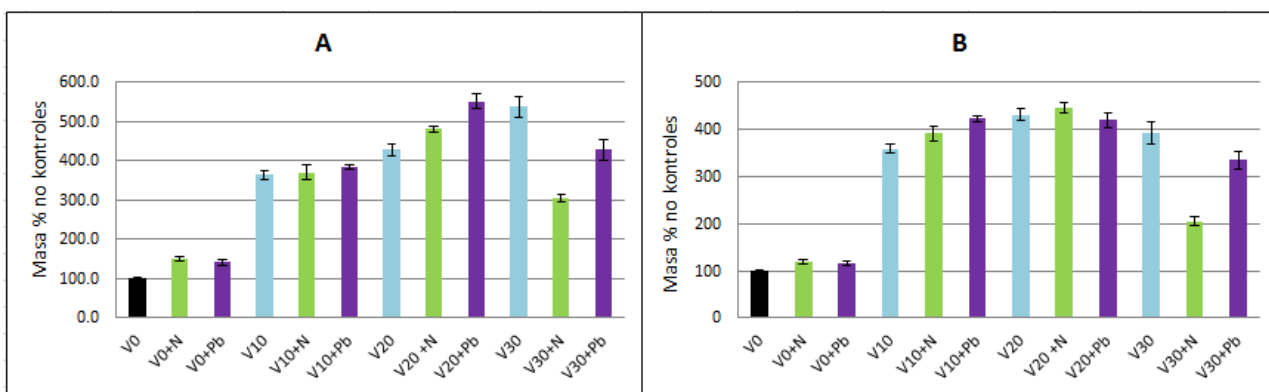
Figure 5. *Zea mays* stem length changes in lead and vermicompost influence. V0 – control (soil), V10, V20, V30 – 10%, 20%, 30% vermicompost, N – ammonium nitrate, Pb – lead nitrate. Data are means from 5 different measurements \pm SE.

Analizējot svina ietekmi uz kukurūzas stumbra garumu, var novērot, ka svina nitrāta variantos ar vermikompostu augi ir garāki nekā attiecīgajos vermikomposta variantos. Tikai svina

nitrāta ietekmē variantā bez vermikomposta stumbra garums ir būtiski samazinājies - tas ir 2 reizes mazāks nekā kontrolei. Mazāks nekā nitrāta kontrolei, bet ne tik būtiski, tas ir arī 20% vermikomposta - svina varianta augiem, savukārt 10% vermikomposta - svina varianta augiem, salīdzinot ar nitrāta kontroli, nav būtisku izmaiņu. Lielākā 30% vermikomposta variantā svina nitrātam ir pozitīva ietekme uz stumbra garumu, salīdzinot ar nitrāta kontroli, bet stumbra garumi ir mazāki, salīdzinot ar zemāko vermikomposta koncentrāciju variantu augiem. Iespējams, ka 30% vermikomposta varianta augu salīdzinoši mazāko stumbra garumu var skaidrot ar pārāk lielu vermikomposta koncentrāciju, kā rezultātā bagātīgais minerālelementu daudzums jau ir toksisks. Mazāko - 10% un 20% vermikomposta variantu augiem ir vērojams 1.5 līdz 1.9 reizes lielāks stumbra garums, salīdzinot ar augsnes kontroli .

3.1.2. Svaigās un sausās masas izmaiņas kukurūzā svina un vermikomposta ietekmē

Novācot eksperimentu, augus nosvēra, pēc tam žāvēja termostatā 60 ° C temperatūrā un noteica sauso masu.

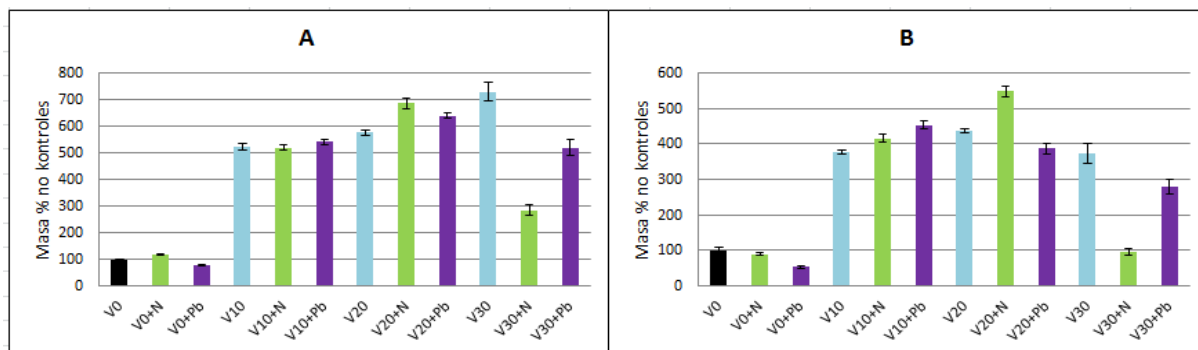


6. attēls. *Zea mays* lapu svaigās (A) un sausās masas (B) izmaiņas svina un vermikomposta ietekmē. V0 – kontrole (augšne), V10, V20, V30 – 10%, 20%, 30% vermikomposts, N – amonija nitrāts, Pb – svina nitrāts. Rezultāti ir vidējie ±SE no 5 bioloģiskajiem atkārtojumiem.

Figure 6. *Zea mays* leaf fresh (A) and dry (B) weight changes in lead and vermicompost influence. V0 – control (soil), V10, V20, V30 – 10%, 20%, 30% vermicompost, N – ammonium nitrate, Pb – lead nitrate. Data are means from 5 different measurements ±SE.

Svina nitrāta ietekme uz lapu svaigo un sauso masu vermikomposta variantos, salīdzinot ar augsnes un nitrātu kontroli, ir pozitīva, izņemot 20% varianta sauso masu. Lapu sausās masas pieaugumi, salīdzinot svina 10% un 20% vermikomposta variantus ar tiem atbilstošām slāpekļa kontrolēm, ir nebūtiski, bet 30% variantā tas ir būtisks. Variantos bez vermikomposta lapu masas pieaugums ir neliels un sausās masas gadījumā statistiski nebūtisks. Salīdzinot vermikomposta variantus, var secināt, ka lielākais lapu svaigās masas pieaugums ir 20% variantā, bet sausās

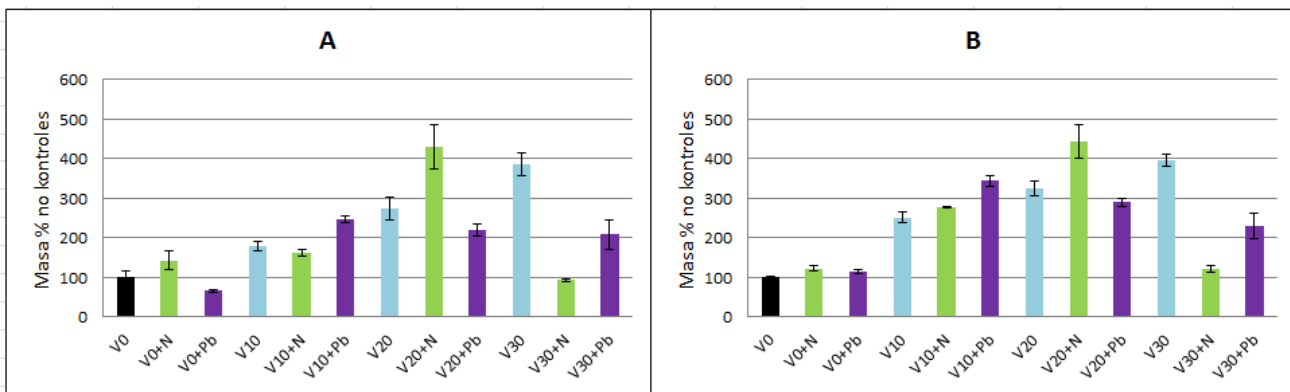
masas gadījumā 10% un 20% variantā, kas liek secināt, ka pieaugoša vermikomposta koncentrācija palielina ūdens uzņemšanu augos.



7. attēls. *Zea mays* stumbra svaigās (A) un sausās (B) masas izmaiņas svina un vermikomposta ietekmē. V0 – kontrole (augsnē), V10, V20, V30 – 10%, 20%, 30% vermikomposts, N – amonija nitrāts, Pb – svina nitrāts. Rezultāti ir vidējie \pm SE no 5 bioloģiskajiem atkārtojumiem.

Figure 7. *Zea mays* stem fresh (A) and dry (B) weight changes in lead and vermicompost influence. V0 – control (soil), V10, V20, V30 – 10%, 20%, 30% vermicompost, N – ammonium nitrate, Pb – lead nitrate. \pm SE Data are means from 5 different measurements \pm SE.

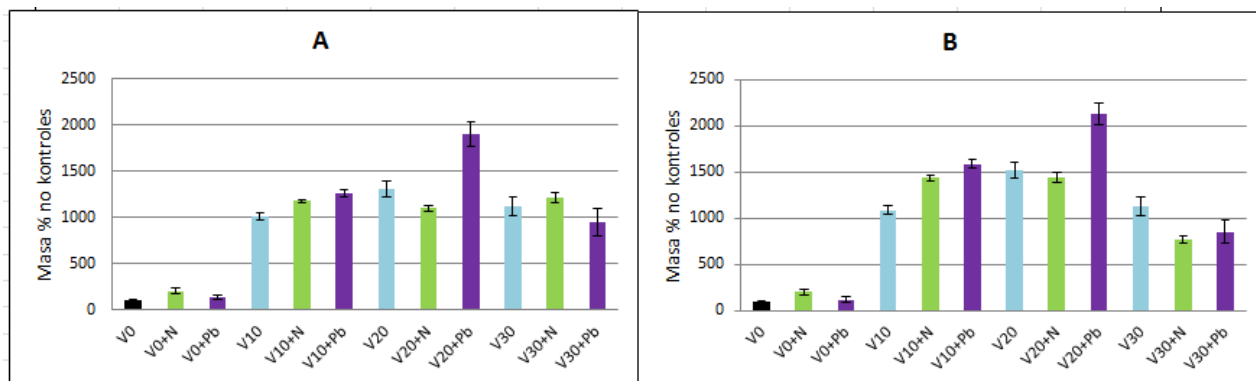
Salīdzinot stumbra svaigo un sauso masu svina variantiem un atbilstošajām nitrāta kontrolēm, novērojams, ka līdzīgi kā ar stumbra garumu, svinam ir negatīva ietekme variantā bez vermikomposta un 20% variantā, bet nebūtiska 10% variantā un pozitīva 30% variantā. Tāpat kā lapu masai un stumbra garumiem, vērojams, ka 30% vermikompostam, salīdzinot ar 10% un 20%, ir augšanu kavējoša ietekme.



8. attēls. *Zea mays* sakņu svaigās (A) un sausās (B) masas izmaiņas svina un vermikomposta ietekmē. V0 – kontrole (augzne), V10, V20, V30 – 10%, 20%, 30% vermikomposts, N – amonija nitrāts, Pb – svina nitrāts. Rezultāti ir vidējie \pm SE no 5 bioloģiskajiem atkārtojumiem.

Figure 8. *Zea mays* roots fresh and dry weight changes in lead and vermicompost influence. V0 – control (soil), V10, V20, V30 – 10%, 20%, 30% vermicompost, N – amonium nitrate, Pb – lead nitrate. Data are means from 5 different measurements \pm SE.

Svina variantos sakņu masas samazinājumu novēro variantā bez vermikomposta – tikai svaigajai masai – un 20% variantā gan svaigajai, gan sausajai masai. Taču sakņu attīrīšanas metodes specifikas dēļ un salīdzinot sausās un svaigās masas, jāsecina, ka ticamāki ir sausās masas dati. Tajos, tāpat kā citu auga daļu masās, 10% un 20% vermikomposta variantos ir vislielākais masas pieaugums, salīdzinot ar kontroli. Tās vērtību izmēģinājuma variantu augu masas pārsniedz apmēram 3-4 reizes.



9. attēls. *Zea mays* vīrišķās ziedkopas svaigās (A) un sausās (B) masas izmaiņas svina un vermikomposta ietekmē. V0 – kontrole (augzne), V10, V20, V30 – 10%, 20%, 30% vermikomposts, N – amonija nitrāts, Pb – svina nitrāts. Rezultāti ir vidējie \pm SE no 5 bioloģiskajiem atkārtojumiem.

Figure 9. *Zea mays* male inflorescence fresh and dry weight changes in lead and vermicompost influence. V0 – control (soil), V10, V20, V30 – 10%, 20%, 30% vermicompost, N – amonium nitrate, Pb – lead nitrate. Data are means from 5 different measurements \pm SE.

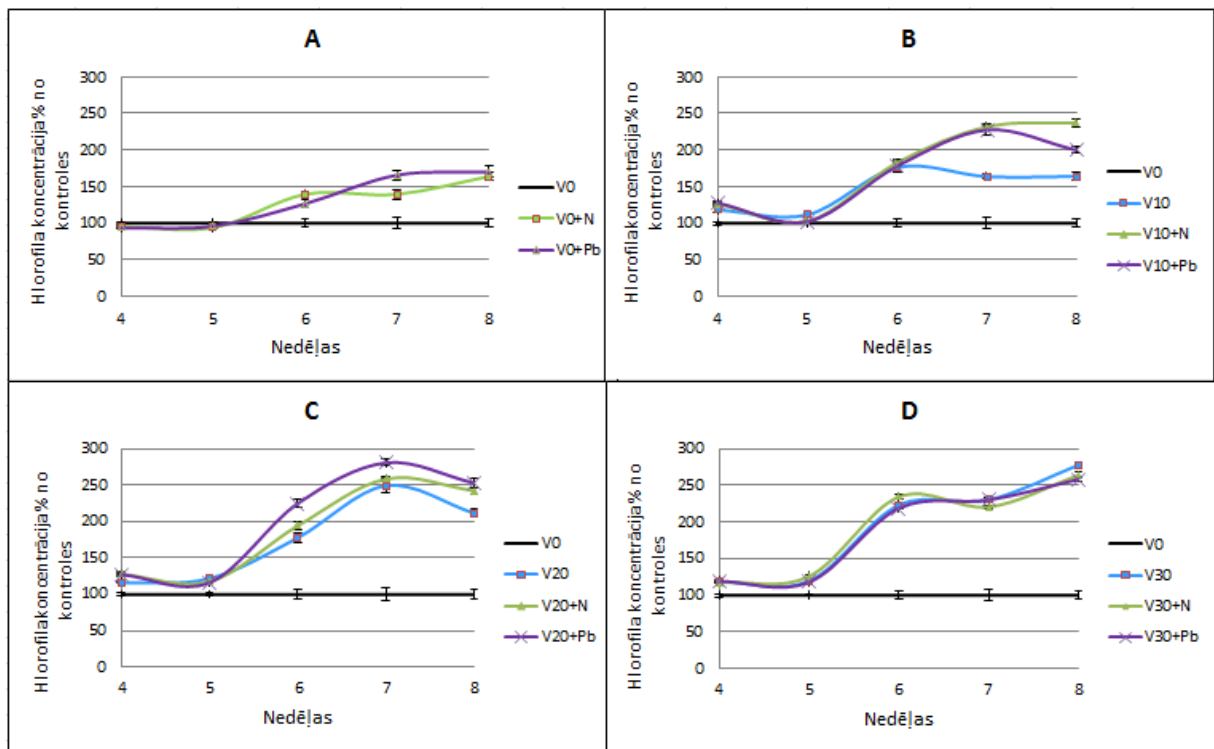
Salīdzinot variantus bez vermikomposta un ar, var novērot, ka vermikompostam ir ļoti būtiska loma uz vīrišķās ziedkopas masas pieaugumu. Salīdzinot ziedkopas masas pieaugumu ar pārējo kukurūzas daļu masas rezultātiem, var secināt, ziedkopas attīstību vermikomposts ietekmē daudz vairāk nekā citu auga daļu augšanu, masas pieaugumu. To pierāda ne tikai šie masas dati, bet arī novērojumi eksperimenta laikā – 10% un 20% vermikomposta variantiem ziedēšana sākās 2 nedēļas ātrāk nekā pārējiem variantiem, eksperimenta novākšanas laikā šīs ziedkopas jau bija izziedējušas, putekšņi bira nost, kamēr pārējos varintos daļai kukurūzu ziedkopas vēl nebija atplaukušas. Svina 10% varianta būtisko masas pieaugumu, salīdzinot ar pārējiem variantiem, diez vai var skaidrot ar svina pozitīvu ietekmi, jo šāda sakarība citos variantos nav novērojama. Visdrīzāk, ka šo pieaugumu ir izraisījušas paša auga ģenētiski noteiktas īpašības.

3.2. Fotosintēzi raksturojošu rādītāju izmaiņas kukurūzā svina un vermikomposta ietekmē

Fotosintēze ir ļoti svarīgs fizioloģiskais process augos. Tā ir vienīgais veids, kā augi spēj transformēt gaismas enerģiju ķīmiskajā un iegūt to augšanai nepieciešamos oglekli saturošos savienojumus. Hlorofila daudzums un hlorofila *a* fluorescence ir vieni no būtiskākajiem fotosintēzi raksturojošiem parametriem. Sākot ar eksperimenta 4. nedēļu ik pēc nedēļas noteica hlorofila daudzumu augos mg m^{-2} un hlorofila *a* fluorescences parametrus.

3.2.1. Hlorofila daudzums

Hlorofila daudzums augos zināmā mērā raksturo fotosintēzes norisi. Var teikt, ka augi ar lielāku hlorofila daudzumu spēj fotosintezēt aktīvāk.



10. attēls. Hlorofila daudzuma izmaiņas *Zea mays* ontogēnēzē svina un vermikomposta ietekmē. A – varianti bez vermikomposta, B – 10% vermikomposta varianti, C – 20% vermikomposta varianti, D – 30% vermikomposta varianti, V0 – kontrole, N – amonija nitrāts, Pb – svina nitrāts. Rezultāti ir vidējie \pm SE no 5 bioloģiskajiem atkārtojumiem.

Figure 10. Chlorophyll amount changes during *Zea mays* ontogenesis in lead and vermicompost influence. A – variants without vermicompost, B - 10% vermicompost variants, C - 20% vermicompost variants, D - 30% vermicompost variants, V0 - control, N - ammonium nitrate, Pb - lead nitrate. Data are means from 5 different measurements \pm SE.

Sekojošā hlorofila saturu dinamika kukurūzas lapās ontogēnēzē līdz ziedēšanai, redzams, ka, sākot ar eksperimenta 5. nedēļu, izmēģinājumu variantu augos vērojams būtisks hlorofila daudzuma pieaugums, salīdzinot ar kontroli. Neliela hlorofila daudzuma samazināšanās vērojama 10% un 20% vermikomposta variantos eksperimenta 8. nedēļā, kad ir vīrišķo ziedkopu ziedēšana. Salīdzinot hlorofila daudzumu svina variantos un atbilstošajās slāpekļa kontrolēs, jāsecina, ka nevienā vermikomposta variantā un variantā bez vermikomposta nenovēro būtisku negatīvu svina ietekmi. 20% vermikomposta variantā pat ir novērojama svina ietekme uz ļoti nelielu, bet

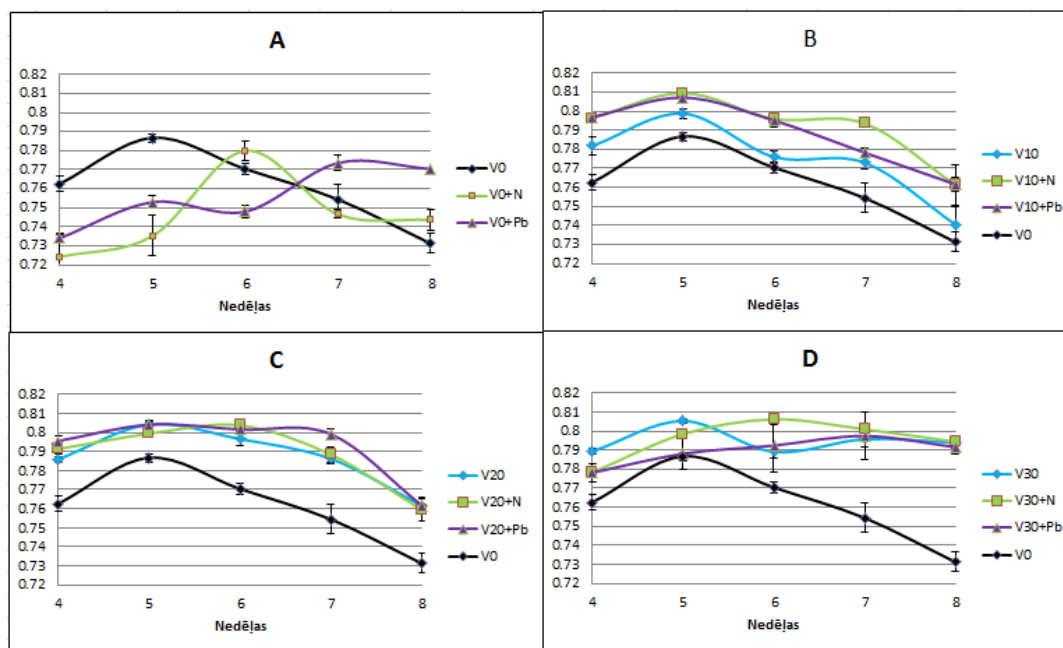
tomēr būtisku hlorofila daudzuma pieaugumu.. Salīdzinot visus variantus savā starpā un ar kontroli, var secināt, ka vermikompostam ir būtiskākā ietekme uz hlorofila daudzuma pieaugumu.

3.2.2. Hlorofila *a* fluorescences parametri

Hlorofila molekulai absorbējot fotonus, gaismas enerģijas pērvēršana ķīmiskajā ir viens no veidiem, kā šī enerģija var tikt izmantota. Vēl tā var pārvērsties siltuma enerģijā, hlorofila molekulas šo enerģiju var arī izstarot – notiek fluorescence. Uztverot šo fluorescenci un nosakot tās intensitāti var spriest par to, kā notiek fotosintēze.

Pēc hlorofila *a* fluorescences nosaka daudzus parametrus. Svarīgākie no tiem ir F_v/F_m , RC/ABS , F_v/F_0 un PI . Šie rādītāji tika noteikti kukurūzas augiem, veicot fluorescences analīzi.

F_v/F_m raksturo FS II reakciju centru efektivitāti – kāda daļa apsorbētās gaismas aiziet uz fotosintēzi, šī rādītāja samazināšanās norāda uz fotosistēmas spējas samazināšanos reducēt primāro elektronu akceptoru hinonu dabas savienojumu (Q_a) un traucējumiem elektronu transporta ķēdē. Par rādītāja vērtību normālos bezstresa apstākļos uzskata tā vērtību 0.800-0.830.

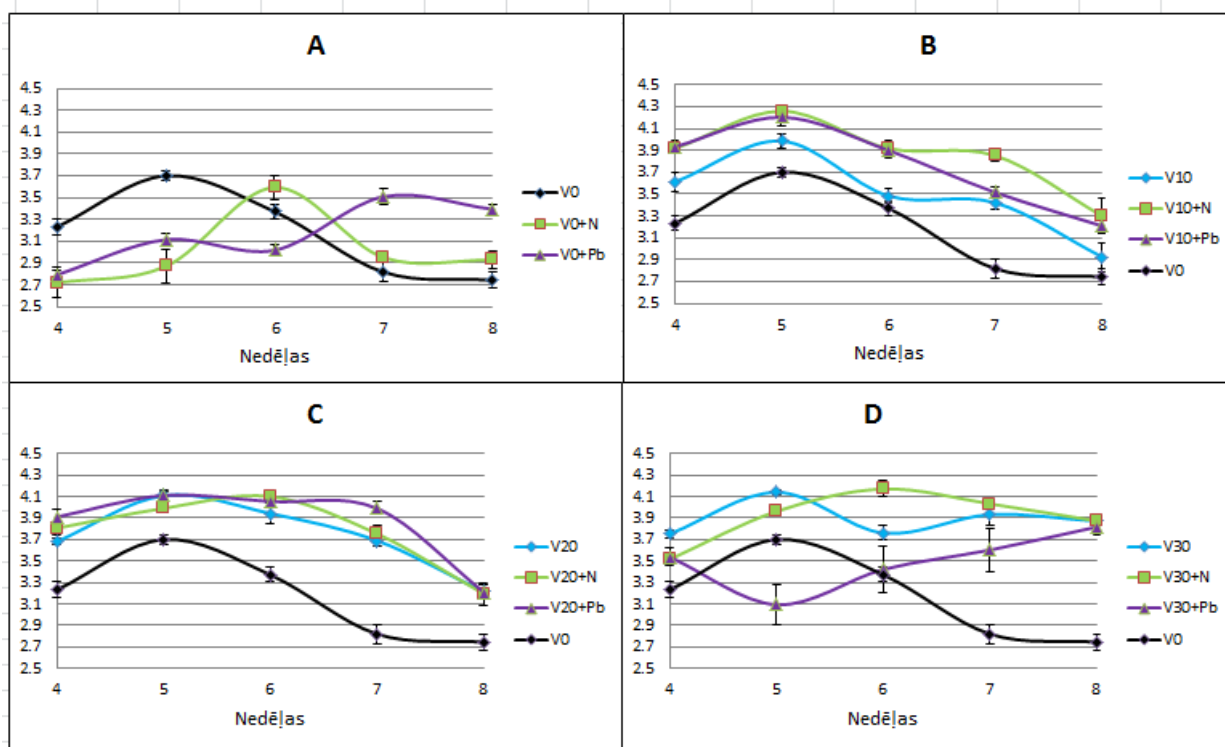


11. attēls. Hlorofila *a* fluorescences rādītāja F_v/F_m lieluma izmaiņas *Zea mays* ontogēnēzē svina un vermikomposta ietekmē. A – varianti bez vermikomposta, B – 10% vermikomposta varianti, C – 20% vermikomposta varianti, D – 30% vermikomposta varianti, VO – kontrole, N – amonija nitrāts, Pb – svina nitrāts. Rezultāti ir vidējie \pm SE no 5 bioloģiskajiem atkārtojumiem.

Figure 11. Chlorophyll *a* fluorescence parameter F_v/F_m size changes during *Zea mays* ontogenesis in lead and vermicompost influence. A – variants without vermicompost, B - 10% vermicompost variants, C - 20% vermicompost variants, D - 30% vermicompost variants, VO - control, N - ammonium nitrate, Pb - lead nitrate. Data are means from 5 different measurements \pm SE.

Salīdzinot Fv/Fm vērtības, var secināt, ka traucēta fotosintēzes norise ir variantos bez vermikomposta. Salīdzinot ar vermikomposta variantiem, jāsecina, ka stresa apstākļus radījis minerālelementu trūkums. Vermikomposta variantos, arī tajos mērījumos, kuru vērtība nav vismaz 0.80, Fv/Fm ir lielāks nekā kontrolei. Vislabākie Fv/Fm rezultāti ir 30% vermikomposta variantu augiem. Svina negatīvā ietekme uz FS II reakciju centru efektivitāti, salīdzinot ar kontroli, tiek novērota tikai variantā bez vermikomposta attīstības sākumā.

F_v/F_o – parāda ūdens fotolīzes aktivitāti. Parametra samazināšanās norāda uz negatīvām izmaiņām fotosistēmas elektronu donoru pusē.



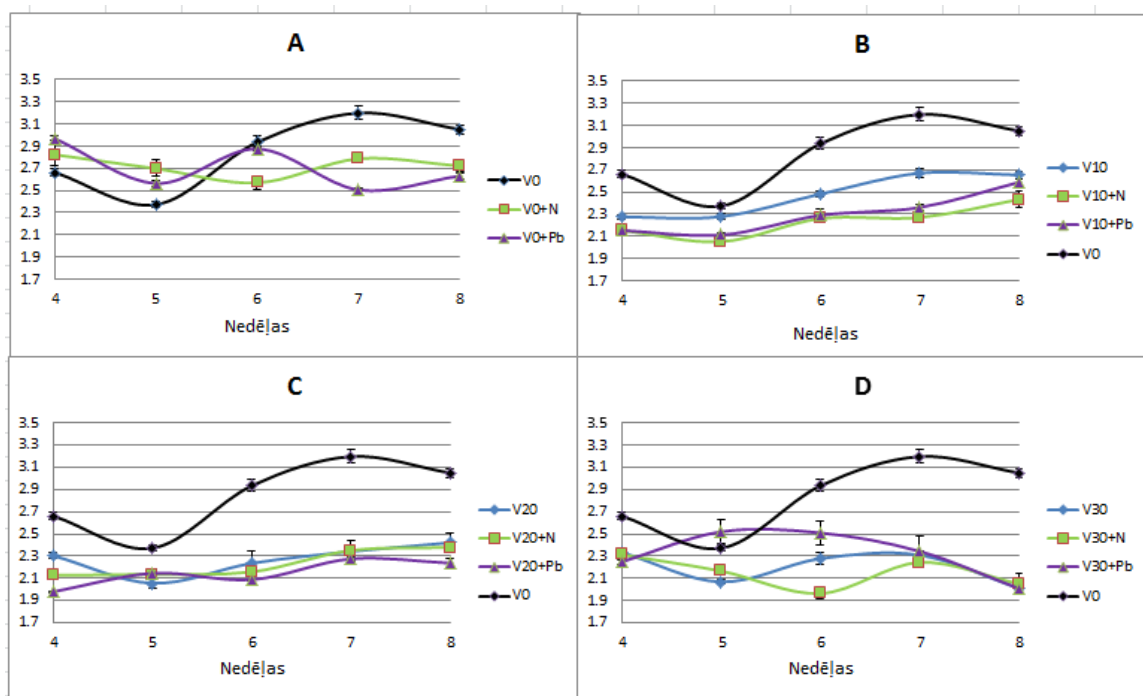
12. attēls. Hlorofila a fluorescences rādītāja Fv/Fo lieluma izmaiņas *Zea mays* ontogēnēzē svina un vermikomposta ietekmē. A – varianti bez vermikomposta, B – 10% vermikomposta varianti, C – 20% vermikomposta varianti, D – 30% vermikomposta varianti, V0 – kontrole, N – amonija nitrāts, Pb – svina nitrāts. Rezultāti ir vidējie \pm SE no 5 bioloģiskajiem atkārtojumiem.

Figure 12. Chlorophyll a fluorescence parameter F_v/F_0 size changes during *Zea mays* ontogenesis in lead and vermicompost influence. A – variants without vermicompost, B - 10% vermicompost variants, C - 20% vermicompost variants, D - 30% vermicompost variants, V0 - control, N - ammonium nitrate, Pb - lead nitrate. Data are means from 5 different measurements \pm SE.

Arī uz F_v/F_o vērtību ir vērojama vermikomposta pozitīvā ietekme. Svina negatīvā ietekme novērojama variantā bez vermikomposta eksperimenta 4. un 5. nedēļā – tāpat kā ietekmē uz F_v/F_m , un 30% vermikomposta variantā 5. un 6. eksperimenta nedēļā. Iespējams, tas saistīts ar svina koncentrācijas palielināšanos augos, sakarā ar to, ka vermikomposts vēl nav piesaistījis

svinu. To daļēji apstiprina arī salīdzinoši zemās Fv/Fo vērtības augsnes variantā, kuru cēlonis varētu būt augsnes slāpekļa izraisītais osmotiskais stress.

RC/ABS raksturo attiecību starp hlorofila molekulām reakciju centros un antenu pigmentiem. Antenu pigmentu skaita palielināšanās norāda uz fotosistēmas darbības traucējumiem. Šajā darbā izmantoja Handy PEA, kas noteica ABS/RC. Tas nozīmē, ka jo mazāka rādītāja vērtība, jo vairāk aktīvo reakcijas centru hlorofila a molekulu attiecībā pret antenu pigmentiem. Tātad, jo mazāka ABS/RC vērtība, jo aktīvāk norit fotosintēze.

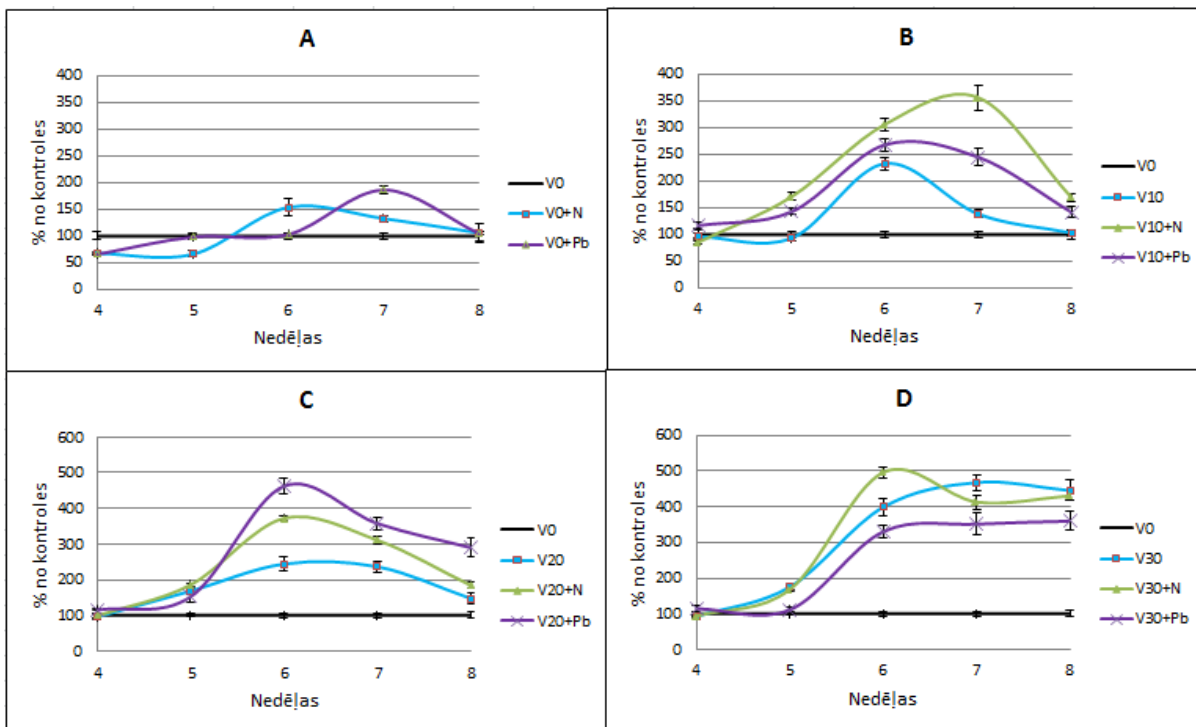


13. attēls. Hlorofila a fluorescences rādītāja ABS/RC lieluma izmaiņas *Zea mays* ontogēnēzē svina un vermikomposta ietekmē. A – varianti bez vermikomposta, B – 10% vermikomposta varianti, C – 20% vermikomposta varianti, D – 30% vermikomposta varianti, VO – kontrole, N – amonija nitrāts, Pb – svina nitrāts. Rezultāti ir vidējie \pm SE no 5 bioloģiskajiem atkārtojumiem.

Figure 13. Chlorophyll a fluorescence parameter ABS/RC size changes during *Zea mays* ontogenesis in lead and vermicompost influence. A – variants without vermicompost, B - 10% vermicompost variants, C - 20% vermicompost variants, D - 30% vermicompost variants, VO - control, N - ammonium nitrate, Pb - lead nitrate. Data are means from 5 different measurements \pm SE.

Līdzīgi kā citos fluorescences parametros arī ABS/RC gadījumā novērojama vermikomposta pozitīvā ietekme. Visbūtiskāk to novēro 20% un 30% vermikomposta variantos. Svina negatīvā ietekme vērojama variantā bez vermikomposta pirmajās divās nedēļās un 30% variantā, kur, iespējams, tā jau ir minerālelementu pārāk lielās koncentrācijas substrātā ietekme.

PI (PI abs, PI inst, PI total) raksturo auga vitalitātes stāvokli. Apvieno vairākus rādītājus, kas veicina fotosintēzes norisi, kā aktīvo reakciju centru blīvumu, uzņemtās enerģijas pārvietošanās ātrumu uz elektronu transporta ķēdēm un elektronu transporta enerģijas plūsmas ātrumu. Šie rādītāji tika noteikti kukurūzas augiem, veicot fluorescences analīzi.



14. attēls. Hlorofila a fluorescences rādītāja PI total lieluma izmaiņas *Zea mays* ontogēnēzē svina un vermikomposta ietekmē. A – varianti bez vermikomposta, B – 10% vermikomposta varianti, C – 20% vermikomposta varianti, D – 30% vermikomposta varianti, V0 – kontrole, N – amonija nitrāts, Pb – svina nitrāts. Rezultāti ir vidējie \pm SE no 5 bioloģiskajiem atkārtojumiem.

Figure 14. Chlorophyll a fluorescence parameter PI total size changes during *Zea mays* ontogenesis in lead and vermicompost influence. A – variants without vermicompost, B - 10% vermicompost variants, C - 20% vermicompost variants, D - 30% vermicompost variants, V0 - control, N - ammonium nitrate, Pb - lead nitrate. Data are means from 5 different measurements \pm SE.

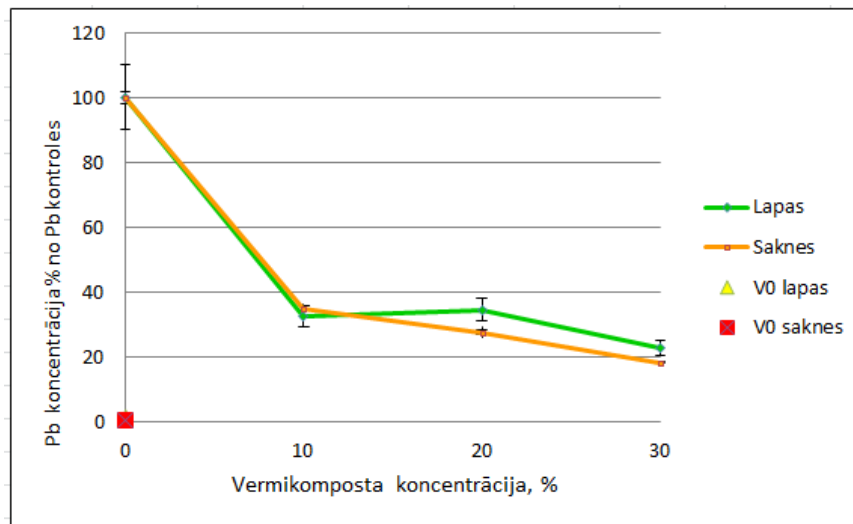
Hlorofila a fluorescences rādītāja PI total vērtības salīdzinoši lielas ir visos izmēģinājuma variantos. Būtisks PI total pieaugums 10%, 20% un 30% vermikomposta variantos ir 6. eksperimenta nedēļā, salīdzinot ar šo variantu vērtībām 5. eksperimenta nedēļā un kontroles vērtībām. Bet 20% un 10% vermikomposta variantiem no 6. līdz 8. eksperimenta nedēļai novērojama būtiska PI total vērtības samazināšanās. Lielākajā - 30% vermikomposta variantā PI total rādītājs ir salīdzinoši augsts gandrīz visā eksperimenta laikā (izņemot 4. un 5. nedēļu). Rezultāti rāda, ka 10% un 30% vermikomposta variantos svina ietekmē, salīdzinot ar nitrāta kontroli, samazinās PI total vērtība. 20% vermikomposta variantā ir tieši otrādi – svina ietekmē tā palielinās. Tāpat kā hlorofila daudzuma rezultātos arī PI total rezultātos vērojama ļoti būtiska

pozitīva vermikomposta ietekme uz šo parametru pieaugumu. No 4. līdz 5. eksperimenta nedēļai šis pieaugums vēl nav būtiski izteikts. PI total maksimālais pieaugums, kas 5 reizes pārsniedz kontroles vērtību, ir 10% vermikomposta nitrāta variantam 6. eksperimenta nedēļā. Pārējos vermikomposta variantos eksperimenta laikā šis pieaugums pārsniedz kontroli 2 – 4.5 reizes.

Apkopojot visu kukurūzas fizioloģisko parametru rezultātus, var secināt, ka svinam svina nitrāta sastāvā vairāk ir izteikta pozitīva ietekme uz augšanas, auga daļu masas, fotosintēzi raksturojošu parametru izmaiņām. Būtiska negatīva ietekme vērojama tikai uz stubra garumu un masu variantos bez vermikomposta un 20% vermikomposta variantā - sakņu masu. Rezultāti parāda ļoti būtisku vermikomposta ietekmi uz visu parametru pieaugumu. Dažādiem parametriem atšķirīgās vermikomposta koncentrācijās šis pieaugums variē no vērtībām, kas nedaudz vairāk nekā vienu reizi pārsniedz kontroli līdz vērtībām, kas 7 reizes pārsniedz kontroli (ziedkopās vēl daudz vairāk). Vermikomposta izraisītas izmaiņas svina uzņemšanā un uzkrāšanā kukurūzā nav viennozīmīgi pierādāmas pēc rezultātos apskatīto fizioloģisko parametru izmaiņām.

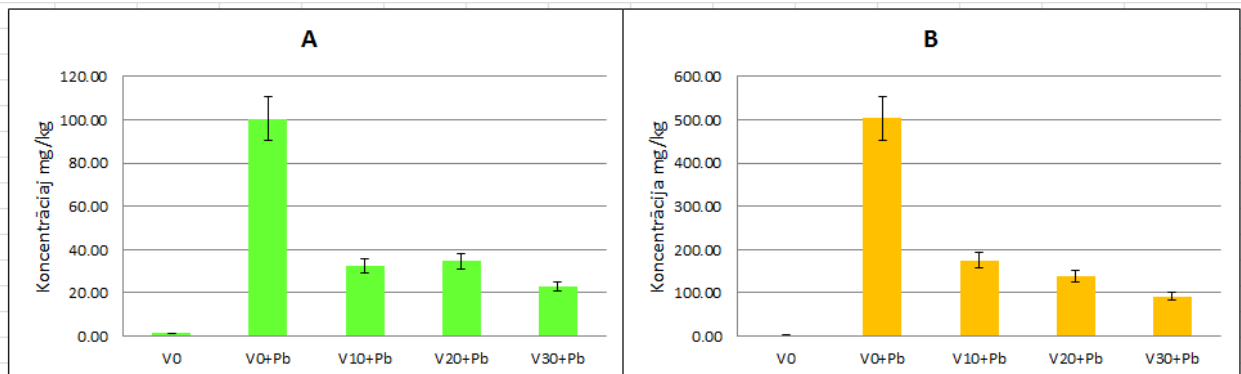
3.3. Svina koncentrāciju izmaiņas analīze

Lai pierādītu, ka vermikomposts tiešām piesaista svinu un svina uzkrāšanās kukurūzā samazinās vermikomposta ietekmē, un lai noskaidrotu, cik efektīvi tas notiek, ar svina ietekmes pētīšanu uz augiem, analizējot to fizioloģiskos parametrus (visus iepriekš apskatītos rezultātus) vien nepietiek. Lai viennozīmīgi apstiprinātu vai noliegtu darba hipotēzi, bija nepieciešams veikt svina koncentrācijas analīzi augu sausajai masai un precīzi noskaidrot, kā ir izmainījusies uzkrātā svina koncentrācija. Analīzi veica, izmantojot induktīvi saistītās plazmas masspektrometru. Analīzes veikšanai sagatavoja paraugus katram svina variantam no 5 augiem lapu sausās masas analīzei un 3 augiem sakņu sausās masas analīzei.



15. attēls. Svina koncentrācijas izmaiņas *Zea mays* lapās un saknēs atkarībā no vermikomposta koncentrācijas substrātā. V0 – variants bez Pb, kontrole (100%) ir V0+Pb – svina variants bez vermikomposta. Rezultāti ir viena parauga vērtība $\pm 10\%$.

Figure 15. Lead concentration changes in *Zea mays* leaves and roots depending of vermikompost concentration in substrate. V0 - variant without lead, control (100%) is V0 + Pb - lead variant without vermikompost. Data are one sample measure $\pm 10\%$.



16. attēls. Svina koncentrācijas izmaiņas *Zea mays* lapās (A) un saknēs (B) atkarībā no vermikomposta koncentrācijas substrātā. V0 – variants bez Pb, V10, V20, V30 – 10%, 20%, 30% vermikomposts. Rezultāti ir viena parauga vērtība $\pm 10\%$.

Figure 15. Lead concentration changes in *Zea mays* leaves and roots depending of vermikompost concentration in substrate. V0 - variant without lead, V10, V20, V30 – 10%, 20%, 30% vermikompost. Data are one sample measure $\pm 10\%$.

Kā redzams 15. un 16. Attēlā, vermikomposts būtiski ietekmē svina uzkrāšanos kukurūzas augu lapās un saknēs. Mazākās 10% vermikomposta koncentrācijas svina variantā, salīdzinot ar svina variantu bez vermikomposta, gan kukurūzas lapās, gan saknēs ir ļoti būtisks uzkrātā svina koncentrācijas samazinājums – 10% variantā svina koncentrācija ir gandrīz 3 reizes mazāka nekā variantā bez vermikomposta. Palielinot vermikomposta koncentrāciju substrātā, svina

koncentrācija turpina samazināties, taču šīs izmaiņas, vairs nav tik krasas. Lapām 20% variantā svina koncentrācija pat ir nedaudz lielāka nekā 10 % variantā. Saknēs un lapās svina koncentrācija absolūtajās vērtībās būtiski atšķiras.

Var novērot (15. attēls), ka svina koncentrācijas samazināšanās, pieaugot vermikomposta koncentrācijai, saknēs un lapās norit gandrīz pilnīgi vienādi, kas liek secināt, ka svina koncentrācijas samazināšanās gan lapās, gan saknēs notiek pēc viena mehānisma.

4. DISKUSIJA

Svina pieaugošā piesārņojuma un nopietno toksisko efektu dēļ, ko tas izraisa augos un caur augiem cilvēkos un dzīvniekos, ļoti liela uzmanība tiek vērsta uz svina ietekmes izpēti, iesaisti auga fizioloģiskajos procesos, uzņemšanu. Būtiskākie svina ietekmētie faktori, kādus apskata lielākajā daļā pētījumu par svina ietekmi, ir augšanas parametru, kā sausās un svaigās masas, hlorofila daudzuma, minerālelementu koncentrācijas izmaiņas. Tiek veikti arī pētījumi par to, kā samazināt svina ietekmi, saturu piesārņotajās augsnēs. Bakalaura darbā pētīta svina ietekme uz augu augšanu, tās izmaiņām saistībā ar vermikomposta pievienošanu substrātam 10, 20 un 30% koncentrācijā. Skaidrots, vai pievienotais vermikomposts, saistot smago metālu svinu, samazina tā uzņemšanu.

Bakalaura darbā iegūtie rezultāti par svina koncentrācijas izmaiņām vermikomposta ietekmē augu sausajā masā pierāda, ka vermikomposts spēj saistīt svinu un parāda, cik efektīvi tādā veidā tiek samazināta svina uzņemšana kukurūzā. Gan saknēs, gan lapās svina daudzums 10% vermikomposta ietekmē samazinājās nepilnas trīs reizes, tādā veidā ļoti būtiski novēršot svina toksisko ietekmi. Šo vermikomposta pozitīvo ietekmi var skaidrot ar tā sastāvā esošajām humīnvielām, kas ir spējīgas aktīvi saistīt smago metālu jonus, tādējādi padarot tos augiem nepieejamus (Trevisan et al., 2010, Dūdare, 2015, Meng et al., 2017). Vēl vermikomposta ietekmi varētu skaidrot ar tā sastāvā esošo bagātīgo minerālelementu daudzumu. Kā, piemēram, eksperimentā izmantotajā vermikompostā „Ekozeme“ ir ļoti augsts kalcija saturs. Izpētīts, ka kalcijs regulē svina uzņemšanas ātrumu augā. Svina uzņemšana caur sakņu apikālajām daļām kalcija klātbūtnē notiek apmēram par 25 % lēnāk, jo tas bloķē jonu sūkņus sakņu šūnu membrānās (Kozhevnikova et al., 2009). Arī dzelzs joni var ietekmēt svina uzņemšanu. Augsts Fe^{2+} jonu daudzums augos var palielināt to toleranci pret smagajiem metāliem. Dzelzs antagonisms ar smagajiem metāliem kavē to uzņemšanu augā (Hovsepyan un Greipsson, 2004). Darbā izmantotajos substrātos, vermikompostā un augsnē, ir arī salīdzinoši augsts dzelzs saturs. Citu autoru darbos ir veikti pētījumi, kas parāda, ka arī augsnes citas organiskās vielas spēj saistīt smagos metālus. Piemēram, Zhu u.c. (2017) konstatējuši, ka arī govju mēsli saista smagos metālus, bet Pinto u.c. (2016) salīdzinājuši dažādus bioloģiskos materiālus un atzinuši, ka vislabāk smagos metālus saista vermikomposts.

Citu autoru pētījumā par svina ietekmi uz spinātu un kviešu dīgstu augšanu un minerālelementu daudzumu tajos, noskaidrots, ka visās svina koncentrācijās novērojama negatīva ietekme uz augu svaigo un sauso masu, minerālelementu daudzumu. Taču svina koncentrācijas šo augu sausējās masās ir ievērojami lielākas nekā bakalaura darbā noteiktās svina koncentrācijas kukurūzas paraugos (Lamhamdi et al., 2013). Lai gan literatūrā noskaidrots, ka augu sugām atšķiras smago metālu toksiskā koncentrācija, pēc mūsu izmēģinājuma rezultātiem var secināt, ka svina koncentrācija kukurūzas vermikoposta variantos nav toksiska. Turklāt kukurūzai citu autoru pētījumos ir noteikta liela tolerance pret smago metālu toksicitāti. Šī novērojuma dēļ un arī tāpēc, ka kukurūza ir spējīga producēt lielu biomasu, tā tiek pētīta un izmantota kā fitoremediators (Huang un Cunningham, 1996; Wuana, Okieimen, 2010).

Bakalaura darba eksperimenta rezultātos skaidri var redzēt, ka vermikompostam ir ļoti būtiska nozīme uz visu pētīto kukurūzas fizioloģisko parametru izmaiņām. Vermikomposta ietekmē, salīdzinot ar kontroli, pieaug gan auga daļu sausā un svaigā masa, gan garums ontogēnēzē, gan hlorofila saturs un fluorescences rādītāji. Citi autori vermikomposta pozitīvo ietekmi uz auga augšanas stimulāciju skaidro ar lielu, augam ļoti nozīmīgu, minerālelementu saturu tajā, piemēram, kā N, P, Mg, Ca, fitohormoniem, kā arī ar vermikomposta tiešo ietekmi, iesaistoties auga fizioloģiskajos procesos. Canellas u.c. savā pētījumā piemin, ka, līdzīgi endogēnajam augsnam, humīnskābēs esošās augsnam līdzīgās vielas, iespējams, piekļūst augu receptoriem un izraisa reakciju ķēdi, kas aktivē transkripciju un proteīnu sintēzi (Canellas, 2002). Tā rezultātā augiem ir straujāka šūnu augšana un diferenciācija, veicinot augu augšanu. Humīnvielu frakcijas var tikt uzņemtas augā, kur tās palielina membrānu caurlaidību (Chen, Aviad, 1990).

Bakalaura darba rezultāti parāda, ka 10 un 20% vermikomposta ietekmē ir vērojama vislielākā augšanas intensitāte, 30% vermikomposta ietekmē jau novērojama augšanas samazināšanās. Acīmredzot, šīs koncentrācijas vermikomposts satur jau pārāk lielu minerālelementu daudzumu. Augsta minerālelementu koncentrācija augsnē var izraisīt jonu disbalansu un hiperosmotisko stresu augos (Zhu 2001), kā rezultātā tiek kavēta augšana. Literatūrā nav pētījumu par kukurūzas augšanas apstākļiem Latvijas klimatā. Bet veikti pētījumi par ziemas kviešiem nepieciešamo un pārāk lielo minerālelementu daudzumu (1. pielikums). Šo pētījumu rezultātus salīdzinot ar izmēģinājumā izmantotās augsnes un vermikomposta „Ekozeme“ minerālelementu saturu un daudzumu 30% vermikomposta variantā, var secināt ka šī varianta minerālelementu saturs ir ziemas kviešiem toksiskā līmenī. Kukurūzai optimālās

minerālelementu satura vērtības varētu zināmās robežās atšķirties, tomēr orientējoši var secināt, ka 30% vermikomposta variants satur pārāk lielu minerālelementu koncentrāciju.

Parametri, pēc kuriem noteica svina ietekmi un tās izmaiņas saistībā ar vermikomposta saturu substrātā, ir kukurūzas garuma izmaiņas ontoģenēzē, kukurūzas stumbra garums, lapu, sakņu, stumbra svaigā un sausā masa, hlorofila saturs, hlorofila *a* fluorescences rādītāji.

Bakalaura darbā kukurūzas augšanas izmaiņu ontoģenēzē rezultāti parāda, ka augšanas sākumā svina variantu augu garums ir būtiski mazāks nekā vermikomposta un nitrāta kontroles augiem, bet attīstības laikā šī starpība palēnām samazinās, līdz eksperimenta 8. nedēļā starpība ir ļoti maza un nebūtiska vai pat svina varianta augu garums ir lielāks par nitrāta kontroli. Šo augšanas dinamiku var skaidrot ar to, ka augi to attīstības sākumā ir ļoti jutīgi pret dažādiem stresa faktoriem, tai skaitā, smago metālu toksicitāti. Augiem pieaugot un attīstoties, to tolerance pret nelabvēlīgiem apstākļiem palielinās, antioksidatīvā un arī citas aizsargsistēmas ir spējīgas samazināt stresa faktoru izraisītus traucējumus (Taiz, Zeiger 2006). Turklāt izpētīts, ka augu izturību pret svina piesārņojumu nodrošina spēja uzturēt nelielu tā koncentrāciju virszemes daļās, izdalot jonus sakņu šūnu vakuolās (Hadi, Aziz 2015). Par kukurūzas augšanas parametru izmaiņām ontoģenēzē svina ietekmē literatūrā nav īpaši daudz pētījumu, salīdzinot ar pētījumu skaitu par ietekmi uz citiem parametriem. Lielākajā daļā pētījumu novēro svina ietekmi uz dažādu sugu sēklu dīģšanu, dīģstu garumu (Malkowski et al., 2002; Malkowski et al., 2005; Gautam et al., 2008; Lamhamdi et al., 2013; Hadi, Aziz, 2015), nenovērojot tālākās izmaiņas augu augšanas laikā līdz pat to ziedēšanas sākumam.

Salīdzinot svina variantu kukurūzas svaigās un sausās masas ar vermikomposta un nitrāta variantiem, jāsecina, ka svinam drīzāk ir pozitīva nekā negatīva ietekme. Gandrīz vai vienīgā svina negatīvā ietekme novērojama uz stumbra garumu, stumbra svaigo un sauso masu variantā bez vermikomposta. To var izskaidrot ar faktu, ka pēc svina koncentrācijas analīzēm var redzēt, ka vermikomposts ļoti būtiski samazina svina uzņemšanu kukurūzā. Tātad variantā bez vermikomposta svina ietekme uz augšanu ir negatīva, bet vermikomposta ietekmē svina uzņemšana samazinās, nelielais uzņemtais daudzums augšanu vairs negatīvi neietekmē. Literatūrā ir pētījumi, ka augu sausās masas palielināšanā svina ietekmē saistīta ar polisaharīdu biosintēzes pieaugumu un šūnapvalku uzbiezināšanos (Wierzbicka, 1998). Mūsu eksperimentā lapu sausajai un svaigajai masai pretēji stumbra masai svina negatīvo ietekmi nenovēro. Ir pētījumi, kur arī novērota līdzīga sakarība. Piemēram, Malkowski u.c. (2002) pētījumā par svina ietekmi uz kukurūzas dīģstu augšanu, kalcija un kālija jonu koncentrāciju, secina, ka virszemes

daļu sausā masa nav jūtīgs parametrs, ar kuru var noteikt svina toksicitāti augos, kukurūzas sakņu garums daudz jutīgāk spēj reaģējot uz svina ietekmi. Bet interesanti, ka šajā pašā pētījumā, lai gan novērota svina negatīvā ietekme uz kopējo sakņu garumu, izpētot svina ietekmi uz atsevišķām sakņu zonām, novērots, ka sakņu stiepšanās un uzsūkšanas zonu sausā masa svina variantos palielinājās, palielinoties svina koncentrācijai. Citu autoru pētījumā par svina un kadmija uzkrāšanos un efektu uz kalcija translokāciju kukurūzas dīgstos novērots, ka svina un kadmija ietekmē 0.1mmol dm^{-3} un 1mmol dm^{-3} koncentrācijā hidroponikā kukurūzu dīgstu sakņu sausā masa ir apmēram divas reizes lielāka, salīdzinot ar kontroli, turklāt 1mmol dm^{-3} koncentrācijā šī masa ir lielāka nekā 0.1mmol dm^{-3} (Malkowski et al., 2005). Tas sasaucas ar mūsu darbā iegūtajiem rezultātiem, jo, lai gan kukurūzas saknēs svins uzkrājas daudz lielākā koncentrācijā nekā virszemes daļās, sakņu sausajai masai ir arī novērojams pieaugums.

Tomēr daudzos citu autoru pētījumos ir novērota svina negatīvā ietekme uz dažādiem parametriem. Tomātu dīgstiem (Hadi, Aziz, 2015) sējas zirņiem (Kevresan et al., 2001), zeltainaino pupiņu (*Vigna radiata*) dīgstiem (Gautam et al., 2008) svina ietekmē samazinās augšana, svaigā un sausā masa, hlorofila un karotenoīdu daudzums. Iespējams, ja šajos eksperimentos pētītu turpmāko svina ietekmi uz augu augšanu to attīstības laikā, novērotu, ka attīstības laikā tā samazinās.

Bakalaura darbā, izpētot hlorofila satura un fluorescences rādītāju rezultātus, var novērot, ka arī šajos parametros vermikomposta variantos nav novērojama svina negatīvā ietekme. Citu autoru pētījumā par svina ietekmi uz spinātu un kviešu dīgstu augšanu un minerālelementu daudzumu tajos, konstatēts, ka svins samazina Na, Ca, K, P, Fe, Zn, Cu, Mg koncentrāciju. Vērojama korelācija starp minerālelementu un hlorofila daudzuma samazināšanos (Lamhamdi et al., 2013). Eksperimentā izmantotā vermikomposta sastāvā šie minerālelementi ir lielā daudzumā, tāpēc, iespējams, ka svina ietekmē to uzņemšana netiek tā inhibēta, lai tie augā būtu samazinātā koncentrācijā. Un attiecīgi tad arī netiek traucēta hlorofila sintēze, fotosintēzes norise. Jau iepriekš pieminētajā citu autoru pētījumā par zeltaino pupiņu novērots, ka svinam 0.01mM koncentrācijā ir neliela pozitīva ietekme uz nitrātreduktāzes aktivitāti, augstākajās koncentrācijās ietekme uz enzīma aktivitāti gan ir kavējoša (Gautam et al., 2008). Literatūrā ir arī pētījumi, kur novērota hlorofila daudzuma palielināšanās. Pētījumā par svina ietekmi uz tilakoīdu attīstību gurķos un papelēs noteikts, ka zemās svina koncentrācijās ir vērojama hlorofila daudzuma palielināšanās, savukārt 50mM svina koncentrācijā vērojama spēcīga hlorofila daudzuma samazināšanās (Sengar, Pandey, 1996). Tātad svins ir arī spējīgs stimulēt enzīmu

aktivitāti, ne tikai kavēt, bet tikai zemās koncentrācijās. Lai gan darba eksperimentā svins tika pievienots augstā koncentrācijā, vermikomposta ietekmē tā uzņemšana samazinājās, tāpēc netiek novērota svina negatīvā ietekme uz hlorofilu daudzumu un fotosintēzes norisi. To pierāda arī rezultāti par katru atsevišķo hlorofila *a* fluorescences rādītāju. Svina variantos vermikomposta ietekmē nesamazinās to lielums, kas nozīmē, ka fotosintēzes reakcijas netiek traucētas.

Samazinātu šo rādītāju lielumu visios variantos pirmajās divās mērīšanas nedēļās var skaidrot ar kukurūzas attīstību: jaunie augi ir daudz jutīgāki pret stresa faktoru, tai skaitā svina, ietekmi. Kukurūzai pieaugot, hlorofila koncentrācija lapās palielinās. Hlorofila *a* fluorescences rādītāju vērtības samazināšanos pēdējā eksperimenta nedēļā 10 un 20% vermikomposta variantos varētu skaidrot ar to, ka eksperimenta novākšanas laikā šiem diviem variantiem vīrišķie ziedi jau bija noziedējuši un augos sākusi samazināties fizioloģisko procesu intensitāte.

Salīdzinot gan svina koncentrācijas analīzes, gan augšanas un hlorofila parametrus, var secināt, ka vermikomposts ļoti pozitīvi ir ietekmējis augu augšanu, tas ir būtiski samazinājis svina uzņemšanu kukurūzā, svina izraisītos negatīvos efektus uz kukurūzas augšanu un fizioloģiskajiem procesiem.

SECINĀJUMI

1. Smagā metāla svina ($1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ substrāta) uzņemšana kukurūzas augos būtiski samazinās, pievadot 10%, 20% un 30% vermikompostu.
2. Svina negatīvā ietekme uz kukurūzas augšanu, svaigo un sauso masu, kā arī uz fizioloģisko procesu parametriem vermikomposta ietekmē samazinās.
3. Augiem, kas audzēti augsnē bez vermikomposta, nav novērojama svina negatīvā ietekme uz visu fizioloģisko parametru izmaiņām, ko var izskaidrot ar kukurūzas toleranci pret smagajiem metāliem.
4. Ontoģenēzes laikā svina negatīvā ietekme uz kukurūzas augšanu samazinās.
5. Vermikomposta ietekmē kukurūzas lapās būtiski palielinās hlorofila daudzums un hlorofila *a* fluorescences rādītāji, dažos gadījumos līdz pat septiņām reizēm pārsniedzot kontroles augus.
6. Augu augšanas, svaigās un sausās masas parametri ievērojami palielinās 10% un 20% vermikomposta ietekmē, 30% vermikompostam ir negatīva ietekme, kas skaidrojama ar lielu minerālelementu daudzumu substrātā, kas, izraisot ozmotisko stresu, kavē augu augšanu.

PATEICĪBAS

Izsaku milzīgu pateicību darba vadītājam M. Vikmanei par ieguldīto darbu, idejām, palīdzību, sapratni. Vēlos pateikties LU BF Augu fizioloģijas katedras vadītājam Ģ. Ieviņam par sniegtajiem padomiem, idejām, palīdzību eksperimentālajā daļā. Vēlos pateikties BIOR institūta Pārtikas un vides izmeklējumu laboratorijas vadītājam V. Bartkevičam un laborantam K. Bavrīnam par svina analīžu veikšanu. Saku paldies Lāsmāi Rābantei par palīdzību un padomiem. Izsaku pateicību Jānim Freibergam par vermikomposta „Ekozeme” dāvinājumu un LU Bioloģijas institūta augu minerālās barošanās laboratorijas vadītājai A. Osvaldei par minerālelementu saatura noteikšanu augsnē un vermikompostā.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Aira E. A. 2002. Soil lead alters phytase activity and mineral nutrient balance of *Pisum sativum*. *Environmental and Experimental Botany*, 48: 61-73.
2. Alvarez-Puebla R. A., Goulet P. J. G., Garrido J. J. 2005. Characterization of the porous structure of different humic fractions. *Colloids and Surfaces, A Physicochem Eng. Aspects*, 256: 129-135.
3. Asik B. B., Turan M. A., Celik H., Katkat A. V. 2009. Effects of Humic Substances on Plant Growth and Mineral Nutrients Uptake of Wheat (*Triticum durum* cv. Salihli) Under condition of salinity. *Asian Journal of Crop Science* 1 (2): 87-95.
4. Bakar A. A., Yee C. M., Mahmood N. Z., Abdullah N. 2015. Effect on heavy metal concentration from vermicomposition of agro-waste mixed with landfill leachate. *Waste Management*, 38: 431-435.
5. Bown H.E., Mason E.G., Clinton P.W., Watt M.S. 2009. Chlorophyll fluorescence response of *Pinus radiata* clones to nitrogen and phosphorus supply. - *Ciencia e Investigacion Agraria* 36(3):451-464
6. Canellas L. P. 2002. Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots. – *Plant Physiology*, 130(4): 1951–1957.
7. Canellas L. P., Piccolo A., Dobbss L. B., Spaccini R., Olivares F. L., Zandonadi D. B., Facanha A. R. 2010. Chemical composition and bioactivity properties of size-fractions separated from a vermicompost humic acid. *Chemosphere* 78: 457-466.
8. Chen Y., Aviad T. 1990. Effects of Humic Substances on Plant Growth. *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*, 161-186
9. Chiu K. K., Ye Z. H., Wong M. H. 2005. Enhanced uptake of As, Zn, and Cu by *Vetivera zizanioides* and *Zea Mays* using chelating agents. *Chemosphere*, 60: 1365-1375.
10. Domy C. A. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. Second edition. 2001. Springer Science & Business Media, 867 lpp.
11. Dūdare D. 2015. Kūdras humīnskābju mijiedarbība ar metālistiskajiem elementiem. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga, Latvijas Universitāte, 38 lpp.

12. Estringu A., Sezen I., Aytatli B., Ercisli S. 2015. Effect of humic and fulvic acid application on growth parameters in *Impatiens walleriana* L. Akademik Ziraat Dergisi 4(1): 37-42.
13. Gautam M., Sengar R. S., Garg S. K., Sengar K., Chaudhary R. 2008. Effect of Lead on Seed Germination, Seedling Growth, Chlorophyll Content and Nitrate Reductase Activity in Mung bean (*Vigna radiata*). – Research Journal of Phytochemistry, 2: 61-68.
14. Hadi F., Aziz. T. 2015. A Mini Rewiew on Lead (Pb) Toxicity in Plants. - Journal of Biology and Life Science, Vol. 6, No. 2: 91-101.
15. Hall D.O., Rao K.K. 1999. Photosynthesis. Cambridge: Cambridge University Press, 214 lpp.
16. He J.Y., Ren Y.F., Zhu C., Yan Y.P., Jiang D.A. 2008. Effect of Cd on growth, photosynthetic gas exchange, and chlorophyll fluorescence of wild and Cd-sensitive mutant rice. - Photosynthetica 46(3):466-470
17. Hopkins W.G., Hüner N.P.A. 2009. Introduction to Plant Physiology. Fourth Edition. John Wiley & Sons, 503 lpp.
18. Hovsepyan A., Greipsson S. 2004. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Phytoextraction by Corn (*Zea mays*) of Lead-Contaminated Soil. – International Journal of Phytoremediation, 6(4): 305-321.
19. Huang J. W., Cunningham S. D. 1996. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. – New Phytologist, 134: 75-84.
20. Hussain N., Abbasi T., Abbasi S. A. 2016. Vermicomposting transforms allelopathic parthenium into a benign organic fertilizer. Journal of Enviromental Management, 180: 180-189.
21. Ieviņš Ģ. 2016. Augu fizioloģija. Funkcijas un mijiedarbība ar vidi. Rīga: LU akadēmiskais apgāds, 608 lpp.
22. Jarvis M. D., Leung D. W. M. 2002. Chelated lead transport in *Pinus radiata* an ultrastructural study. Enviromental and Experimental Botany, 48: 21-32.
23. Kevresan S., Petrovic N., Popovic M., Kandrak J. 2001. Nitrogen and protein metabolism in young pea plants as affected by different concentrations of nickel, cadmium, lead, and molybdenum. – Journal of Plant Nutrition, Vol. 24: 1633-1644.
24. Kozhevnikova A. D., Seregina I. V., Bystrova E. I., Belyaevab A. I., Kataevab M. N., Ivanova V. B. 2009. The Effects of Lead, Nickel, and Strontium Nitrates on Cell

- Division and Elongation in Maize Roots, Russian Journal of Plant Physiology, 56 (2), 242 – 250 pp.
25. Lamhamdi M., El Galiou O., Bakrim A., Novoa-Munoz J. C., Arias-Estevez M., Aarab A., Lafont R. 2013. Effect of lead stress on mineral content and growth of wheat (*Triticum aestivum*) and spinach (*Spinacia oleracea*) seedlings. – Saudi Journal of Biological Sciences, 20: 29-36.
 26. Leegood R. C., Sharkey, T. D., von Caemmerer, S. 2000. Photosynthesis: Physiology and Metabolism. Kluwer: Dordrecht, 624 lpp.
 27. Malkowski E., Kita A., Galas W., Karcz W., Kuperberg J. M. 2002. Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium. Plant Growth Regulation, 37: 69-76.
 28. Malkowski E., Kyrtyka R., Kita A., Karcz W. 2005. Accumulation of Pb and Cd and its Effect on Ca Distribution in Maize Seedlings (*Zea Mays* L.). – Polish Journal of Environmental Studies Vol. 14, No. 2: 203-207.
 29. Manyuchi M. M., Chitambwe T., Phiri A., Muredzi P., Kanhukamwe Q. 2013. Effect of Vermicompost, Vermiwash and Application Time on Soil Physicochemical Properties. - International Journal of Chemical and Environmental Engineering, Volume 4, No. 4., 216 – 220.
 30. Meng F., yuan G., Wei J., Bi D., Sik Ok Y., Wang H. 2017. Humic substances as a washing agent for Cd-contaminated soils. Chemosphere, 181:461-467.
 31. Mishra A., Choudhuri M.A. 1998. Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants. Biologia Plantarum, Vol. 41: 469-473.
 32. Mohamed W. H. 2012. Effects of humic acid and calcium forms on dry weight and nutrient uptake of maize plant under saline condition. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(8): 597-604.
 33. Mohr H., Scopher P. 1995. Plant physiology. Fourth edition. Berlin: Springer, 629 lpp.
 34. Netto A.T., Campostrini E., de Oliveira J.G., Bressan-Smith R.E. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll *a* fluorescence and SPAD–502 readings in coffee leaves. - Scientia Horticulturae 104:199-209
 35. Panda D., Rao D.N., Sharma S.G., Strasser R.J., Sarkar R.K. 2006. Submergence effects on rice genotypes during seedling stage: Probing of submergence driven changes of

- photosystem II by chlorophyll *a* fluorescence induction O-J-I-P transients. -
Photosynthetica 44(1):69-75
36. Pinior A., Grunewaldt-Stocker G., Alten H., Strasser R.J. 2005. Mycorrhizal impact on drought stress tolerance of rose plants probed by chlorophyll *a* fluorescence, proline content and visual scoring. - *Mycorrhiza* 15:596-605
 37. Pinto T. de O., Garcia A. C., Guedes J. do N., Sobrinho N. M. B. do A., Tavares O. C. H., Berbara R. L. L. 2016. Assessment of the Use of Natural Materials for the remediation on cadmium soil. *PLoS ONE*, 11(6): 1-14.
 38. Raven P.H., Johnson G.B. 2002. *Biology* 6th Edition. New York: The McGraw Hill Companies, 872 pp.
 39. Ravikumar S., Thamizhiniyazin P. 2014. Impact of lead on growth, bio chemical and enzymatic changes in black gram. – *International Journal of Pharmaceutical and Applied Sciences*, 4(4): 1-3.
 40. Riņķis G., Ramane H. 1989. *Kā barojas augi, Rīga, „Avots”*, 151 lpp.
 41. Romanowska E., Igamberdiev A. U., Parys E., Gardeström P. 2002. Stimulation of respiration by Pb²⁺ in detached leaves and mitochondria of C3 and C4 plants. *Physiologia Plantarum*, 116 (2): 148-154.
 42. Ruža A., Adamovičs A., Bankina B., Bērziņš A., Driķis J., Kārklīņš A., Kreišmane D., Kreita D., Turka I., Ruža E.. 2004. *Augkopība. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte*, 374 lpp.
 43. Sahariah B., Goswami L., Kim K. H., Bhattacharyya P., Bhattacharyya S. S. 2015. Metal remediation and biodegradation potential of earthworm species on municipal solid waste: A paralel analysis between *Metaphire posthuma* and *Eisenia fetida*. – *Bioresource technology*, 180: 230 – 236.
 44. Sengar R. S., Pandey M. 1996. Inhibition of chlorophyll biosynthesis by lead in greening *Pisum sativum* leaf segments. *Biologia Plantarum*, Vol. 38, 3: 459-462.
 45. Seregin I. V., Ivanov V., B. 1997. Histochemical Investigation of Cadmium and Lead Distribution in Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, Vol. 44: 791-796.
 46. Sharma P. and Shanker R. 2005. Lead toxicity in plants. *Plant Physiology*, 17(1): 35-52.
 47. Singh B.K., Pathak K.A., Verma A.K., Verma V.K., Deka B.C. 2011. Effects Of Vermicompost, Fertilizer and Mulch on Plant Growth, Nodulation and Pod Yield of

- French Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.). Vegetable Crops Research Bulletin, vol. 74: 153-165.
48. Skorzynska-Polit E., Baszynski T. 2000. Does Cd²⁺ use Ca²⁺ channels to penetrate into chloroplasts? – a preliminary study. - Acta Physiologiae Plantarum 22(2):171-178
 49. Stefanov K., Popova I., Kamburova E., Popov S. 1993. Lipid and sterol changes in *Zea mays* caused by lead ions. Phytochemistry, 33(1):47-51
 50. Tangahu B. V., Abdullah S. R. S., Basri H., Idris M., Anuar N., Mukhlisin M. 2011. A Review on Heavy Metals (As, Pb and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. – International Journal of Chemical Engineering, Vol. 2011: 31 lpp.
 51. Taty-Costodes V. C., Fauduet H., Porte C., Delacroix A. 2003. Removal of Cd(II) and Pb(II) ions, from aqueous solutions, by adsorption onto sawdust of *Pinus silvestris*. Journal of Hazardous Materials, B 105: 121-142.
 52. Taiz L., Zeiger E. 2006. Plant Physiology 4th Edition. Sinauer Associates, 764 pp.
 53. Theng K. G. B., Yuan G. 2008. Nanoparticles in the Soil Environment. Elements, Vol. 4: 395-399.
 54. Trevisan S., Francioso O., Quaggiotti S., Nardi S., 2010. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. Plant Signalling & Behaviour, 5:6: 635-643.
 55. Verma S., Dubey R. S. 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. Plant Science, 164: 645-655.
 56. Vodnik D., Jentschke G., Fritz E., Gogala N., Godbold D. L., 1999. Root-applied cytokinin reduces lead uptake and affects its distribution in Norway spruce seedlings. Physiologia Plantarum, 106 (1): 75-81.
 57. Wierzbicka M. 1994. Resumption of mitotic activity in *Allium cepa* L. -autoradiographic and ultrastructural studies. Environment Exploration Botany, 34: 173-180.
 58. Wierzbicka M. 1998. Lead in the apoplast of *Allium cepa* L. root tips—ultrastructural studies. Plant Science, Vol. 33: 105-119.
 59. Wuana R. A., Okieimen F. E. 2010. Phytoremediation Potential of Maize (*Zea mays* L.). A Review. –African Journal of General Agriculture, Vol. 6, No. 4: 275-287.
 60. Xu P., Sun C. X., Ye X. Xiao W. D., Quiang W. 2016. The effect of biochar and crop straws on heavy metal bioavailability. – Ecotoxicology and Environmental Safety, 132: 94-100.

61. Zhang H., Ngim Tan S., How Teo C., Ru Yew Y., Ge L., Chen X., Wan Hong Yong J. 2015. Analysis of phytohormones in vermicompost using a novel combinative sample preparation strategy of ultrasound-assisted extraction and solid phase extraction coupled with liquid chromatography-tandem mass spectrometry. – *Talanta*, 139: 189 – 197.
62. Zhu W., Du W., Shen X., Zhang H., Ding Y. 2017. Comparative adsorption of Pb^{2+} and Cd^{2+} by cow manure and its vermicompost. – *Environmental pollution*, 227: 89-97.

Pielikumi

1. pielikums
Vilnis Nollendorfs, Dr.biol.
Anita Osvalde, Dr.biol.
Gunārs Paegle, Dr.biol.
LU Bioloģijas institūts
„Saimnieks”, 2005, Nr. 1, 14.-16. lpp.
Nr. 2, 18.-20. lpp.
1.tabula

**Barības elementu saturs augsnē ziemas kviešiem
mg/l 1 M HCl izvilkumā**

| Elementi | Nepietiekams | Zems (var būt nepietiekams) | Optimāls | Augsts (var būt pārbagāts) | Pārbagāts |
|-----------------------|--------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|-----------|
| Slāpeklis (N) | < 80 | 80 – 90 | 90 – 120 | 120 - 140 | > 140 |
| Fosfors (P) | < 140 | 140 – 150 | 150 – 250 | 250 - 280 | > 280 |
| Kālijs (K) | < 120 | 120 – 150 | 150 – 220 | 220 - 250 | > 250 |
| Kalcijs (Ca) | < 1500 | 1500 – 1600 | 1600 – 5000 | 5000 - 6000 | > 6000 |
| Magnijs (Mg) | < 200 | 200 – 250 | 250 – 800 | 800 - 1000 | > 1000 |
| Sērs (S) | < 25 | 25 – 30 | 30 – 60 | 60 - 80 | > 80 |
| Dzelzs (Fe) | < 600 | 600 – 700 | 700 – 1200 | 1200 - 1400 | > 1400 |
| Mangāns (Mn) | < 70 | 70 – 80 | 80 – 150 | 150 - 180 | > 180 |
| Cinks (Zn) | < 3 | 3 – 4 | 4 – 8 | 8 - 10 | > 10 |
| Varš (Cu) | < 4 | 4 – 5 | 5 – 10 | 10 - 12 | > 12 |
| Molibdēns (Mo) | < 0,02 | 0,02 – 0,03 | 0,03 – 0,06 | 0,06 – 0,08 | > 0,08 |
| Bors (B) | < 0,4 | 0,4 – 0,5 | 0,5 – 1,2 | 1,2 – 1,4 | > 1,4 |
| pH/KCl | < 6,4 | 6,4 – 6,6 | 6,6 – 7,2 | 7,2 – 7,4 | > 7,4 |