

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
BIOLOĢIJAS FAKULTĀTE  
AUGU FIZIOLOĢIJAS KATEDRA

ABIOTISKO UN BIOTISKO FAKTORU IETEKMES  
ANALĪZE VEĢETĀCIJAS EKSPERIMENTOS AR JŪRAS  
PIEKRASTES RETO UN AIZSARGĀJAMO AUGU  
SUGĀM

Maģistra darbs

Autors: Laura Gaile

Stud. apl. Nr. lg11070

Darba vadītājs: Dr. hab. biol., prof. Ģederts Ieviņš

Recenzents: Dr. biol. Doc. Māra Vikmane

RĪGA 2017

## KOPSAVILKUMS

Darba mērķis bija veikt daudzfaktoru eksperimentus un aprobēt veģetācijas pētījuma metodiku jūras piekrastes reto un aizsargājamo augu sugu fizioloģiskajiem pētījumiem, lai noskaidrotu dabisko faktoru iespējamo ietekmi.

Piekrastes zonas ir dinamiski mainīgas vietas, kurās sastopamas daudzas endēmas augu sugas, no kurām liela daļa ir retas un aizsargājamas. Eksperimentos izmantoja četras jūras piekrastes retās un aizsargājamās augu sugas – smiltāja neļķi (*Dianthus arenarius*), jūrmalas pārkonamoliņu (*Anthyllis maritima*), jūrmalas ceļteku (*Plantago maritima*) un jūrmalas āžloku (*Triglochin maritimum*). Augu sugas pavairoja ar sēklām vai veģetatīvi un atkarībā no sugas ekoloģijas, veica piekrastes teritorijām raksturīgas ietekmes faktoru apstrādi – apbēršanu ar smiltīm, nobradāšanu, slāpekli fiksējošu gumiņbaktēriju pievienošanu, augsnes minerālelementu un sāļu sastāva izmaiņas, vai dažādas iepriekšminēto apstrāžu kombinācijas.

Visiem augiem veica hlorofila *a* fluorescences mērījumus, hlorofila koncentrācijas mērījumus, jonu kvantitatīvu noteikšanu un galējo morfoloģisko datu iegūšanu. Eksperimentā ar *A. maritima* papildus noteica arī elektrolītu noplūdes, gvajakola peroksidāzes un polifenoloksidāzes aktivitātes analīzi.

*D. arenarius* spēja atjaunoties pēc ilgstošas apbēršanas un nobradāšanas intensitātes. Viegla apbēršana (1.3 cm smilšu slānis) veicina virszemes daļu masas pieaugumu. *A. maritima* augu augšanas un atjaunošanās spēju ietekmēja slāpekli fiksējošo gumiņbaktēriju klātbūtne un smilšu apbēršanas intensitāte (2 cm un 4 cm smilšu slānis). *P. maritima* spēja ilgstoši paciest 1000 mM sāļumu, saglabājot aktīvu fotosintēzi, bet 2000 mM augi pakāpeniski gāja bojā. *T. maritimum* neuzrādīja toksiskuma pazīmes dažādu jonu izmantošanai pat augstās koncentrācijās.

Eksperimentus veica no 2016. gada augusta līdz 2017. gada aprīlim Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātes Augu fizioloģijas katedrā, LU Dabaszinātņu akadēmiskā centra siltumnīcā. Eksperimentus veica VPP EVIDEnT, „Latvijas ekosistēmu vērtība un tās dinamika klimata ietekmē”.

Atslēgvārdi: *Plantago maritima*, *Dianthus arenarius*, *Anthyllis maritima*, *Triglochin maritimum*, apbēršana, nobradāšana, sālsizturība

## SUMMARY

The aim of the study was to perform multifactorial experiments and to approve a method of vegetation experiments for investigation of impact of natural environmental factors on rare and endangered coastal plant species.

Sea coast is a dynamically variable habitat, where high number of endemic plant species can be found, many of them being rare and endangered. Four rare and endangered coastal plant species were used in the present study: *Dianthus arenarius*, *Anthyllis maritima*, *Plantago maritima* and *Triglochin maritimum*. The plant species were propagated by seed or vegetatively and, according to their ecology, the main environmental factors on a sea coast were used as treatments: sand burial, trampling, application of nitrogen fixing root-nodule-forming bacteria, mineral nutrient disbalance, and salt changes in the soil, or combinations of the previously mentioned treatments.

Chlorophyll *a* fluorescence, chlorophyll concentration, ion quantitative measurements and final morphological data were collected from all species. In the experiment with *A. maritima* electrolyte leakage, guaiacol peroxidase activity and polyphenol oxidase enzyme activity was measured as well.

*D. arenarius* recovered after prolonged period of time of sand burial and trampling. Light sand burial (1.3 cm sand layer) increased weight of the above ground parts. Nitrogen fixing root nodules and intensity of the sand burial (2 cm and 4 cm sand layer) affected growth and recovery of *A. maritima*. *P. maritima* withstood 1000 mM salinity for a prolonged period of time, maintaining active photosynthesis, but it gradually perished at 2000 mM salinity. *T. maritimum* did not show any toxicity symptoms at different high ion concentrations.

The experiments were carried out from August 2016 till April 2017 at the Faculty of Biology, the Department of Plant Physiology, University of Latvia in the greenhouse of the Academic Centre of Natural Sciences. The study was carried out within the project from NRP EVIDEnT „The value and dynamic of Latvia’s ecosystems under changing climate”.

Keywords: *Plantago maritima*, *Dianthus arenarius*, *Anthyllis maritima*, *Triglochin maritimum*, sand burial, trampling, salt tolerance

## SATURS

Ievads.....	5
1. Literatūras apskats .....	6
1.1. Aizsargājamo un reto piekrastes teritoriju un augu vispārējs raksturojums .....	6
1.2. Pārskats par vides faktoriem jūras piekrastē .....	7
1.2.1. Apbēršana ar smiltīm.....	7
1.2.2. Augu nobradāšana .....	8
1.2.3. Jūras ūdens un tā fizioloģiskā ietekme .....	9
1.2.4. NaCl ietekme uz augu.....	9
1.2.5. Augu minerālā barošanās.....	10
1.3. Bioloģisko mijiedarbību nozīme, simbioze ar slāpekli fiksējošām baktērijām .....	11
1.4. Fotosintēze .....	11
1.4.1. Hlorofila <i>a</i> fluorescence .....	12
2. Materiāli un metodes .....	13
2.1. Eksperimentos izmantoto augu sugu un to biotopu raksturojums .....	13
2.2. Eksperimentos izmantoto augu pavairošana, audzēšana, apstrāde, likvidēšana .....	14
2.3. Hlorofila <i>a</i> fluorescences un koncentrācijas noteikšana .....	16
2.4. Jonu kvantitatīva noteikšana .....	16
2.5. Elektrolītu noplūdes noteikšana .....	16
2.6. Gvajakola peroksidāzes aktivitātes un polifenoloksidāzes aktivitātes noteikšana .....	17
3. Rezultāti.....	18
3.1. Veģetācijas eksperiments ar <i>D. arenarius</i> .....	18
3.2. Veģetācijas eksperimenti ar <i>A. maritima</i> .....	22
3.3. Veģetācijas eksperiments ar <i>P. maritima</i> .....	38
3.4. Veģetācijas eksperiments ar <i>T. maritimum</i> .....	45
4. Diskusija.....	50
Secinājumi .....	55
Pateicības.....	56
Literatūras saraksts .....	57

## IEVADS

Piekrastes zonas ir vienas no dinamiski mainīgākajām vietām pasaulē, kuras ietekmē pastāvīgi mainīgie vides apstākļi, kas savukārt ietekmē šo teritoriju veģetāciju. Lai augi spētu izdzīvot un augt šādos apstākļos, tiem nepieciešams pielāgoties vides apstākļu izmaiņām. Bet ne visi to spēj, līdz ar to piekrastes zonās sastopamas daudzas endēmas augu sugas, kas ar laiku var kļūt retas un aizsargājamas. Latvijā kopumā sastopamas apmēram 50 augu sugas, kuras var sastapt pārsvarā tikai jūras krastu teritorijās. Tomēr 21 pludmales kā arī atklāto kāpu suga iekļauta Latvijas Sarkanajā grāmatā un 11 sugas atzīmētas kā īpaši aizsargājamas. Tas tāpēc, ka liela daļa piekrastēs augošo augu sugu, kaut arī nereti sastopamas šajos biotopos, ir retas Latvijā kopumā (Laime 2005).

Visus augus ietekmē tādi abiotiskie faktori, kā gaisma, mitrums, temperatūra, taču piekrastes zonām papildus klāt nāk tādi faktori, kā pārpūšana ar smiltīm, paaugstināts augsnes sāļums un periodisks sausums, kā arī ne mazāk svarīgs antropogēnais faktors, kā cilvēku veikta augu nobradāšana. Šī maģistra darba galvenais uzdevums ir pārbaudīt tieši šo piekrastei raksturīgo faktoru ietekmi uz augu augšanu un attīstību.

Tāpēc, lai iegūtu pietiekami daudz informācijas, par piekrastes reto un aizsargājamo augu sugu fizioloģiskajiem procesiem, nepietiek ar dažu dabā sastopamo augu sugu izpēti *in situ*. Kā arī to aizsargātības statuss neļauj veikt apzinātu apdraudējumu, kas var rasties eksperimentu gaitā. Tas liek meklēt risinājumus šādu pētījumu metodikas uzlabošanā un pielāgošanā. Nedestruktīvu fizioloģisko metožu izmantošana ir būtisks aspekts, kas ļautu iegūt informāciju par fizioloģiskajiem procesiem augā, bet neapdraudētu to dabiskos izplatības areālus dabā.

Darba mērķis ir veikt daudzfaktoru eksperimentus un aprobēt veģetācijas pētījuma metodiku jūras piekrastes reto un aizsargājamo augu sugu fizioloģiskajiem pētījumiem, lai noskaidrotu dabisko faktoru iespējamo ietekmi.

Darba uzdevumi ir:

1. pārbaudīt iespēju imitēt piekrastes apstākļus daudzfaktoru un bioloģisko faktoru eksperimentos;
2. analizēt vairāku piekrastes reto un aizsargājamo augu sugu iespējamās adaptīvās reakcijas vides apstākļu ietekmei;
3. aprobēt nedestruktīvo fizioloģisku metožu un analītisko ekspresmetožu izmantošanu pētījumos.

# 1. LITERATŪRAS APSKATS

## 1.1. Aizsargājamo un reto piekrastes teritoriju un augu vispārējs raksturojums

Piekrastes zonās kā arī iekšzemes kāpu teritorijās vides apstākļi un klimats dažādās pasaules vietās var būt ļoti mainīgs dažādo vides faktoru ietekmē, līdz ar to šādi biotopi dod iespēju veidoties daudzām endēmām sugām. Taču specifiskie un mainīgie piekrastes zonas apstākļi ir arī iemesls, kāpēc šīs sugas var agrāk vai vēlāk kļūt par retām un aizsargājamām (Pardini et al. 2015). Lai arī Latvija pasaules mērogā nav liela valsts, tās jūras krasta teritorijas ir unikālas ar to, ka šeit aug retas sugas, kas nav sastopamas citviet Eiropā vai pasaulē (Laime 2005) un liela daļa no Latvijā aizsargājamām sugām sastopamas tieši piejūras teritorijās.

Zinātniskais avots, kas nosaka augu sugu aizsargātības statusu ir Latvijas Sarkanā grāmata, kurā raksturotas aizsargājamo augu kategorijas:

0. kategorija – izzudušās sugas – sugas, kuras nav atrastas pēdējo 50 gadu laikā, taču, iespējams, vēl saglabājušās dabā, nebrīvā vai kultūrā un kurām nepieciešama īpaša valsts aizsardzība likumdošanas aktu veidā;

1. kategorija – izzūdošās sugas – sugas, kurām draud iznīkšana, tās ir ļoti retas, jo to skaits jau samazinājies līdz kritiskai robežai un to turpmākā eksistence nav iespējama bez sevišķu pasākumu veikšanas; tām nepieciešama īpaša valsts aizsardzība likumdošanas aktu veidā;

2. kategorija – sarūkošās sugas – sugas, kuru indivīdu skaits samazinās un areāls sašaurinās gadu gaitā dabisku cēloņu dēļ, cilvēka darbības rezultātā vai arī abu minēto faktoru ietekmē; tām nepieciešama indivīdu skaita izmaiņas kontrole un īpaša valsts aizsardzība likumdošanas aktu veidā;

3. kategorija – retās sugas- sugas, kurām nedraud iznīkšana, bet kuras sastopamas tik nelielā skaitā, vai arī pēc platības tik ierobežotās specifiskās vietās, ka var ātri iznīkt; tām nepieciešama īpaša valsts aizsardzība likumdošanas aktu veidā;

4. kategorija – maz pazīstamās vai vāji izpētītās sugas, kurām, iespējams, draud iznīkšana, bet ziņu trūkuma dēļ pagaidām nevar precīzi novērtēt šo sugu stāvokli; tām nepieciešama papildus izpēte (Latvijas Botāniķu biedrība 2017).

No likumdošanas viedokļa, īpaši aizsargājamās sugas ir ierakstītas MK noteikumos Nr.396 “Noteikumi par īpaši aizsargājamo sugu un ierobežoti izmantojamo īpaši aizsargājamo sugu sarakstu” 1., 2. pielikums (14.11.2000.), saskaņā ar grozījumiem Nr.627, 27.07.2004 (Latvijas Botāniķu biedrība 2017).

Aizsargājамie un retie piekrastes augi ir sarežģīts modeļobjekts veģetācijas eksperimentiem dabā. Eksperimenta laikā var tikt apdraudēta sugas pastāvēšana, sugas īpatņu

skaits var būt neliels un objektīvu datu iegūšanai eksperimenta atkārtojumu skaits var būt nepietiekams. Kā arī vides faktoru un augu savstarpēja mijiedarbība ir būtiska, bet nav tik viegli izkontrolējama, lai noteiktu galvenos ietekmējošos faktoros (Balestri, Lardicci 2004; Ye et al. 2017), kas katras konkrētās sugas pastāvēšanu veicina, vai apdraud. Tāpēc mazāk izpētīto reto un aizsargājamo augu sugu paraugu ievākšana, pavairošana un stresa faktoru imitēšana veģētācijas eksperimentos siltumnīcas apstākļos, ir vismaz sākotnēji labāks risinājums, kas dod iespēju labāk izprast augos notiekošos procesus. Kombinētu ietekmes faktoru eksperimenti varētu sniegt atbildes uz daudz neatbildētiem jautājumiem. Tāpēc piemērotu metožu atrašana veģētācijas eksperimentiem siltumnīcās, kas būtu līdzvērtīgi tiem procesiem, kas noris dabā, ir būtisks pētījumu posms (Gilbert, Ripley 2010).

## **1.2. Pārskats par vides faktoriem jūras piekrastē**

Abiotiskie faktori, kā, piemēram, gaiss, mitrums un temperatūra, ir būtiski jebkuru augu augšanā un attīstībā, taču papildus šiem faktoriem piekrastes augus pastāvīgi vai periodiski ietekmē arī tādi apstākļi kā vējš, augsnes sāļums, minerālvielu trūkums, apbēršana un appūšana ar smiltīm un sāļā jūras ūdens ietekme (Hesp 1991; Laime 2005). Taču arī tādi faktori kā pastiprināta antropogēnā ietekme un nobradāšana ir būtiski, kāpēc piekrastes zonas un to augi kļūst apdraudēti (Prisco et al. 2013; Teixeira et al. 2016).

Biežāk sastopamās adaptācijas šādu vides faktoru ietekmē ir sālsizturība, pastiprināta augu augšana apbēršanas ietekmē, applūšanas izturība, simbioze ar gaisa slāpekli fiksējošām baktērijām, izmaiņas dzīves ciklā un sēklu dīģšanā, kā arī morfoloģiski pielāgojumi. Tomēr salīdzinošu pētījumu par adaptāciju veidošanos augos nav pietiekami daudz, lai varētu izvērtēt, vai izmaiņas augā patiešām ir adaptācijas vai arī augiem piemīt raksturīgas īpašības, kas ļauj tiem augt noteiktos apstākļos (Hesp 1991).

### **1.2.1. Apbēršana ar smiltīm**

Vēja ietekmēta smilšu appūšana, kas veicina augu apbēršanu ar smiltīm kāpu zonās ietekmē augs un augsnes mikrovidi un darbojas kā izretināšanas faktors, kas augu sabiedrību līmenī nosaka sugu izdzīvošanu vai izzušanu noteiktās vietās (Maun 1998), taču viennozīmīgu atbilžu uz to, kā apbēršana ietekmē augus nav daudzo pētījumu rezultātu atšķirību dēļ (Gilbert, Ripley 2010). Apbēršanas apstākļi savā ziņā rada līdzīgus morfoloģiskas atbildes reakcijas kā noēnojuma ietekme vai konkurence par gaismu. Kā arī, uzbērtā smilšu kārtā uztur mitruma līmeni, palielina mikroorganismu klātbūtnes iespējamību, taču samazina aerāciju (Maun 1994). Apbēršana kā fizisks mehānisms veicina augs dzinumus pastiprinātu veidošanos, jo, lai augs tiktu līdz gaismas avotam, tam jāizaug cauri uzbērtajai smilšu kārtai. Vairākos pētījumos rādās

sakarība, ka apbēršanas ietekmē augi palielina savu virszemes daļu biomasu, salīdzinot ar sakņu biomasu, un slāpekļis pārvietojas no sakņu sistēmas uz stumbriem un lapām. Augiem palielinās virszemes daļu biomasu, garums un skaits, lai tie spētu uzturēt aktīvu fotosintēzi (Zhang, Maun 1992; Brown 1997). Kopumā dažādos pētījumos parādās sakarība, ka vairākas nedēļas pēc apbēršanas uzlabojas fotosintēzes rādītāji, salīdzinot ar kontroles variantiem, taču ir iegūti arī pretēji rezultāti. Līdz ar to, lai varētu izteikt konkrētākus secinājumus, par fotosintēzes izmaiņām, būtu jāveic regulārāki fotosintēzes mērījumi laika griezumā (Gilbert, Ripley 2010). Ir pat augi, kuri ir specializēti pielāgojušies un kuriem ir nepieciešama regulāra smilšu apbēršana, lai uzturētu augu spēcīgumu (Eldred, Maun 1982). Tomēr pētījumos Ķīnā novērots, koku sugas *Ulmus pumila* jauno kociņu skaits ir samazinājies pārāk intensīvas smilšu apbēršanas dēļ. Pētījumā ar *U. pumila* sešas nedēļas pēc daļējas apbēršanas būtiski palielinājās sakņu garums, kā arī būtiski pieauga dzinumu, sakņu, lapu biomasu, kā arī lapu skaits, salīdzinot ar neapbērtu kontroli, vai pilnīgi apbērtajiem variantiem (Shi et.al. 2004). Tas liek uzdot jautājumu, cik intensīva smilšu apbēršana rada pozitīvu vai tieši pretēji, negatīvu ietekmi, un cik sugas specifiski tas ir. Piemēram piekrastes augiem ar klonālu augšanu, iespējas izdzīvot ir lielākas, jo rametas, kas nav apraktas var galvenajam dzinumam pigādāt nepieciešamās minerālvielas (Yu et al. 2004). Tāpēc atklāts paliek jautājums par to, kā augi, kam nav raksturīga klonālā augšana, spēj pielāgoties un pārziest apbēršanu.

### 1.2.2. Augu nobradāšana

Kāpas ir jutīga ekosistēma un cilvēka izraisītā augu nobradāšana, it īpaši, vasarā, tūrisma aktīvajā sezonā, ir viens no svarīgākajiem faktoriem, kas ietekmē veģetācijas daudzveidību tajās. Lai arī augi spēj adaptēties dažādiem ekstremāliem abiotiskajiem faktoriem, tomēr pret mehānisku ietekmi tie ir ļoti jutīgi. It sevišķi tas novērojams smilšainu kāpu teritorijās, kur šī ietekme ir lielāka kā citos biotopos (Bowles, Maun 1982, Andersen 1994). Santoro et al. (2012) pētījumā, salīdzinot nostaigātas kāpu teritorijas un pēc tam uztaisot nožogojumus, lai salīdzinātu izmaiņas, kādas rodas, ja šīs teritorijas netiek nobradātas, jau pēc diviem gadiem novēroja veģetācijas atjaunošanos un kāpu augu daudzveidības palielināšanos. Tātad veicot attiecīgos saimnieciskos pasākumus ir iespējams visai vienkārši ierobežot nobradāšanu kā augu daudzveidības samazinošu faktoru. Tas, vai veģetācija spēj atjaunoties pēc nobradāšanas ietekmes, ir būtisks aspekts, lai saglabātos kāpu ekosistēmas (Emery, Rudgers 2010). Bet teritorijas atjaunošanos nosaka divi galvenie faktori - bojājumu pakāpe, kas iekļauj arī fizikāli ķīmiskos vides aspektus, un veģetācijas atjaunošanās potenciāls (Hylgaard 1980). Noskaidrots, ka nobradāšana neietekmē *Plantago maritima* augšanu (Andersen 1994).

### 1.2.3. Jūras ūdens un tā fizioloģiskā ietekme

Baltijas jūra ir gandrīz noslēgta. Tā ir viena no lielākajām iesāļā ūdens teritorijām pasaulē (Pasaules Dabas fonds 2017), jo tajā ieplūst daudz saldūdens no upēm, un Ziemeļjūra ir vienīgā jūra, caur kuru notiek sāļā ūdens apmaiņa Baltijas jūrā (Schinke, Matthäus 1998). Baltijas jūrā sāļums atkarībā no vietas variē no 1 līdz 20‰ (Gustafsson, Westman 2002), bet vidēji tas ir 5 līdz 7‰ (Meier, Kauker 2003), kamēr okeānos vai citās jūrās tas ir ap 35‰. Viena NaCl mola masa ir 54.88 g, līdz ar to, pārrēķinot Baltijas jūras sāļumu uz milimolēm, tas ir no apmēram 17 līdz 342 mM, vidēji 86 līdz 120 mM, bet okeānu sāļums ir apmēram 599 mM. Sāļākā jūra pasaulē – Nāves jūra – ir gandrīz desmit reizes sāļāka par okeāniem, sasniedzot sāļumu 34.8%, jeb 5955 mM (Kis-Papo et al. 2014).

Lielākā daļa dabā sastopamo elementu ir arī jūras ūdens sastāvā, tomēr tikai daļa no tiem ir pietiekami augstās koncentrācijās, lai tos varētu uzskatīt par būtiskiem. Šie elementi ir hlors, nātrijs, magnijs, sērs, kalcijs, kālijs, broms, ogleklis, stroncijs, bors, fluors (Culkin, Cox 1966). No minētajiem elementiem lielāko koncentrāciju sastāda tieši hlors un nātrijs (Dickson, Goyet 1994).

Piekrastes zonām vienmēr pastāv risks, ka ceļoties jūras ūdens līmenim, tās var applūst. Līdz ar to, jūras ūdens ietekmei ir pakļauti visi tie augi, kas ir šādu teritoriju sastāvdaļa (Hoggart et al. 2014). Piekrastes zonās augi jūras ūdeni var uzņemt ne tikai, tiekot apskaloti, bet arī miglas, un vēja nestu šļakatu veidā. Ja jūras ūdens ietekmētās teritorijas pēc tam ir ilgstošāka sausuma apstākļos, tad sāls koncentrācija augos paaugstinās uz ūdens transpirācijas rēķina.

### 1.2.4. NaCl ietekme uz augu

Sāļainība ļoti stipri ietekmē piekrastu veģētāciju (Wrange et al. 2014). NaCl bieži tiek uzskatīts par toksisku savienojumu, kas var nelabvēlīgi ietekmēt augus un ir viens no galvenajiem vides faktoriem, kas limitē augu augšanu un produktivitāti, jo tiek izmainīta ūdens uzņemšana, veicināts jonu disbalanss un hiperosmotiskais stress. Tomēr NaCl negatīvā ietekme vērtējama pretrunīgi. Pētījumā ar ziemas rudziem, augu augšanas procesa inhibēšana bija vairāk saistīta ar specifiskiem regulējošiem mehānismiem, nevis tiešu osmotisko vai toksisko ietekmi (Ievinsh 2017). Pastāv augi, kas aug tieši biotopos, kur sāļainība ir lielāka, līdz ar to, tiem ir iekšējie mehānismi, kas ļauj izvairīties no sāls negatīvās ietekmes un veikt pilnu attīstības ciklu. Paaugstinātas sāls koncentrācijas dēļ, augam veidojas dažādi pielāgojumi - sālsizturība, NaCl uzkrāšanās audos, sukulence, osmotiskas adaptācijas (Hesp 1991).

Augi var izveidot mehānismus, kas izslēdz sāli no šūnām, vai tieši pretēji – spēj pielāgoties, uzņemot sāli šūnās (Munns, Tester 2008). Otrajā gadījumā, kad augs sadzīvo ar sāls stresu, tiek ietekmēta gan auga fotosintēze, proteīnu sintēze, enerģijas apmaiņa un lipīdu

metabolisms. Sākotnēji tas var izpausties kā lapu virsmas samazināšanās, bet augšana atjaunojas, kad stress ir pārvarēts. Šūnu augšanai nepieciešamos ogļhidrātus nodrošina fotosintēzes darbība, kas sāļainības ietekmē augiem ir samazināta, jo sevišķi NaCl ietekmē (Parida, Das 2005). NaCl augsnē rada osmotisko potenciālu, kas var samazināt ūdens uzskāšanos saknēs, līdz ar to radīt līdzīgus apstākļus, kā sausuma ietekme (Munns 2002).

Par sāls toleranci var saukt auga spēju augt un veikt pilnu attīstības ciklu, paaugstinātas sāļainības ietekmē. Augus, kas spēj dzīvot šādos apstākļos, sauc par halofītiem. Halofīti, atšķirībā no glikofītiem, spēj augt augsnē, kur sāļainība pārsniedz 300–400 mM. Halofīti pārsvarā uzkrāj, bet glikofīti – izslēdz sāli (Zhu 2007). Bioķīmiskās stratēģijas iekļauj selektīvu jonu uzkrāšanu vai izslēgšanu, jonu uzņemšanu saknēs un pārnesšanu uz lapām, vai jonu kompartmentāciju šūnu vai visa auga līmenī, fotosintēzes darbības izmaiņas, membrānu struktūru izmaiņas, antioksidatīvo enzīmu vai augu hormonu indukcija (Parida, Das 2005). Ar kompartmentācijas palīdzību  $\text{Na}^+$  tiek pārnesti uz lapām, kur tie tiek uzglabāti vakuolās, lai nenonāktu šūnas citopazmā vai šūnapvalkos, kas varētu izraisīt sāls toksicitāti. Sāls ietekme samazina  $\text{K}^+$  uzņemšanu, kas līdz ar to samazina sakņu šūnu augšanu. Halofītisks augs uzkrāj  $\text{Na}^+$ , it īpaši lapas plātnē, nevis saknēs (Munns 2002).

### 1.2.5. Augu minerālā barošanās

Visiem vaskulārajiem augiem ir nepieciešami makroelementi O, H, C, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe. No tiem, O, H un C augs uzņem no ūdens un gaisa, bet visus pārējos makroelementus augi uzņem no augsnes caur saknēm jonu veidā. Šo elementu koncentrācijas augā būtībā parāda, kādā substrātā augs ir audzis. Baltijas jūras piekrastei raksturīgas krasas sezonāla rakstura mikrovides izmaiņas, kas ietekmē arī minerālelementu svārstības tajā (Karlsons 2011).

N trūkums veicina lapu dzeltēšanu, sākotnēji dzeltējot vecajām lapām, jo tiek samazināta hlorofilu, aminoskābju un olbaltumvielu sintēze. N ir elements, kas visvairāk var ietekmēt auga augšanu un auga biomasas pieaugumu (Xu et al. 2012).

K trūkums arī veicina lapu dzeltēšanu, sākotnēji veco un tad jauno lapu. K augā tiek uzņemts  $\text{K}^+$  veidā. K regulē cukuru vielu maiņu un transportu, iesaistās fotosintēzes procesā, atvārsnīšu kustību regulācijā, osmoregulācijā, enzīmu aktivācijā, proteīnu sintēzē, katjonu-anjonu līdzsvara uzturēšanā, regulē membrānu caurlaidību. K veicina  $\text{NO}_3^-$  uzņemšanu un transportu augā (Blevins et al. 1978), kā arī slāpekļa fiksāciju ar sakņu gumiņiem (Mengel et al. 1974). Lai spētu pielāgoties kālija trūkumam, augam ir jāsajūt izmaiņas kālija pieejamībā un jānosūta signāls metabolisma pielāgošanai (Hafsi et al. 2014).

Ca trūkuma ietekmē neattīstās jauni meristemātiski audi un saknes, auga šūnapvalki kļūst gļotaini un sadalās. Ca augā tiek uzņemts  $\text{Ca}^{2+}$  veidā.

Mg trūkuma ietekmē nesintezējas hlorofils, kā rezultātā var veidoties īpatnēja lapu plātņu hloroze, kur vecajām lapām starp dzīslām var sākties bālēšana. Mg augā tiek uzņemts  $Mg^{2+}$  veidā.

S trūkuma ietekmē lapas kļūst bālas un dzeltē, taču šī pazīme sākotnēji novērojama jaunajām lapām. Nepietiek ar S reutilizāciju, lai kompensētu to S trūkumu, ko augs neuzņem no saknēm.

Fe trūkuma ietekmē veidojas hloroze jaunām lapām. Fe ir būtisks elements, kas atrodas fermentu sastāvā un veicina hlorofila sintēzes sākuma etapus. Fe augā tiek uzņemts  $Fe^{2+}$  un  $Fe^{3+}$  veidā

Augsnes pH vērtību izmainīšana var veicināt vai kavēt minerālelementu uzņemšanu augā. Pie pH 8 augs var labāk uzņemt Ca, tikmēr Fe var netikt uzņemts.

### **1.3. Bioloģisko mijiedarbību nozīme, simbioze ar slāpekli fiksējošām baktērijām**

Slāpeklis ir galvenais augu limitējošais elements piekrastes zonās, bet daudzi piekrastes augi ir pielāgojušies augt vidē ar zemu slāpekļa koncentrāciju (Vitousek et al. 1997).

Lai arī gaisā slāpeklis sastopams lielā daudzumā, tomēr uzņemt to gāzveida  $N_2$  formā augs nevar. Augsnē esošās slāpekli fiksējošās baktērijas atjauno augsnē pieejamo slāpekļa daudzumu pārveidojot gaisā pieejamo  $N_2$  par amonjaku  $NH_3$ . N augā tiek uzņemts  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$  veidā. Augsnē esošais sāļu šķīdums ļauj amonjakam piesaistīt vienu protonu, kā rezultātā veidojas  $NH_4^+$ .  $NO_3^-$  formu palīdz iegūt augsnē esošās nitrificējošās baktērijas, oksidējot amoniju. Lai arī augs uzņem slāpekli amonija jonu  $NH_4^+$  veidā, tomēr lielākā daļa tiek uzņemta nitrātu  $NO_3^-$  formā (Bergersen 1971; Peoples et al. 1995).

Augs un slāpekli fiksējošās baktērijas veido simbiotiskas attiecības. Uz auga saknēm esošajos gumiņos atrodas slāpekli fiksējošās baktērijas. Tās palīdz saistīt slāpekli, ko tālāk pa vadaudu koksnes daļu nogādā no saknēm uz citām auga daļām, bet no auga tās pa lūksnes daļu uzņem fotosintēzes procesā radušos produktus – ogļhidrātus un dažādas citas organiskās vielas (Peoples et al. 1995).

### **1.4. Fotosintēze**

Fotosintēze, ko spēj veikt augi, ir viens no vissvarīgākajiem procesiem uz Zemes (Vītola 1975). Fotosintēzes process ir arī viens no visjutīgākajiem procesiem augā, attiecībā pret dažādām vides apstākļu izmaiņām. Fotosintēzes pigmenti ir cieši saistīti ar fotosintēzes procesu un fotoķīmiskajām reakcijām augos (Richardson et al. 2002). Nosakot pigmentu koncentrāciju augos, var noteikt izmaiņas fotosintētiskajā darbībā, kuru ietekmē dažādi ģenētiskie, kā arī

augšanas faktori. Pigmentu daudzums var raksturot vides apstākļu ietekmi uz augu (Vikmane 2013).

#### **1.4.1. Hlorofila *a* fluorescence**

Hlorofila fluorescence rodas fotosistēmas II hlorofila molekulās. Gaismas enerģija pēc absorbcijas hlorofila molekulās var tikt pārvērsta fotoķīmiskajā enerģijā, siltuma enerģijā vai arī izstarota hlorofila fluorescences veidā (Misra et al. 2012). Hlorofils *a* ir sastopamākā hlorofila forma, kas ir arī noteicošā fluorescences signāla radītāja. Hlorofila fluorescence augos nav konstanta un tā var mainīties endogēnu un eksogēnu faktoru ietekmē visā auga dzīves laikā (Mauriņa 1987). Hlorofila fluorescences rādītāji var parādīt stresa ietekmi uz augu pirms tas vizuāli ir redzams (Zarco-Tejada et al. 2002).



kails, tumši zaļš, cero. Stublājs garāks par lapām, tā galā atrodas ziedi, kas aug blīvā, garā vārpā. Sastopama ziemeļu puslodē. Raksturīga suga sāļainām piejūras pļavām, piejūras palieņu pļavām un periodiski applūstošām vietām (Latvijas Daba<sup>a</sup> 2017). Šī suga ierakstīta Latvijas Sarkanajā grāmatā 3. kategorijā, kā arī iekļauta MK noteikumos par īpaši aizsargājamām sugām (Latvijas Daba<sup>d</sup> 2017). *T. maritimum* augu sēklas ievāca Liepājas ezera krasta pļavās 2016. gadā.

## 2.2. Eksperimentos izmantoto augu pavairošana, audzēšana, apstrāde, likvidēšana

Visu eksperimentu norises vieta bija LU Dabaszinātņu akadēmiskā centra siltumnīca, kur nodrošināja augu augšanai nepieciešamos apstākļus. Fotoperiods 16h (6:00 līdz 22:00); temperatūra 20/15 °C (dienu/nakts); relatīvais gaisa mitrums 70%. Augus ar barības šķīdumiem laistīja katru otro nedēļu, ar dejonizētu ūdeni – pēc nepieciešamības.

*D. arenarius* veģetatīvi pavairoja no neliela dabā ievāktā parauga. Visus veģetatīvi pavairotos augus pārstādīja 1 L plastmasas veģetācijas traukos, kur slāņu veidā veģetācijas trauka apakšējā daļā bija 7 cm kvarca smiltis (ražotājs Saulkalne) un pa virsu 2 cm melnzemes (ražotājs Biolan). Nedēļu pēc pēdējās pārstādīšanas šajā eksperimentā izdalīja 7 apstrādes variantus 5 bioloģiskajos atkārtojumos, kur K – kontrole, Tr1 – nobradāšana 1 (5 reizes nedēļā nobradāts ar mehānisko pēdu 4 nedēļu garumā), Tr2 – nobradāšana 2 (10 reizes nedēļā nobradāts ar mehānisko pēdu 2 dienas pēc kārtas), B1 – apbēršana 1 (1.3 cm slānī uzbērtas kvarca smiltis), B2 – apbēršana 2 (2.7 cm slānī uzbērtas kvarca smiltis), B1Tr1 – nobradāšana 1 kopā ar apbēršanu 1, B1Tr2 – nobradāšana 1 kopā ar apbēršanu 2. Mehānisko pēdu izveidoja, lai imitētu cilvēka radītu nostaigāšanu. Tā sastāvēja no metāla cilindra, kas pildīts ar metāla stienīšiem, cilindra pamatni veidoja korķa plātne, kas pēc izmēra atbilda veģetācijas trauka izmēram. To visu salika bloku sistēmas veidā, lai nobradāšanas process būtu ērti veicams un radiātais spiediens uz augu būtu vienmērīgs. Mehāniskās pēdas kopējā masa bija 10 kg. Vienu nedēļu pēc pēdējās variantu apstrādes, sāka veikt hlorofila *a* fluorescences un hlorofila koncentrācijas noteikšanu reizi nedēļā, 8 nedēļu garumā, atjaunošanās perioda laikā. Eksperimenta beigās, galējo morfoloģisko datu iegūšanai, noteica augu augstumu, lapu garumu, sakņu garumu, virszemes daļu svaigo un sauso masu, sakņu svaigo un sauso masu.

*A. maritima* izaudzēja no dabā ievāktām sēklām. Ar šo augu veica divus eksperimentus (*AM-1*, *AM-2*).

*AM-1*: kopā šajā eksperimentā bija 6 varianti 4 bioloģiskajos atkārtojumos – kontrole, NaCl pievienošana substrātam, NaCl apsmidzināšana uz lapām, apbēršana, apbēršana apvienojumā ar NaCl pievienošana substrātam, apbēršana apvienojumā ar NaCl apsmidzināšanu uz lapām. Eksperimenta laikā noteica jonu satura analīzi lapās, hlorofila *a*

fluorescences un hlorofila koncentrācijas dinamikas izmaiņas. Eksperimenta beigās, galējo morfoloģisko datu iegūšanai, noteica sakņu garumu, svaigo masu un sauso masu, kā arī virszemes daļu augstumu, nostieptu lapu garumu, virszemes daļu svaigo masu un sauso masu.

AM-2: kopā šajā eksperimentā veica apbēršanu ar 2 cm smilšu (S1), apbēršanu ar 4 cm smilšu (S2), NaCl apsmidzināšanu uz lapām (NaL), NaCl pievienošanu substrātam (NaS) kā arī dabisko gumiņbaktēriju inokulanta pievienošanu sterilizētā augsnē (+i), vai tā nepievienošanu (-i). Slāpekli fiksējošo gumiņbaktēriju inokulantu ieguva, nomazgājot auga sakni, kuru pēc tam sterilizēja 50% ACE šķīdumā, trīs reizes noskaloja destilētā ūdenī. Pēc tam gumiņus atdalīja no sterilās saknes un saberza pietā ar destilētu ūdeni. Kopā ar kontroli bija 18 varianti 6 bioloģiskajos atkārtojumos ar dažādām iepriekšminēto apstrāžu kombinācijām. Eksperiments ilga sešas nedēļas. Eksperimenta laikā noteica jonu satura analīzi lapās, hlorofila *a* fluorescences un hlorofila koncentrācijas dinamikas izmaiņas, gvajakola peroksidāzes un polifenoloksidāzes aktivitāti lapās. Eksperimenta beigās, galējo morfoloģisko datu iegūšanai, noteica sakņu garumu, svaigo masu un sauso masu. Noteica arī virszemes daļu augstumu, nostieptu lapu garumu, lapu skaitu, dzinum skaitu, svaigo un sauso masu, 10 lielāko lapu garumu, svaigo un sauso masu, 10 kātu garumu, svaigo un sauso masu.

No *P. maritima* auga sēklām izaudzēja jaunus augus Biolan melnzemē. Sākotnēji visus augus, izņemot kontroli, laistīja ar 250 mM NaCl šķīdumu, lai augi adaptētos sāls ietekmei, bet pēc tam izdalīja 5 variantus 4 bioloģiskajos atkārtojumos, kur bija neapstrādāta kontrole un variantus attiecīgi laistīja ar 250, 500, 1000 un 2000 mM NaCl šķīdumu. Eksperiments ilga deviņas nedēļas. Eksperimenta laikā noteica jonu koncentrācijas analīzi lapās, hlorofila *a* fluorescences un hlorofila koncentrācijas dinamikas izmaiņas. Eksperimenta beigās, galējo morfoloģisko datu iegūšanai, noteica vālišu, stublāju, lielo lapu, mazo lapu un sakņu svaigo masu un sauso masu.

*T. maritimum* izaudzēja no dabā ievāktām sēklām. Pavairotos augus pārstādīja veģetācijas traukos Biolan melnzemē, kur pa eksperimentālajiem variantiem uz 1 kg augsnes pievienoja 14 g Ca, 4 g Na (ar vai bez papildus Ca), 4 g Mg (ar vai bez papildus Ca), 4 g Fe (ar vai bez papildus Ca). Praktiski uz 1 L augsnes pa atbilstošajiem variantiem pievienoja 8.2 g  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 2.4 g  $Na_2SO_4$ , 4.0 g  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ , 7.0 g  $CaCO_3$  un 150 mL dejonizēta ūdens. Kopā ar kontroli šajā eksperimentā bija 8 varianti 5 bioloģiskajos atkārtojumos. Eksperiments ilga sešas nedēļas. Eksperimenta laikā noteica jonu koncentrācijas analīzi lapās, hlorofila *a* fluorescences un hlorofila koncentrācijas dinamikas izmaiņas, kā arī augsnes elektrovadītspēju un pH. Eksperimenta beigās, galējo morfoloģisko datu iegūšanai, noteica virszemes daļu un sakņu svaigo un sauso masu.

Tas, kādas apstrādes metodes katram augam izmantoja, bija tieši atkarīgs no noteicošajiem ietekmes faktoriem dabā. *D. arenarius* un *A. maritima* ir tipiski kāpu augi, kuriem apbēršana varētu būt primārais faktors. Bet *P. maritima* un *T. maritimum* ir vairāk periodiski applūstoši augi, kam biežāka saskare ar sālsūdens vidi, līdz ar to sāļu un barības vielu ietekme ir svarīgāka šiem augiem. Tajā pašā laikā katram no minētajiem augiem ir arī savi specifiski augšanu ietekmējoši faktori, tāpēc tie apskatīti papildus primārajiem, kas ļauj uzzināt par katru augu arī sugas specifisku informāciju.

### **2.3. Hlorofila *a* fluorescences un koncentrācijas noteikšana**

Katru nedēļu pēc eksperimentu uzsākšanas augiem noteica hlorofila koncentrāciju ar CCM-300 hlorofilmetru (OPTI-SCIENCES) un hlorofila *a* fluorescences mērījumus ar Handy-PEA (Hansatech Instruments). Katram variantam, katram atkārtojumam mērījums veica trīs pilnīgi izaugušām, taču ne novecojušām, lapām.

### **2.4. Jonu kvantitatīva noteikšana**

$K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NO_3^-$  koncentrācijas un elektrovadītspējas (EC) noteikšanai izmantoja „Horiba LAQUAtwin” mērītājus, ko var uzskatīt par ekspressmetodi šādu mērījumu iegūšanā. Ik pa divām nedēļām pēc eksperimenta uzsākšanas, ievāca 5 pilnībā nobriedušas lapas vienādās attīstības stadijās – pa vienai lapai no katra atkārtojuma un noteica to svaigo masu. Lapas ietina papīra loksnēs un 48 h karsēja 60 °C temperatūrā, lai iegūtu lapu sauso masu. Sausās lapas saberza ar piestu porcelāna tīģelī, pievienojot proporcionāli nepieciešamo dejonizētā ūdens daudzumu, atkarībā no sausās masas daudzuma (50 mL  $H_2O$  uz 1 g lapu sausās masas). Šķīdumu izfiltrēja un ieguva ekstraktu. Katrā attiecīgajā Horiba LAQUAtwin mērītājā (EC,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NO_3^-$ ) iepildīja 300  $\mu$ L ekstrakta un ieguva mērījumus.

### **2.5. Elektrolītu noplūdes noteikšana**

Elektrolītu noplūdes noteikšanai izmantoja *A. maritima* auga lapas. No katra varianta ievāca 5 pilnībā nobriedušas lapas vienādās attīstības stadijās – pa vienai lapai no katra atkārtojuma. Pēc tam no katras lapas ar korķurbi 5 mm diametrā izspieda trīs lapu diskus no lapas plātnes gala līdz lapas plātnes vidum, neiekļaujot lapas centrālo dzīslu, kopā iegūstot 15 lapu diskus vienam variantam. Lapu diskus noskaloja dejonizētā ūdenī un ievietoja stikla mēģenē, kur lapu diskus aplēja ar 10 mL dejonizēta ūdens un atstāja mērcēties laboratorijas apstākļos, istabas temperatūrā ( $20.0 \pm 2$  °C) uz 22 h. Pēc 22 h noteica ūdens elektrovadītspēju at Horiba LAQUAtwin elektrovadītspējas mērītāju. Tad mēģenes ielika karsēties termostatā 90 °C temperatūrā uz 2 h. Pēc 2 h mēģenes atdzēsēja līdz istabas temperatūrai un atkārtoti noteica

elektrovadītspēju. Pieņem, ka elektrovadītspēja pēc karsēšanas parāda 100% elektrolītu noplūdi, tāpēc, lai noteiktu auga lapu membrānu bojājumu pakāpi katram variantam, salīdzināja relatīvo elektrovadītspēju pirms un pēc karsēšanas.

## **2.6. Gvajakola peroksidāzes aktivitātes un polifenoloksidāzes aktivitātes noteikšana**

Gvajakola peroksidāzes aktivitātes un polifenoloksidāzes aktivitātes noteikšanai izmantoja *A. maritima* auga lapas. No katra varianta ievāca 5 pilnībā nobriedušas lapas vienādās attīstības stadijās – pa vienai lapai no katra atkārtojuma - un izmantoja visu augu materiālu parauga sagatavošanai. Lapas sasaldēja šķidrā slāpekļī un ar piestu saberza homogēnā masā porcelāna tīģelī. Enzīmu ekstrahēšanai izmantoja 25 mmol L<sup>-1</sup> HEPES/KOH buferi (pH 7.2), kas sastāvēja no 1 mM EDTA un 3 % polivinilpolipirrolidona. Enzīmus ekstrahēja 15 min 4 °C temperatūrā. Homogēno šķīdumu centrifugēja 20 min 13000 g apgriezieniem. Analīzēm izmantoja supernatantu.

Peroksidāzes aktivitāti mērīja ar spektrofotometru 470 nm viļņu garumā. Reakcijas maisījums sastāvēja no 2 mL 50 mmol L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>/NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> bufera (pH 7.0) ar 10 mmol L<sup>-1</sup> gvajakola, 0.51 mL 0.03 mol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> un 0.03 mL enzīmu ekstrakta. Kā kontrolšķīdumu izmantoja reakcijas šķīdumu pirms H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pievienošanas. Peroksidāzes aktivitāti aprēķināja kā absorbcijas izmaiņas minūtē uz 1 g parauga svaigās masas.

Polifenoloksidāzes aktivitāti mērīja ar spektrofotometru 410 nm viļņu garumā. Reakcijas maisījums sastāvēja no 3 mL 50 mmol L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>/NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> bufera (pH 6.5) ar 25 mmol L<sup>-1</sup> pirokatehola, un 0.2 mL enzīmu ekstrakta. Kā kontrolšķīdumu izmantoja reakcijas šķīdumu pirms enzīmu ekstrakta pievienošanas. Polifenoloksidāzes aktivitāti aprēķināja tāpat kā peroksidāzes aktivitāti – absorbcijas izmaiņas minūtē uz 1 g audu svaigās masas.

### 3. REZULTĀTI

#### 3.1. Veģetācijas eksperiments ar *D. arenarius*

Veģetācijas eksperimentā ar *D. arenarius* varēja novērot morfoloģiskas atšķirības jau pēc apstrādes perioda (1. attēls). Salīdzinot ar kontroli, visiem apstrādes variantiem bija samazināta augšana, kas pasliktinājās līdz ar nobradāšanas pakāpi. Vizuāli līdzīgi bija varianti kontrole un B1, Tr1 un B1Tr1, Tr2 un B1Tr2, parādot, ka nobradāšanai bija lielāka ietekme uz augu augšanu nekā apbēršanai.

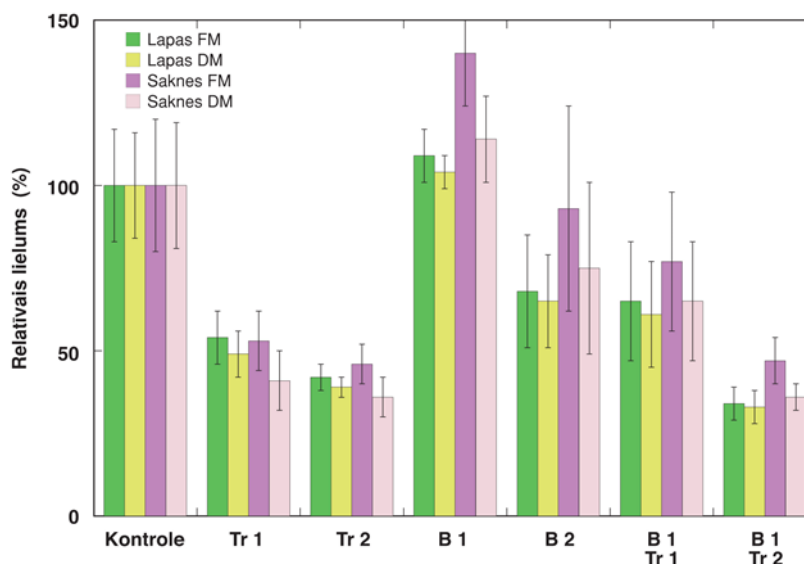


1. attēls. Tipisko *Dianthus arenarius* augu morfoloģija pēc apstrādes perioda. Pirmajā rindā no kreisās uz labo: kontrole, Tr1 (nobradāts 5 reizes nedēļā), Tr2 (nobradāts 10 reizes nedēļā). Otrajā rindā no kreisās uz labo: B1 (apbērts 1.3 cm), B1 Tr1, B1 Tr2. Trešajā rindā B2 (apbērts 2.7 cm).

Figure 1. Typical *Dianthus arenarius* plant morphology after treatment. First row from left to right: control, Tr1 (trampled 5 times per week), Tr2 (trampled 10 times per week). Second row from left to right: B1 (sand buried 1.3 cm), B1 Tr1, B1 Tr2. Third row B2 (sand buried 2.7 cm).

Visi apstrādes varianti, salīdzinot ar kontroli, pēc eksperimenta likvidēšanas uzrādīja relatīvi zemākus svaigās un sausās lapu un sakņu masas rādītājus, izņemot B1 variantu (2.attēls), kur sakņu svaigā masa būtiski pārsniedza, bet pārējie rādītāji nedaudz pārsniedza kontroles rādītājus. Nobradāšanas intensitāte ietekmēja svaigās un sausās masas samazinājumu gan neapbērtajiem, gan apbērtajiem variantiem.

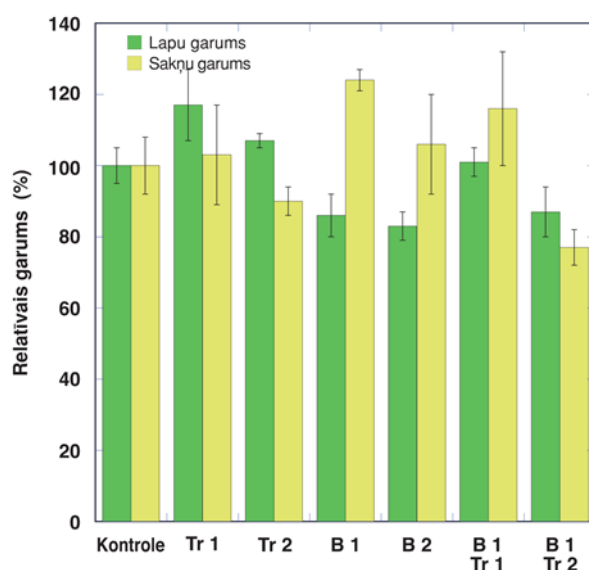
Savstarpēji salīdzinot nobradāšanas intensitātes ietekmi gan neapbērtajiem, gan apbērtajiem variantiem, tad paaugstināta intensitāte negatīvi ietekmēja *D. arenarius* svaigās un sausās masas pieaugumu. Tomēr, ja savstarpēji salīdzina variantus Tr1 un B1Tr1, var novērot, ka apbēršanas faktors bija uzlabojis svaigās un sausās masas pieaugumu pretstatā tikai nobradātajam variantam.



2. attēls. *Dianthus arenarius* augu dažādu daļu svaigās un sausās masas relatīvās izmaiņas atkarībā no apstrādes (8 nedēļas pēc apstrādes beigām). FM, svaigā masa, DM, sausā masa.

Figure 2. Relative changes in different parts of *Dianthus arenarius* plant weight depending on treatment (8 weeks after final treatment). FM, fresh weight, DM, dry weight.

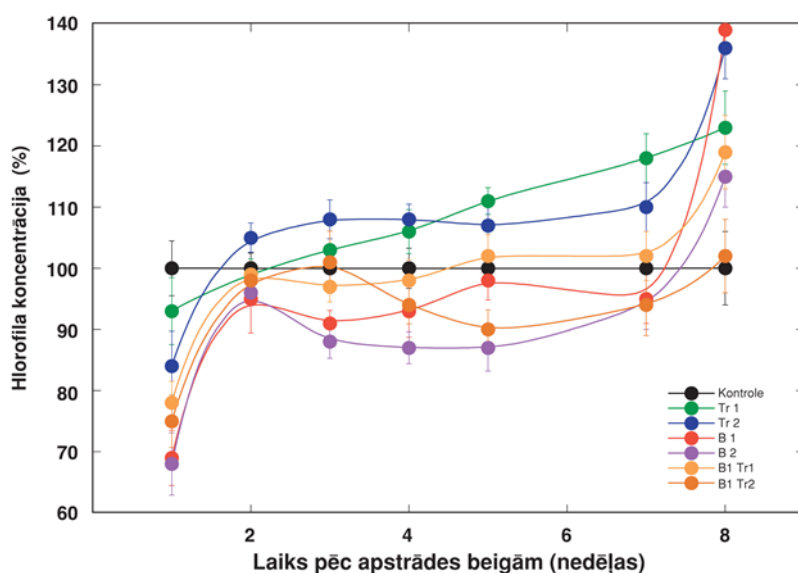
Abi apstrādes varianti ar augstāko nobradāšanas pakāpi (Tr2 un B1Tr2) uzrādīja īsāku sakņu garumu, salīdzinot ar kontroli, kamēr pārējo variantu rezultāti bija līdzvērtīgi vai augstāki (3. attēls). Apbēršana (B1) veicināja sakņu pagarināšanos, apbēršana apvienojumā ar mazāko nobradāšanas pakāpi (B1Tr1) nedaudz mazāk, bet arī veicināja, taču apbēršana apvienojumā ar intensīvāko nobradāšanu (B1Tr2) samazināja sakņu garumu.



3. attēls. Relatīvās *Dianthus arenarius* augu lapu un sakņu garuma izmaiņas atkarībā no apstrādes veida (8 nedēļas pēc apstrādes beigām).

Figure 3. Relative changes in *Dianthus arenarius* plant leaf and root length depending on treatment (8 weeks after final treatment).

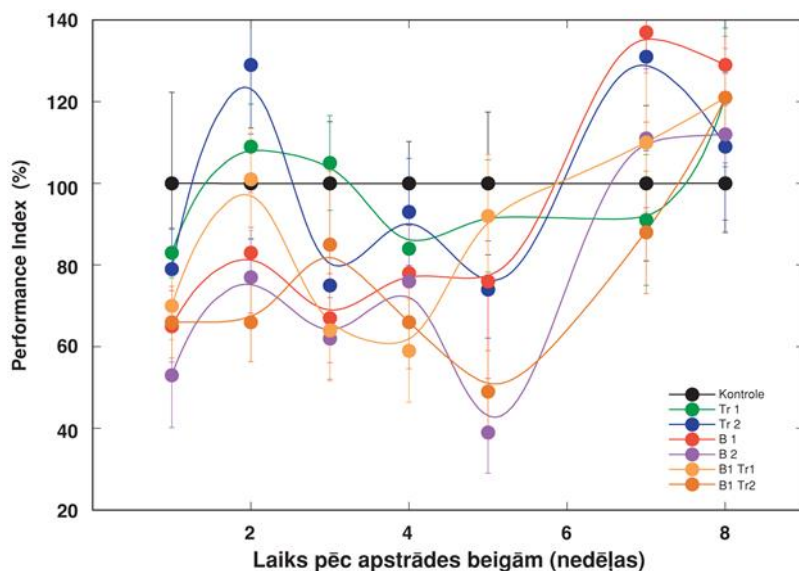
Pēc hlorofila koncentrācijas izmaiņu datiem var redzēt, ka vienu nedēļu pēc apstrādes, hlorofila koncentrācija visiem apstrāžu variantiem bija zemāka nekā kontrolei, taču jau otrajā nedēļā bija novērojams straujš kāpums (4. attēls). Astoņu nedēļu laikā pēc apstrādes tikai abi nobradātie varianti (Tr1 un Tr2) uzrādīja konstanti labākus hlorofila koncentrācijas rezultātus, taču jau astotajā nedēļā visos variantos bija novērojama hlorofila koncentrācijas pieaugums, salīdzinot ar kontroli.



4. attēls. Relatīvās hlorofila koncentrācijas izmaiņas *Dianthus arenarius* lapās atkarībā no apstrādes veida salīdzinājumā ar neapstrādātu kontroli.

Figure 4. Relative changes in chlorophyll concentration in *Dianthus arenarius* plant leaves depending on treatment in comparison with untreated control.

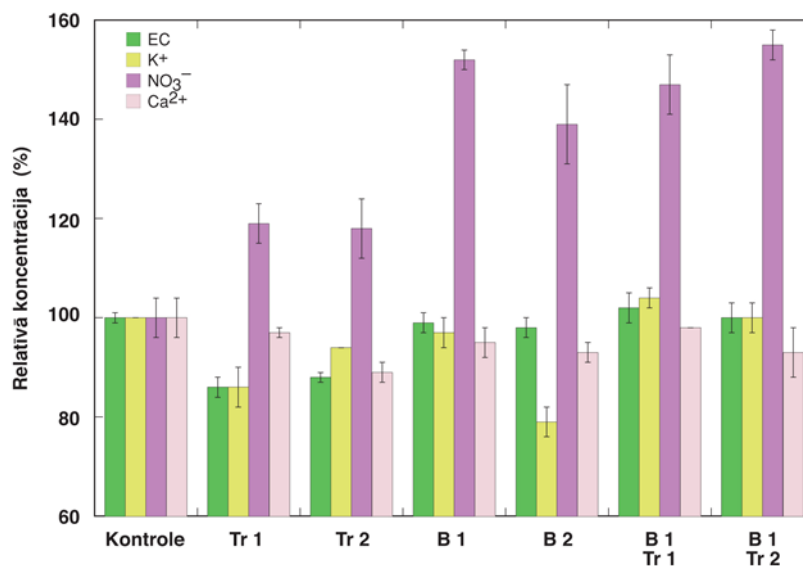
Hlorofila *a* fluorescences rādītājs *Performance Index*, kas norāda uz auga vitalitāti un atjaunošanās spēju, liecina par to, ka piecu nedēļu laikā auga atjaunošanās bija svārstīga un apstrāžu ietekme radīja negatīvu efektu, salīdzinot ar kontroles variantu, taču septītajā un astotajā nedēļā rezultāti uzlabojās (5. attēls). Tāpat kā hlorofila koncentrācijas dati, arī auga vitalitātes rādītāji visiem apstrāžu variantiem astoņas nedēļas pēc apstrādes bija augstāki nekā kontrolei.



5. attēls. Relatīvās hlorofila fluorescences rādītāja *Performance Index* izmaiņas *Dianthus arenarius* lapās atkarībā no apstrādes veida salīdzinājumā ar neapstrādātu kontroli.

Figure 5. Relative changes in fluorescence parameter *Performance Index* in *Dianthus arenarius* plant leaves depending on treatment in comparison with untreated control.

Visos apstrādes variantos novēroja palielinātu nitrātu koncentrāciju (6. attēls). Abas nobradāšanas intensitātes atsevišķi (Tr1 un Tr2) un abas apbēršanas intensitātes atsevišķi (B1 un B2) samazināja elektrovadītspēju,  $K^+$  un  $Ca^{2+}$  uzņemšanu un uzkrāšanos augā.

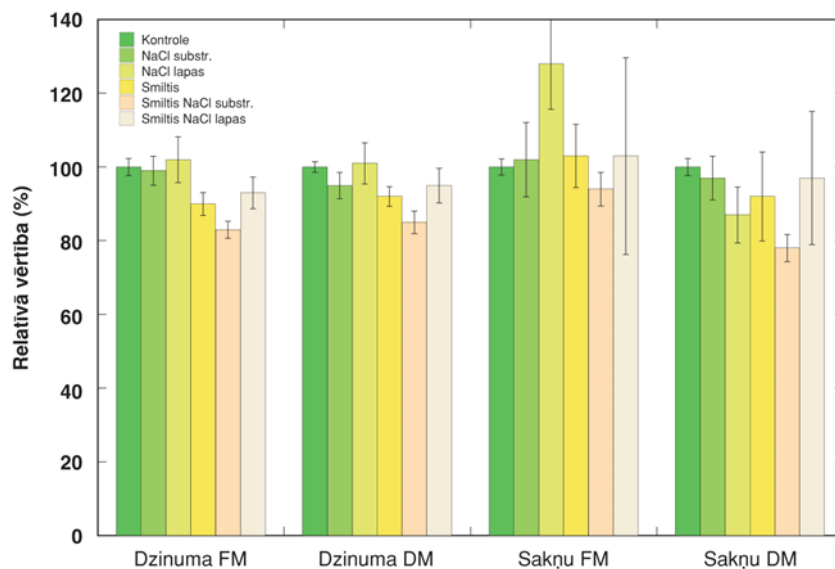


6. attēls. Relatīvās *Dianthus arenarius* lapu ekstrakta elektrovadītspējas (EC) un jonu koncentrācijas izmaiņas atkarībā no apstrādes veida (8 nedēļas pēc apstrādes beigām).

Figure 6. Relative changes in conductivity and ion concentrations of *Dianthus arenarius* plant leaf extract depending on treatment (8 weeks after final treatment).

### 3.2. Veģetācijas eksperimenti ar *A. maritima*

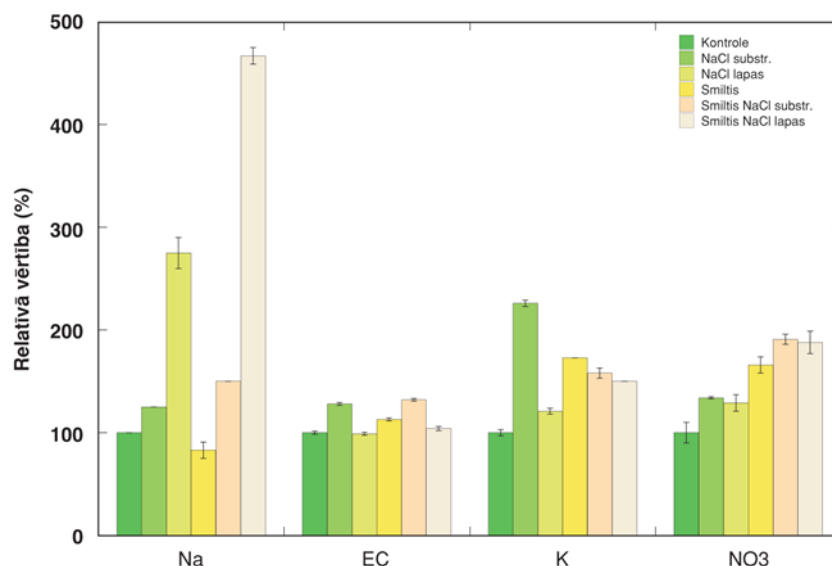
Pirmajā eksperimentā ar *A. maritima* sakņu svaigās masas pieaugumu veicināja lapu apsmidzināšana ar NaCl (7. attēls). Kombinētā apstrāde ar smilšu apbēršanu un substrāta apļiešanu ar NaCl veicināja vismazāko dzinumu un sakņu masas pieaugumu, salīdzinot ar kontroli un pārējiem variantiem.



7. attēls. *Anthyllis maritima* augu dažādu daļu svaigās un sausās masas relatīvās izmaiņas atkarībā no apstrādes 6 nedēļas no apstrādes sākuma 1. eksperimentā.

Figure 7. Relative changes in different parts of *Anthyllis maritima* plant weight depending on treatment 6 weeks after the first treatment in the first experiment.

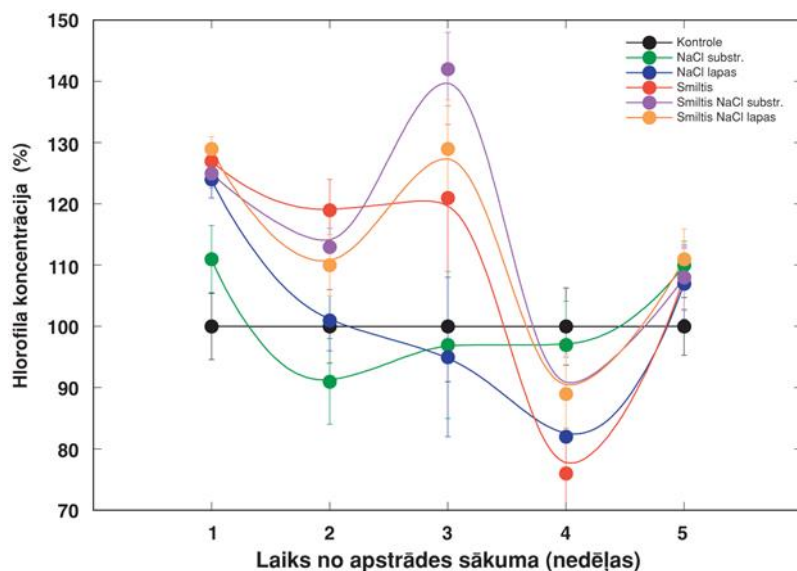
Salīdzinot ar kontroles variantu, visaugstāko Na<sup>+</sup> koncentrācijas pieaugumu lapās veicināja NaCl apsmidzināšana uz lapām kopā ar smilšu apbēršanu, bet otru augstāko – NaCl apsmidzināšana uz lapām (8. attēls). Elektrovadītspēja visiem variantiem bija līdzvērtīga kontrolei. K jonu koncentrācijas pieaugumu veicināja visi apstrādes varianti, bet variants, kas vairāk kā divas reizes pārsniedza kontroles variantu, bija NaCl pievienošana substrātam. NO<sub>3</sub> koncentrācijas pieaugumu veicināja visi apstrāžu varianti, taču vairāk veicināja tieši smilšu apbēršana kā arī smilšu apbēršana un NaCl pievienošana, gan substrātam, gan lapām.



8. attēls. Relatīvās *Anthyllis maritima* lapu ekstrakta elektrovadītspējas (EC) un jonu koncentrācijas izmaiņas atkarībā no apstrādes veida (6 nedēļas no apstrādes sākuma) 1. eksperimentā.

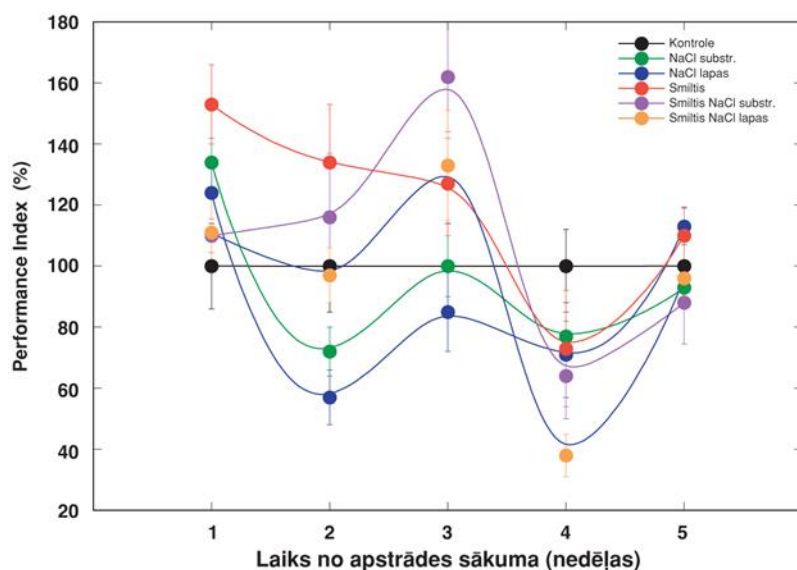
Figure 8. Relative changes in conductivity (EC) and ion concentrations of *Anthyllis maritima* plant leaf extract depending on treatment (6 weeks after first treatment) in the first experiment.

Līdzīgas tendences hlorofila koncentrācijas dinamikas izmaiņās bija visiem ar smiltīm apbērtajiem variantiem (9. attēls). Pirmajā nedēļā pēc apstrādes tie uzrādīja līdzvērtīgu hlorofila koncentrāciju, otrajā nedēļā bija novērojams neliels kritums, kam sekoja kāpums trešajā nedēļā un ļoti straujš kritums ceturtajā nedēļā, bet jau piektajā nedēļā hlorofila koncentrācija visiem smilšu apbērtajiem variantiem atkal sasniedza līdzvērtīgus rādītājus. Abi varianti, NaCl apsmidzināšana uz lapām un NaCl pievienošana substrātam, otrajā nedēļā pēc apstrādes veicināja strauju hlorofila koncentrācijas kritumu un līdz ceturtajai nedēļai tā bija zemāka nekā kontrolei, taču jau piektajā nedēļā hlorofila koncentrācija sasniedza tādu pašu līmeni kā pārējiem apstrādes variantiem. Līdzīgas tendences *A. maritima* atjaunošanās procesā uzrādīja arī fluorescences parametrs *Performance Index* (10. attēls).



9. attēls. Hlorofila koncentrācijas dinamika *Anthyllis maritima* lapās atkarībā no apstrādes 1. eksperimentā.

Figure 9. Dynamics of chlorophyll concentration of *Anthyllis maritima* plant leaves depending on the treatment in the first experiment.

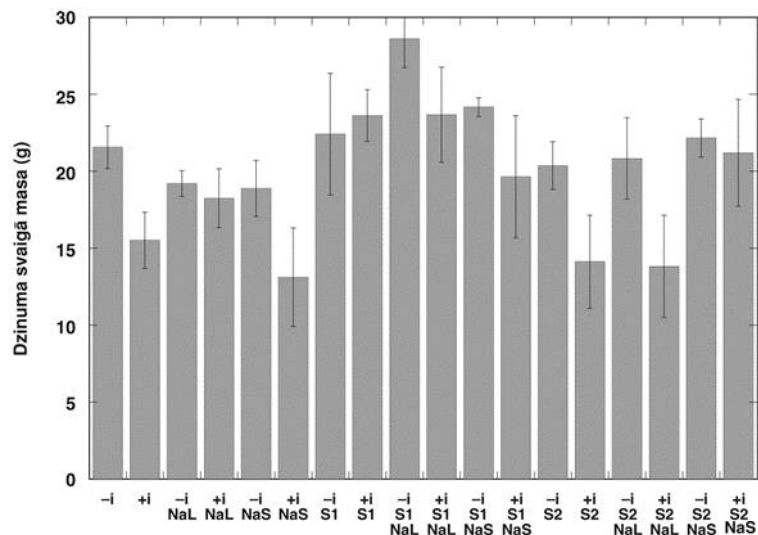


10. attēls. Hlorofila fluorescences parametra *Performance Index* dinamika *Anthyllis maritima* lapās atkarībā no apstrādes 1. eksperimentā.

Figure 10. Dynamics of chlorophyll fluorescence parameter *Performance Index* of *Anthyllis maritima* plant leaves depending on the treatment in the first experiment.

Otrajā eksperimentā ar *A. maritima* visiem apstrādes variantiem bez smilšu apbēršanas dzinumu svaigā masa bija mazāka nekā kontrolei (11. attēls). Visi apstrādes varianti izņemot vienu, kas bija apbērti ar 2 cm smilšu, veicināja lielāko dzinumu svaigās masas pieaugumu, salīdzinot ar kontroli un pārējiem apstrādes variantiem. Vienīgais variants no šīs grupas, kas uzrādīja mazāku dzinumu svaigo masu bija variants, kam bija pievienots baktēriju inokulants un NaCl pievienots substrātam. Varianti, kas bija apbērti ar 4 cm smilšu, uzrādīja mainīgus

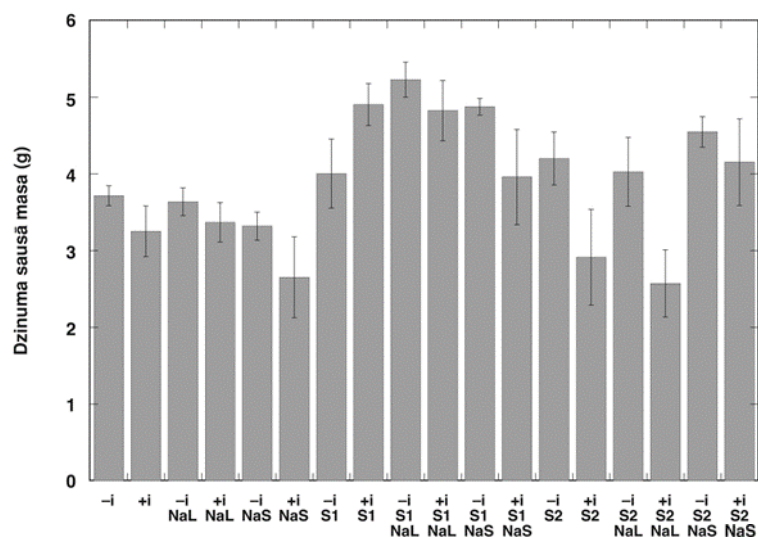
rezultātus, kas bija zemāki vai arī sasniedza kontroles līmeni. Tie varianti, kam nebija pievienots baktēriju inokulants uzrādīja labākus rezultātus nekā tiem, kam tas bija pievienots.



11. attēls. *Anthyllis maritima* augu dzinuma svaigā masa atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -, bez baktēriju inokulanta; +, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

Figure 11. Fresh weight of *Anthyllis maritima* plant shoot depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -, without bacterial inoculant, +, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

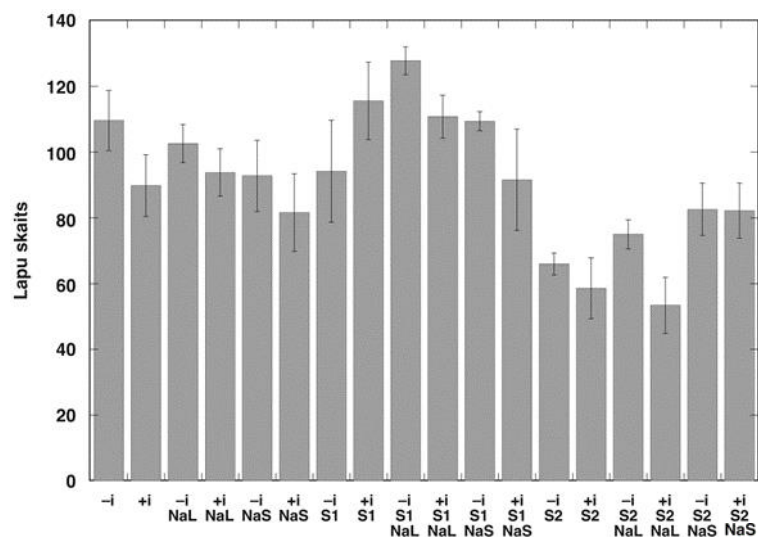
Līdzīgus rezultātus kā svaigajai masai uzrādīja arī *A. maritima* sausā masa (12. attēls). Visi smilšu neapbērtie varianti uzrādīja mazāku sauso masu nekā kontrolei. Visi apstrādes varianti ar 2 cm smilšu apbēršanu veicināja dzinumu sausās masas pieaugumu. Varianti ar 4 cm smilšu apbēršanu uzrādīja mainīgus rezultātus, no kuriem labākus uzrādīja varianti bez baktēriju inokulanta, neatkarīgi no NaCl pievienošanas veida.



12. attēls. *Anthyllis maritima* augu dzinuma sausā masa atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -, bez baktēriju inokulanta; +, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēšana ar 2 cm smilšu, S2, apbēšana ar 4 cm smilšu.

Figure 12. Dry weight of *Anthyllis maritima* plant shoot depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -, without bacterial inoculant, +, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

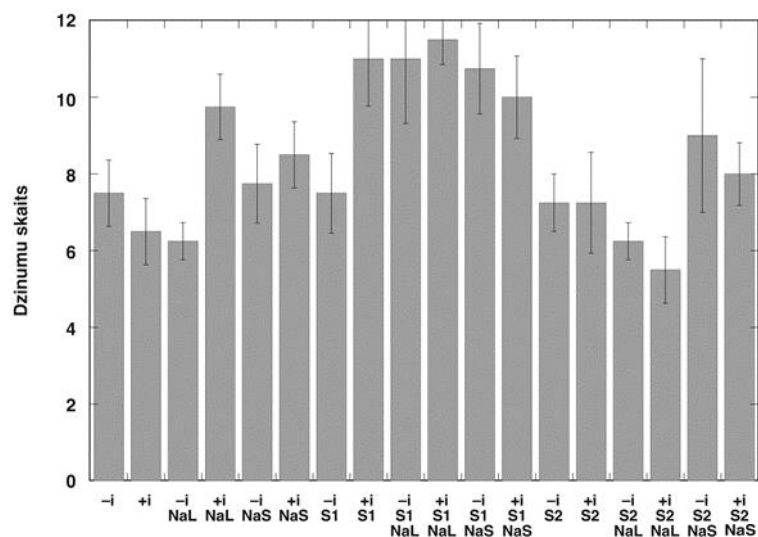
Visiem variantiem bez smilšu apbēšanas, kā arī variantiem ar 4 cm smilšu apbēšanu bija samazināts lapu skaits, salīdzinot ar kontroles variantu (13. attēls). Lapu skaita pieaugumu veicināja smilšu apbēšana ar 2 cm smilšu kopā ar baktēriju inokulantu ar un bez NaCl apsmidzināšanas uz lapām, kā arī 2 cm smilšu apbēšana bez baktēriju inokulanta neatkarīgi vai NaCl apsmidzināts uz lapām vai pievienots substrātam.



13. attēls. *Anthyllis maritima* augu lapu skaits atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēšana ar 2 cm smilšu, S2, apbēšana ar 4 cm smilšu.

Figure 13. Number of *Anthyllis maritima* plant leaves depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

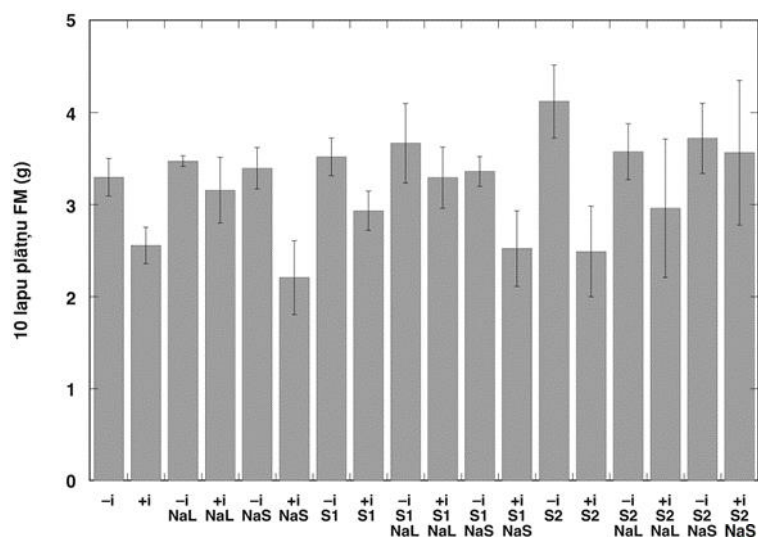
Arī dzinumu skaita pieaugumu visvairāk veicināja visi varianti ar 2 cm smilšu apbēšanu un papildus apstrādēm, izņemot variantu, kur bija tikai smilšu apbēšana, bez baktēriju inokulanta (14. attēls). Izteiktu dzinumu skaita pieaugumu veicināja arī variants bez smilšu apbēšanas, ar NaCl apsmidzināšanu uz lapām un baktēriju inokulantu, kā arī variants ar 4 cm smilšu apbēšanu, bez baktēriju inokulanta un ar NaCl pievienošanu substrātam.



14. attēls. *Anthyllis maritima* augu dzinumu skaits atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

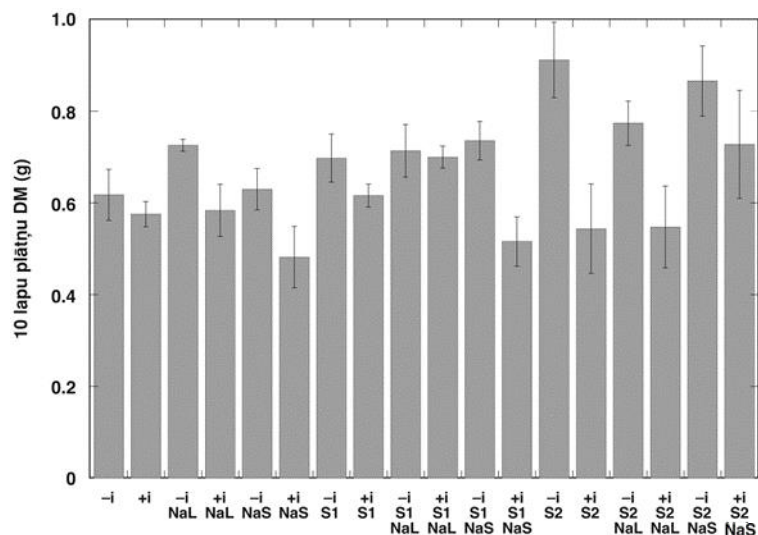
Figure 14. Number of shoots of *Anthyllis maritima* plant depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

Katram variantam nosakot 10 lielāko lapu plātņu svaigo masu, parādījās sakarība, ka baktēriju inokulanta pievienošana veicināja plātņu izmēru samazināšanos, līdz ar to, arī svaigo masu (15. attēls). Šāda pati sakarība saglabājas arī attiecībā uz lapu sauso masu (16. attēls). Lielāko 10 lapu svaigo un sauso masu veicināja apstrādes variants ar 4 cm smilšu apbēršanu kā arī variants ar 4 cm smilšu apbēršanu un papildus pievienotu NaCl substrātam.



15. attēls. *Anthyllis maritima* augu 10 lapu svaigā masa atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

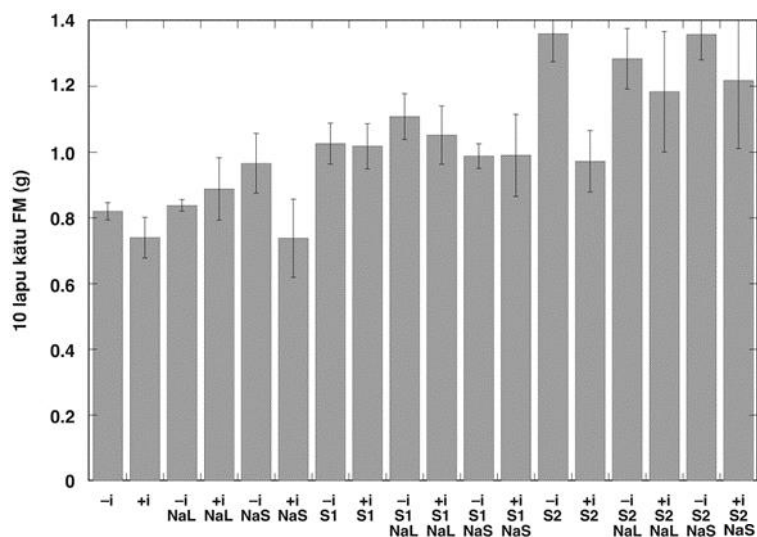
Figure 15. Fresh weight of 10 *Anthyllis maritima* plant leaves depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.



16. attēls. *Anthyllis maritima* augu 10 lapu sausā masa atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

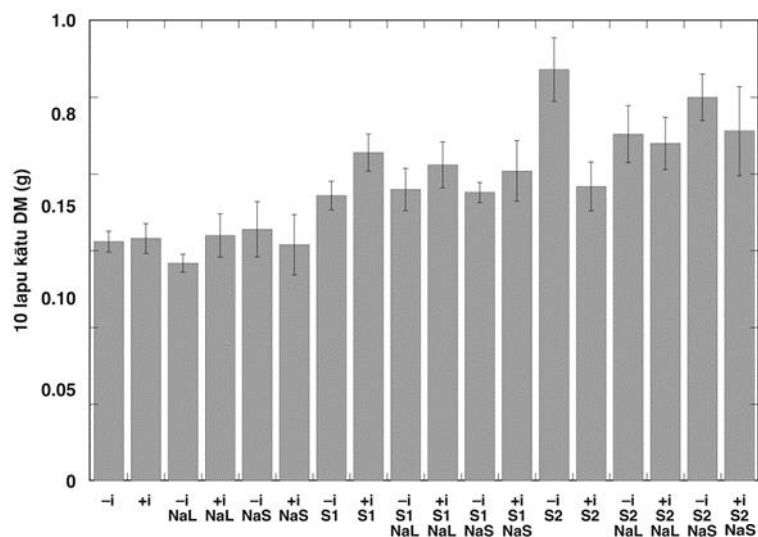
Figure 16. Dry weight of 10 *Anthyllis maritima* plant leaves depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

Parametrs 10 lapu kātu svaigā masa visiem variantiem bija lielāka nekā kontrolei, izņemot variantu, kam pievienots baktēriju inokulants, kā arī variantam, kam pievienots baktēriju inokulants un NaCl substrātam (17. attēls). Lielāko lapu kātu masu uzrādīja variantu grupa ar 4 cm smilšu apbēršanu, izņemot variantu, kam papildus 4 cm smilšu apbēršanai pievienots baktēriju inokulants. Neatkarīgi no tā, vai smiltis bija uzbērtas 2 cm vai 4 cm, visi smilšu apbērtie varianti veicināja 10 lapu kātu masas pieaugumu, salīdzinot ar kontroli, vai neapbērtajiem variantiem. Līdzīgas tendences saglabājas arī lapu kātu sausajai masai (18. attēls). Lai arī ne tik lielām variācijām, bet arī lapu kātu garumi palielinājās variantiem, kas apbērti ar smiltīm (19. attēls).



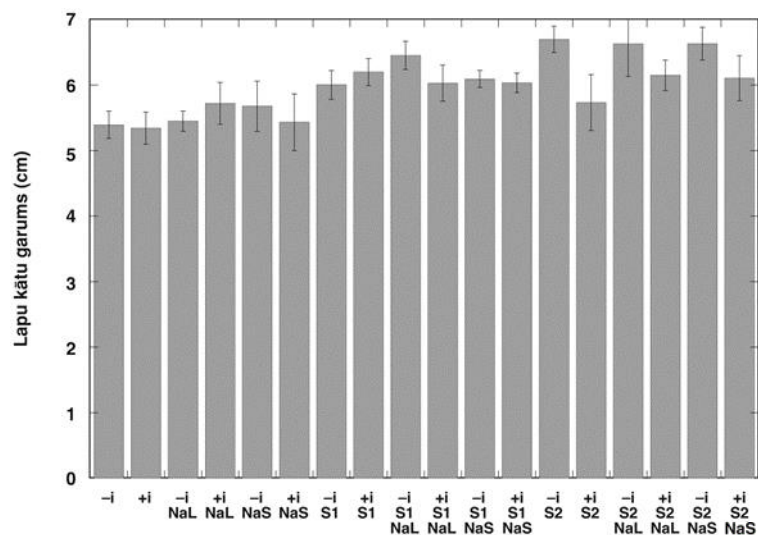
17. attēls. *Anthyllis maritima* augu 10 lapu kātu svaigā masa atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

Figure 17. Fresh weight of 10 *Anthyllis maritima* plant stems depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.



18. attēls. *Anthyllis maritima* augu 10 lapu kātu sausā masa atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

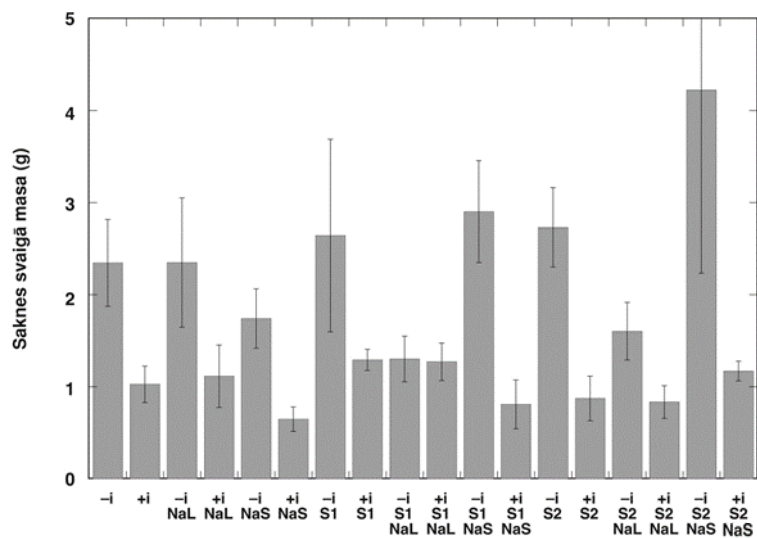
Figure 18. Dry weight of 10 *Anthyllis maritima* plant stems depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.



19. attēls. *Anthyllis maritima* augu lapu kātu garums atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

Figure 19. Length of 10 *Anthyllis maritima* plant stems depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

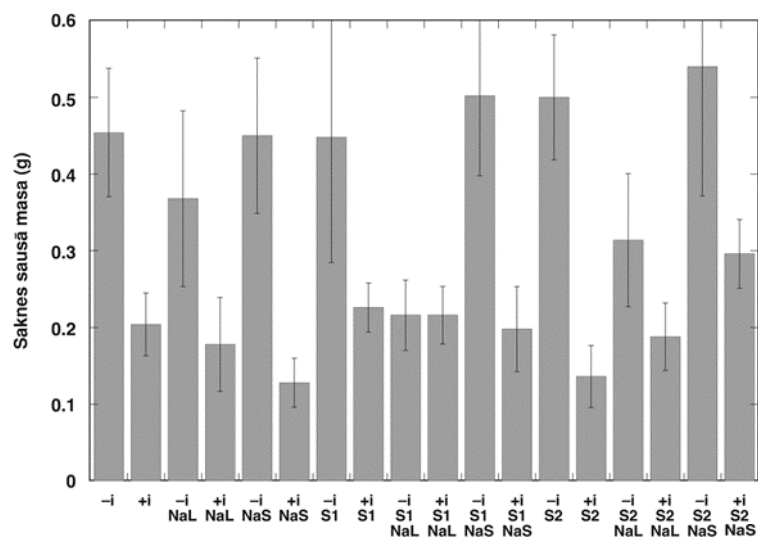
No visiem apstrāžu faktoriem, sakņu svaigās masas izmaiņas visizteiktāk veicināja tas, vai baktēriju inokulants bija vai nebija pievienots (20. attēls). Lielākā sakņu svaigā masa bija variantam ar 4 cm smilšu apbēršanu un NaCl pievienošanu substrātam, otra lielākā bija variantam ar 2 cm smilšu apbēršanu un NaCl pievienošanu substrātam. Nākamie divi varianti, kas uzrādījā lielāku sakņu svaigo masu bija secīgi variants ar 4 cm smilšu apbēršanu un 2 cm smilšu apbēršanu. Variants ar NaCl apsmidzināšanu uz lapām uzrādīja līdzvērtīgus rezultātus kontrolei, bet visiem pārējiem variantiem sakņu svaigā masa bija zem kontroles līmeņa.



20. attēls. *Anthyllis maritima* augu sakņu svaigā masa atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

Figure 20. Fresh weight of *Anthyllis maritima* plant roots depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

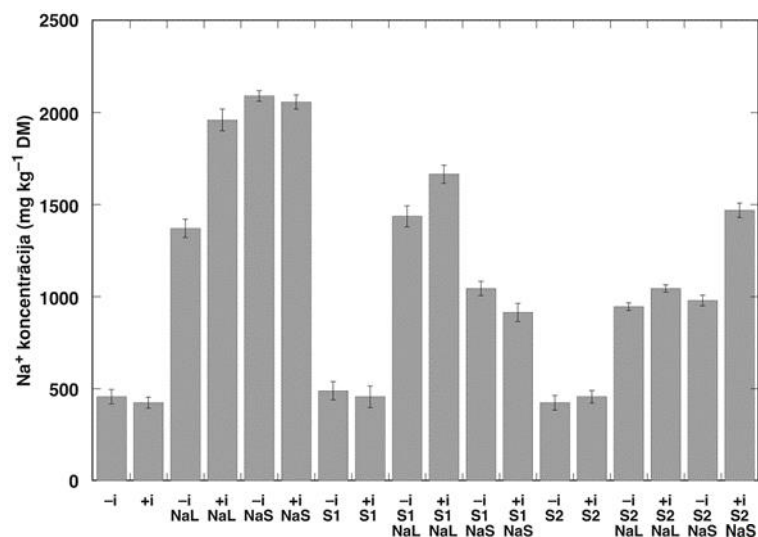
Lielākā sakņu sausā masa, tāpat kā svaigā masa, bija variantam ar 4 cm smilšu apbēršanu un NaCl pievienošanu substrātam (21. attēls). Varianti, kas arī pārsniedza kontroles līmeni bija 2 cm smilšu apbēršana apvienojumā ar NaCl pievienošanu substrātam, kā arī 4 cm smilšu apbēršana. Pārējo variantu rezultāti sasniedza kontroles līmeni vai arī bija zemāki.



21. attēls. *Anthyllis maritima* augu sakņu sausā masa atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -, bez baktēriju inokulanta; +, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

Figure 21. Dry weight of *Anthyllis maritima* plant roots depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -, without bacterial inoculant, +, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

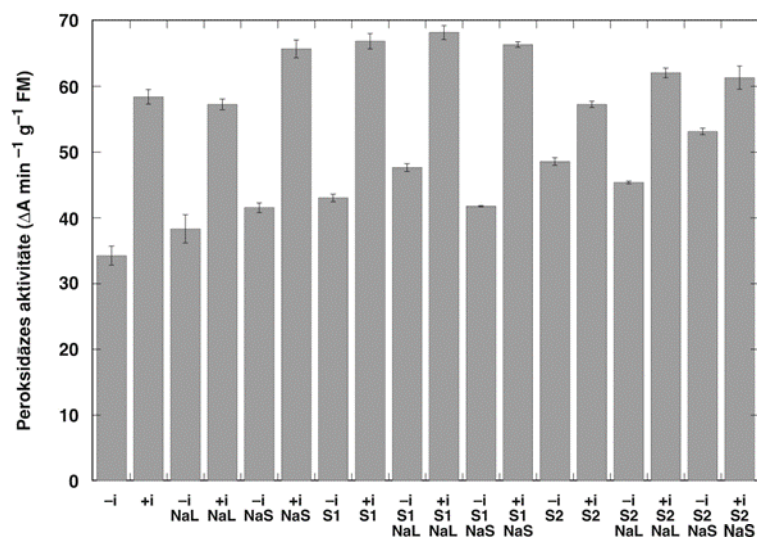
Visi varianti, kuriem nevienā no abiem veidiem nebija pievienots NaCl, uzrādīja līdzvērtīgus rezultātus ar Na<sup>+</sup> koncentrāciju *A. maritima* lapās, kas bija zemākie rādītāji, salīdzinot ar pārējiem variantiem (22. attēls). Augstāko Na<sup>+</sup> koncentrāciju uzrādīja varianti no tās apstrāžu grupas, kam nebija veikta smilšu apbēršana. Divas augstākās vērtības bija neapbērtajiem variantiem ar NaCl pievienošanu substrātam, taču līdzvērtīgu rezultātu uzrādīja arī neapbērtais variants apvienojumā ar baktēriju inokulantu un NaCl apsmidzināšanu uz lapām. Ja savstarpēji salīdzina variantus ar NaCl apsmidzināšanu uz lapām, katrā grupā atsevišķi – neapbērtajā, 2 cm smilšu apbērtajā, 4 cm smilšu apbērtajā, augstāku Na<sup>+</sup> koncentrāciju uzrādīja tas variants, kam bija pievienots baktēriju inokulants.



22. attēls. *Anthyllis maritima* Na jonu koncentrācija lapās atkarībā no apstrādes 3 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

Figure 22. Na ion concentration in *Anthyllis maritima* plant leaves depending on the treatment three weeks after the first treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

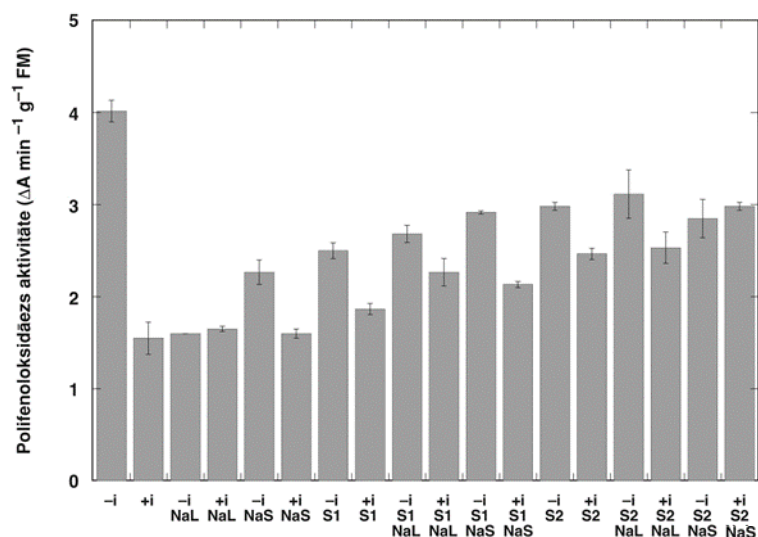
Neatkarīgi no apbēršanas pakāpes un NaCl pievienošanas veida, parādījās sakarība, ka augstāku peroksidāzes aktivitāti veicināja tas variants, kam pievienots baktēriju inokulants, salīdzinot ar to pašu apstrādi, bez baktēriju inokulanta (23. attēls). Ja salīdzina variantus ar baktēriju inokulantu pa apbēršanas grupām, tad augstāko peroksidāzes aktivitāti uzrādīja grupa ar 2 cm smilšu apbēršanu. Taču, ja salīdzina variantus, kam nav pievienots baktēriju inokulants, pa apbēršanas grupām, tad peroksidāzes aktivitāte pieauga līdz ar apbēršanas pakāpi.



23. attēls. *Anthyllis maritima* peroksidāzes aktivitāte lapās atkārtbā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

Figure 23. Peroxidase activity in *Anthyllis maritima* plant leaves depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

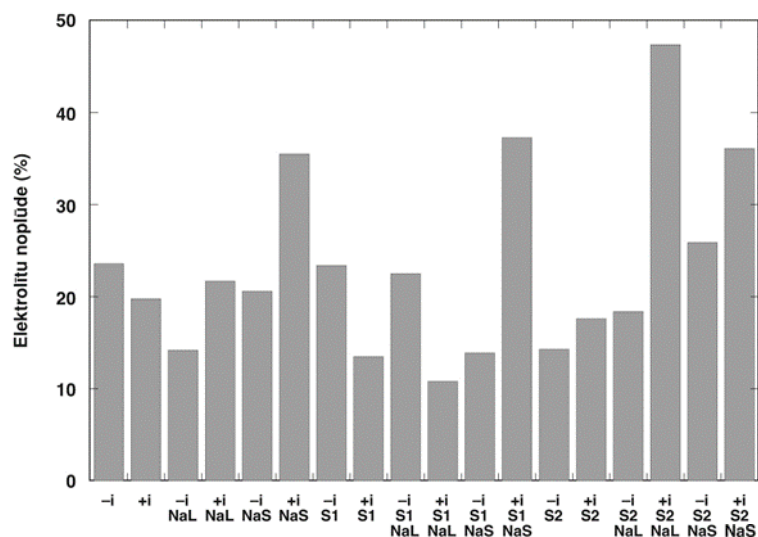
Visi apstrāžu varianti uzrādīja zemāku polifenoloksidāzes aktivitāti, salīdzinot ar kontroles variantu (24. attēls). Tomēr, ja salīdzina variantus savstarpēji, pa apstrāžu grupām, tad polifenoloksidāzes aktivitāte pieauga līdz ar apbēršanas pakāpi. Ja salīdzina savstarpēji vienādos variantus ar un bez baktēriju inokulanta, tad lielākajā daļā variantu polifenoloksidāzes aktivitāte bija lielāka tajos variantos, kur baktēriju inokulants nebija pievienots. Visizteiktāk šo sakarību varēja novērot kontroles variantam un variantam, kam apstrādei pievienots tikai baktēriju inokulants.



24. attēls. *Anthyllis maritima* polifenoloksīdāzes aktivitāte lapās atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

Figure 24. Polyphenol oxidase activity in *Anthyllis maritima* plant leaves depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

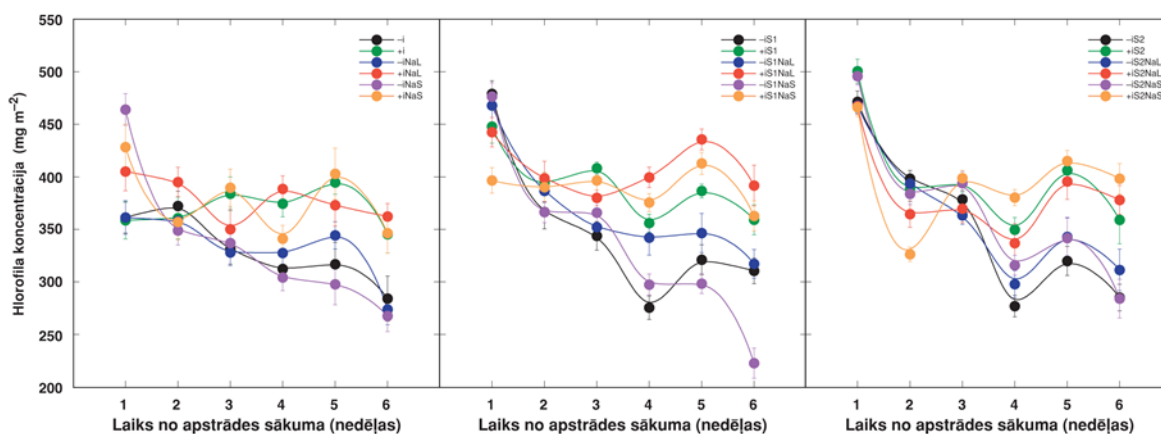
Lielāko elektrolītu noplūdi veicināja 4 cm smilšu apbēršana apvienojumā ar baktēriju inokulantu un NaCl apsmidzināšanu uz lapām, kas bija divreiz augstāka nekā kontroles variantam (25. attēls). Lielu elektrolītu noplūdi veicināja arī visi varianti ar baktēriju inokulantu apvienojumā ar NaCl pievienošanu substrātam, neatkarīgi no apbēršanas pakāpes.



25. attēls. *Anthyllis maritima* elektrolītu noplūde lapās atkarībā no apstrādes 7 nedēļas no apstrādes sākuma 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

Figure 25. Electrolyte leakage in *Anthyllis maritima* plant leaves depending on the treatment seven weeks after the first treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

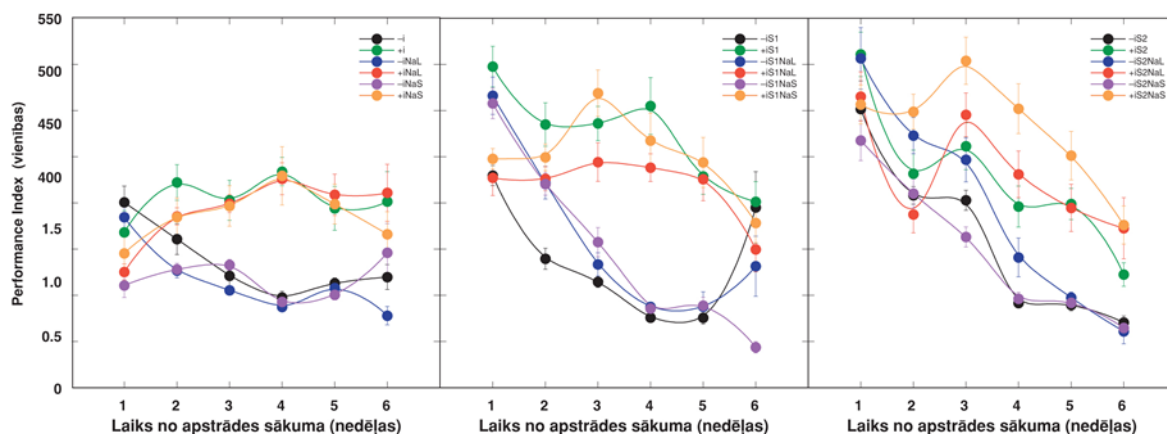
Hlorofila koncentrācijas dinamika *A. maritima* lapās atkarībā no apstrādes parādīta 26. attēlā. Katrā apbēršanas grupā šīs dinamikas tendences bija savstarpēji līdzīgas, tomēr neatkarīgi no apbēršanas pakāpes, katrā apbēršanas grupā tie varianti, kam bija pievienots baktēriju inokulants veicināja hlorofila koncentrācijas paaugstināšanos, salīdzinot ar tādu pašu apstrādi, bez baktēriju inokulanta.



26. attēls. Hlorofila koncentrācijas dinamika *Anthyllis maritima* lapās atkarībā no apstrādes 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

Figure 26. Dynamics of chlorophyll concentration of *Anthyllis maritima* plant leaves depending on the treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

Arī hlorofila fluorescences parametrs *Performance Index* uzrādīja, ka *A. maritima* auga spēju atjaunoties pēc apstrādes uzlabo baktēriju inokulanta klātbūtne, taču to samazina smilšu apbēršanas pakāpe (27. attēls). Neapbērtajiem variantiem *Performance Index* sešu nedēļu laikā bija dinamiskā līdzsvarā, un neatkarīgi no NaCl pievienošanas veida, varianti apvienojumā ar baktēriju inokulantu uzrādīja līdzvērtīgus augstākus rezultātus, salīdzinot ar variantiem bez baktēriju inokulanta. Grupai ar 2 cm smilšu apbēršanu bija novērojamas līdzīgas tendences baktēriju inokulanta ietekmei uz atjaunošanās spēju, kur variantiem ar baktēriju inokulantu novēroja augstāku atjaunošanās spēju, kas sešu nedēļu periodā pakāpeniski kritās. Taču variantiem bez baktēriju inokulanta novēroja atjaunošanās spēju strauju samazināšanos, tomēr sestajā nedēļā tikai apbērtais variants un variants, kam NaCl bija smidzināts uz lapām, sasniedza līdzvērtīgus rezultātus ar tiem variantiem, kam bija pievienots baktēriju inokulants. Visiem variantiem, kam bija veikta 4 cm smilšu apbēršana, pirmajā nedēļā pēc apstrādes *Performance Index* uzrādīja labākus atjaunošanās spējas rezultātus, salīdzinot ar pārējām apbēršanas grupām. Tomēr nākamo piecu nedēļu laikā, ar nelielu dinamisku svārstīgumu, varēja novērot krasu atjaunošanās spēju zudumu.



27. attēls. Hlorofila fluorescences parametra *Performance Index* dinamika *Anthyllis maritima* lapās atkarībā no apstrādes 2. eksperimentā. -i, bez baktēriju inokulanta; +i, ar baktēriju inokulantu, NaL, lapu apsmidzināšana ar NaCl; NaS, substrāta apļiešana ar NaCl; S1, apbēršana ar 2 cm smilšu, S2, apbēršana ar 4 cm smilšu.

Figure 27. Dynamics of chlorophyll fluorescence parameter *Performance Index* of *Anthyllis maritima* plant leaves depending on the treatment in the second experiment. -i, without bacterial inoculant, +i, with bacterial inoculant, NaL, leaves sprayed with NaCl, NaS, soil substrate watered with NaCl; S1, sand burried with 2 cm sand, S2, sand burried with 4 cm sand.

### 3.3. Veģetācijas eksperiments ar *P. maritima*

Pēc vizuāliem novērojumiem *P. maritima* auga augšana samazinājās līdz ar palielināto NaCl devu (28. attēls). Četras nedēļas pēc apstrāžu sākšanas, variants ar 2000 mM NaCl koncentrāciju jau sāka panīkt, un divas nedēļas vēlāk visi augi šajā variantā bija gājuši bojā

(29. attēls). Šo procesu labi attaino arī hlorofila koncentrācijas izmaiņas (35. attēls) un hlorofila fluorescences parametrs *Performance Index* (36. attēls).



28. attēls. Tipisko *Plantago maritima* augu morfoloģija 4 nedēļas pēc apstrādes sākuma ar NaCl šķīdumu. No kreisās uz labo: kontrole, 250, 500, 1000, 2000 mM NaCl.

Figure 28. Typical *Plantago maritima* plant morphology 4 weeks after first treatment with NaCl solution. From left to right: control, 250, 500, 1000, 2000 mM NaCl.

Vizuāli novērtējot *P. maritima* augus, varēja redzēt, ka variants ar 500 mM NaCl koncentrāciju septiņas nedēļas pēc apstrādes bija apmēram tādā pašā attīstības stadijā kā kontroles variants četras nedēļas pēc apstrādes. Tātad NaCl ietekme ir palēlinājusi augu attīstību par trīs nedēļām.

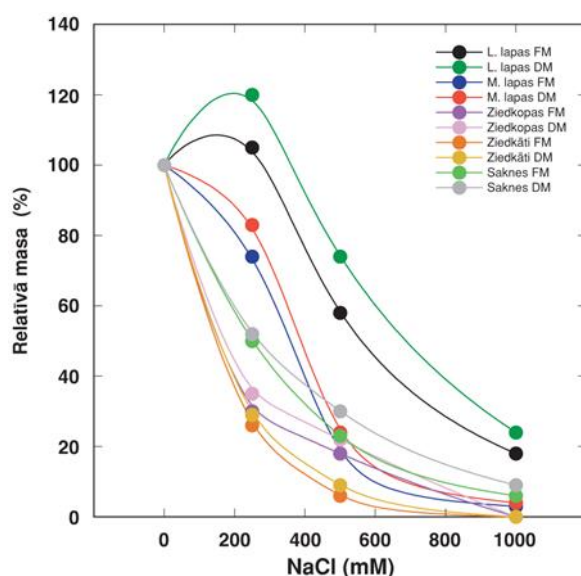


29. attēls. Tipisko *Plantago maritima* augu morfoloģija 7 nedēļas pēc apstrādes sākuma ar NaCl šķīdumu. No kreisās uz labo: kontrole, 250, 500, 1000 mM NaCl.

Figure 29. Typical *Plantago maritima* plant morphology 7 weeks after first treatment with NaCl solution. From left to right: control, 250, 500, 1000 mM NaCl.

*P. maritima* morfoloģiskie dati parādīja, ka lielāko daļu auga masas sastādīja virszemes daļas, no kurām visvairāk veidoja tieši auga lielās lapas. Lai arī vizuāli novērtējot, kontroles variants izskatījās vairāk sacerojis un lielāks, taču lielo lapu svaigā masa variantam ar 250 mM NaCl koncentrāciju pārsniedz kontroles rezultātus, kas apstiprina NaCl ietekmē iegūto sukulenci (30.attēls). Tikmēr sausā masa bija tikai nedaudz lielāka par kontroli. Pārējie varianti gan uzrādīja zemākus rezultātus, kas pasliktinājās līdz ar pieaugošo NaCl koncentrāciju.

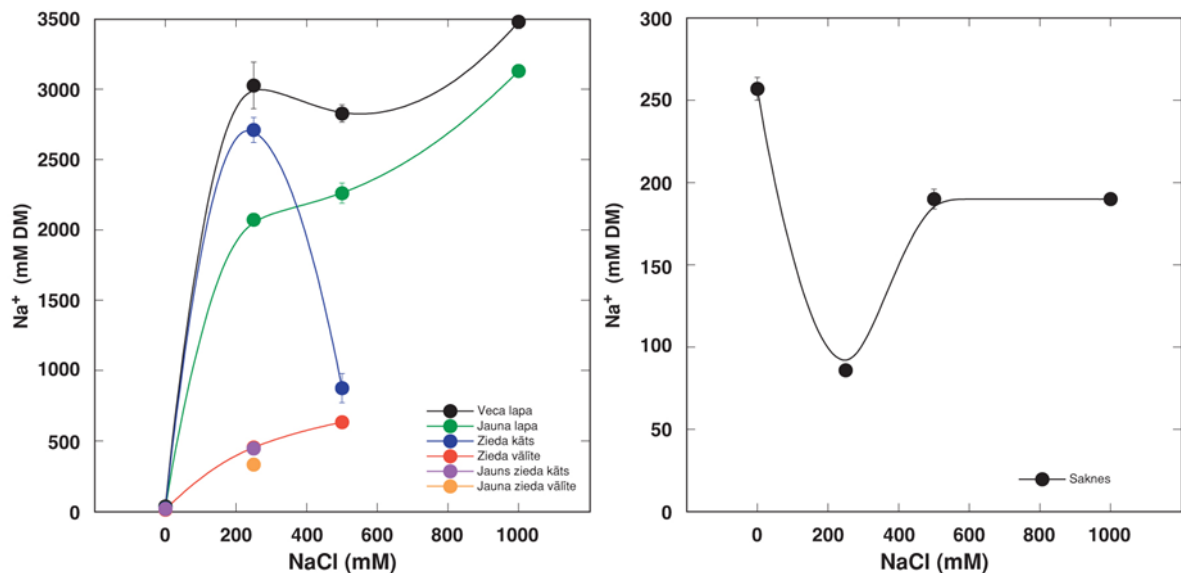
Ja pieņem, ka auga galvenā funkcija ir veikt pilnu attīstības ciklu, kas nozīmē, ka izveidojas ģeneratīvās daļas un sēklas, tad variantos ar 250 un 500 mM NaCl koncentrāciju visos atkārtojumos augi bija izveidojuši ziedkopas un sēklas.



30. attēls. *Plantago maritima* augu dažādu daļu svaigās un sausās masas relatīvās izmaiņas atkarībā no apstrādei izmantotās NaCl koncentrācijas 10 nedēļas no apstrādes sākuma.

Figure 30. Relative changes in fresh and dry weight of different parts of *Plantago maritima* plants depending on the concentration of NaCl solution 10 weeks after the first treatment.

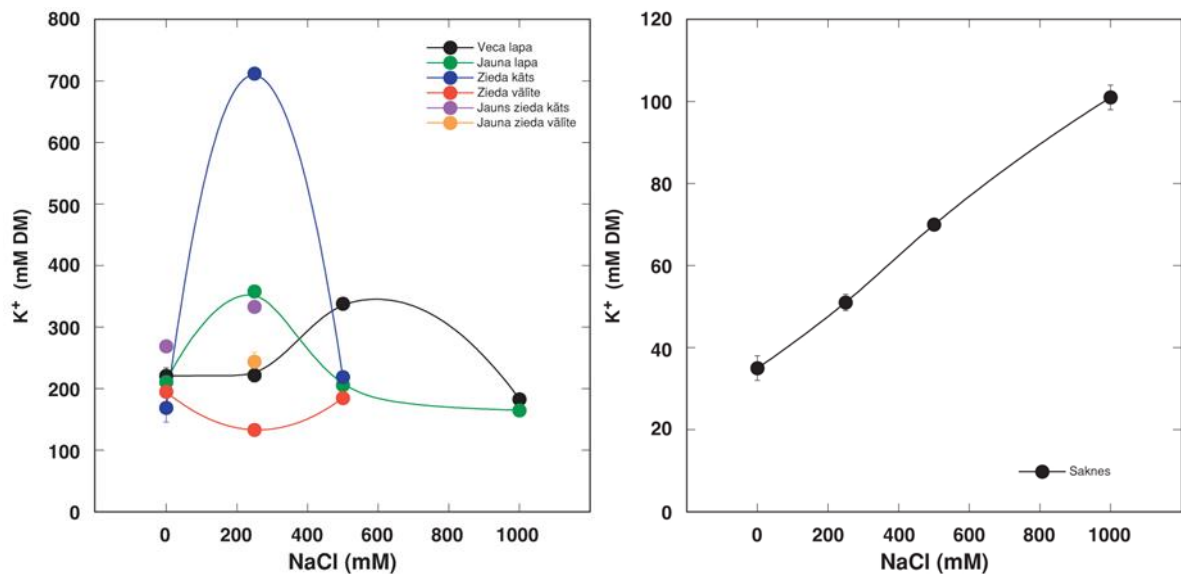
Na<sup>+</sup> koncentrācijas mērījumos parādījās tas, ka Na<sup>+</sup> visvairāk uzkrājās tieši vecajās lapās, pēc tam jaunajās, tad vecākos ziedu kātos, vecākās ziedu vāļītēs un vismazāk jaunajos ziedu kātos un ziedu vāļītēs (31.attēls). Na joni tiek izslēgti no saknēm un visi varianti pat uzrādīja zemāku Na<sup>+</sup> koncentrāciju, salīdzinot ar kontroles rezultātiem.



31. attēls. Na jonu koncentrācija lapās (pa kreisi) un saknēs (pa labi) atkarībā no apstrādei izmantotās NaCl koncentrācijas 10 nedēļas no apstrādes sākuma.

Figure 31. Na ion concentration in leaves (on the left) and in roots (on the right) depending on the concentration of NaCl solution 10 weeks after the first treatment.

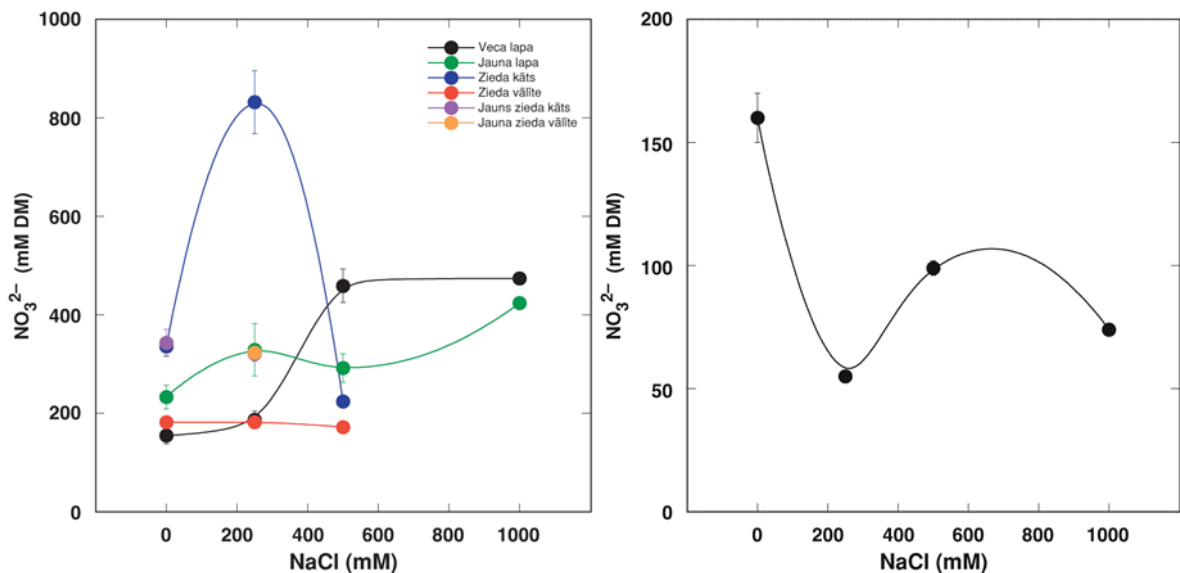
Aplūkojot virszemes daļas, grūti izdarīt kādus secinājumus par sakarībām ar K<sup>+</sup> izmaiņām, kas veidojas pieaugot NaCl koncentrācijai, toties saknēm K<sup>+</sup> koncentrācija lineāri pieauga, palielinoties NaCl koncentrācijai (32. attēls).



32. attēls. K jonu koncentrācija lapās (pa kreisi) un saknēs (pa labi) atkarībā no apstrādei izmantotās NaCl koncentrācijas 10 nedēļas no apstrādes sākuma.

Figure 32. K ion concentration in leaves (on the left) and in roots (on the right) depending on the concentration of NaCl solution 10 weeks after the first treatment.

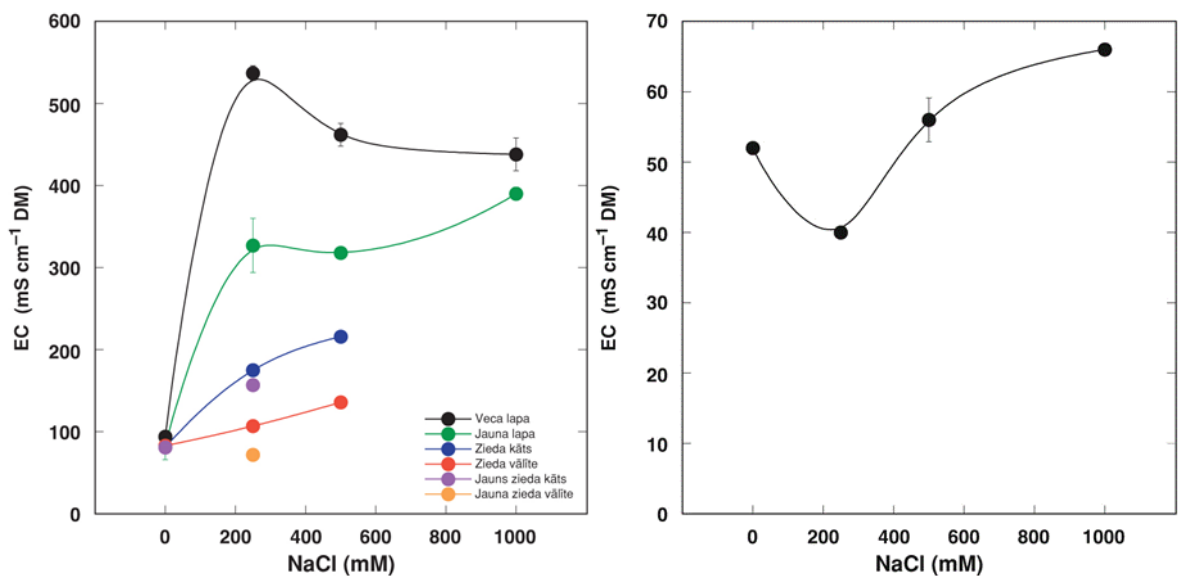
Vecajās lapās uzkrājās lielāks nitrātu daudzums, taču saknēs, līdzīgi kā ar Na<sup>+</sup>, nitrātu daudzums bija mazāks nekā kontroles variantā (33. attēls). Ziedkātiem bija izteikts K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> un nitrātu satura pieaugums pie variantā ar 250 mM NaCl koncentrāciju.



33. attēls.  $\text{NO}_3^{2-}$  jonu koncentrācija lapās (pa kreisi) un saknēs (pa labi) atkarībā no apstrādei izmantotās NaCl koncentrācijas 10 nedēļas no apstrādes sākuma.

Figure 33.  $\text{NO}_3^{2-}$  ion concentration in leaves (on the left) and in roots (on the right) depending on the concentration of NaCl solution 10 weeks after the first treatment.

Visos variantos pieauga audu ekstraktu elektrovadītspēja, salīdzinot ar kontroles variantu (34. attēls).

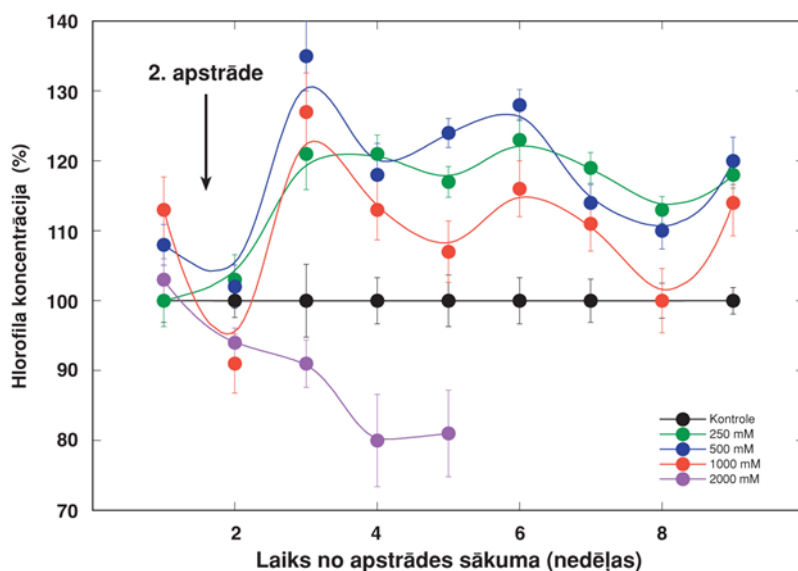


34. attēls. *Plantago maritima* lapu ekstraktu elektrovadītspēja (EC) lapās (pa kreisi) un saknēs (pa labi) atkarībā no apstrādei izmantotās NaCl koncentrācijas 10 nedēļas no apstrādes sākuma.

Figure 34. Conductivity (EC) of the *Plantago maritima* plant leaves (on the left) and roots (on the right) depending on the concentration of NaCl solution 10 weeks after the first treatment.

Lapu hlorofila koncentrācija, kur pigmenta daudzums izteikts relatīvi pret kontroli, parādīta 35. attēlā. Nākamajā mērījumu reizē pēc 2. apstrādes var redzēt, ka hlorofila koncentrācija visiem variantiem kritās (izņemot pie 250, kur tā ļoti nedaudz palielinājās), jo augs tajā momentā bija pakļauts tiešiem stresa apstākļiem. Taču jau trešajā nedēļā pigmentu

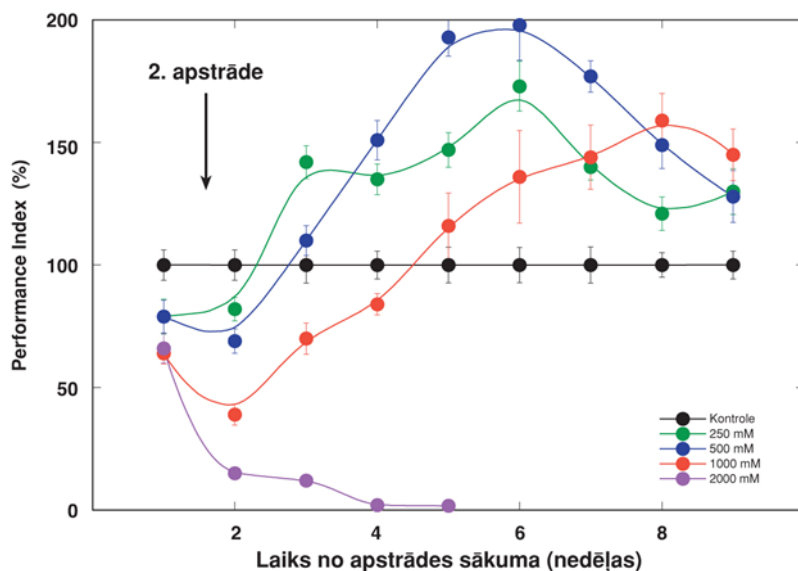
koncentrācija strauji pieauga, izņemot variantu ar 2000 mM NaCl koncentrāciju, kur augi šajā variantā nespēja tikt galā ar lielo sāls devu un pigmentu koncentrācija augam iznīkstot uzskatāmi samazinājās. Pārējos variantos NaCl pozitīvi ietekmēja pigmentu daudzuma palielināšanos, taču, kurš no apstrādes variantiem deva pozitīvāko efektu ir grūti viennozīmīgi teikt, jo katru nedēļu novērojama pigmentu izmaiņu dinamika un devītajā nedēļā pigmentu daudzums pa variantiem attiecībā pret kontroli bija ļoti tuvs.



35. attēls. Hlorofila koncentrācijas dinamika *Plantago maritima* lapās atkarībā no apstrādei izmantotās NaCl koncentrācijas šķīduma.

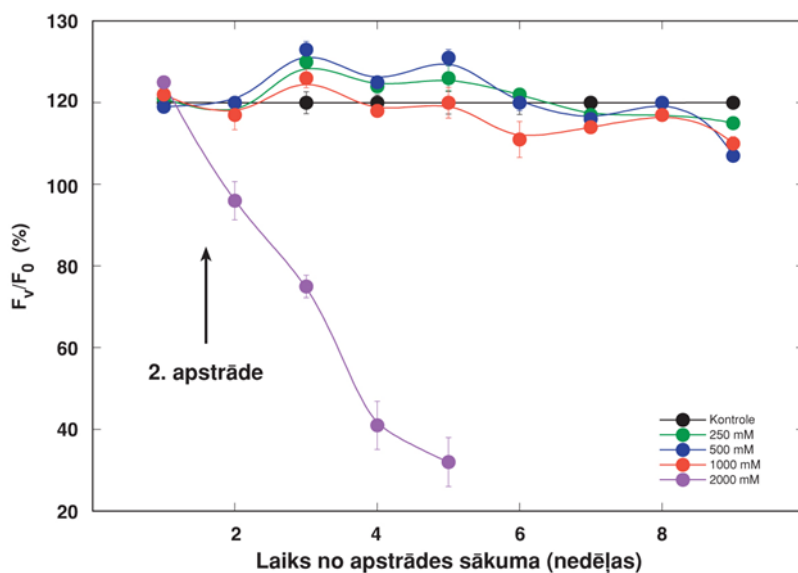
Figure 35. Dynamics of chlorophyll concentration of *Plantago maritima* plant leaves depending on the concentration of applied NaCl solution.

Veicot hlorofila *a* fluorescences mērījumus, parametra *Performance Index* izmaiņas norādīja uz auga fizioloģiskās veiktspējas pakāpenisku atjaunošanos visiem variantiem jau piektajā nedēļā, kas ir četras nedēļas pēc apstrādes (36. attēls), kamēr parametrs  $F_v/F_0$  visiem variantiem turējās kontroles vai nedaudz virs kontroles līmeņa līdz sestajai nedēļai, un pēc tam nedaudz samazinājās, izņemot variantu ar 2000 mM NaCl koncentrāciju, kur rādītāji kritās jau pēc apstrādes (37. attēls).



36. attēls. Hlorofila fluroecences parametra *Performance Index* dinamika *Plantago maritima* lapās atkarībā no apstrādei izmantotās NaCl koncentrācijas.

Figure 36. Dynamics of chlorophyll fluorescence parameter *Performance Index* of *Plantago maritima* plant leaves depending on the concentration of applied NaCl solution.



37. attēls. Hlorofila fluroecences parametra  $F_v/F_0$  dinamika *Plantago maritima* lapās atkarībā no apstrādei izmantotās NaCl koncentrācijas.

Figure 37. Dynamics of chlorophyll fluorescence parameter  $F_v/F_0$  of *Plantago maritima* plant leaves depending on the concentration of applied NaCl solution.

### 3.4. Veģetācijas eksperiments ar *T. maritimum*

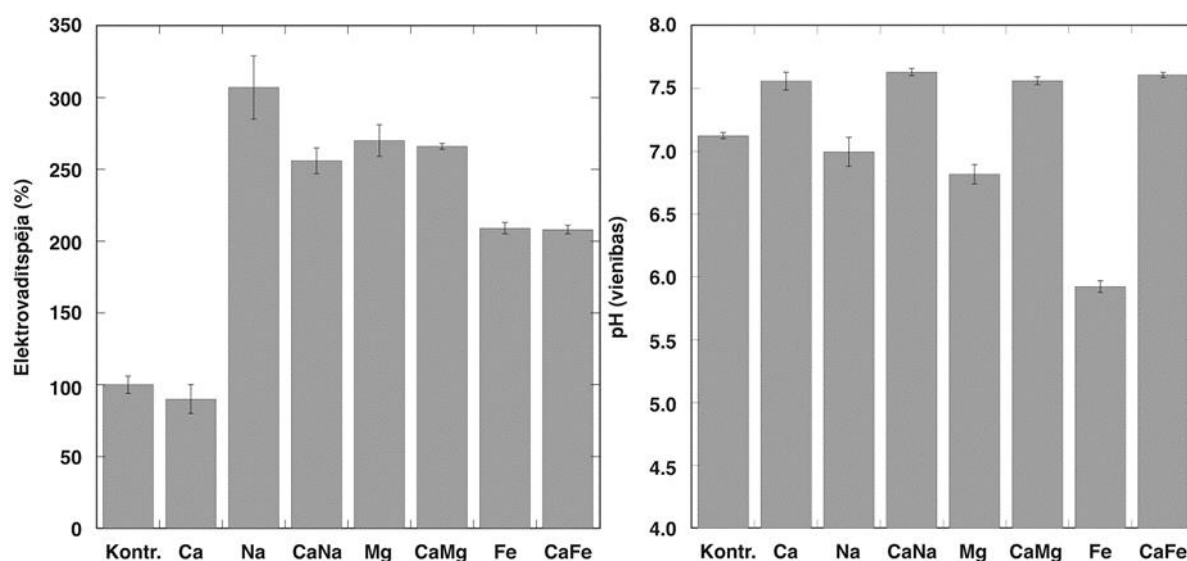


38. attēls. Tipisko *Triglochin maritimum* augu morfoloģija atkarībā no apstrādes. No kreisās, kontrole, Ca, Na, Na+Ca, Mg, Mg+Ca, Fe, Fe+Ca.

Figure 38. Typical *Triglochin maritimum* plant morphology depending on the treatment. From left to right, control, Ca, Na, Na+Ca, Mg, Mg+Ca, Fe, Fe+Ca.

Pēc vizuāliem novērojumiem visi *T. maritimum* apstrādes varianti uzrādīja īsāku virszemes daļu garumu, salīdzinot ar kontroles variantu (38. attēls). Fe, kā arī Fe+Ca varianti bija blīvāk sacerojuši, salīdzinot ar pārējiem variantiem.

Salīdzinot ar kontroli, augsnes elektrovadītspēja būtiski palielinājās visiem variantiem, izņemot Ca, kuram tā bija pat nedaudz mazāka nekā kontrolei (39. attēls). Augstāko elektrovadītspēju uzrādīja Na variants. Sārmaināka augsne bija visos variantos, kur augsnei bija pievienots Ca, neatkarīgi no tā, vai tas pievienots atsevišķi, vai kopā ar Na, Mg vai Fe. Na, Mg un Fe varianti uzrādīja zemākas pH vērtības nekā kontrole.

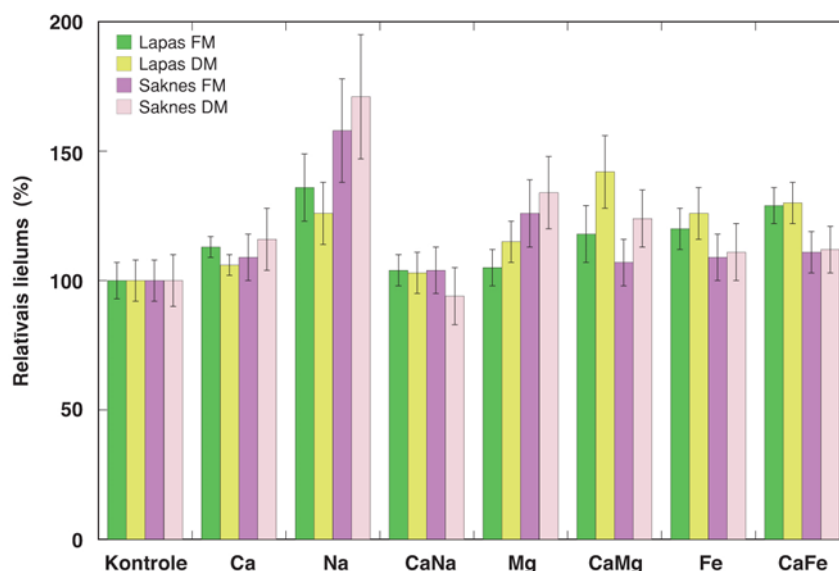


39. attēls. *Triglochin maritimum* augsnes elektrovadītspēja (EC) un pH 7 nedēļas no apstrādes sākuma.

Figure 39. Conductivity (EC) and pH of the soil from *Triglochin maritimum* seven weeks after the first treatment.

Lielākā sakņu svaigā un sausā masa bija Na variantam, taču lielākā lapu sausā masa bija variantam Ca+Mg (40. attēls). Jāatzīmē, ka izņemot apstrādes variantu Ca+Na, kurā sakņu

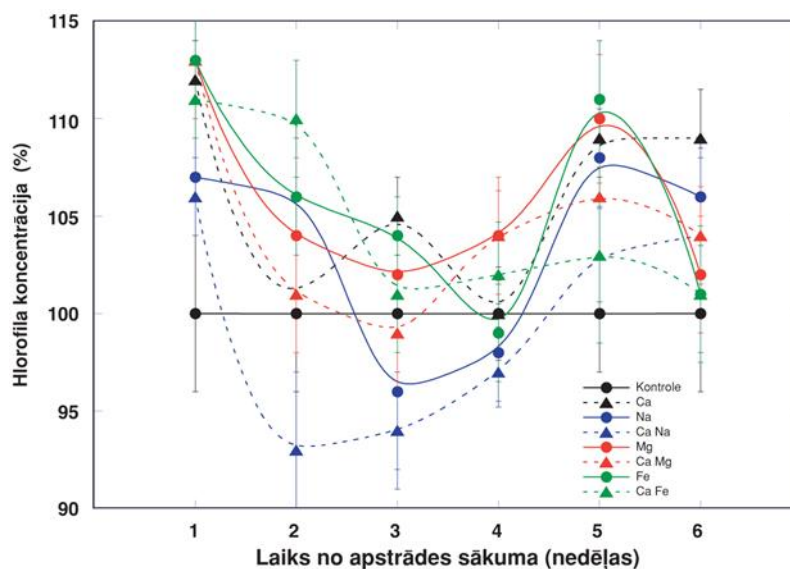
sausā masa bija mazāka nekā kontrolei, visi pārējie apstrādes varianti uzrādīja labākus rezultātus, vai arī tuvu kontroles līmenim.



40. attēls. *Triglochin maritimum* augu dažādu daļu svaigās un sausās masas relatīvās izmaiņas atkarībā no apstrādes 8 nedēļas no apstrādes sākuma. FM, svaigā masa, DM, sausā masa.

Figure 40. Relative changes in different parts of *Triglochin maritimum* plant weight depending on treatment 8 weeks after the first treatment. FM, fresh weight, DM, dry weight.

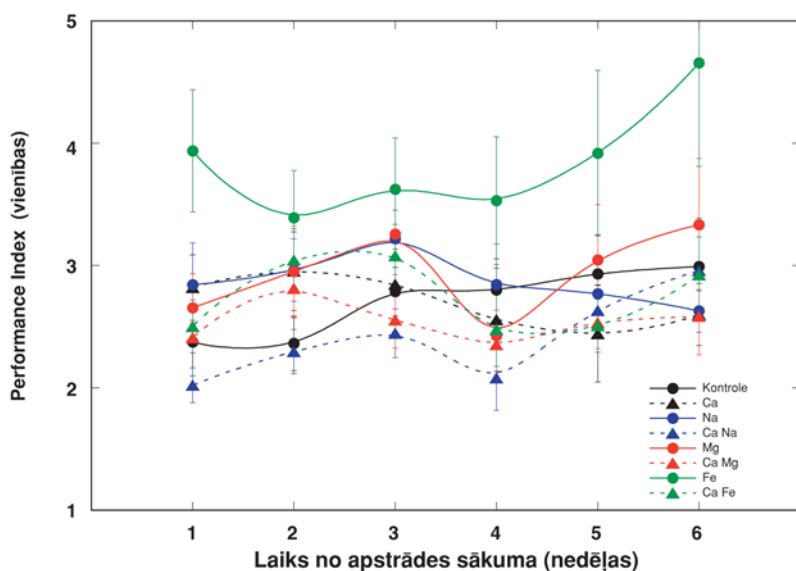
Relatīvā hlorofila koncentrācija visiem variantiem attiecībā pret kontroli sešu nedēļu periodā bija svārstīga, taču tā turējās kontroles līmenī vai bija augstāka, izņemot variantus Na kā arī Ca+Na, kuri laika periodā līdz ceturtajai nedēļai uzrādīja arī zemākus rādītājus nekā kontroles variantā (41. attēls). Tomēr jau piektajā un sestajā nedēļā pēc apstrādes visi varianti uzrādīja labākus hlorofila koncentrācijas rezultātus pārsniedzot kontroles līmeni.



41. attēls. Relatīvās hlorofila koncentrācijas dinamika *Triglochin maritimum* lapās atkarībā no apstrādes.

Figure 41. Relative dynamics of chlorophyll concentration of *Triglochin maritimum* plant leaves depending on the treatment.

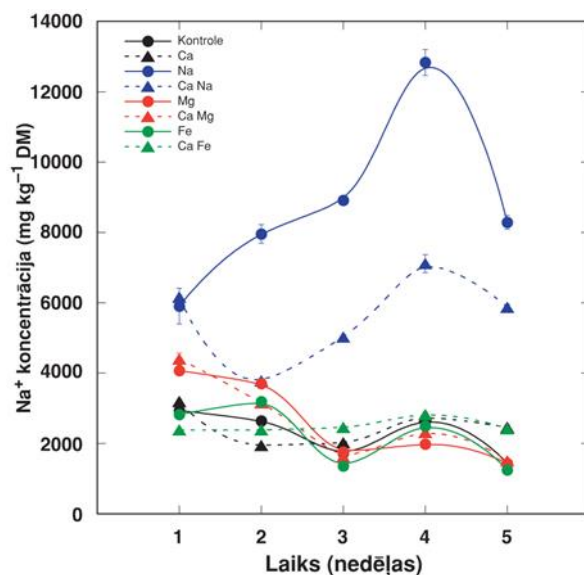
Hlorofila fluorescences parametra *Performance Index* dinamika parāda, ka Fe variants vislabāk ietekmē *T. maritimum* auga spēju atjaunoties visu sešu nedēļu laikā (42. attēls). Otrajā nedēļā pēc apstrādes pārējie apstrādes varianti uzrādīja kāpumu atjaunošanās procesā, taču jau ceturtajā nedēļā šis rādītājs nokritās līdz vai zem kontroles līmeņa. Sešas nedēļas pēc apstrādes variants Mg uzrādīja labāku atjaunošanās spēju nekā kontrolei, Ca+Na un Ca+Fe sasniedza kontroles līmeni, bet Na, Ca+Mg un Ca uzrādīja zemāku atjaunošanās spēju nekā kontrolei.



42. attēls. Hlorofila fluorescences parametra *Performance Index* dinamika *Triglochin maritimum* lapās atkarībā no apstrādes.

Figure 42. Dynamics of chlorophyll fluorescence parameter *Performance Index* of *Triglochin maritimum* plant leaves depending on the treatment.

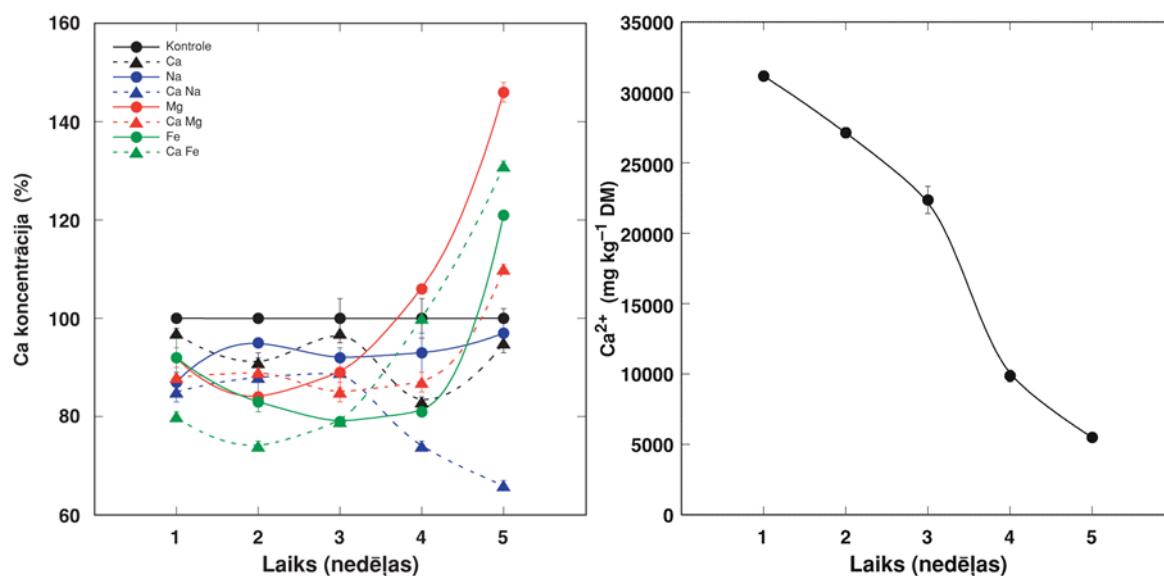
Augstāko  $\text{Na}^+$  koncentrāciju lapās uzrādīja Na variants (43. attēls). Augstu koncentrāciju uzrādīja arī Na+Ca variants. Abiem iepriekšmienētajiem variantiem augstākā  $\text{Na}^+$  koncentrācija bija ceturtajā nedēļā pēc apstrādes, bet piektajā nedēļā varēja novērot tās kritumu. Visi pārējie varianti kā arī kontrole uzrādīja līdzīgu  $\text{Na}^+$  izmaiņu dinamiku lapās visu piecu nedēļu laikā.



43. attēls. *Triglochin maritimum* Na jonu koncentrācijas dinamika lapās atkarībā no apstrādes.

Figure 43. Dynamics of Na ion concentration in *Triglochin maritimum* plant leaves depending on the treatment.

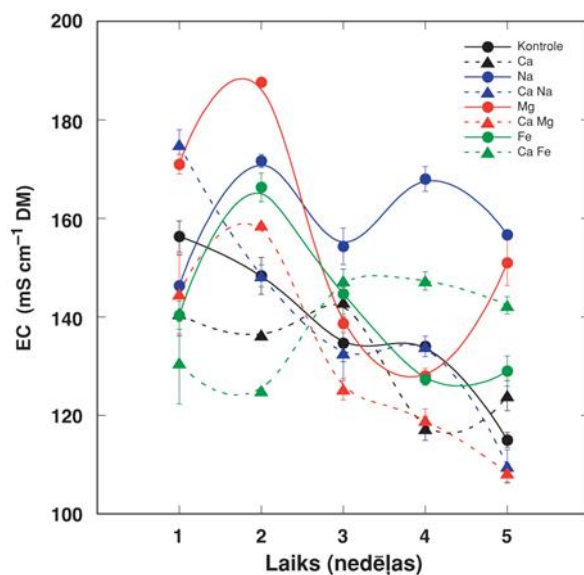
Ca jonu koncentrācija visos variantos līdz trešajai nedēļai bija zemāka nekā kontroles variantā (44. attēls). Piektajā nedēļā varianti Mg, Ca+Fe, Fe un Ca+Mg pārsniedza kontroles rādītājus. Kontroles variantā Ca jonu koncentrācija katru nedēļu pazeminājās un veidoja gandrīz lineāru kritumu.



44. attēls. *Triglochin maritimum* Ca jonu relatīvās koncentrācijas dinamika lapās atkarībā no apstrādes un Ca jonu koncentrācijas dinamika kontroles augu lapās.

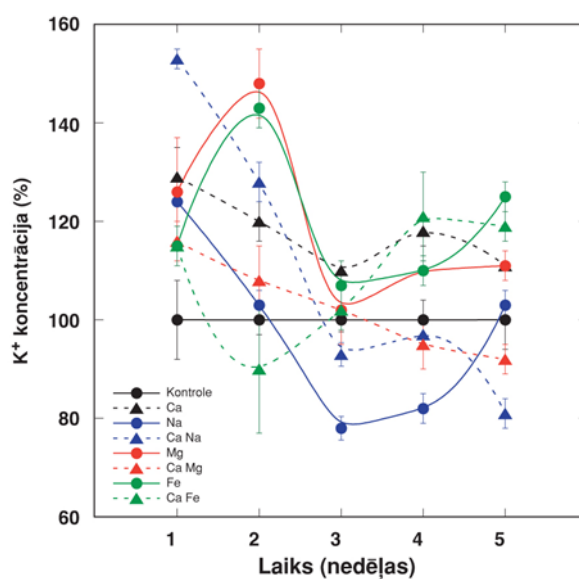
Figure 44. Relative dynamics of Ca ion concentration in *Triglochin maritimum* plant leaves depending on the treatment (on the left) and dynamics of Ca ion concentration in the plant leaves of untreated control (on the right).

*T. maritimum* lapu ekstraktu elektrovadītspējas dinamika un K jonu koncentrācija visiem variantiem bija diezgan svārstīga (45. attēls un 46. attēls).



45. attēls. *Triglochin maritima* lapu ekstraktu elektrovadītspējas (EC) dinamika atkarībā no apstrādes.

Figure 45. Dynamics of conductivity (EC) of *Triglochin maritima* plant leaf extract depending on the treatment.



46. attēls. *Triglochin maritima* K jonu koncentrācijas dinamika lapās atkarībā no apstrādes.

Figure 46. Dynamics of K ion concentration of *Triglochin maritima* plant leaves depending on the treatment.

## 4. DISKUSIJA

### *D. arenarius*

Schnoor un Olsson (2010) pētījumā, kur dabā veica mehānisku augsnes ietekmēšanu *D. arenarius* augu skaits eksperimentālajos apstrādes lauciņos samazinājās, tomēr nākamajā pētījuma gadā, varēja novērot sugas atjaunošanos. Tas parāda, ka dabā *D. arenarius* mehāniska augsnes un veģetācijas ietekme šī auga augšanas vietās to pozitīvi neietekmē, taču augs spēj pārciest šādus apstākļus. Līdzīgus rezultātus var novērot arī šī darba ietvaros veiktā eksperimenta laikā. Lai arī nobradāšanas intensitātes pieaugums negatīvi ietekmēja masas pieaugumu, tomēr svarīgi atzīmēt, ka visi augi eksperimenta laikā līdz galējo morfoloģisko datu iegūšanai izdzīvoja.

Parādās arī interesanta sakarība, ka neliela smilšu apbēršana B1 (1.3 cm) veicināja lapu un sakņu masas pieaugumu. Iespējams, ka tieši papildu apbēršanas faktors spēj samazināt negatīvo ietekmi, ko rada nobradāšana, ja salīdzina variantus Tr1 un B1Tr1. Apbēršanas kārtā iespējams pasargāja augu, neļaujot to pilnībā mehāniski piespiest pie augsnes kārtas, mazāk traumējot tās auga daļas, kas atbild par jaunu lapu un dzinumus veidošanos.

Tomēr varianti, kuros veica tikai nobradāšanu, neatkarīgi no intensitātes uzrādīja augstāku hlorofila koncentrāciju, ko varētu skaidrot ar to, ka lielāka augu virsma bija atklāta un spējīga uzņemt gaismas enerģiju, kamēr apbēršana radīja noēnošanas efektu. Tomēr astoņas nedēļas pēc apstrādes visi augi bija izauguši lielāki un bija uzlabojuši hlorofila koncentrāciju lapās.

Šis eksperiments parāda, ka *D. arenarius* spēj uz kādu laiku paciest nobradāšanu, un viegla apbēršana pat veicina auga augšanu, līdz ar to šīs sugas saglabāšanā noderētu vienkāršu nožogojumu izveide, kas samazinātu antropogēno slodzi, tajā pašā laikā nekādi nemainot auga abiotisko faktoru ietekmi, līdzīgi kā Santoro un pārējo zinātnieku pētījumā (2012).

### *A. maritima*

Ar fotosintēzi saistītie parametri – hlorofila koncentrācija kā arī hlorofila *a* fluorescences parametrs *Performance Index (PI)* parādīja, ka *A. maritima* auga fizioloģisko stāvokli no visām apstrāžu kombinācijām visvairāk ietekmēja tieši apbēršanas pakāpe kā arī slāpekļa fiksējošo baktēriju klātbūtne substrātā. Katra apbēršanas pakāpe – neapbērtie, apbērtie (2 cm) un stipri apbērtie (4 cm) varianti veicināja līdzīgas hlorofila koncentrācijas un auga atjaunošanās spējas izmaiņas sešu nedēļu periodā. Visi varianti, kam substrātā bija pievienots slāpekli fiksējošo gumiņbaktēriju inokulants, uzrādīja labākas auga atjaunošanās spējas salīdzinot ar tiem variantiem, kuriem tās nebija pievienotas. To varētu skaidrot ar

gumiņbaktēriju veicinātu slāpekļa piesaisti, kā rezultātā uzlabojas fotosintēzes rādītāji, kamēr apstrādes variantiem ar slāpekļa trūkumu tie bija pazemināti (Fageria, Baligar 2005). Tomēr interesants novērojums parādījās jau piektajā un sestajā nedēļā, kur arī variantiem, bez baktēriju inokulanta atjaunošanās spējas uzlabojās un pat sasniedza līdzīgus rādītājus kā variantiem ar baktēriju inokulantu. To varētu skaidrot ar to, ka jau piektajā nedēļā slāpekli fiksējošās gumiņbaktērijas jau bija kontaminējušas arī variantus bez baktērijām, neatkarīgi no tā, ka eksperimenta laikā ievēroja iespējamās aizsardzības pasākumus, lai tas nenotiktu. To apstiprina arī galējie sakņu morfoloģiskie mērījumi, kur visiem variantiem uz saknēm bija novērojami gumiņi. Līdz ar to veikt gumiņu uzskaiti vairs nebija būtiski. Tas parāda to, ka ir diez gan sarežģīti veikt baktēriju un augu ekofizioloģiskos pētījumus (Van Der Heijden et al. 2006). Iespējams, atkārtojot šāda veida eksperimentu, eksperimenta ilgumu varētu samazināt, vai arī jāievieš izmaiņas metodikā, nodalot variantus telpā, lai veģetācijas traukiem ar un bez slāpekli fiksējošām baktērijām nebūtu nekādas saskarsmes iespējas, tādējādi varētu iegūt arī informāciju par gumiņu galējiem morfoloģiskajiem datiem.

Apbēršana kā faktors sākotnēji uzlaboja hlorofila koncentrācijas un atjaunošanās spēju, taču ilgtermiņā apbēršanas intensitātes pieaugums samazināja auga fizioloģisko atjaunošanās spēju. Dabā, iespējams, smilšu pārpūšana uzlabo noteiktu augu augšanu, jo smilšu slogs ir dinamiski mainīgs, nevis konstants. *A. maritima* iespējams nepieciešamas slāpekli fiksējošās baktērijas, lai spētu pārciest apbēršanas negatīvo ietekmi, jo labākie fizioloģiskie rādītāji ir variantiem ar nelielu smilšu apbēršanu un slāpekli fiksējošo baktēriju klātbūtni.

Pēc galējiem morfoloģiskajiem datiem, smilšu apbēršanas intensitāte izraisīja atšķirīgu pozitīvu efektu uz atšķirīgiem auga parametriem. Mazāk intensīvā smilšu apbēršana veicināja dzinumu svaigās un sausās masas, lapu un dzinumu skaita pieaugumu, taču intensīvāka smilšu apbēršana veicināja lapu plātņu sausās masas un lapu kātu svaigās, sausās masas un garuma pieaugumu. Masas un garuma palielināšanos varētu skaidrot ar to, ka apbēršana, kā faktors rada tumsas efektu, kas savukārt veicina dzinumu vertikālo augšanu, ko izraisa etilēna koncentrācijas palielināšanās augos (Voeselek et al. 1998).

Ekoloģijas pētījumu rezultātā noskaidrots, ka *A. maritima* dzīvotnēm raksturīgs aizaugošu kāpu pazīmes - biežāks nedzīvās zemes slānis, mazāk halofītu un litorālo sugu (Ratiece 2015), kas varētu skaidrot to, kāpēc smilšu apbēršana deva pozitīvu ietekmi auga augšanā un attīstībā. Iespējams, ka *A. maritima* gadījumā augšanā apbēršanas apstākļos ir nevis specializēta adaptācija, bet gan sugai raksturīga vajadzība.

### *P. maritima*

*P. maritima* ir populārs modeļobjekts dažādos sālsizturības pētījumos (Staal et al., 1991; Sekmen et al. 2007; Sleimi et al. 2015). Sleimi un pārējo autoru pētījumā (2015) atzīmēja, ka *P. maritima* var uzskatīt par fakultatīvi halofītu sugu, jo tā spēj augt arī pie relatīvi zemām sāls koncentrācijām. Viņu pētījumā maksimālā NaCl koncentrācija bija 500 mM un kā galējā robeža, pie kuras jau vismaz uz pusi samazinājās gan augu lapu un sakņu sausā masa, bija koncentrācija 200 mM, bet koncentrācijā 400 mM un 500 mM bojāgājušo augu skaits bija ap 20–25%. Sekmen un pārējo autoru pētījumā (2007) arī novēroja lapu svaigās masas būtisku samazinājumu 200 mM NaCl koncentrācijā. Tomēr šajā darbā veiktajā eksperimentā straujāko auga attīstību veicināja kontroles variants, tomēr arī 250 mM NaCl koncentrācijā novēroja svaigās un sausās lapu masas pieaugumu attiecībā pret kontroli un visi *P. maritima* augi izdzīvoja 1000 mM NaCl koncentrācijā, bojā ejot tikai 2000 mM NaCl koncentrācijā. Tas nozīmē, ka *P. maritima* augi spēj veikt pilnu dzīves ciklu diezgan plašā sāļainības gradientā, no 0 līdz pat 1000 mM NaCl koncentrācijai. Tomēr gan literatūrā, gan arī šajā pētījumā novērojams sakņu svaigās un sausās masas samazinājums pieaugot NaCl koncentrācijai (Rubinigg et al. 2004). Pretrunīgi vērtējama fotosintēzes aktivitāte, jo Flanagan un Jefferies (1988) pētījumā līdz 350 mM NaCl koncentrācijai fotosintēzes aktivitāte bija nedaudz samazināta, bet šajā pētījumā, gan hlorofila koncentrācija, gan hlorofila *a* fluorescences parametrs *Performance Index* līdz 1000 mM NaCl koncentrācijai uzrādīja dinamiski svārstīgu, bet pozitīvu rezultātu, salīdzinot ar kontroles variantu.

Būtiska atšķirība šajos eksperimentos bija arī Na<sup>+</sup> uzkrāšanās dažādos orgānos, kur Sleimi pētījumā Na<sup>+</sup> galvenokārt uzkrājās saknēs, tomēr šajā eksperimentā Na<sup>+</sup> joni visvairāk uzkrājās lapās, mazāk ģeneratīvajos orgānos un vispār neuzkrājās saknēs, kas liecina par to, ka ir liela nozīme substrātam, kādā aug *P. maritima* augi – hidroponikā vai augsnes substrātā. Lai arī *P. maritima* tiek apzīmēta kā fakultatīvi halofīta suga, tomēr tas, ka šī suga Na<sup>+</sup> vairāk uzkrāj virszemes daļās, liecina par tipisku halofīta spēju, kamēr tipiska glikofīta īpašība ir vairāk uzkrāt dažādus jonus tieši saknēs.

*P. maritima*, kā pierādās, tā spēj izdzīvot arī ekstremāla sāļuma apstākļos, ko varētu skaidrot ar labākiem aizsardzības mehānismiem - antioksidatīvo enzīmu augstāku aktivitāti pret oksidatīvo stresu (Sekmen et al. 2007), tomēr šajā eksperimentā un analizētajā literatūrā noskaidrots, ka šis augs spēj ļoti labi augt arī vidē bez NaCl klātbūtnes. Baltijas jūra ir viena no lielākajām iesālā ūdens teritorijām pasaulē, kur sāļums 17 līdz 342 mM, vidēji 86 līdz 120 mM, un paredz, ka tajā varētu samazināties sāļainība, vairāk ieplūstot saldūdenim, līdz ar to, būtu interesanti noskaidrot arī mazāku NaCl koncentrācijas ietekmi uz *P. maritima*, piemēram no 20

līdz 350 mM, kas būtu tuvākas Baltijas jūras piekrastes apstākļiem, un tad salīdzināt ar citu autoru iegūtajiem rezultātiem.

*P. maritima* spēja augt plašā sāļainības gradientā, liecina par to, ka šī suga ir specializējusies piekrastes sāļainības mainīgajiem apstākļiem, līdz ar to grūti paredzēt vai nākotnē šīs sugas pastāvēšana ir vairāk vai mazāk apdraudēta. Noskaidrots, ka nobradāšana neietekmē *P. maritima* augšanu (Andersen 1994), līdz ar to antropogēnās slodzes samazināšana būtiski neko nemainītu. Sāls ietekme uz šo sugu, salīdzinot iegūtos rezultātus ar literatūrā aprakstītajiem, vēl joprojām vērtējama diezgan pretrunīgi. Tāpēc atklāts paliek jautājums par faktoriem, kas samazina šīs sugas indivīdu sastopamību Latvijā. Iespējams, ka to ietekmē augu sabiedrības un konkurence, vai arī temperatūras izmaiņas, bet, lai to noskaidrotu, būtu jāveic tālāki pētījumi.

### *T. maritimum*

Albert un Popp (1977) pētījumā *T. maritimum* parādās kā vienīgā viendīgļlapju suga, kas uzrāda augstu sāls koncentrāciju, kas apstiprina šajā pētījumā iegūtos rezultātus par Na nekaitīgumu uz *T. maritima*. Fe ir būtisks elements, kas iesaistās hlorofila sintēzes sākuma etapas. Un Fe augam vieglāk uzņemt, ja augsne nav pārāk sārmaina. Iespējams, šis ir noteicošais faktors, kāpēc hlorofila fluorescences parametrs *Performance Index* uzrāda labāku atjaunošanās spēju tieši variantam ar papildus pievienotu Fe, kamēr Fe apvienojumā ar Ca uzrādīja daudz zemāku atjaunošanās spēju (42. attēls), līdzīgi kā kontrole un pārējie apstrādes varianti. Tomēr visi šajā eksperimentā iegūtie fizioloģiskie mērījumi un *T. maritimum* morfoloģiskie dati rāda, ka pat augstās izmantoto jonu koncentrācijās, neparādās toksiskuma pazīmes dažādos apstrādes variantos. Visi apstrādes varianti veicināja svaigās un sausās lapu un sakņu masas pieaugumu vai arī tie bija tuvu kontroles līmenim. Līdzīgi novērojumi parādās arī Karlsona (2011) pētījumā ar *T. maritimum*, kurā pēc iegūtajiem rezultātiem noskaidrots, ka *T. maritimum* kā halofītiska piekrastes suga ir ar augstu metabolisko plastiskumu, kas ļauj tai veikt nepieciešamo minerālo barošanu arī izteikti heterogēnas augsnes apstākļos pie mainīga minerālelementu satura un sāļainības. Karlsons fotosintētisko audu toksikozes neesamību skaidro ar pārbagātībā esošo jonu izolēšanu saknēs.

Lai vairāk noskaidrotu par šīs sugas iespējamiem adaptācijas mehānismiem heterogēnajai augsnes apstākļu maiņai, eksperimenta gaitā būtu jāveic arī to anatomijas vai ģenētiskā izpēte. Izmantojot tikai fotosintēzes, jonu koncentrācijas un morfoloģiskos parametrus var redzēt *T. maritimum* pielāgošanās spējas, bet ar šīm metodēm nepietiek, lai tās pilnīgi izskaidrotu.

Kopumā šādos eksperimentos un ar šādām nedestruktīvajām fizioloģiskajām metodēm var visai veiksmīgi pētīt retās un aizsargājamās augu sugas, jo tādējādi netiek apdraudēta šo sugu izplatība un izdzīvošana. Nedestruktīvās metodes - hlorofila koncentrācijas noteikšana ar hlorofilmetru, hlorofila a fluorescences parametru iegūšana ar Handy-Pea, ir iespējams izmantot arī dabā esošiem augiem, ne tikai siltumnīcas apstākļos. Fotosintēzes parametri dod pat vairāk informācijas par augā notiekošajiem procesiem, pat ja vizuāli nevar pateikt ietekmes faktoru nozīmīgumu.

Jonu noteikšanai var izmantot Horiba LAQUAtwin mērītājus, it īpaši  $\text{Na}^+$  un  $\text{K}^+$  noteikšanai augos, jo analīžu veikšanas metodika ir visai vienkārša. Tomēr šo metodi pilnībā nevar izmantot kā ekspressmetodi, jo analīžu veikšanai nepieciešams lapas izžāvēt, lai noskaidrotu precīzu jonu koncentrāciju attiecībā pret sauso masu. Kā arī šo metodi varētu uzskatīt par daļēji destruktīvu, jo ir nepieciešams izmantot lapas paraugu, tomēr daudzums, kādu vajag, ir pavisam neliels, lai iegūtu mērījumus.

Lai noskaidrotu dažādu faktoru ietekmes nozīmi, nākotnē papildus būtu labi veikt arī sēklu dīgtspējas pārbaudi visiem eksperimentos izmantotajiem augiem, lai apstiprinātu dažādu faktoru ietekmi ne tikai uz eksperimentālo augu morfoloģiskajiem un fizioloģiskajiem rādītājiem, bet arī uz to vairošanās spēju. Piemēram *P. maritima* gadījumā, kur augi 500 mM NaCl koncentrācijā bija izveidojuši ziedkopas un sēklas, kas liecina, ka šādā sālūmā augs ir spējīgs veikt pilnu attīstības ciklu, tomēr dīgtspējas pārbaude to varētu pilnībā apstiprināt.

Apbēršanas eksperimentos varētu mainīt smilšu noslodzi uz augu, lai kontrolēti varētu pētīt ne tikai konstanta smilšu daudzuma ietekmi vairāku nedēļu garumā, bet smilšu dinamisku mainību, kas dabā ir vairāk raksturīga.

Problēmas sagādāja gaisa slāpekli fiksējošo gumiņbaktēriju ilgstoša izolēšana no tiem apstrādes variantiem, kuros tām nevajadzēja būt. Pēc fotosintēzes parametra *Performance Index* varēja spriest, ka jau piektajā nedēļā varianti bez pievienota gumiņbaktēriju inokulanta bija kontaminēti, ko apstiprināja arī pēc sestās nedēļas iegūtie galējie morfoloģiskie dati, kur varēja novērot gumiņus uz saknēm visiem apstrādes variantiem. Tālākos pētījumos būtu jāsamazina eksperimenta ilgums līdz, iespējams, četrām nedēļām, vai arī jāuzlabo veģetācijas trauku ar eksperimentālajiem variantiem uzglabāšanas metodika eksperimenta laikā.

## SECINĀJUMI

1. *D. arenarius* spēj atjaunoties pēc ilgstošas apbēršanas un nobradāšanas intensitātes. Apbēršana veicina virszemes daļu masas pieaugumu.
2. *A. maritima* augu augšanas un atjaunošanās spēju ietekmē slāpekli fiksējošo gumiņbaktēriju klātbūtne un smilšu apbēršanas intensitāte.
3. *P. maritima* spēj ilgstoši paciest 1000 mM sāļumu, saglabājot aktīvu fotosintēzi, bet 2000 mM augi pakāpeniski iet bojā.
4. *T. maritimum* neuzrāda toksiskuma pazīmes dažādu jonu izmantošanai pat augstās koncentrācijās.
5. Siltumnīcas apstākļos ir iespējams veikt piekrastes apstākļu imitācijas daudzfaktoru un bioloģisko faktoru eksperimentus.
6. Nedestruktīvo fizioloģisku metožu un analītisko ekspresmetožu izmantošana pētījumos sniedz daudz informācijas par augā notiekošajiem procesiem.

## PATEICĪBAS

Paldies darba vadītājam Dr. hab. biol., prof. Ģedertam Ieviņam, konsultantēm Dr. biol. Unai Andersonei-Ozolai un Dr. biol. Inetai Samsonei.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Albert R., Popp M. 1977. Chemical composition of halophytes from the Neusiedler Lake region in Austria. *Oecologia* 27: 157-170.
2. Andersen U.V. 1994. Resistance of Danish coastal vegetation types to human trampling. *Biological Conservation* 71: 223-230.
3. Andersone U., Ievinsh G. 2002. Changes of morphogenic competence in mature. *Ann Bot.* 90: 293–298.
4. Balestri E., Lardicci C. 2013. The Impact of Physical Disturbance and Increased Sand Burial on Clonal Growth and Spatial Colonization of *Sporobolus virginicus* in a Coastal Dune System. *Plos One* 8: 1-14.
5. Bergersen F.J. 1971. Biochemistry of Symbiotic Nitrogen Fixation in Legumes. *Annual Review of Plant Physiology* 22: 121-140.
6. Blevins D. G., Barnett N. M., Frost W.B. 1978. Role of potassium and malate in nitrate uptake and translocation by wheat seedlings. *Plant Physiol* 62:784–788.
7. Bowles J.M., Maun M.A. 1982. A study of the effects of trampling on the vegetation of Lake Huron sand dunes at Pinery Provincial Park 24: 273-283.
8. Brown J. 1997. Effects of experimental burial on survival, growth, and resource allocation of three species of dune plants. *Journal of Ecology* 85: 151-158.
9. Culkin F., Cox R.A. 1966. Sodium, potassium, magnesium, calcium and strontium in sea water. *Deep-Sea Research* 13: 789-804.
10. Dickson A.G., Goyet C. 1997. Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water. Chapter 5 - Physical and thermodynamic data. Version 2.13. 22 pp.
11. Eldred R.A., Maun M.A. 1982. A multivariate approach to the problem of decline in vigour of *Ammophila*. *Can. J. Bot.* 60: 1371–1380.
12. Emery S.M., Rudgers J.A. 2010. Ecological Assessment of Dune Restorations in the Great Lakes Region. *Restoration Ecology* 18: 184-194.
13. Fageria N.K., Stone L.F. 2006. Physical, chemical, and biological changes in the rhizosphere and nutrient availability. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1327–1356.

14. Flanagan L.B., Jefferies R.L. 1988. Stomatal limitation of photosynthesis and reduced growth of the halophyte, *Plantago maritima* L., at high salinity. *Plant, Cell & Environment* 11: 239-245.
15. Gilbert M.E., Ripley B.S. 2010. Resolving the differences in plant burial response. *Austral Ecology* 35: 53-59.
16. Gustafsson B.G., Westman P. 2002. On the causes for salinity variations in the Baltic Sea during the last 8500 years. *Paleoceanography* 17: 1-14.
17. Hafsi C., Debez A., Abdelly A. 2014. Potassium deficiency in plants: effects and signaling cascades. *Acta Physiologiae Plantarum* 36: 1055-1070.
18. Hesp P.A. 1991. Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. *Journal of Arid Environments* 20: 165-191.
19. Hoggart S.P.G., Hanley M.E., Parker D.J., Simmonds D.J., Bilton D.T., Filipova-Marinova M., Franklin L., Kotsev I., Penning-Rowsell E.C., Rundle S.D., Trifonova E., Vergiev S., White A.C., Thompson R.C. 2014. The consequences of doing nothing: The effects of seawater flooding on coastal zones. *Coastal Engineering* 87: 169–182.
20. Hylgaard T. 1980. Recovery of plant communities on coastal sand-dunes disturbed by human trampling. *Biological Conservation* 19: 15-25.
21. Ievinsh G. 2017. Effect of different salts on growth and physiological characteristics of *Secale cereale* seedlings: a possible relationship with ethylene. *Environmental and Experimental Biology* 15: 51–52 *Abstract of the 75th Scientific Conference of the University of Latvia*.
22. Kis-Papo T., Weig A.R., Riley R., Peršoh R., Salamov A., Sun H., Lipzen A., Wasser S.P., Rambold G., Grigoriev I.V., Nevo E. 2014. Genomic adaptations of the halophilic Dead Sea filamentous fungus *Eurotium rubrum*. *Nature Communications* 5: 1-8.
23. Laime B. 2005. Augi jūras krastā. Latvijas Universitāte. 34lpp.
24. Latvijas Botāniķu biedrība. 2017. Sarkanā grāmata. <http://botany.lv/botanika/sarkana-gramata/>
25. Latvijas daba<sup>a</sup>. 2017. Jūrmalas āžloks. <https://www.latvijasdaba.lv/augi/triglochimaritimum-1/>

26. Latvijas daba<sup>b</sup>. 2017. Jūrmalas ceļteka. <https://www.latvijasdaba.lv/augi/plantago-maritima-l/>
27. Latvijas daba<sup>c</sup>. 2017. Jūrmalas pārkonamoliņš. <https://www.latvijasdaba.lv/augi/anthyllis-maritima-schweigg/>
28. Latvijas daba<sup>d</sup>. 2017. Pārskata tabula par Latvijas aizsargājamo augu sugām Latvijas Sarkanajā grāmatā un Latvijas Republikas Ministru Kabineta noteikumos. [http://latvijas.daba.lv/aizsardziba/augi\\_dzivnieki/tabula.shtml](http://latvijas.daba.lv/aizsardziba/augi_dzivnieki/tabula.shtml)
29. Latvijas daba<sup>e</sup>. 2017. Smiltāja neļķe. <https://www.latvijasdaba.lv/augi/dianthus-arenarius-l/>
30. Maun M.A. 1994. Adaptations enhancing survival and establishment of seedlings on coastal dune systems. *Vegetatio* 111: 59–70.
31. Maun M.A. 1998. Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes. *Can. J. Bot.* 76: 713–738.
32. Mauriņa H. 1987. Augu fizioloģija. Rīga, izdevniecība „Zvaigzne”: 358 lpp
33. Meier H.E.M., Kauker F. 2003. Sensitivity of the Baltic Sea salinity to the freshwater supply. *Climate Research* 24: 231-242.
34. Mengel K, Haghparast M.R., Koch K. 1974. The effect of potassium on the fixation of molecular nitrogen by root nodules of *Vicia faba*. *Plant Physiol* 54:535–538.
35. Misra A.N., Misra M., Singh R. 2012. Chlorophyll fluorescence in plant biology. In: *Biophysics*, InTech, Misra A.N. (ed): 171-192 pp.
36. Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25: 239-250.
37. Munns R., Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651–681.
38. Pardini E.A., Vickstrom K.E., Knight T.M. 2015. Early Successional Microhabitats Allow the Persistence of Endangered Plants in Coastal Sand Dunes. *Plos One* 10: 1-15.
39. Parida A.K., Das A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324–349.
40. Pasaules Dabas fonds. 2017. Baltijas jūra. Daži fakti. [http://www.pdf.lv/lv\\_LV/ko-mes-daram/ude-i/baltijas-jura](http://www.pdf.lv/lv_LV/ko-mes-daram/ude-i/baltijas-jura)

41. Peoples M.B., Herridge D.F., Ladha J.K. 1995. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant and Soil* 174: 3-28.
42. Prisco I., Carboni M., Acosta A.T.R. 2013. The Fate of Threatened Coastal Dune Habitats in Italy under Climate Change Scenarios. *Plos One* 8: 1-14.
43. Ratniece A. 2015. Baltijas jūras reģiona endēmo augu sugu *Tragopogon heterospermus* un *Anthyllis maritima* populāciju ekoloģija Latvijā. Bakalaura darbs. Latvijas Universitāte.
44. Richardson A.D., Duigan S.P., Berlyn G.P. 2002. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist* 153: 185-194.
45. Rubingg M., Wenisch J., Elzenga J.T.M., Stulen I. 2004. NaCl salinity affects lateral root development in *Plantago maritima*. *Functional Plant Biology* 31: 775-780.
46. Santoro R., Jucker T., Prisco I., Carboni M., Battisti C., Acosta A.T.R. 2012. Effects of Trampling Limitation on Coastal Dune Plant Communities. *Environmental Management* 49: 534-542.
47. Schinke H., Matthäus W. 1998. On the causes of major Baltic inflows —an analysis of long time series. *Continental Shelf Research* 18: 67-97.
48. Sekmen A.H., Türkan I., Takio S. 2007. Differential responses of antioxidative enzymes and lipid peroxidation to salt stress in salt-tolerant *Plantago maritima* and salt-sensitive *Plantago media*. *Physiologia plantarum* 131: 399-411.
49. Shi L., Zhang Z.J., Zhang C.Y., Zhang J.Z. 2004. Effects of Sand Burial on Survival, Growth, Gas Exchange and Biomass Allocation of *Ulmus pumila* Seedlings in the Hunshandak Sandland, China. *Annals of Botany* 94: 553–560.
50. Sleimi N., Guerfali S., Bankaji I. 2015. Biochemical indicators of salt stress in *Plantago maritima*: Implications for environmental stress assessment. *Ecological Indicators* 48: 570-577.
51. Staal M., Maathuis F.J.M., Elzenga J.T.M., Overbeek J.H.M., Prins H.B.A. 1991. Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiport activity in tonoplast vesicles from roots of the salt-tolerant *Plantago maritima* and the salt-sensitive *Plantago media*. *Physiologia plantarum* 82: 179-184.
52. Texeira L.H., Weisser W., Ganade G. 2016. Facilitation and sand burial affect plant survival during restoration of a tropical coastal sand dune degraded by tourist cars. *Restoration Ecology* 24: 390-397.

53. Ye X., Liu Z., Gao S., Cui Q., Liu G., Du J., Dong M., Huang Z., Cornelissen J.H.C. 2017. Differential plant species responses to interactions of sand burial, precipitation enhancement and climatic variation promote co-existence in Chinese steppe vegetation. *Journal Of Vegetation Science* 28: 139-148.
54. Yu F., Dong M., Krusi B. 2004. Clonal integration helps *Psammochloa villosa* survive sand burial in an inland dune. *New Phytologist* 162: 697-704.
55. Vikmane M. 2013. Laboratorijas darbi augu fizioloģijā. Rīga, Latvijas Universitāte, 53 lpp.
56. Xu G., Fan X., Miller A.J. 2012. Plant Nitrogen Assimilation and Use Efficiency. *Annual Review of Plant Biology* 63: 153-182.
57. Van Der Heijden M.G.A, Bakker R., Verwaal J., Scheublin T., R., Rutten M., Van Logtestijn R., Staehelin C. 2006. Symbiotic bacteria as a determinant of plant community structure and plant productivity in dune grassland. *FEMS Microbiology Ecology* 56: 178-187.
58. Vitousek P.M., Aber J.D., Howarth R.W., Likens G.E., Matson P.A., Schindler D.W., Schlesinger W.H., Tilman D.G. 1997. Technical Report. Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences. *Ecological Applications* 7: 737-750.
59. Vītola Ā. 1975. Fotosintēze – dzīvības pamats uz Zemes. Rīga, izdevniecība „Zinātne”, 50 lpp.
60. Voesenek L.A.C.J., van der Putten W.H., Maun M.A., Blom C.W.P.M. 1998. The role of ethylene and darkness in accelerated shoot elongation of *Ammophila breviligulata* upon sand burial. *Oecologia* 115: 359–365.
61. Wrange A.L., André C., Lundh T., Lind U., Blomberg A., Jonsson P.J., Havenhand J.N. Importance of plasticity and local adaptation for coping with changing salinity in coastal areas: a test case with barnacles in the Baltic Sea. *BMC Evolutionary Biology* 14: 1-14.
62. Zarco-Tejada P.J., Miller J.R., Mohammed G.H., Noland T.L., Sampson P.H. 2002. Vegetation Stress Detection through Chlorophyll a + b Estimation and Fluorescence Effects on Hyperspectral Imagery. *Journal of Environmental Quality* 31: 1433-1441.
63. Zhang, J., Maun, M.A. 1992. Effects of burial in sand on the growth and reproduction of *Cakile edentula*. *Ecography*. 15: 296-302.
64. Zhu J.K. 2007. *Plant Salt Stress*: John Wiley & Sons, Ltd.

Maģistra darbs „Abiotisko un biotisko faktoru ietekmes analīze veģetācijas eksperimentos ar jūras piekrastes reto un aizsargājamo augu sugām” izstrādāts LU Bioloģijas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: Laura Gaile

07.06.2017

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: Dr. hab. biol., prof. Ģederts Ieviņš

07.06.2017.

Recenzents:

Dr. biol. Doc. Māra Vikmane

Darbs iesniegts Bioloģijas fakultātē 07.06.2017.

Metodiķe: Diāna Marcinkēviča

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

13.06.2017. prot. Nr. \_\_\_\_, vērtējums \_\_\_\_\_

Komisijas sekretārs/e: Dr. biol., asoc. prof. Līga Plakane