

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
BIOLOĢIJAS FAKULTĀTE  
AUGU FIZIOLOĢIJAS KATEDRA

SAVVAĻAS SKĀBĒŅU SUGAS KĀ MODEĻI  
EKOFIZIOLOĢISKAJOS PĒTIJUMOS VEGETĀCIJAS  
EKSPERIMENTA APSTĀKĻOS: FIZIOLOĢISKO  
GRADIENTU UN MINERĀLVIELU NODROŠINĀJUMA  
IETEKME

Bakalaura darbs

Autors: Annija Bule

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

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

Recenzents: Dr. biol. Ineta Samsone

RĪGA 2021

## KOPSAVILKUMS

Augi sev nepieciešamos elementus uzņem caur augsni un uzkrāj dažādās auga daļās. Dažādu elementu koncentrācija augu daļās ir atkarīga no dažādiem faktoriem – sugas, vides, auga vecuma, auga fizioloģijas. Pētījumā izmantoja četras savvaļas skābeņu sugas: *Rumex hydrolapathum*, *Rumex confertus*, *Rumex maritimus*, *Rumex longifolius*. Sugām noteica lapu fizioloģiskos un morfoloģiskos parametrus. Mērija hlorofila *a* fluorescenci, lapu garumu, platumu, svaigo un sauso masu, kā arī veica jonu analīzes.

2019. gadā pētījumu turpināja, apskatot *Rumex hydrolapathum* reakciju uz dažādām minerālvielu kompleksa koncentrācijām un slāpekļa ietekmi dažādās formās ( $\text{NO}_3^-$  un  $\text{NH}_4^+$ )

Pētījums liecina, ka dažādām skābeņu ģints sugām ir atšķirīga attīstības stratēģija. Katrai sugai būtiski atšķirās lielākās lapas vecums. Fizioloģiskie un morfoloģiskie parametri bija atkarīgi gan no sugas, gan no lapu vecuma. Izmantojot nelielas koncentrācijas palipdus minerālvielām  $\text{NH}_4^+$  uzrādīja labāku ietekmi uz auga metabolismu un biomasu nekā  $\text{NO}_3^-$ , bet koncentrāciju palielinot  $\text{NO}_3^-$  uzrādīja labākus rezultātus kā  $\text{NH}_4^+$ . Augstā minerālvielu koncentrācijā un papildus pievienojot slāpekli, augā samazinājās fotosintēzes fotoķīmisko procesu aktivitāte, kas liecina par minerālvielu piesātinājumu.

Atslēgas vārdi: *Rumex*, K joni, Na joni,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , hlorofila fluorescence.

## SUMMARY

Plants acquire the necessary elements from the soil and accumulate in different parts of the plant. The concentration of different elements in plant parts depends on different factors: species, environment, plant age, plant physiology. The study used four species of wild sorrel: *Rumex hydrolapathum*, *Rumex conferts*, *Rumex maritimus*, *Rumex longifolius*. Physiological and morphological parameters were determined for these species. Chlorophyll *a* fluorescence, leaf length, width, fresh and dry mass as well as ion analysis were determined.

In 2019, the study was continued by looking at the response of *Rumex hydrolapathum* to different concentrations of the complex mineral fertilizer and the effect of nitrogen in different forms ( $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$ ).

The study showed that different species of sorrel have a different development strategy. The age of the largest leaf differed significantly for each species. Physiological and morphological parameters depended on both the species and the age of the leaves.

Using low concentrations of minerals,  $\text{NH}_4^+$  showed better effects on plant metabolism and biomass than  $\text{NO}_3^-$ , but increasing the concentration of minerals,  $\text{NO}_3^-$  showed better results than  $\text{NH}_4^+$ . At high mineral concentrations and the addition of nitrogen, the photochemical activity of photosynthesis of the plant decreased, indicating mineral saturation.

Keywords: *Rumex*, K ions, Na ions,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , chlorophyll fluorescence.

# SATURS

<b>KOPSAVILKUMS</b> .....	1
<b>SUMMARY</b> .....	3
<b>SATURS</b> .....	4
<b>IEVADS</b> .....	5
<b>LITERATŪRAS APSKATS</b> .....	7
<b>Augsnes sāļums</b> .....	7
<b>Halofīti</b> .....	8
<b>Glikolīti</b> .....	8
<b>Kālija funkcijas augos</b> .....	8
<b>Nātrija funkcijas augos</b> .....	9
<b>Slāpekļa funkcijas augos</b> .....	9
<b>Hlorofila fluorescence</b> .....	10
<b>MATERIĀLI UN METODEDES</b> .....	11
<b>Pētīto sugu raksturojums</b> .....	11
<i>Rumex hydrolapathum</i> .....	11
<i>Rumex confertus</i> .....	11
<i>Rumex maritimus</i> .....	11
<i>Rumex longifolius</i> .....	11
<b>Augu audzēšana</b> .....	13
<b>Augu apstrāde ar slāpekli</b> .....	14
<b>Fizioloģisko un morfoloģisko parametru mērījumi</b> .....	14
<b>Jonu satura analīzes</b> .....	15
<b>Datu analīze</b> .....	15
<b>REZULTĀTI UN DISKUSIJA</b> .....	15
<b>Lapu morfoloģiskie parametri</b> .....	16
<b>Svaigā masa</b> .....	18

<b>Sausā masa .....</b>	<b>19</b>
<b>Ūdens saturs .....</b>	<b>20</b>
<b>Fluorescences parametru gradients .....</b>	<b>22</b>
<b>Na<sup>+</sup> un K<sup>+</sup> koncentrācija gradients .....</b>	<b>24</b>
<b>Elektrovadītspēja.....</b>	<b>28</b>
<b>SECINĀJUMI .....</b>	<b>30</b>
<b>PATEICĪBAS .....</b>	<b>31</b>
<b>LITERATŪRAS SARAKSTS.....</b>	<b>32</b>

## IEVADS

Augi ar augsnes palīdzību uzņem sev nepieciešamos elementus. Augu lapās uzkrātā Na un K daudzums ir atkarīgs no vairākiem faktoriem.

Kālijs ir minerālelements, kurš netiek iesaistīts metabolisma procesos, bet tas regulē osmotisko spiedienu un vairāku enzīmu darbību. Halofītiem Na uztur šķidrums līdzsvaru šūnās, piedalās hlorofila sintēzē un var aizstāt kāliju tā deficīta gadījumā (Ieviņš, 2016).

Augsta NaCl koncentrācija izjauc jonu līdzsvaru augsnē un augam izraisa hiperosmotisko stresu, kas noved līdz toksiskam jonu līmenim, membrānas un oksidatīvajiem bojājumiem (Zhu, 2001). Halofīti spēj ātrāk osmotiski pielāgoties un uzlabot vai saglabāt savas metaboliskās spējas augstākā iekšējā šķīduma koncentrācijā, kas nepieciešams, lai pielāgotos palielinātajam osmotiskajam spiedienam augšanas vidē. Sāls ietekme uz enzīmu aktivitāti augā var izraisīt noteiktu metabolisma tendenču maiņu (Waisel, 1972).

Darba mērķis bija kontrolētos apstākļos izaudzēt četras savvaļas skābeņu sugas un pārbaudīt morfoloģisko un fizioloģisko parametru izmaiņas dažāda vecuma lapām, kā arī minerālmēslojuma un papildus slāpekļa ietekmi uz *R. hydrolapathum*.

Mērķa realizācijai izvirzīti sekojoši uzdevumi:

1. Izaudzēt četru sugu savvaļas skābenes kontrolētos apstākļos.
2. Audzēšanas perioda laikā noteikt hlorofila *a* fluorescenci.
3. Pēc audzēšanas perioda beigām novākt auga lapas un noteikt to morfoloģiskos parametrus.
4. Ievāktajā materiālā noteikt Na un K jonu koncentrāciju.
5. Pārbaudīt minerālmēslojuma un papildus slāpekļa ietekmi uz *R. hydrolapathum* augšanu un fizioloģisko stāvokli.

## LITERATŪRAS APSKATS

### Augsnes sāļums

Augsnes sāļums ir liels ietekmējošais faktors augu izplatībai sāļs ietekmētajos biotopos. Lielākā daļa sauszemes augu nav spējīgi augt augsnē, kur sāls koncentrācija šķīdumā pārsniedz 100 mM. Savukārt halofīti ir pielāgojušies un tie ir izturīgāki pret augstu sāls koncentrāciju, un augsnes sāļums tiem pat ir nepieciešams. Sāls izturība ir lielākoties saistīta ar  $\text{Na}^+$  uzņemšanas ierobežošanu un augstu  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  attiecību auga dzinumos. (Blumwald, 2000) Augsne tiek vērtēta kā sāļaina, ja visā ūdenī šķīstošo sāļu koncentrācija (izteikta kā elektrovadītspēja) ir vismaz 40 mM NaCl (mS cm<sup>-1</sup>) (Munns, 2008),

Nedaudz palielinot sāls koncentrāciju halofītiem, to sausā masa ievērojami pieaug. Bet tas nenozīmē, ka tie nevar augt apstākļos, kur sāls koncentrācija ir maza. To relatīvā augšana un sausā masa būs zemāka. Obligātie halofīti uz zemu sāls koncentrāciju reaģē izteikti negatīvi, to relatīvā augšana kontroles vidē ir tikai 10 līdz 20% salīdzinājumā ar augšanu optimālā sāļu koncentrācijā. (Ieviņš, 2016)

Ir vairākas versijas par sāls toksiskumu. Iespējams, ka pārāk augsta NaCl koncentrācija izjauc jonu balansu augsnē un augam izraisa hiperosmotisko stresu, kas noved līdz toksiskam jonu līmenim, membrānas un oksidatīvajiem bojājumiem (Zhu, 2001). Savukārt jaunākie pētījumi rāda, ka Na un Cl nav toksiski, bet izraisa minerālvielu disbalansu šūnās (Assaha, 2017.)

Augi ar augsnes palīdzību uzņem sev nepieciešamos elementus. Sastopamie minerāli iedalāmi aizvietojamos un neaizvietojamos. N, S, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B un Cl ir uzskatāmi par neaizvietojamiem, bet Na, Si, Co, Al, Ni, Li, un Se ir uzskatāmi par aizvietojamiem (Ieviņš, 2016).

Pētījumā par sāls izturīgās sugas *Leptochloa fusca* augu vecuma ietekmi uz jonu koncentrāciju lapās, tika iegūti rezultāti - Na, Mg, Ca koncentrācija augu lapās pieaug, palielinoties lapu vecumam, bet lielākā K koncentrācija atrodama auga jaunākajās lapās (Bhatti, 1992).

## **Halofīti**

Augus, kuri pielāgojuši savas augšanas stratēģijas un spēj ne tikai izdzīvot, bet arī pabeigt savu dzīves ciklu vidē, kurā NaCl koncentrācija pārsniedz 200 mM, sauc par halofītiem (Yuan, 2019). Ir sastopamas halofītu sugas, kuras spēj augt pat 450 mM koncentrācijā (Garthwaite, 2005). Sāļainas vides apstākļos augu fizioloģisko un metabolisko aktivitāti samazina osmotiskais stress, jonu stress, minerālvielu nelīdzsvarotība vai visu šo faktoru kombinācija (Rajendran, 2009).

Halofīti spēj ātrāk osmotiski pielāgoties un uzlabot vai saglabāt savas metaboliskās spējas augstākā iekšējā šķīduma koncentrācijā, kas nepieciešams, lai pielāgotos palielinātajam osmotiskajam spiedienam augšanas vidē. Sāls ietekme uz enzīmu aktivitāti augā var izraisīt noteiktu metabolisma tendenču maiņu (Waisel, 1972).

## **Glikofīti**

Glikofīti ir augi, kuri nav pielāgojušies augšanai sāļā vidē. Liela Na koncentrācija samazina augšanas aktivitāti, un var izraisīt pat auga bojāeju (Maathuis, 1999).

Lielākā daļa augtāko augu un kultūraugu ir glikofīti (Thiyagarajah, 1996) un augsnes sāļums ir nopietna problēma gan saimnieciskajā nozarē, gan no ekoloģijas viedokļa. Konstatēts, ka 200 mM augsnē ir pietiekama koncentrācija ar NaCl, lai traucētu glikofītu augšanu un attīstību (Leclerc, 2003). Liels augsnes sāļums aizkavē ūdens un minerālvielu uzņemšanu. Šobrīd ģenētiski izstrādā daudzus pētījumus kā piešķirt kultūraugiem, kuri ir glikofīti, sāls izturību (Goad, 2021.)

## **Kālija funkcijas augos**

Kālija funkcijas augu šūnās ir nodrošināt osmotisko potenciālu – uzturēt ūdens režīmu, stabilizēt neitrālu pH.

Kālijs ir minerālelements, kurš netiek iesaistīts metabolisma procesos, bet tas regulē osmotisko spiedienu un vairāku enzīmu darbību, piemēram, K ietekmē piruvāta, fosfofruktokināzes un cietes sintēzi. Kopumā ir aptuveni 60 enzīmi, kuru darbībai ir nepieciešams kālijs (Bhandal, 1988). Kālija deficīta gadījumā augos uzkrājas šķīstošie ogļhidrāti un šķīstošie slāpekļa savienojumi, bet cietes saturs samazinās. Optimāla K koncentrācija, lai nodrošinātu enzīmu darbību ir 50 mM, bet koncentrācijai ir jāpārsniedz 100 mM, lai nodrošinātu proteīnu sintēzi (Ieviņš, 2016).

Kālija deficīts kavē auga augšanu, uz lapu galiem un malām plarādās plankumi, pasliktinās mehāniskā izturība, samazinās sala un sausuma izturība, jo tiek traucēta atvārsnīšu darbība (Ieviņš, 2016).

### **Nātrijs funkcijas augos**

Halofītiem Na uztur šķidrums līdzsvaru šūnās, piedalās hlorofila sintēzē un var aizstāt kāliju tā deficīta gadījumā.

Ir veikts pētījums par Na, K un Cl ietekmi uz *Saliornia europaea* augšanu (Sulian, 2012). Tajā pierādījās, ka Na joni bija daudz efektīvāki par K un Cl joniem, stimulē dzinumus un šūnu augšanu lielumā. Augi, kurus apstrādāja ar  $\text{Na}^+$ , uzrādīja labākus augšanas rezultātus, uzlabojās fotosintezēšanās spējas un uzrādīja mazākus šūnu membrānu bojājumus kā tie, kuri netika apstrādāti, vai arī tika apstrādāti tikai ar 200 mM Cl un  $\text{K}^+$ . SEM-X-Ray mikroanalīze atklāja, ka labi attīstītu augu sastāvā bija lielāka Na koncentrācija, bet zemāka K un Cl koncentrācija (Sulian, 2012).

### **Slāpekļa funkcijas augos**

Slāpeklis ir viens no svarīgākajiem organogēnajiem elementiem visu organismu dzīvī. Tas iesaistās aminoskābju un nukleīnskābju sintēzē. Hloroplastu proteīni sastāvā ir gandrīz 75% slāpeklis. Slāpeļa trūkums samazina hlorofila daudzumu un paša auga izmērus (Cetner, 2017). Dabā, it sevišķi atmosfērā, ir daudz slāpekļa, bet tas sastopams dažādos savienojumos ar atšķirīgām fizikālajām, ķīmiskajām un bioloģiskajām īpašībām. Bet augi ir spējīgi izmantot tikai minerālās formas, kuru aramkārtā nav visai daudz.

Augstākie augi uzņem N amonija ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrātu ( $\text{NO}_3^-$ ) un citu ūdenī šķīstošo slāpekļa savienojumu formā (Naku, 2019).

Lai gan amonijs ir viens no slāpekļa ieguves joniem, tā toksiskums ir nopietna globālā problēma. Boreālo mežu augsnes  $\text{NH}_4^+$  koncentrācija svārstās no 0,4 līdz 4 mmol/L, bet lauksaimniecības zemēs no 2 līdz 20 mmol/L. Augi, kuri ir pielāgojušies augstākajām  $\text{NH}_4^+$  koncentrācijām, lielākoties ir kultūraugi. Amonija toksiskums vairāk apdraud savvaļas augus (Britto, 2002).

### **Hlorofila fluorescence**

Par auga fizioloģisko stāvokli un minerālvielu apgādi augā var spriest pēc hlorofila daudzuma zaļajās lapās un pēc fotosintēzes aktivitātes. Augiem nepieciešamo minerālvielu trūkums vai arī to pārbagātība negatīvi ietekmē auga fizioloģiskās funkcijas, tajā skaitā fotosintēzi. Hlorofila *a* fluorescence mērīšana ir plaši izmantota pētījumos. Šī metode tiek izmantota, lai samērā ātri un precīzi noteiktu vides stresoru (Mintāle, 2009).

## MATERIĀLI UN METODEDES

### Pētīto sugu raksturojums

Pētījumā izmantoja četras skābeņu sugas:

1. *Rumex hydrolapathum* Huds.;
2. *Rumex confertus* Willd.;
3. *Rumex maritimus* L.;
4. *Rumex longifolius* DC.

### *Rumex hydrolapathum*

Krastmalas skābene *Rumex hydrolapathum* ir daudzgadīgs, liels (garumā 100 līdz 200 cm) sūreņu dzimtas lakstaugs. Sastopams galvenokārt Eiropā. Tipiska suga ūdenstilpju piekrastē un grāvjos. Izmantotās sēklas ievāktas Mērsraga sāļajā piejūras mitrājā.

### *Rumex confertus*

Blīvā skābene *Rumex confertus* ir daudzgadīgs, liels (garumā 60 līdz 150 cm) sūreņu dzimtas lakstaugs. Sastopams Austrumeiropā. Latvijā adventīva suga. Tipiska suga upju ielejās. Izmantotās sēklas ievāktas Salaspils dīķa tuvumā.

### *Rumex maritimus*

Jūrmalas skābene *Rumex maritimus* ir viengadīgs, neliels (garumā 15 līdz 60cm) sūreņu dzimtas lakstaugs. Plaši sastopams Eirāzijā un Ziemeļamerikā. Tipiska suga jūras piekrastē, ūdenstilpju krastos un nosusinātos dīķos. Izmantotās sēklas ievāktas jūras pludmalē, Sāremā.

### *Rumex longifolius*

Garlapu skābene *Rumex longifolius* ir daudzgadīgs, liels (garumā 60 līdz 120cm) sūreņu dzimtas lakstaugs. Sastopams Eirāzijas ziemeļos. (jūras piekraste Sāremā). Atrodama pļavās, atmatās un ūdenstilpju krastos. Izmantotās sēklas ievāktas oļainā jūras pludmalē, Sāremā.



**1. attēls.** Tipiskie augi 4. XII. No kreisās: *R. hydrolapathum*, *R. longifolius*, *R. confertus*, *R. maritimus*.



**2. attēls.** Tipiskie augi 19. XII. No kreisās: *R. hydrolapathum*, *R. confertus*, *R. maritimus*, *R. longifolius*.



**3. attēls.** Tipiskie augi 2. I. No kreisās: *R. hydrolapathum*, *R. maritimus*, *R. confertus*, *R. longifolius*.

### **Augu audzēšana**

2018. gada novembrī vienlaicīgi uzlika diedzētās visu sugu sēklas (apm. 30 gab. no katras), ar mērķi iegūt 10 vienādus augus no katras sugas.

Izaugušos dīgļstus pārstādīja 0.2 L konteineros dārza melnzemē (ar smilšu piedevu) pa 12 augiem no sugas, vēlāk augus pārstādīja 1 L konteineros (1. un 2. attēls). Uzturēja vienādu, mēreni bagātīgu mitruma režīmu. Pēc noteikta laika divos termiņos (2 – 3 un 4 – 5 nedēļas siltumnīcā atkarībā no stāvokļa) tika fotografēti tipiskie augi (3. attēls). Augus audzēja LU Akadēmiskā centra Dabas mājas automatizētajā siltumnīcā 16/22 °C temperatūrā (nakts/diena), nodrošinot papildapgaismojumu 16 h diennaktī, fotosintētiski aktīvās radiācijas fotonu plūsmas blīvums  $380 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , relatīvais gaisa mitrums 60 – 70%.

2020. gada decembrī uzlika papildus diedzētās *Rumex hydrolapathum* sēklas ar mērķi iegūt 60 vienādus augus. Pēc izdīšanas rīkojās tā pat kā 2018. gadā izdīgušajiem stādiem.

## Augu apstrāde ar slāpekli

No 60 *Rumex hydrolapathum* stādiem 40 tika apstādāti ar papildus slāpekli (20 nitrātu formā, 20 amonija formā), bet atlikušie 20 netika apstrādāti ar papildus sklāpekli (kontrolē) (1.tabula). Stādus ar slāpekli apstrādāja ik pēc divām nedēļām (kopumā četras apstādes reizes).

Lai nodrošinātu nepieciešamās barības vielas augus mēsloja ar Kristalon Blue (KrB) dažādās koncentrācijās (0,5; 1; 2g uz L<sup>-1</sup>) katru otro nedēļu. Trīs eksperimenta variantiem KrB netika pievienots.

**1. tabula.** Eksperimenta varianti pēc apstrādes.

Variants	Kristalons (g/L <sup>-1</sup> )	Kontrolē	N kā Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	N kā (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
A	0	×		
B	0		×	
C	0			×
D	0.5	×		
E	0.5		×	
F	0.5			×
G	1.0	×		
H	1.0		×	
I	1.0			×
J	2.0	×		
K	2.0		×	
L	2.0			×

## Fizioloģisko un morfoloģisko parametru mērījumi

Visu sugu skābenēm tika mērīti lapu fizioloģiskos parametri hlorofila *a* fluorescence. Hlorofila *a* fluorescenci noteica ar fluorescences mērītāju Handy PEA (Hansatech Instruments, Lielbritānija). To mērīja tumsai adaptētās lapās, tāpēc izvēlētās lapas tika aptumšotas vismaz 20 minūtes, tām uzliekot speciālus plastmasas klipšus. Tālāk uz šiem klipšiem novietoja sensoru, pēc tam atvēra klipša slēdzi un tad ar iekārtu veica mērījumu. Pēc tam datus ievietoja datorā, un no iegūtajiem datiem izmantoja Fv/Fo un PI total (Performance Index total) rādītājus.

Tika salīdzināti sugu augšanas rādītāji – noteikta lapu masa ar precizitāti 0,01 g un (garums un platums ar precizitāti 0,1 cm) pa grupām. Krastmalas, blīvās un garlapu skābenes centrālās lapas mērīja un svēra pa vienai, bet mazākās lapas sadalīja divās grupās – vecās un jaunās. Turpretī jūrmalas skābenes lapas sadalīja trīs grupās pēc to vecuma – jaunās, vidējās un vecās. Šīm grupām lapu izmēra parametrus mērīja atsevišķi un aprēķināja vidējo garumu un platumu, bet katras grupas masu noteica kopā. Augu centrālās lapas vizuāli noteica pēc izvietojuma pret centru. Jaunākā centrālā lapa tika atzīmēta kā pirmā. Materiālu žāvēja termostatā 60 °C temperatūrā 72 h un noteica sauso masu. Izzāvēto augu materiālu izmantoja bioķīmiskajām analīzēm.

2020. gadā *Rumex hydolapathum* stādiem reizi nedēļā mērīja augsnes EC, augsnes pH, a fluorescenci garākajā lapā.

### **Jonu satura analīzes**

Izzāvēto lapu paraugus saberza pestiņā kopā ar šķipsniņu kvarca smilšu, iegūstot homogēnu masu. Ar pipeti pievienoja 10 mL dejonizēta ūdens, samaisīja. Pēc 1 minūtes izfiltrēja caur kaprona audumu. Iegūto filtrātu 400 µL ar pipeti iepilināja “LAQUA Twin” mērītājos –EC Meter, Na<sup>+</sup> Meter, K<sup>+</sup> Meter, to precizitāte ir ± 2%. Ar mērītājiem noteica elektrovadītspēja, Na<sup>+</sup> un K<sup>+</sup> joni paraugā. Tika veikti divi analītiskie atkārtojumi.

### **Datu analīze**

Datus apstrādāja programmā Excel. Grafikus sagatavoja programmā KaleidaGraph 4.0.

## **REZULTĀTI UN DISKUSIJA**

## Lapu morfoloģiskie parametri

Salīdzinot augu lapu parametrus var spriest par augšanas statēģiju.

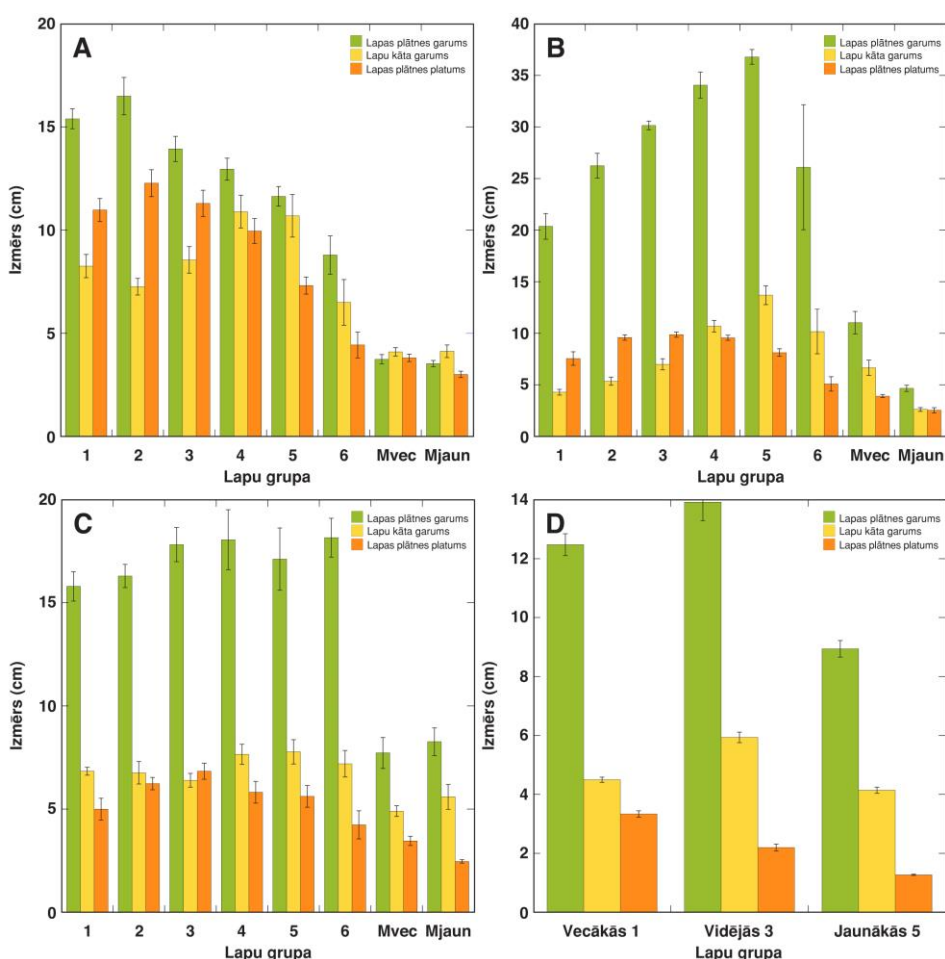
Starp sugām bija ievērojama atšķirība lapu paramertu izmaiņās, salīdzinot dažādu vecumu lapas. Kā redzams 4. attēlā, *R. hydrolapathum* gan lapas garums, gan platums bija lielākais otrai vecākajai centrālajai lapai.

Aplūkojot *R. confertus* lapu izmēru atšķirību starp dažāda vecuma lapām, varēja ievērot, ka lielāko lapas izmēru sasniedza otrā jaunākā centrālā lapa.

*R. longifolius* centrālo lapu izmēri savā starpā atšķirās maz.

*R. maritimus* lielākās lapas bija vidēja vecuma.

Kopumā bija novērojams tas, ka lapas izmērs bija atkarīgs no vecuma. Katrai sugai variēja kāda vecuma lapas bija lielākās. Tika ievērots tas, ka visām sugām vecākā lapa nebija lielākā. Tas izskaidrojams ar to, ka pašas vecākās lapas bija sākušas novecot, zaudējot formu un izmēru.



4. attēls. Dažāda vecuma lapu izmēri *R. hydrolapathum* (A), *R. confertus* (B), *R. longifolius* (C) un *R. maritimus* (D) augiem.

## Pielietojot papildus minerālvielas

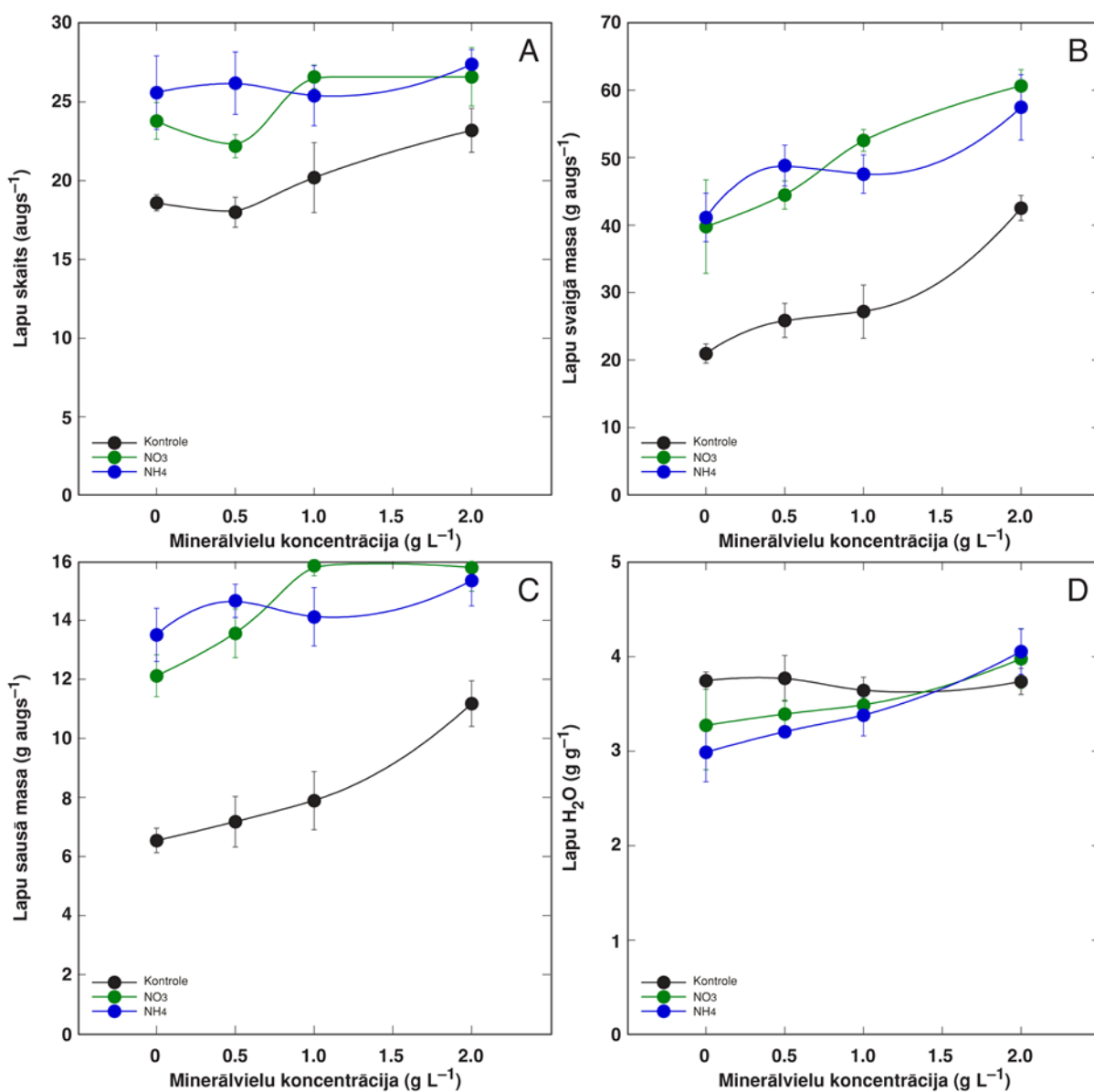
Minerālvielu piegādes līmenis un papildus slāpekļa mēslojums atstāja iespaidu uz *Rumex hydrolapathum* lapu skaitu.

Minerālvielu koncentrācijas palielināšana veicināja lapu skaitu pieaugumu (5. attēls).

Varēja novērot, ka minerālvielu koncentrācija būtiski ietekmēja augus, kurus apstrādāja ar  $\text{NO}_3^-$ . Minerālvielu koncentrācijai pieaugot, lapu daudzums palielinājās.

Augiem, kuri tika apstrādāti ar  $\text{NH}_4^+$ , tika novērots neliels lapu skaita pieaugums palielinot minerālvielu koncentrāciju.

Augiem, kurus apstrādāja ar mazāku minerālvielu koncentrāciju, bija novērojamas vairāk lapas, ja papildus slāpekklis bija  $\text{NH}_4$  formā. Savukārt augiem, kurus apstrādāja ar lielāku minerālvielu koncentrāciju, bija novērojams lielāks lapu skaits, ja papildus slāpekklis bija  $\text{NO}_3^-$  formā.



**5. attēls.** Dažādi augu parametru izmaiņas atkarībā no papildus minerālvielu koncentrācijas un slāpekļa barošanas formas. Lapu skaits (A), lapu svaigā masa (B), lapu sausā masa (C), ūdens saturs lapās (D).

### Svaigā masa

Svaigās masas rādītāji ļāva salīdzināt skābeņu sugu biomasu.

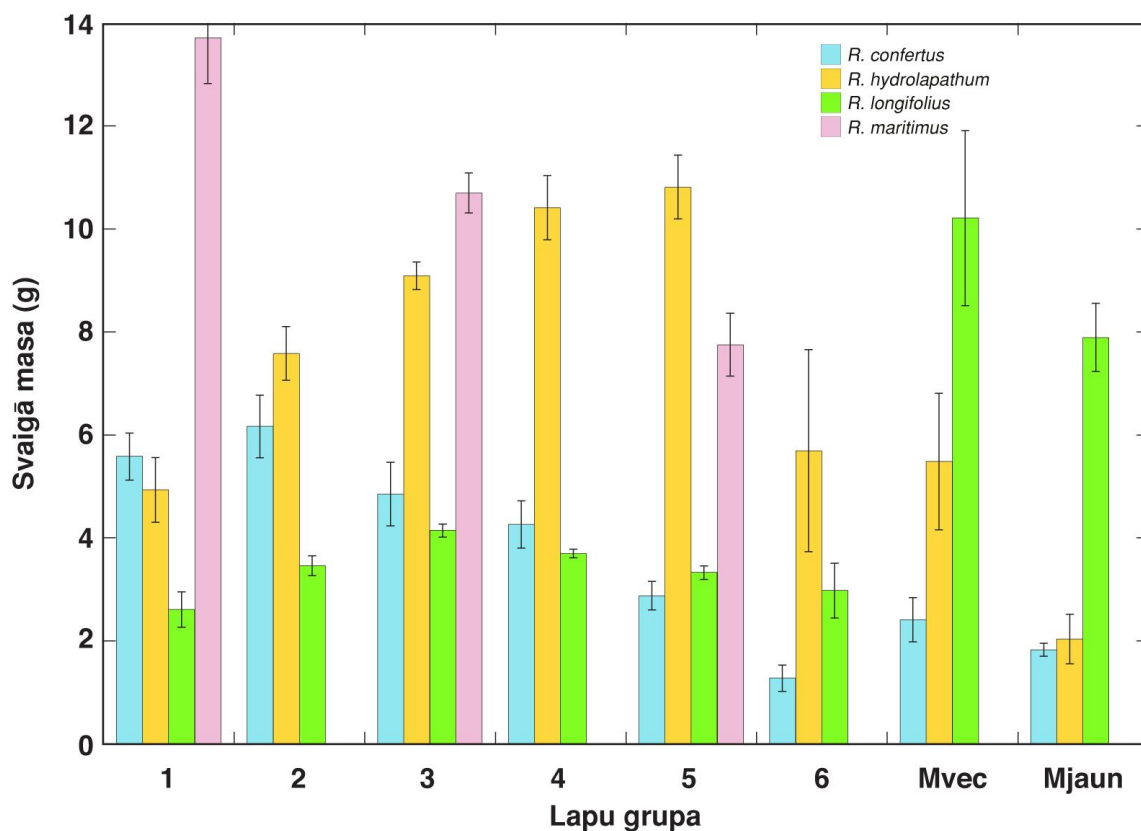
Svaigās masas salīdzinājums starp sugām stipri variēja (6. attēls).

Apskatot sugas *R. confertus* rezultātus, ievērojams tas, ka otro vecākās centrālo lapu svaigā masa bija lielākā, lai gan tās pēc izmēriem nebija vienas no lielākajām.

Analizējot *R. hydrolapathum* lapu svaigo masu, lielākā masa tika novērota ceturtajām, piektajām centrālajām lapām. Tas skaidrojams ar to, ka šīm lapām bija novērojami visgarākie lapu kāti (4.attēls, A), kas ir blīvāki, smagāki par pašu lapu.

*R. longifolius* lielākā lapu masa bija novērota mazajām vecajām lapām, tas skaidrojams ar to, ka to skaits bija liels, kas radīja lielu kopējo svaigo masu.

*R. maritimus* vecākās centrālās lapas bija ar lielāko svaigo masu, lai gan to izmērs nebija lielākais. To var skaidrot ar lielāko ūdens saturu šajās lapās (8. attēls), kā arī lielāko sauso masu šajām lapām (7. attēls).



**6. attēls.** Dažāda vecuma lapu svaigā masa *R. confertus*, *R. hydrolapathum*, *R. longifolius* un *R. maritimus* augiem.

Pakāpeniski palielinot minerālvielu koncentrāciju, notika straujš lapu svaigās masas pieaugums (5. attēls, B). Salīdzinot  $\text{NO}_3^-$  un  $\text{NH}_4^+$  līknes, var novērot, ka labākus rezultātus, izmantojot nelielas minerālvielu koncentrācijas, sasniedz  $\text{NH}_4^+$ , bet koncentrāciju palielinot,  $\text{NO}_3^-$  palielina auga svaigo masu efektīvāk.

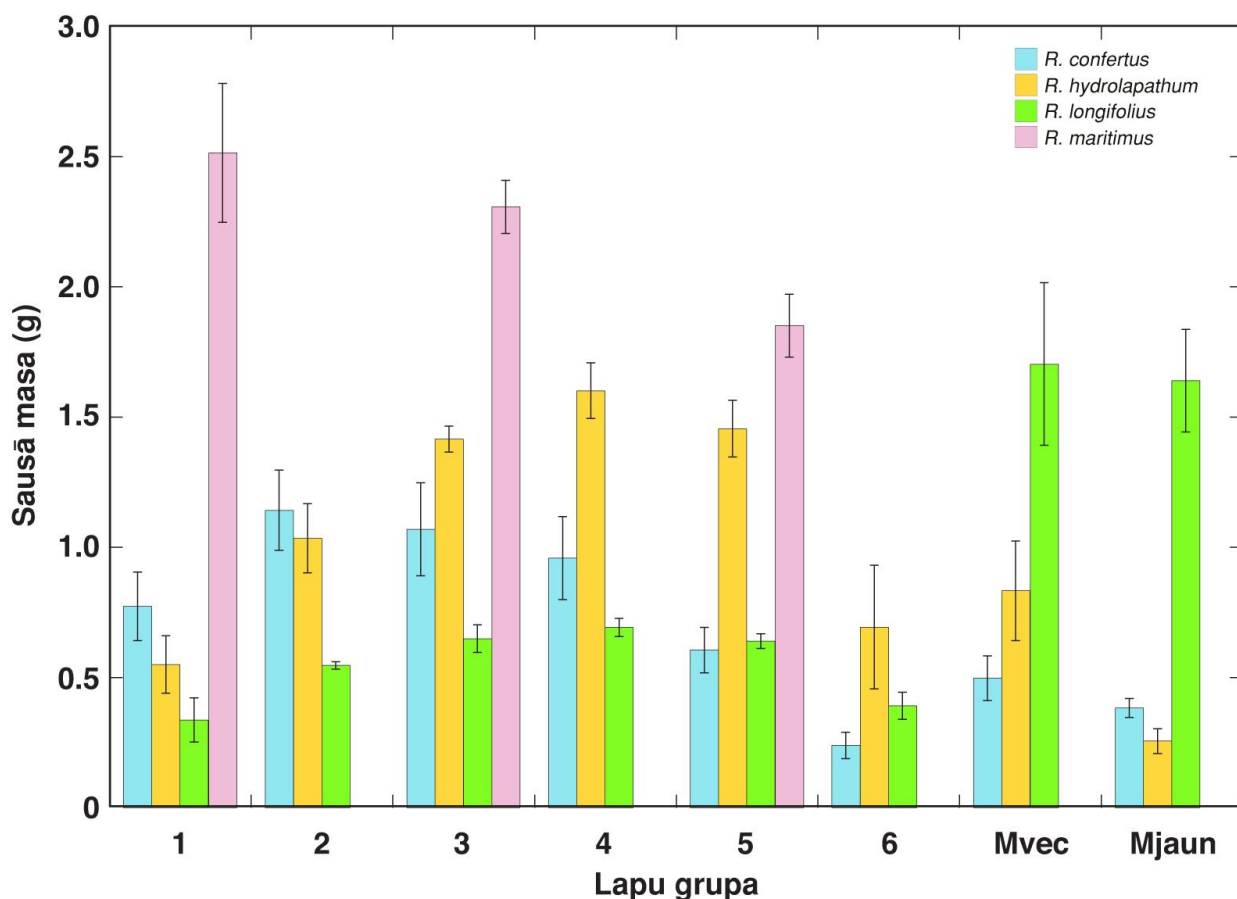
### **Sausā masa**

Sausās masas rādītāji nepieciešami, lai varētu novērtēt organisko vielu daudzumu auga lapās.

Rezultātos bija redzams, ka *R. confertus* sugai lielākā sausā masa bija novērota otrajām vecākajām centrālajām lapām, tā pat kā svaigā masa. Zemākā sausā masa bija novērota jaunākajām centrālajām lapām, tā pat kā svaigā masa (7. attēls).

Skābeņu sugai *R. hydrolapathum* lielākā sausā masa tika novērota ceturtajām centrālajām lapām, kurām bija arī garākais kāts, kas deva lielāku masu (skat. 4. attēlu, A).

*R. longifolius* mazākās vecās lapas bija ar vislielāko sauso masu, tāpat arī ar svaigo masu. To izskaidro tas, ka to skaits bija liels, līdz ar to arī kopējā masa. Lielākā sausā masa *R. maritimus* lapām bija novērota vecākajām centrālajām lapām, tā pat kā svaigā masa.



7. attēls. Dažāda vecuma lapu sausā masa *R. confertus*, *R. hydrolapathum*, *R. longifolius* un *R. maritimus* augiem.

Papildus slāpeklis būtiski palielināja lapu sauso masu (5. attēls, C).

Arī minerālvielu koncentrācijas palielināšanās ir palielinājusi lapu sauso masu.

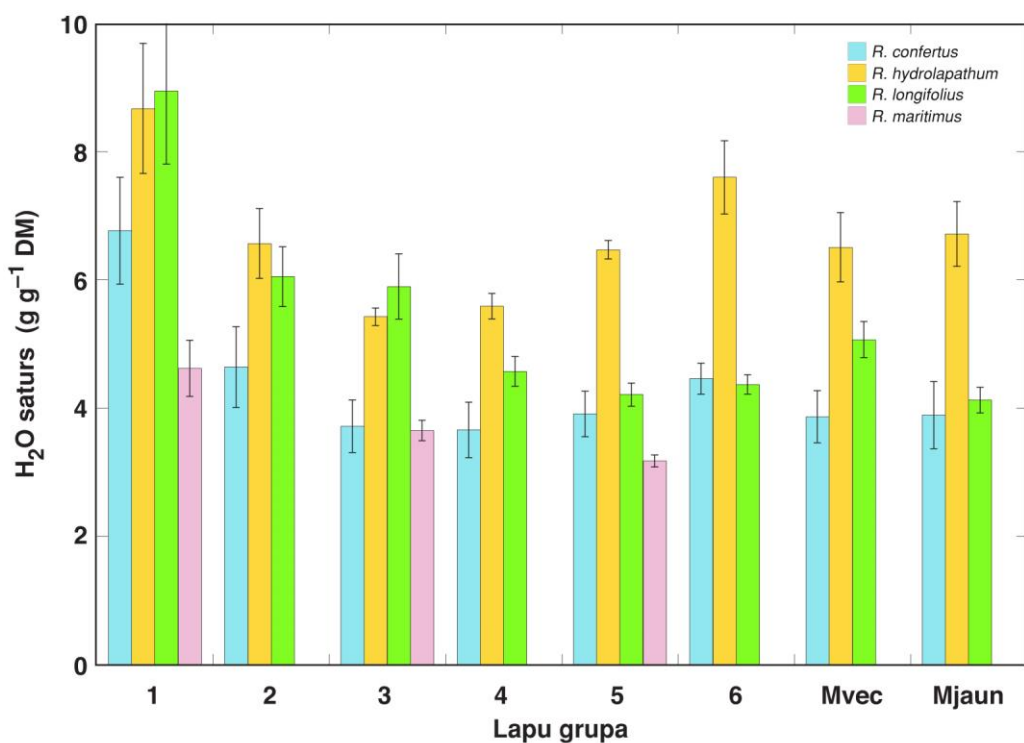
Augi, kuriem tika pievienots slāpeklis  $\text{NH}_4^+$  formā uzrādīja lielāku lapu sauso masu pie nelielas minerālvielu koncentrācijas un augi, kurus apstrādāja ar slāpekli  $\text{NO}_3^-$  formā, labākus rezultātus uzrādīja, ja minerālvielu koncentrācija bija augstāka.

Analizējot 5. attēlu, C, var secināt, ka, palielinot KrB koncentrāciju vairāk kā  $2\text{g uz L}^{-1}$ , būtiski nepalielinātos sausā masa ar slāpekli apstrādātajiem augiem. Iespējams kontroles variants uzrādītu pozitīvu ietekmi uz palielinātu minerālvielu koncentrāciju, bet tikai līdz noteiktam daudzumam, tālāk vērtības kristos, jo augs tiktu pārsātināts ar minerālvielām.

### Ūdens saturs

Iegūstot starpību starp svaigo un sauso masu, varēja izdarīt secinājumus par ūdens saturu lapās.

Kā redzams 8. attēlā, varēja ievērot to, ka visām sugām vecākās centrālās lapas bija ar vislielāko ūdens saturu, bet vismazākais ūdens saturs piemita trešajām, ceturtajām, piektajām centrālajām lapām. Novērot varēja arī to, ka jūrmalas skābene bija ar vismazāko ūdens saturu lapās.



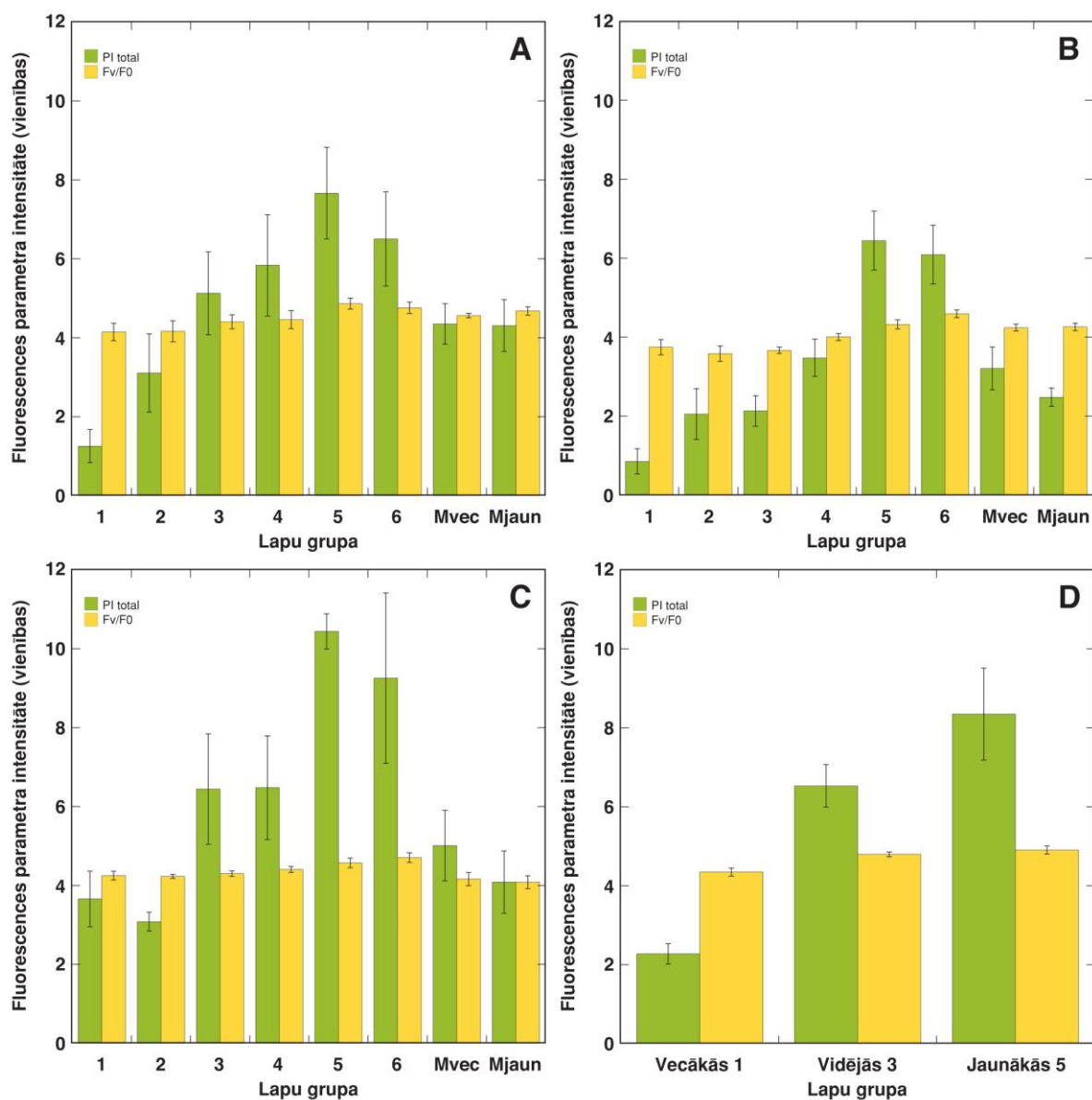
**8. attēls.** Ūdens saturs dažāda vecuma lapās *R. confertus*, *R. hydrolapathum*, *R. longifolius* un *R. maritimus* augiem.

Palielinot minerālvielu koncentrāciju, pieauga ūdens saturs lapās augiem, kuriem tika papildus tika pievienots slāpeklis. Apskatot kontroles līkni, varēja novērot augstāku ūdens saturu nepalielinot minerālvielu koncentrāciju (5. attēls, D).

### Fluorescences parametru izmaiņas

Fotosintēzes aktivitāte ļauj spriest par auga fizioloģisko stāvokli un minerālvielu apgādi augā.

Apskatot 9. attēlu, kurā attēlots fluorescences parametru intensitāte dažādu grupu lapām, varēja ievērot, ka sugām *R. hydrolapathum*, *R. confertus* un *R. longifolius* vislielākie fluorescences rādītāji bija otrajām jaunākajām centrālajām lapām. Sugai *R. maritimus* lapas, kurām bija vislielākie fluorescences rādītāji, bija visjaunākās.

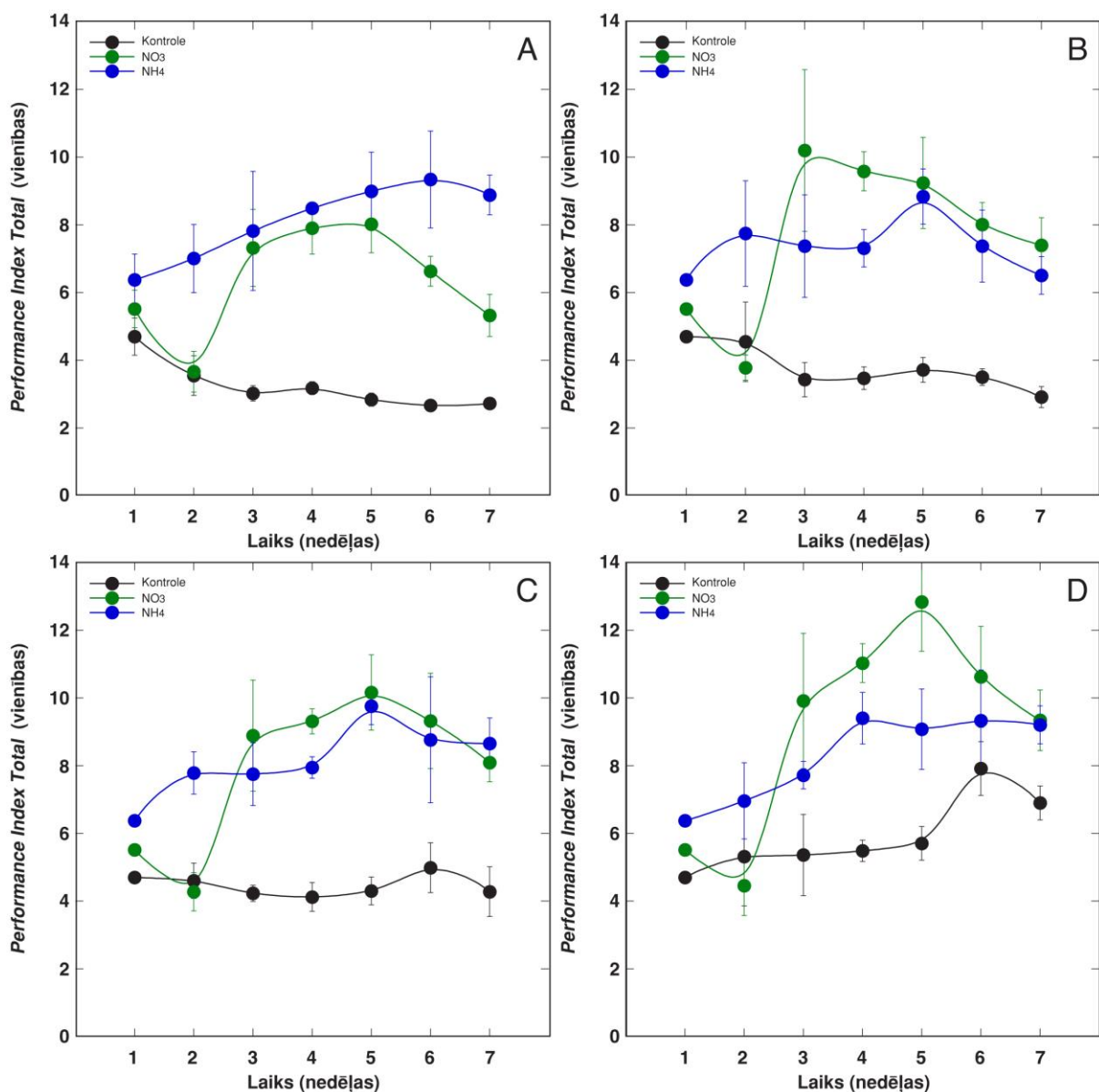


**9. attēls.** Fluorescences parametru gradients *R. hydrolapathum* (A), *R. confertus* (B), *R. longifolius* (C) un *R. maritimus* (D) dažāda vecuma lapās

Tā kā 2018. gadā izdiedzētās sugas *R. hydrolapathum*, *R. confertus* un *R. longifolius* uzrādīja aktīvākos fluorescences rādītājus, 2019. gadā tālākiem pētījumiem izvēlējās *R. hydrolapathum*. Izpēti atvieglāja arī tas, ka centrālās lapas bija viegli atšķirt un lapu skaits sugai bija salīdzinoši mazāks nekā pārējām.

Varēja ievērot, ka augšanas laikam pieaugot, arī fotosintēzes intensitāte auga garākajā lapā (otrajā vecākajā) pieauga (10. attēls).

$\text{NH}_4^+$  uzrādīja labākus rezultātus kā citi eksperimenta rezultāti augšanas pirmajās nedēļās, īpaši, kad minerālvielu koncentrācija nepārsniedz  $1\text{ g uz L}^{-1}$  (skat. 10. attēlu B, C). Vislielākā fotosintēzes intensitāte bija novērojama augšanas 5. nedēļā, to augu lapās, kuri bija apstrādāti ar  $\text{NO}_3^-$  un  $\text{K}^+$  koncentrācijā  $2\text{ g uz L}^{-1}$ . Šiem augiem 6. un 7. augšanas nedēļā fotosintēzes intensitāte strauji krita. Iespējams lielais pievienotais minerālvielu daudzums veicināja ātrāku auga novecošanu.



**10. attēls.** Fluorescences parametru gradients bez papildus minerālvielām (A), ar minerālvielu konc. 0,5 (B), ar minerālvielu konc. 1(C) un ar minerālvielu konc. 2 (D).

### Na<sup>+</sup> un K<sup>+</sup> koncentrācija gradients

Skatot 11., 13. un 14. attēlu, varēja ievērot, ka Na<sup>+</sup> joni sugu *R. confertus*, *R. longifolius*, *R. maritimus* lapās uzkrājās būtiski mazāk nekā K. Tas skaidrojams ar to, ka eksperimenta laikā nepievienoja papildus Na<sup>+</sup> jonus, bet augsne, kurā audzēt stādi, bija auglīga un tās sastāvā bija pietiekami daudz K. Jāņem vērā arī to, ka uz vienu augu jaunās lapas bija lielākā skaitā kā vecākās un K lielākā koncentrācijā ir atrodams jaunākajās lapās, bet Na koncentrācija ir lielāka vecākajās lapās (Bhatti, 1992).

Augstākā kopējā Na<sup>+</sup> un K<sup>+</sup> koncentrācija sugai *R. confertus* bija novērota vecākajās centrālajās lapās (15. attēls), kuru ietekmēja lielā K<sup>+</sup> koncentrācija. To arī apstiprināja 16. attēlā

redzamā  $K^+/Na^+$  molārā koncentrāciju attiecība. Vislielākā attiecība bija vecākajām centrālajām lapām. Tas nozīmē, ka  $K^+$  pārsvars pār  $Na^+$  bija ievērojams.

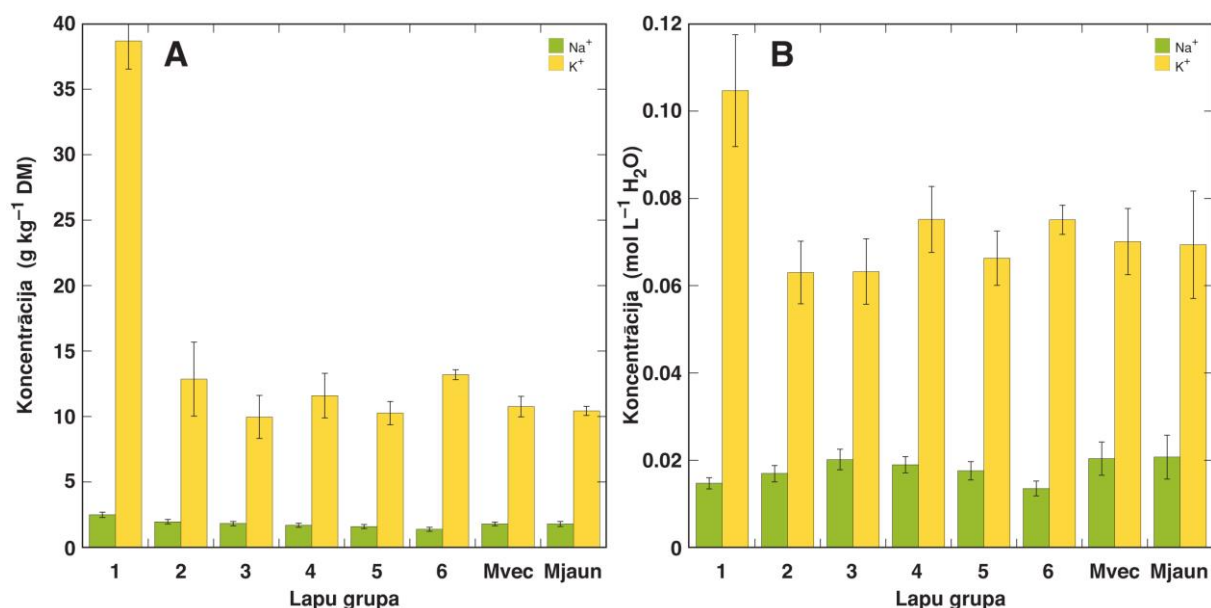
*R. longifolius* kopējā jonu koncentrācija bija visaugstākā otrajām vecākajām centrālajām lapām (15. attēls), kuru sastāvā bija liela abu jonu koncentrācija. Lielākā jonu attiecība bija novērota jaunākajām centrālajām lapām (16. attēls). Tas skaidrojams ar to, ka šajās lapās bija zemākā  $Na^+$  koncentrācija. Mazākā jonu attiecība bija novērota trešajām centrālajām lapām, ko varēja izskaidrot ar augstu  $Na^+$  koncentrāciju, kura bija lielāka par  $K^+$  koncentrāciju.

*R. maritimus* lapu lielākā kopējā jonu koncentrācija bija novērota jaunākajām lapām (15. attēls). Vislielākā jonu attiecība sugai bija novērota vecākajām lapām, bet viszemākā – vidējajām (16. attēls).

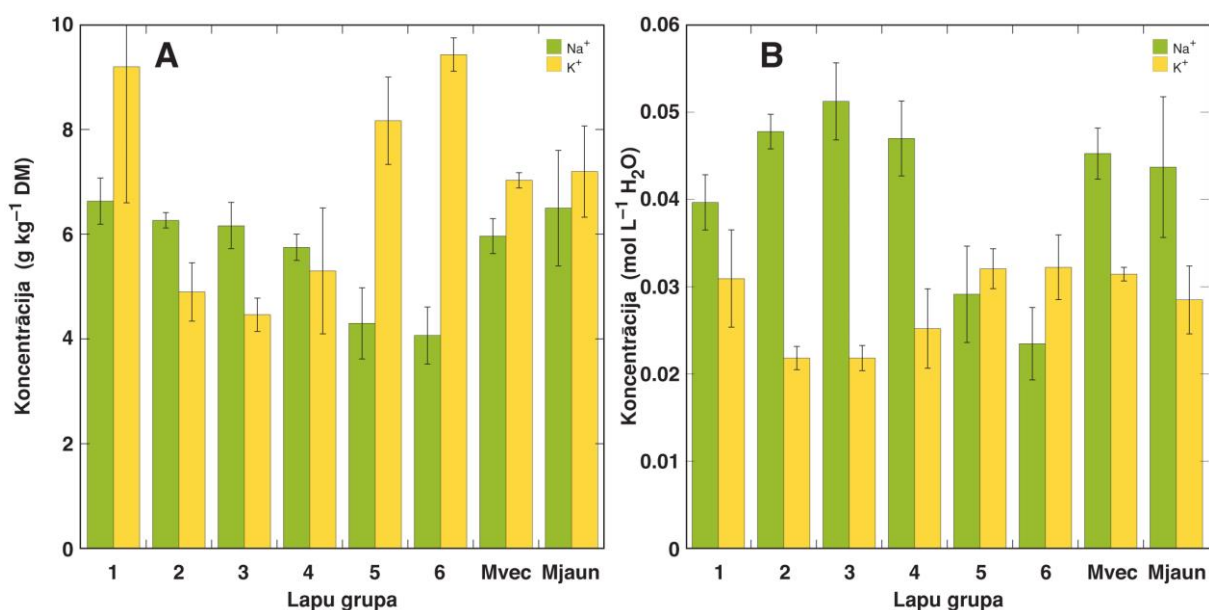
Sugai *R. hydrolapathum* lielākā kopējā  $Na^+$  un  $K^+$  koncentrācija bija mazākajām vecajām lapām (15. attēls), ko varēja skaidrot ar pietiekami lielu gan  $K$ , gan  $Na$  koncentrāciju šajās lapās.

Turpretī neskatoties uz vienādajiem apstākļiem suga *R. hydrolapathum* uzrādīja lielāku  $Na^+$  koncentrācijas gradientu, nekā  $K^+$  (12. attēls). Tas bija izteikti redzams, ja koncentrācija tiek izteikta molos uz ūdens daudzumu. To arī parādīja  $K^+/Na^+$  molārā koncentrāciju attiecība (16. attēls). To var arī skaidrot ar sugas jauno lapu nelielo skaitu. Na uzkrājas labāk auga vecākajās lapās, bet  $K$  jaunajās (Bhatti, 1992).

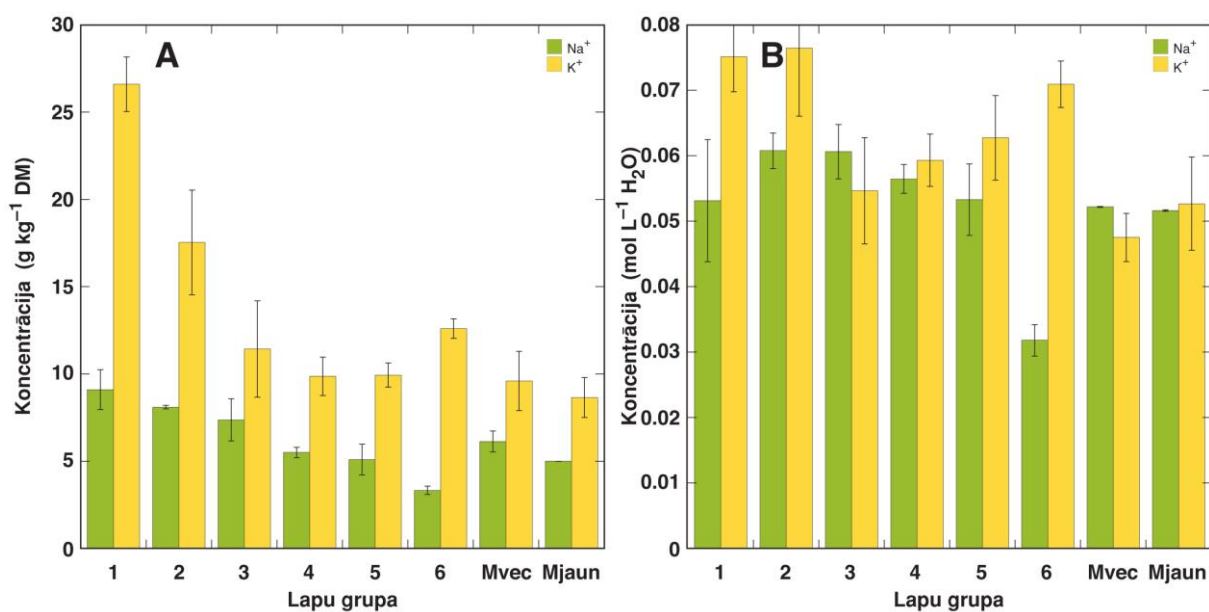
Salīdzinot sugas zemākā  $K^+/Na^+$  attiecība bija *R. hydrolapathum* sugai. To varētu skaidrot ar sēklu ievākšanas vietu – Mērsraga sāļais mitrājs. Šajā vietā ieplūst sāļais jūras ūdens. Kā arī sugai raksturīga augšana jūru piekrastēs. Vislielākais  $Na^+$  daudzums bija novērots vecākajās centrālajās lapās. Apskatot 15. attēlu, varēja redzēt, ka sugai *R. hydrolapathum* kopējā jonu koncentrācija bija viszemākā starp sugām. Tas nozīmē, ka neliels  $Na^+$  pārsvars pār  $K^+$  rezultātos radīja iespaidu par lielu jonu koncentrācijas starpību.



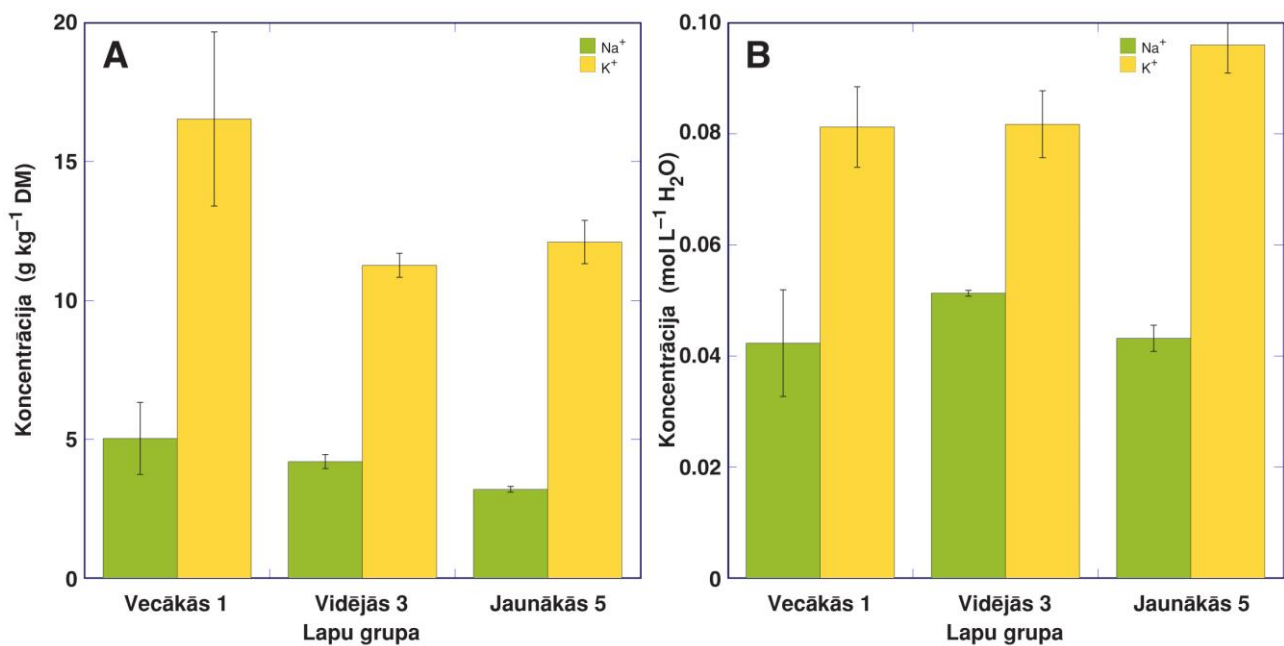
**11. attēls.** Na<sup>+</sup> un K<sup>+</sup> koncentrācijas gradients *R. confertus* augu dažāda vecuma lapās, izteikts gramos uz sauso masu (A) vai molos uz ūdens daudzumu (B).



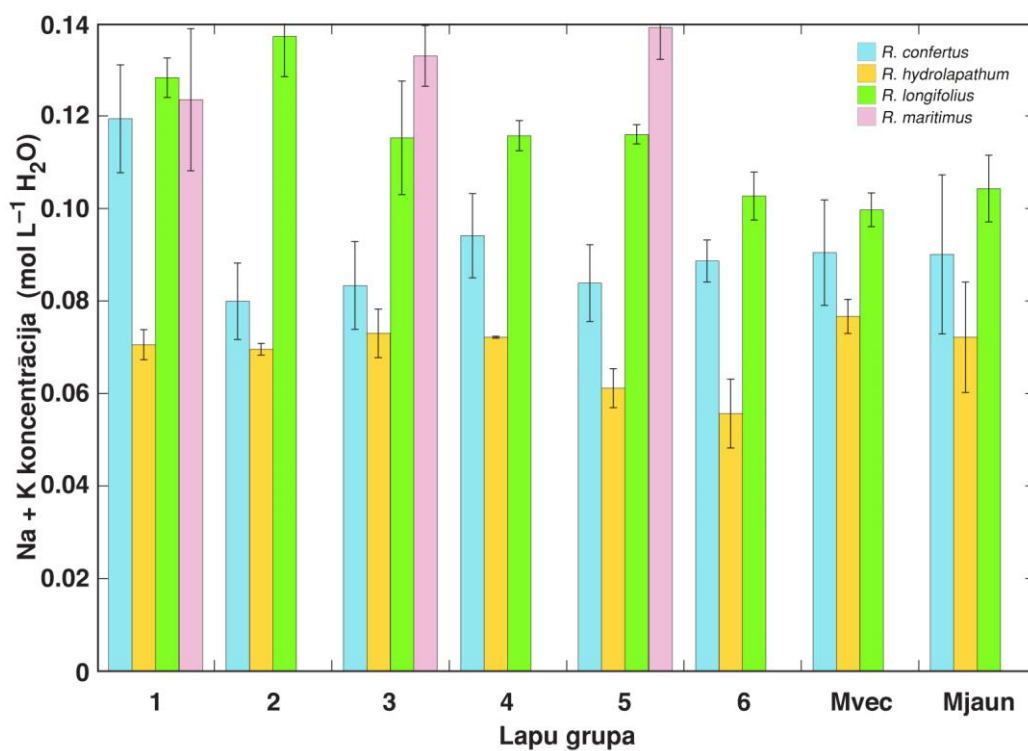
**12. attēls.** Na<sup>+</sup> un K<sup>+</sup> koncentrācijas gradients *R. hydrolapathum* augu dažāda vecuma lapās, izteikts gramos uz sauso masu (A) vai molos uz ūdens daudzumu (B).



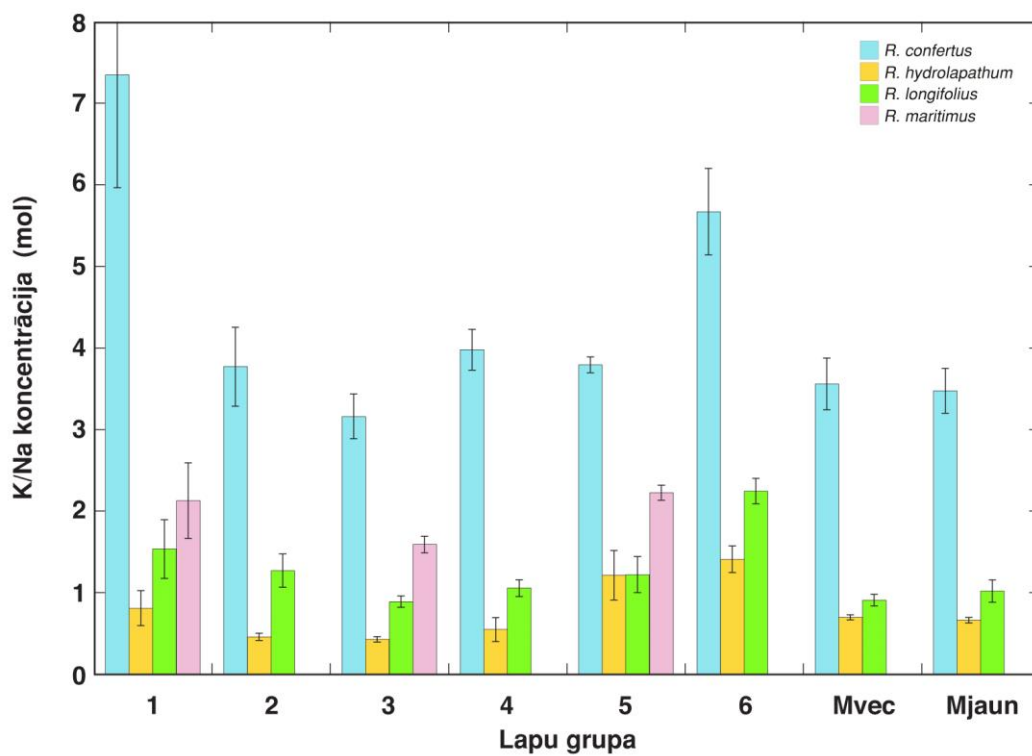
**13. attēls.** Na<sup>+</sup> un K<sup>+</sup> koncentrācijas gradients *R. longifolius* augu dažāda vecuma lapās, izteikts gramos uz sauso masu (A) vai molos uz ūdens daudzumu (B).



14. attēls. Na<sup>+</sup> un K<sup>+</sup> koncentrācijas gradients *R. maritimus* augu dažāda vecuma lapās, izteikts gramos uz sauso masu (A) vai molos uz ūdens daudzumu (B).

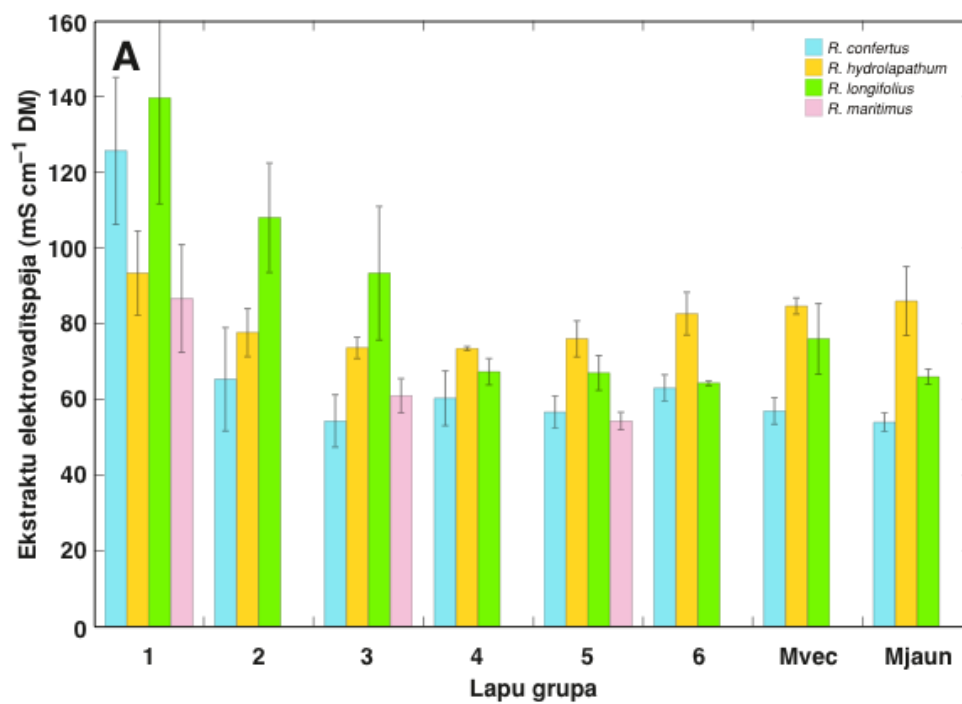


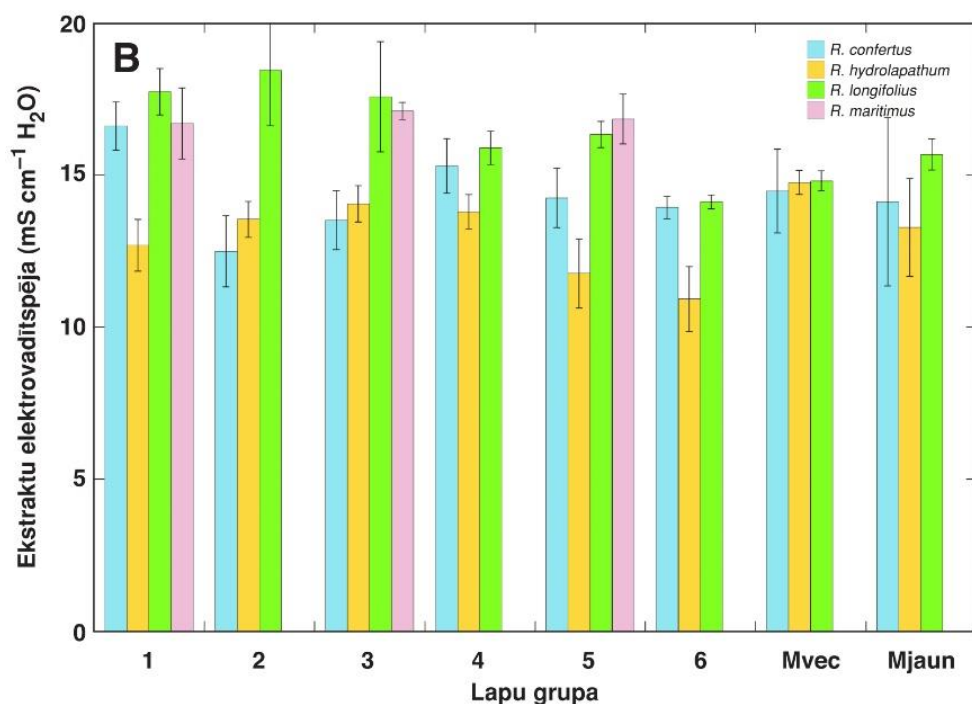
15. attēls. Na<sup>+</sup> un K<sup>+</sup> summārā koncentrācija dažāda vecuma lapās *R. hydrolapathum*, *R. confertus*, *R. longifolius* un *R. maritimus* augiem.



16. attēls.  $K^+/Na^+$  molārā koncentrāciju attiecība dažāda vecuma lapās *R. hydrolapathum*, *R. confertus*, *R. longifolius* un *R. maritimus* augiem.

### Elektrovadītspēja





**17. attēls.** Ekstraktu elektrovadītspēja dažāda vecuma lapās *R. hydrolapathum*, *R. confertus*, *R. longifolius* un *R. maritimus* augiem, izteikta uz sauso masu (A) vai uz ūdens daudzumu (B).

Salīdzinot ekstraktu elektrovadītspēju, tika novērota vislabākā elektrovadītspēja vecākajai centrālajai lapai. To skaidro ar mazo ūdens sturu lapā. Apskatot 17. attēlu B, kur redzama elektrovadītspēju, kura izteikta uz ūdens daudzumu, var ievērot ka rādītāji mazliet izlīdzinās. Sugai *R. confertus* lielākā elektrovadītspēja saglabājās vecākās centrālās lapas ekstraktam. Turpretim, *R. hydrolapathum* augstāko elektrovadītspēju, kas izteikta uz ūdens daudzumu, sasniedza mazākās vecās lapas. Sugai *R. longifolius* augstākā elektrovadītspēja piemita otrajai vecākajai centrālajai lapai. *R. maritimus* lapu ekstraktu elektrovadītspēja bija vislielākā vidēji vecām lapām.

## SECINĀJUMI

1. Dažādām skābeņu ģints sugām ir atšķirīga attīstības stratēģija. Katrai sugai būtiski atšķirās lielākās lapas vecums.
2. Bija ievērojama saistība starp lapu vecumu un sauso masu. Lapām, kuras bija vecākas, novēroja lielāku sauso masu un zemāko ūdens saturu.
3. Vismazākais ūdens saturs bija jūrmalas skābenei.
4. Lielākā fluorescences parametru intensitāte bija jaunākajām lapām.
5. Krastmalas skābene uzrādīja lielāko Na koncentrāciju.
6. Labākā elektrovadītspēja bija ekstraktiem, kuru sastāvā bija augu vecākās lapas.
7. Sugas *R. confertus* un *R. longifolius* uzrādīja lielāko kopējo jonu koncentrāciju vecākajās lapās, bet sugas *R. hydrolapathum* un *R. maritimus* jaunākajās.
8. Izmantojot koncentrāciju  $0,5 \text{ g uz L}^{-1} \text{ NH}_4^+$  uzrādīja labāku ietekmi uz auga metabolismu un biomasu nekā  $\text{NO}_3^-$ , bet koncentrāciju palielinot  $\text{NO}_3^-$  uzrādīja labākus rezultātus kā  $\text{NH}_4^+$ .
9. *R. hydrolapathum* apstrādāšana ar KrB konc.  $2 \text{ g un L}^{-1}$  un papildus N pievienošana ir mazāk efektīva un ilgstoši turpinot pārsātināt augu, tas uzrādītu zemāku metabolisma aktivitāti, līdz augs ietu bojā.
10. *R. hydrolapathum* ir veiksmīgs halofītu modeļobjekts minerālvielu uzkrāšanu un to ietekmi uz biomasu pētīšanā.

## **PATEICĪBAS**

Liels paldies kursa darba vadītājam Dr. Hab. biol., prof. Ģedertam Ieviņam par palīdzību darba izstrādē un rakstīšanā.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

- Assaha D. V. M., Ueda A., Saneoka H. (2017). The Role of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> Transporters in Salt Stress Adaptation in Glycophytes. *Frontiers in Physiology*.
- Bhandal T. J., Malik C., P. (1988). Potassium estimation, uptake and its role in the physiology and mechanism of flowering plants. *International Review of Cytology*, 110: 205-254.
- Bhatti A. S., Steinert S., Sarwar G., Hilpert A., Jeschke W. D. (1992). Ion distribution in relation to leaf age in *Leptochloa fusca* Kunth (Kallar grass). *New Phytol*, 123: 539-545
- Blumwald. (2000). Sodium transport and salt tolerance in plants. *Curr Opin Cell Biol*, 431-434.
- Britto D. T., Kronzucker H. J. (2002). NH<sub>4</sub><sup>+</sup> toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*, 159: 567-584.
- Cetner M. D. (2017). Effects of Nitrogen Deficiency on Efficiency of Light-Harvesting Apparatus in Radish. *Plant Physiology and Biochemistry*, 119: 81-92.
- Frans J. M. Maathuis, A. A. (1999). K<sup>+</sup> Nutrition and Na<sup>+</sup> Toxicity: The Basis of Cellular K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> Ratios. *Annals of Botany*, 84: 123-133.
- Garthwaite A. J., R. V. (2005). Salt tolerance in wild *Hordeum* species is associated with restricted entry of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> into the shoots. *Journal of Experimental Botany*, 56: 65-78.
- Goad D. M., Kellogg E. A., Baxter I., Olsen K. M. (2021). Intraspecific variation in elemental accumulation and its association with salt tolerance in *Paspalum vaginatum*. *Journal of Plant Physiology* 260: 234-252.
- Ieviņš, Ģ. (2016). *Augu fizioloģija. Funkcijas un mijiedarbība ar vidi*. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds.
- Leclerc, J. C. (2003). Plant ecophysiology. *Plymouth: Science Publishers*, 314.
- Mintāle Z., Vikmane M. (2009). Fotosintēzi raksturojošu rādītāju izmaiņas vasaras rapša lapās un sēklu raža sistībā ar slāpekļa un sēra mēslojumu., 7. Rīga.
- Munns R. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review in Plant Biology*, 59: 651-681.
- Naku M., Kambizi L., Matimati I. (2019). Functional roles on ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) and nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) in regulation of day and night time transpiration in *Phaseolus vulgaris*. *Functional plant biology* 46(9): 806-815.

- Rajendran K., M. T. (2009). Quantifying the three main components of salinity tolerance in cereals. *Plant Cell & Environment*, 32: 237-349.
- Sulian, L. (2012). Sodium plays a more important role than potassium and chloride in growth of *Salicornia europaea*. *Acta Physiol Plant*, 34: 503-513.
- Thiyagarajah M., Fry S. C., Yeo A. R. Invitro salt tolerance of cell wall enzymes from halophytes and glycophytes. *Journal of Experimental Botany*, 47: 1717-1724.
- Waisel Y. (1972). Biology of Halophytes. *Journal of Ecology*, 83: 1031-1037.
- Yuan F., Xu Yanyu. (2019). Beneficial Effects of Salt on Halophyte Growth: Morphology, Cells and Genes. *Open Life Sciences*, 14: 191-200.
- Zhu J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci*, 66-71.

Bakalaura darbs „Savvaļas skābeņu sugas kā modeļi ekofizioloģiskajos pētījumos veģetācijas eksperimenta apstākļos: fizioloģisko gradientu un minerālvielu nodrošinājuma ietekme” 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: Annija Bule 28.05.2021.

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: Ģederts Ieviņš 28.05.2021.

Recenzents: asoc. prof., Dr.biol. Ineta Samsone

Darbs iesniegts LU Bioloģijas fakultātē 28.05.2021.

Lietvede: .....

Darbs aizstāvēts Bioloģijas bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

prot. Nr. , vērtējums

Komisijas sekretārs/e: