

UNIVERSITATEA „BABEȘ-BOLYAI”
FACULTATEA DE BIOLOGIE ȘI GEOLOGIE
CATEDRA DE BIOLOGIE EXPERIMENTALĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

**Studiu comparativ al manifestărilor fiziologice și
moleculare ale halotoleranței la diferite varietăți
intraspecifice de *Lactuca sativa* L.**

- Rezumat -

Doctorand:
BARTHA Csaba

Coordonator Științific:
Prof. dr. Octavian POPESCU

Cluj-Napoca
2012

CUPRINS

1. INTRODUCERE	3
2. OBIECTIVELE LUCRĂRII	5
3. BAZE TEORETICE.....	7
3.1. Stresul de salinitate în mediul plantelor	7
3.2. Diferențe interspecifice privind toleranța față de stresul salin	11
3.2.1. <i>Halofite și glicofite.....</i>	<i>11</i>
3.2.2. <i>Lactuca sativa L. (Salata verde).....</i>	<i>15</i>
3.3. Efectele stresului de salinitate la plante	16
3.3.1. <i>Toleranța față de stresul osmotic.....</i>	<i>18</i>
3.3.2. <i>Sechestrarea Na⁺ în corm.....</i>	<i>22</i>
3.3.3. <i>Toleranța față de stresul ionic</i>	<i>24</i>
3.3.4. <i>Efectele stresul salin în expresia proteinelor și genelor.....</i>	<i>29</i>
4. MATERIAL ȘI METODE.....	32
4.1. Materialul vegetal și condițiile de creștere	32
4.1.1. <i>Cultivarele de salată utilizate în experimente</i>	<i>32</i>
4.1.2. <i>Condițiile de germinare a semințelor</i>	<i>34</i>
4.1.3. <i>Condițiile de creștere în culturi hidroponice.....</i>	<i>35</i>
4.2. Tehnici biochimice	36
4.2.1. <i>Determinarea nivelului de peroxidare a lipidelor membranare.....</i>	<i>36</i>
4.2.2. <i>Determinarea cantitativă a pigmentilor fotosintetici</i>	<i>36</i>
4.2.3. <i>Determinarea cantitativă a prolinei libere</i>	<i>37</i>
4.2.4. <i>Determinarea cantitativă a glucidelor hidrosolubile simple.....</i>	<i>38</i>
4.3. Investigații analitice	38
4.3.1. <i>Analiză de elemente minerale în rădăcină și corm.....</i>	<i>38</i>
4.3.2. <i>Analiză de elemente minerale în seva brută xilemică.....</i>	<i>39</i>
4.4. Determinări fiziologice	39
4.4.1. <i>Determinarea energiei și procentajul de germinație.....</i>	<i>39</i>
4.4.2. <i>Determinarea producției de biomasă și a conținutului hidric actual și relativ</i>	<i>40</i>
4.4.3. <i>Determinarea parametrilor schimbului de gaze foliar</i>	<i>41</i>
4.4.4. <i>Determinarea conductanței hidrice a rădăcinii</i>	<i>42</i>
4.4.5. <i>Parametrii fluorescenței clorofiliene induse</i>	<i>43</i>
4.4.6. <i>Determinarea potențialului osmotic tisular și xilemic.....</i>	<i>46</i>
4.5. Analiza statistică	47
5. REZULTATE.....	48
5.1. Germinația semințelor de salată în condiții de salinitate crescută.....	48
5.2. Impactul stresului de salinitate asupra producției de biomasă	52
5.3. Conductanța radiculară sub influența stresului de salinitate.....	55
5.4. Influența stresului de salinitate asupra schimbului foliar de gaze	56
5.5. Influența salinității crescute asupra conținutului de cationi anorganici în rădăcini, în frunze și în seva brută xilemică	58
5.6. Prolina liberă foliară ca marker biochimic al tolereanței cultivarelor de salată față de stresul de salinitate	63
5.7. Influența stresului salin asupra concentrației foliare a glucidelor solubile	64
5.8. Potențialul osmotic foliar și xilemic sub influența salinității crescute	64

5.9. Concentrația pigmentilor clorofilieni și carotenoidici în frunzele afectate de stresul salin.....	66
5.10. Parametrii fluorescenței clorofilene induse în frunzele intacte ale plantelor expuse salinității crescute	68
5.11. Peroxidarea lipidelor membranare în frunzele plantelor de salată expuse la diferite concentrații de NaCl	70
6. DISCUȚII	71
6.1. Efectele stresului de salinitate asupra dinamicii germinăției semințelor ..	71
6.2. Influența salinității asupra producției nete de biomasă	71
6.3. Conductanța radiculară ca indicator fiziologic al toleranței față de stresul de salinitate.....	73
6.4. Influența salinității asupra parametrilor schimbului foliar de gaze	74
6.5. Conținutul cationilor de sodiu, potasiu și calciu în rădăcina, frunzele și seva brută xilemică a plantelor dezvoltate în condiții de salinitate crescute	75
6.6. Influența stresului salin asupra concentrației foliare a prolinei libere și a glucidelor hidrosolubile simple	76
6.7. Potențialul osmotic al țesuturilor foliare și al lichidului xilemic în plantele afectate de salinitatea crescute	77
6.8. Efectul stresului salin asupra concentrației pigmentilor fotosintetici.....	78
6.9. Influența stresului salin asupra parametrilor fluorescenței clorofilene induse	79
6.10. Nivelul de peroxidare a lipidelor membranare în frunzele de salată expuse la stresul de salinitate	80
7. CONCLUZII	82
BIBLIOGRAFIE.....	84
PUBLICAȚII ALE AUTORULUI DIN DOMENIUL TEZEI.....	97
ALTE PUBLICAȚII ALE AUTORULUI.....	98
REZULTATE PREZENTATE ÎN CONFERINȚE ȘTIINȚIFICE ..	99
PARTICIPĂRI ÎN PROIECTE DE CERCETARE	99
MULȚUMIRI.....	100

Cuvinte cheie:

- conductanța hidrică radiculară,
- varietăți intraspecifice de *Lactuca sativa*,
- osmoreglaj,
- stresul de salinitate,
- bioacumularea sodiului,
- conductanța stomatică

INTRODUCERE ȘI OBIECTIVE

Adaptabilitatea organismelor la condiții extreme de viață, mecanismele reacțiilor la stresul ambiental în general și bazele halotoleranței în special, reprezintă un domeniu de cercetare de mare actualitate, datorită implicațiilor multiple în înțelegerea biodiversității la diferite nivele de organizare, cât și în îmbunătățirea producției plantelor de interes economic. În acest context, ne-am propus să studiem mecanismele fiziologice și moleculare ale halotoleranței diferitelor varietăți de *Lactuca sativa*, ale căror creștere se extinde în prezent spre noi terenuri cultivabile, în paralel cu creșterea frecvenței utilizării acestei plante în alimentația sănătoasă a omului. Identificarea unor markeri fiziologici ai halotoleranței face posibilă o selecție rapidă și eficientă a varietăților care pot fi cultivate și pe soluri afectate de salinitate crescută.

Salinitatea afectează plantele în două moduri principale. Concentrația crescută de sare reduce în jurul sistemului radicular potențialul osmotic al apei, astfel îngreunând absorbția apei de către plante (efect osmotic), respectiv induce simptome de toxicitate (efectul ionic), rezultate din dezechilibru metabolic și senescență prematură a frunzelor (Munns, 2002; Tester și Davenport, 2003). Deshidratarea și acumularea ionilor de sodiu în țesuturile vegetale activează un proces rapid de acomodare fiziologică care, la rândul său, este asociat cu o nouă stare de echilibru al creșterii și dezvoltării ontogenetice. Această acomodare fiziologică include trei procese de bază: restaurarea turgescenței celulare, reglarea transportului ionic prin membrane și activarea acumulării de substanțe osmoprotectoare și de proteine de stres. În afară de aceste procese, mai multe răspunsuri secundare sunt necesare pentru a asigura toleranța de sare, de exemplu: capacitatea de a neutraliza forme dăunătoare de oxigen reactiv prin sisteme antioxidative specifice, accentuarea furnizării unui surplus de energie, reglarea întregii rețele metabolice pentru o adaptare de durată la stres. Acesta este motivul pentru care mai multe modificări moleculare și fiziologice corelate pot fi observate când plantele sunt expuse la stresul de salinitate: scăderea conductivității stomatice și a conductanței hidrice radiculare, reajustarea balanței hidrice prin sintetizarea unor compuși osmoactivi, reajustarea ratei de creștere, schimbarea raportului cantitativ dintre rădăcină și corm, tulburări nutriționale,

schimbarea concentrației pigmentilor fotoasimilatori (Munns și Tester, 2008; Rajendran *et al.*, 2009).

Varietățile de salată (*Lactuca sativa* L.) ocupă un loc important între plantele cultivate, iar soiurile comercializate sunt în general sensibile la creșterea salinității solului. Salata proaspătă, care în zilele noastre a devenit o componentă importantă a alimentației sănătoase, este o resursă importantă de vitamine și de suplimente minerale. Din literatura de specialitate reiese că la salată studiile făcute în privința halotoleranței sunt foarte rare, ca și datele referitoare la parametri fiziologici și biochimici care pot fi utilizați pentru selecția de soiuri halotolerante.

Cercetările noastre au două obiective principale: unul teoretic care vizează aprofundarea și lărgirea cunoștințelor referitoare la mecanismele toleranței plantelor față de condițiile nefavorabile de viață impuse de creșterea salinității, respectiv unul practic care se referă la identificarea unor indicatori fiziologici și biochimici pe baza cărora devine posibilă diferențierea varietăților de salată cultivată în funcție de gradul de sensibilitate față de stresul de salinitate cu intensități și durate diferite.

Scopul principal al acestui studiu este de a compara toleranța față de stresul de salinitate la soiuri de salată larg cultivate pe plan mondial, precum și identificarea soiurilor mai rezistente sau mai tolerante, care pot fi cultivate pe scară largă în zonele cu salinitate crescută, zone care în prezent înregistrează o extindere pronunțată datorită schimbărilor climatice globale.

Din acest motiv, am investigat schimbările induse de stresul de sare la nivelul germinației, al parametrilor creșterii vegetative, în conductivitatea hidrică la nivelul rădăcinii, în conținutul cationilor de Na^+ , K^+ și Ca^{2+} la nivelul rădăcinii, cormului și a sevei brute xilemice, în concentrația prolinei libere și a glucidelor hidrosolubile din frunze, în potențialul osmotoc foliar și a sevei brute, în conținutul pigmentilor fotosintetici, în randamentul conversiei fotochimice a energiei fotonice, în parametrii conductanței stomatice față de vaporii de apă și de bioxid de carbon, în producția de biomasă etc. Pe baza acestor investigații ne-am propus să propunem cultivatorilor cel puțin un cultivar de salată verde care poate fi crescut eficient pe soluri cu salinitate crescută.

MATERIALE ȘI METODE

Cinci soiuri diferite de salată (*Lactuca sativa* L.), selectate în mare parte dintre cele larg cultivate în Europa, au fost folosite în experimente, după o preselectie între 12 cultivare procurate dintr-o bancă de semințe din Franța. Cultivarele Paris Island, Parella Green, Asparagina, Valdor și Salad Red Bowl au fost alese din cele patru convarietăți ale speciei de salată verde (*capitata*, *crispa*, *romana*, *asparagina*).

Semințele au fost germinate în vermiculită la 20 °C, iar după șapte zile au fost transferate în vase de vegetație de 15 L, în soluție nutritivă Hoagland, cu aerisire continuă a rădăcinilor. Tratatamentul cu NaCl a fost inițiat la plante de 21 zile după două săptămâni de creștere în soluție Hoagland. Stresul de salinitate a fost indus de 50 mM și 100 mM de NaCl, iar plantele au fost recoltate după zece zile de expunere.

A fost determinat masa proaspătă (FW) de rădăcină și de corm (tulpina cu frunze), separat pentru cinci plante de la fiecare soi și combinație de salinitate. Pentru determinarea masei uscate materialul vegetal a fost deshidratat la 65 °C timp de 5 zile. De asemenea, a fost determinat conținutul hidric actual și relativ al frunzelor mature nesenescute. Concentrațiile de cationi minerali din frunze, din rădăcini și din seva brută au fost determinate prin spectrometrie cu plasmă cuplată inductiv (ICPAS). Determinarea parametrilor schimbului foliar de gaze a fost realizată cu ajutorul unui aparat portabil de măsurare *in situ* a performanței fotosintetice (modelul LCA-4), iar conductanța hidrică a rădăcinilor a fost determinată prin exudație naturală. Concentrațiile de prolină liberă, de glucide hidrosolubile, de pigmenți fotosintetici și de produși de peroxidare a lipidelor membranare au fost determinate în extracte foliare, prin spectrofotometrie.

Detectarea parametrilor fluorescenței clorofilene induse a fost realizată prin fluorimetrie (PAM-FMS2, Hansatech), iar potențialul osmotic în țesuturile foliare și în seva brută xilemică s-a măsurat cu ajutorul unei osmometru automat.

Investigarea procesului de germinație a fost efectuată cu 12 soiuri de salată. Martorul a fost irigat cu apă distilată, în timp ce variantele experimentale cu apă distilată suplimentată cu 50 mM, 100 mM și 150 mM NaCl.

Fiecare determinare a fost realizată cu 5 repetiții, iar diferențele statistic semnificative au fost stabilite (la $P < 0,05$) cu ajutorul unui test post-ANOVA (Tukey HSD).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Efectele stresului de salinitate asupra dinamicii germinației semințelor

Germinația, ca primul pas în ontogenia spermatofitelor, este foarte sensibilă la condițiile nefavorabile de mediu. Chiar și fără tratament, la diferitele soiuri de salată frecvența și energia germinației nu sunt identice: în cazul celor mai multor soiuri, germinația începe în prima zi după hidratarea semințelor, însă sunt și soiuri la care primele semne ale germinației se pot detecta numai după câteva zile. Diferite cultivare de salată arată o sensibilitate diferită față de stresul de salinitate în privința dinamicii germinației (Fig. 1-5.), prin urmare, acest stadiu critic de dezvoltare permite selecția primară a soiurilor mai tolerante.

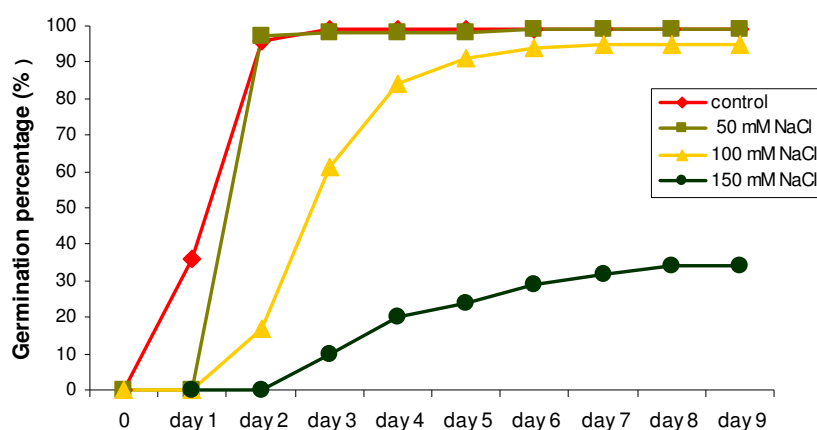


Fig. 1. Dinamica germinației la cultivarul Parella Green

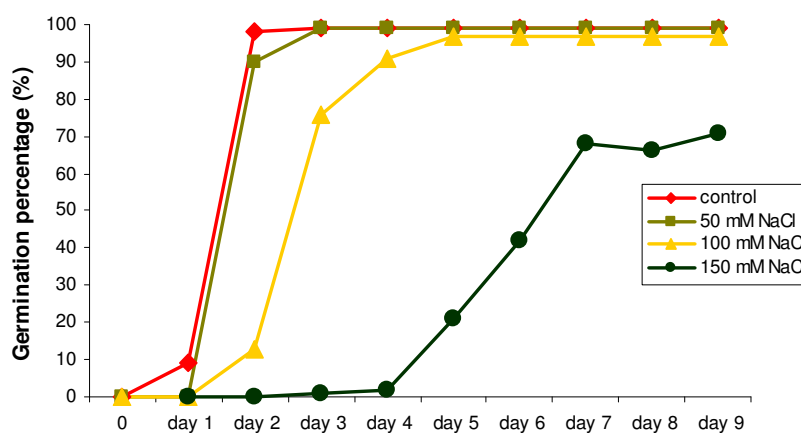


Fig. 2. Procentul germinației și energia germinativă la cultivarul Paris Island

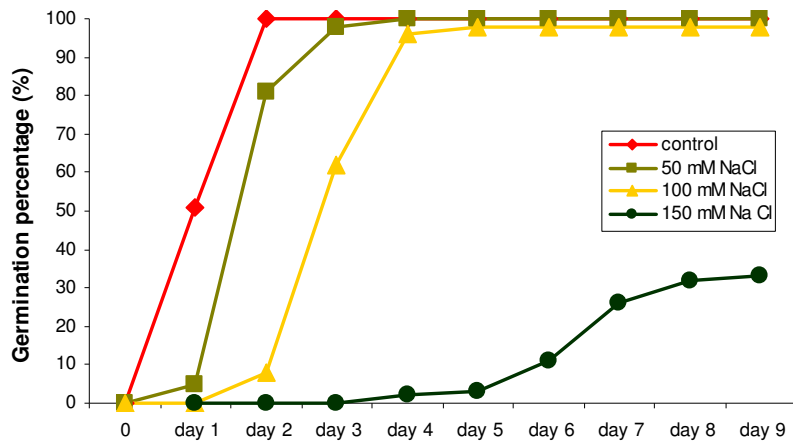


Fig. 3. Dinamica germinației la cultivarul Valdor

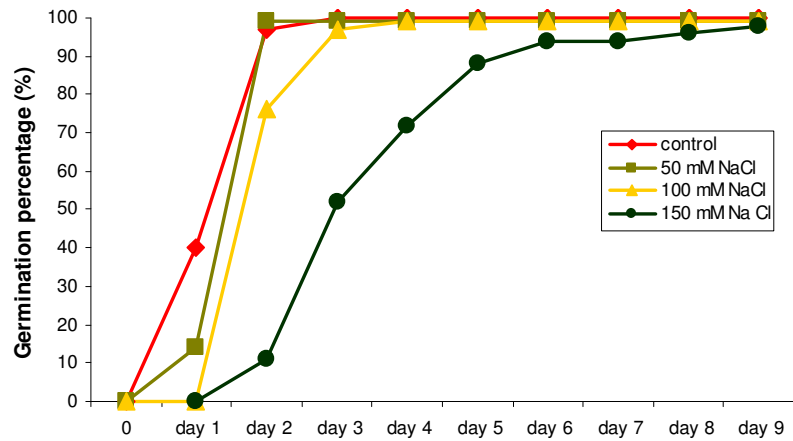


Fig. 4. Procentul de germinație și energia germinativă la cultivarul Salad Red Bowl

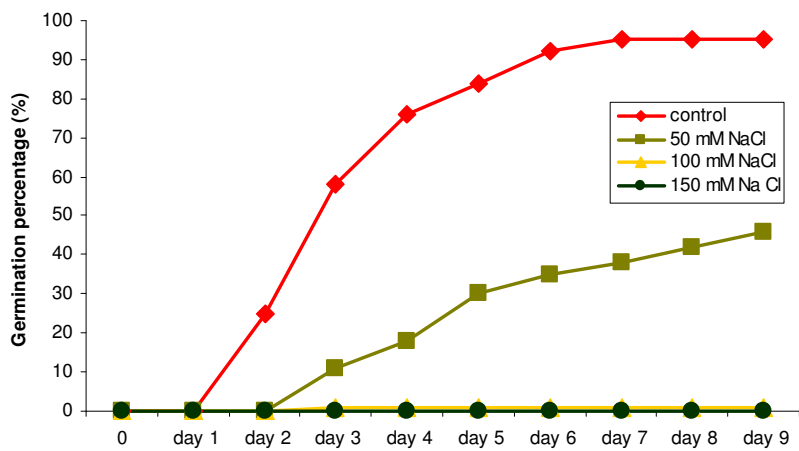


Fig. 5. Dinamica germinației la cultivarul Asparagina

Rezultate asemănătoare au fost publicate la fasole (Jeannette *et al.*, 2002), la varză (Ashraf și Mcneilly, 1990) și la soiuri de șofrănel (Demir și Aril, 2003). Dintre soiurile investigate, germinația a fost cel mai puțin afectată de salinitatea crescută la cultivarele Salad Red Bowl și Paris Island. Pe de altă parte, în condiții de stres de salinitate, inhibarea germinației a fost cea mai pronunțată în cazul soiului Asparagina. Acest fapt este în concordanță și cu creșterea producției de biomasă. În cazul soiurilor mai tolerante salinitatea crescută întârzie procesul de germinație, adică scade energia germinativă, fără a afecta în mod semnificativ procentul germinației, în timp ce în cazul cultivarelor sensibile la stresul de salinitate este inhibată și dezvoltarea embrionului.

Impactul stresului de salinitate asupra producției de biomasă

Stresul de salinitate inhibă creșterea plantelor prin perturbarea echilibrului osmotic și ionic celular. Creșterea biomasei este direct legată de productivitatea plantelor de cultură. Acest lucru este în special valabil pentru salată, fiindcă partea vegetativă este cea folosită în alimentație. Creșterea concentrației NaCl în soluția nutritivă a redus semnificativ biomasa părților vegetative supraterane (tulpina și frunza) la toate cele cinci cultivaruri (Fig. 6.).

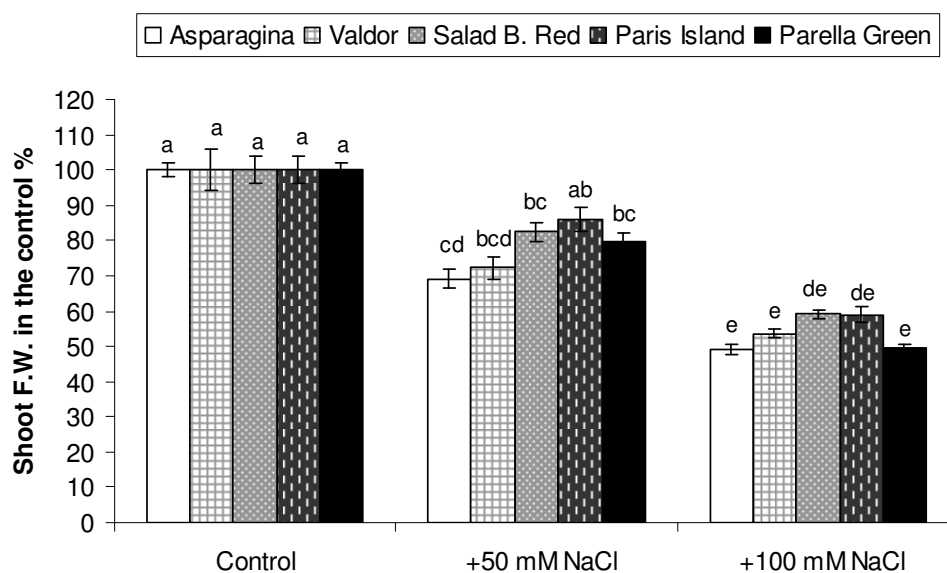


Fig. 6. Efectul concentrației de 50 mM și 100 mM NaCl asupra biomasei proaspete (FW) a cormului vegetativ la cinci cultivare de *Lactuca sativa*

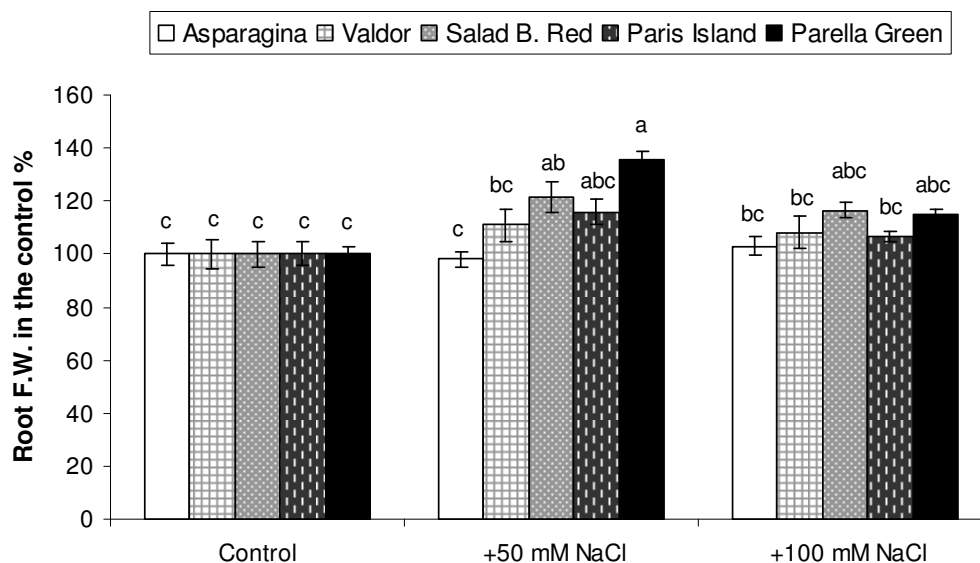


Fig. 7. Efectul concentrației de 50 mM și 100 mM NaCl asupra biomasei proaspete (FW) a rădăcinilor la cinci cultivare de salată

La ambele concentrații de sare cea mai pronunțată reducere a biomasei foliare a fost detectată în cazul cultivarului Asparagina. Acest lucru indică faptul că dintre cele cinci soiuri investigate, în privința producției de biomasă foliară Asparagina este cea mai sensibilă la stresul de salinitate. În schimb, la soiul Paris Island 50 mM NaCl nu a indus nici o reducere semnificativă a biomasei, acest soi poate fi astfel considerat mai puțin sensibil la salinitate.

Dezvoltarea radiculară a fost mai puțin afectată de salinitate decât cea a frunzelor (Fig. 7.), iar după tratament, rata de creștere și-a revenit destul de repede. Acest fapt poate fi în relație cu efectul osmotic al stresului de salinitate, deficitul de apă în zona radiculară stimulând creșterea rădăcinii spre noi rezerve de apă.

Relativ puține studii au fost publicate despre efectele salinității asupra creșterii diferitelor cultivare de salată. Pasternak *et al.* (1986) au constatat că soiurile *Cos* (*var. longifolia*) sunt în general mai tolerante decât cultivarele iceberg (*var. capitata*). Un alt studiu a comparat mai multe soiuri de salată și a concluzionat că sensibilitatea față de stresul de salinitate diferă în etapa de germinație (Coons *et al.*, 1990; Nasri *et al.*, 2010). Rezultatele noastre arată că producția de biomasă este un indicator adecvat pentru detectarea sensibilității soiurilor de salată față de stresul de salinitate.

Conductanța radiculară ca indicator fiziologic al toleranței față de stresul de salinitate

La plantele terestre vasculare, absorbția apei prin țesuturile rădăcinii este un proces fundamental pentru a permite plantelor o dezvoltare adecvată, motiv pentru care trebuie controlat în mod eficient. Valorile conductivității radiculară (L_0) sunt prezentate în Fig. 8. Pentru ambele concentrații de NaCl reducerea cea mai accentuată a fost înregistrată la soiul Asparagina. În cazul soiului Paris Island, conductanța radiculară a fost redusă aproximativ în aceeași măsură de ambele concentrații de sare (50 mM și 100 mM).

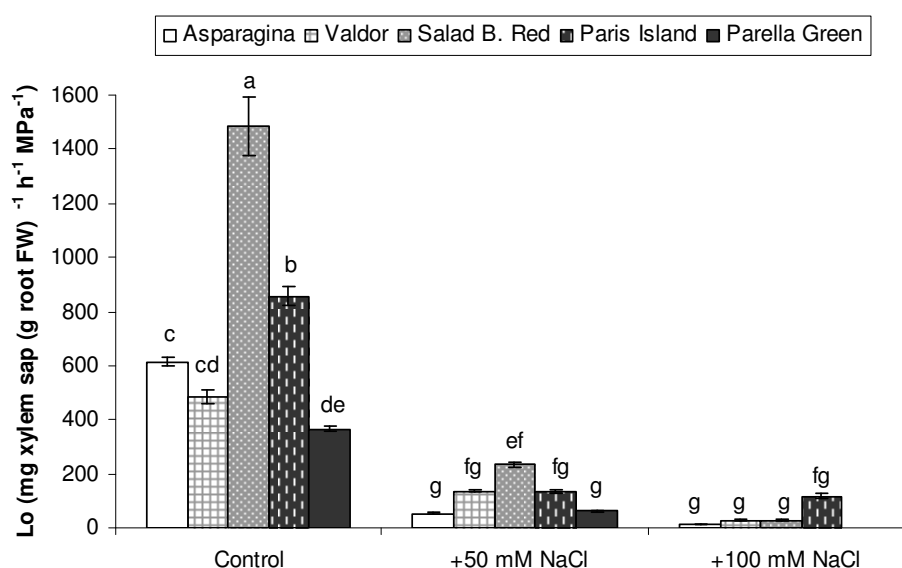


Fig. 8. Efectul stresului salin asupra conductanței radicare (L_0) la cinci cultivare de salată

Reducerea fluxului de sevă brută prin vasele lemnoase poate să diminueze și acumularea foliară a ionilor de Na^+ și Cl^- . Pe de altă parte, o concentrație mai ridicată de Na^+ în celulele vegetale poate să mențină turgescența în limite normale. Probabil că trebuie să existe un echilibru între utilizarea de Na^+ și Cl^- de către plantă pentru a menține turgescența și necesitatea de a evita toxicitatea chimică (Munns și Tester, 2008). În cazul salatei, conductivitatea radiculară poate fi considerată un bun indicator fiziologic al stresului de salinitate. Dintre cele cinci soiuri examinate, Paris Island a menținut cel mai bine conductivitatea radiculară, astfel permițând o alimentare mai bună cu apă a frunzelor dinspre rădăcină.

Influența stresului de salinitate asupra schimbului foliar de gaze

La plantele terestre vasculare schimbul foliar de gaze se realizează prin mișcările stomatice. Acest lucru este crucial pentru procesul de achiziție a bioxidului de carbon, care este legat direct de producția fotosintetică de biomasă, cât și de controlul transpirației în vederea menținerii echilibrului hidric. Conductivitatea stomatică foliară a fost redusă la toate soiurile de salată expuse stresului salin. În comparație cu martorul, diferența cea mai semnificativă a fost observată în cazul soiurilor Asparagina și Salata Bowl Red. În schimb, la Paris Island tratamentul cu 50 mM NaCl nu a redus conductivitatea stomatică, decât cel cu 100 mM NaCl (Fig. 9).

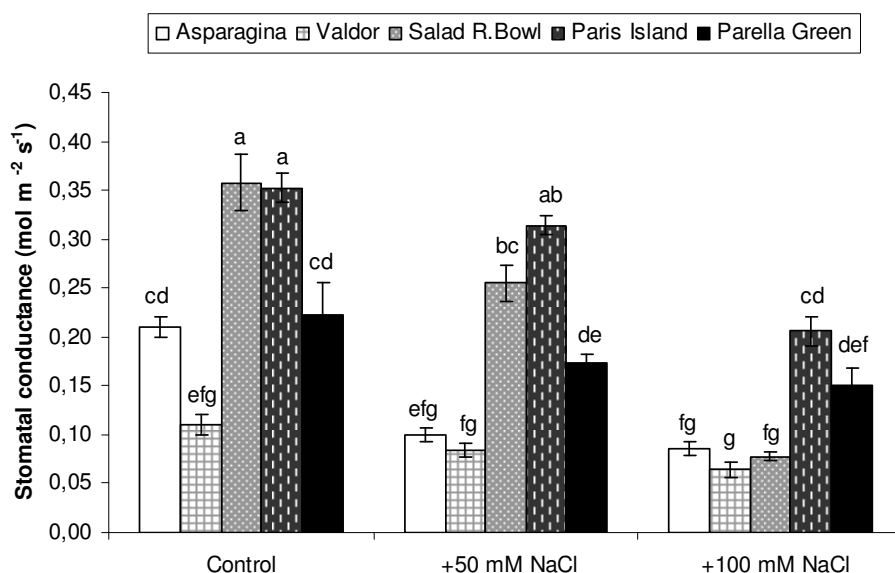


Fig. 9. Efectele stresului salin asupra conductivității stomatice la cinci soiuri de *Lactuca sativa*

Salinitatea a influențat negativ și rata transpirației, iar tendința a fost asemănătoare cu conductivitatea stomatică. De asemenea, reducerea cea mai pronunțată a ratei transpirației a fost observată în cazul soiului Asparagina (Fig. 10.).

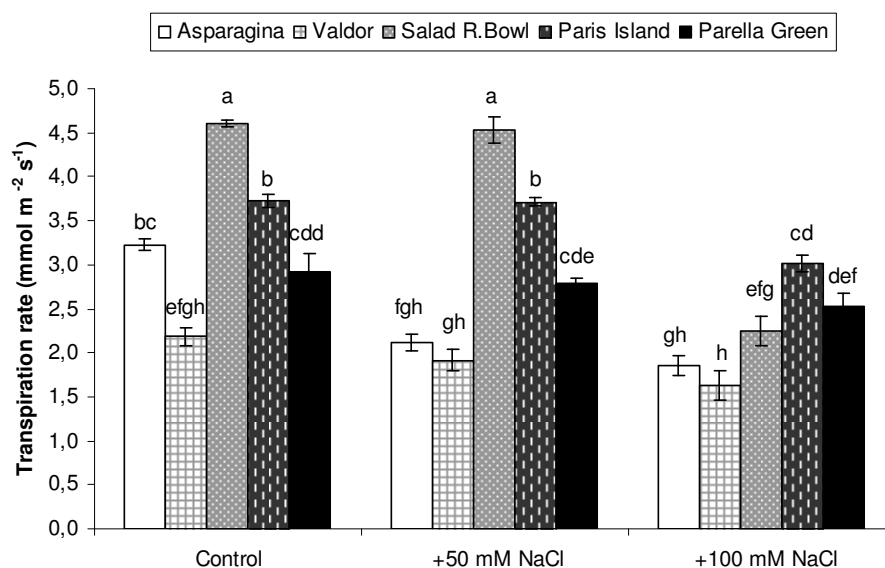


Fig. 10. Efectele stresului salin asupra ratei transpirației la cinci soiuri de salată

Ca o reacție la componenta osmotică a stresului salin, pentru reducerea transpirației stomatele sunt parțial închise. Mișcările stomatice afectează și aprovizionarea cu bioxid de carbon, astfel trebuie stabilit un echilibru între reducerea transpirației și furnizarea de bioxid de carbon. Deoarece mișcările stomatelor sunt afectate de efectul osmotic al stresului salin (Munns și Tester, 2008), putem concluziona că soiul Paris Island are o toleranță mai bună față de stresul osmotic în comparație cu celelalte soiuri. La cele cinci soiuri folosite în experimentele noastre, se pare că cele zece zile de expunere la stresul salin indus de 100 mM NaCl în condiții hidroponice nu au fost suficiente pentru dezvoltarea efectului ionic. Nu s-au putut observa simptome specifice ale stresului ionic, cum ar fi senescența prematură a frunzelor sau simptome de toxicitate (cloroză, necroză).

Influența stresului salin asupra conținutului de potasiu, calciu și sodiu din rădăcini, frunze și sevă brută xilemică

Excesul de NaCl poate provoca tulburări în nutriția minerală a plantelor (modificarea disponibilității diferitelor tipuri de ioni, a capacității de absorbire, a transportului și a partiționării nutrienților). Plantele au dezvoltat diferite mecanisme, ca excluderea excesului de sare, translocarea, sechestrarea, bioacumularea sau detoxifierea, pentru menținerea homeostaziei ionice adecvate în celule, necesară

proceselor normale de metabolism. Fig. 11, 12 și 13 prezintă conținutul ionilor de Na^+ , Ca^{2+} și K^+ în rădăcina, frunzele și seva brută a soiurilor de salată expuse la două concentrații diferite de clorură de sodiu.

La toate soiurile de salată expuse la stresul salin, atât în frunze cât și în rădăcină a fost detectată o creștere semnificativă a conținutul de sodiu. Cea mai pronunțată creștere a concentrației sodiului a fost observată la soiul tolerant, Paris Island, iar cea mai mică, în cazul cultivarului Asparagina, care a fost cel mai sensibil la stresul de salinitate dintre soiurile examinate. Acest lucru reflectă faptul că dintre cele două strategii principale de toleranță față de stresul de salinitate, și anume excluderea sau sechestrarea sodiului, strategia din urmă este utilizată de soiurile de salată. În prima fază de stres, acumularea rapidă de Na^+ în frunze poate avea un rol important în ajustarea turgescenței celulare și astfel în redobândirea capacității de creștere a diferitelor țesuturi (Munns și Tester, 2008; Shabala *et al.*, 2010).

Stresul salin are un efect negativ asupra acumulării potasiului, atât în corm cât și în rădăcină (Fig. 12 și 13). Această reducere este cel mai probabil din cauza utilizării acelorași transportori membranari cu cationul de Na^+ , adică din cauza antagonismului ionic în procesul de absorbție și translocare (Alberico și Cramer, 1993; Azevedo-Neto și Tabosa, 2000). În cazul soiurilor examinate nu am găsit corelație între conținutul de K^+ în corm sau rădăcini și toleranța față de salinitate. De asemenea, stresul salin de 100 mM NaCl a redus concentrația de Ca^{2+} , atât în frunze cât și în rădăcină. Concentrația de Ca^{2+} a fost redusă asemănător la majoritatea soiurilor examinate, cu excepția cultivarului Valdor. La niciunul dintre cele cinci soiuri examinate nu am putut stabili relație între conținutul de calciu și toleranță față de stresul salin.

Între cultivarele sensibile și tolerante nu a fost detectată nici o diferență semnificativă în privința concentrației de sodiu în seva brută xilemică, însă concentrația calciului și a potasiului, spre deosebire de frunze și rădăcină, a crescut în vasele lemnoase la toate soiurile expuse la stresul de salinitate (Fig. 11.).

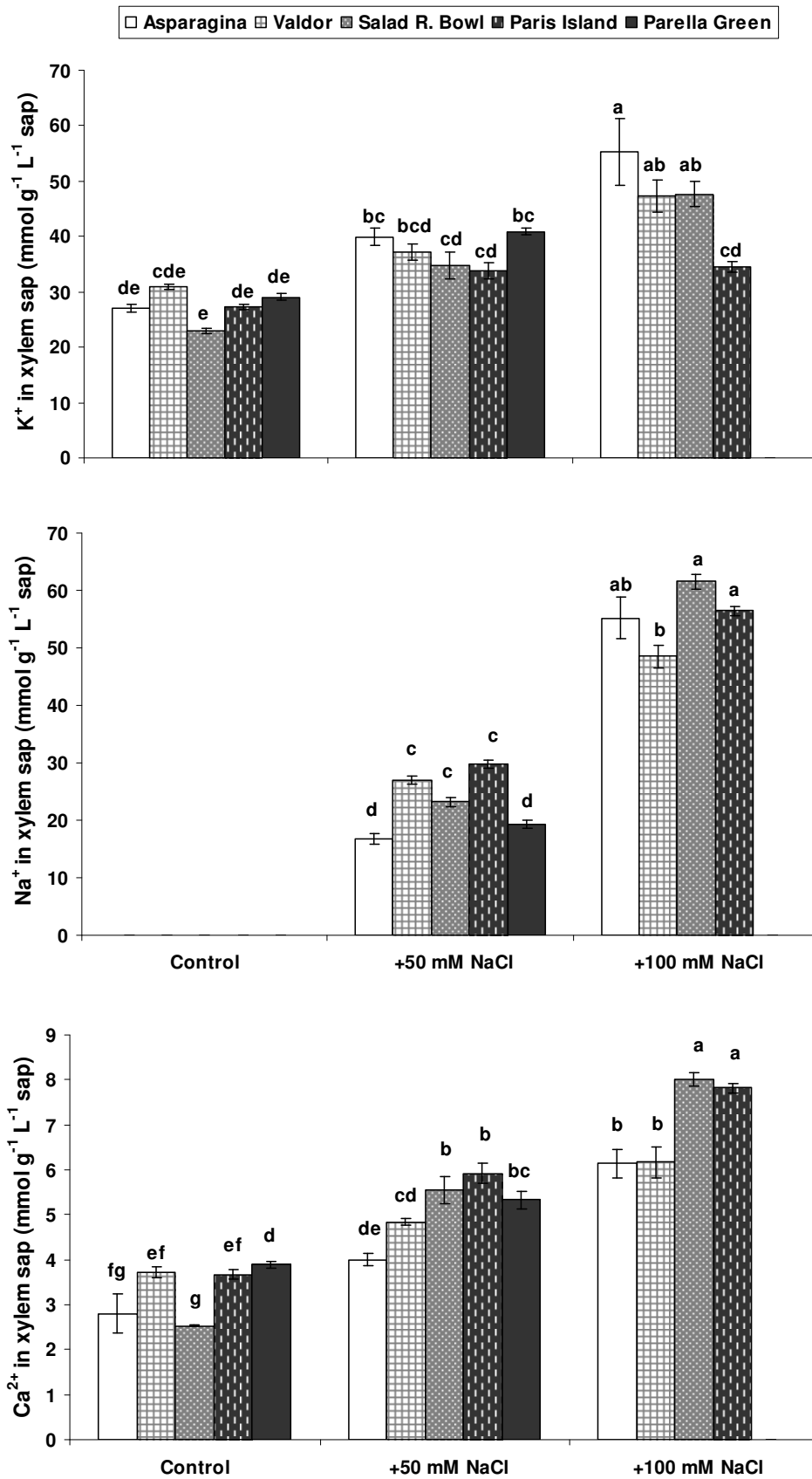


Fig. 11. Influența stresului salin asupra conținutului de K⁺, Ca²⁺ și Na⁺ în seva brută xilemică la cinci cultivare de salată

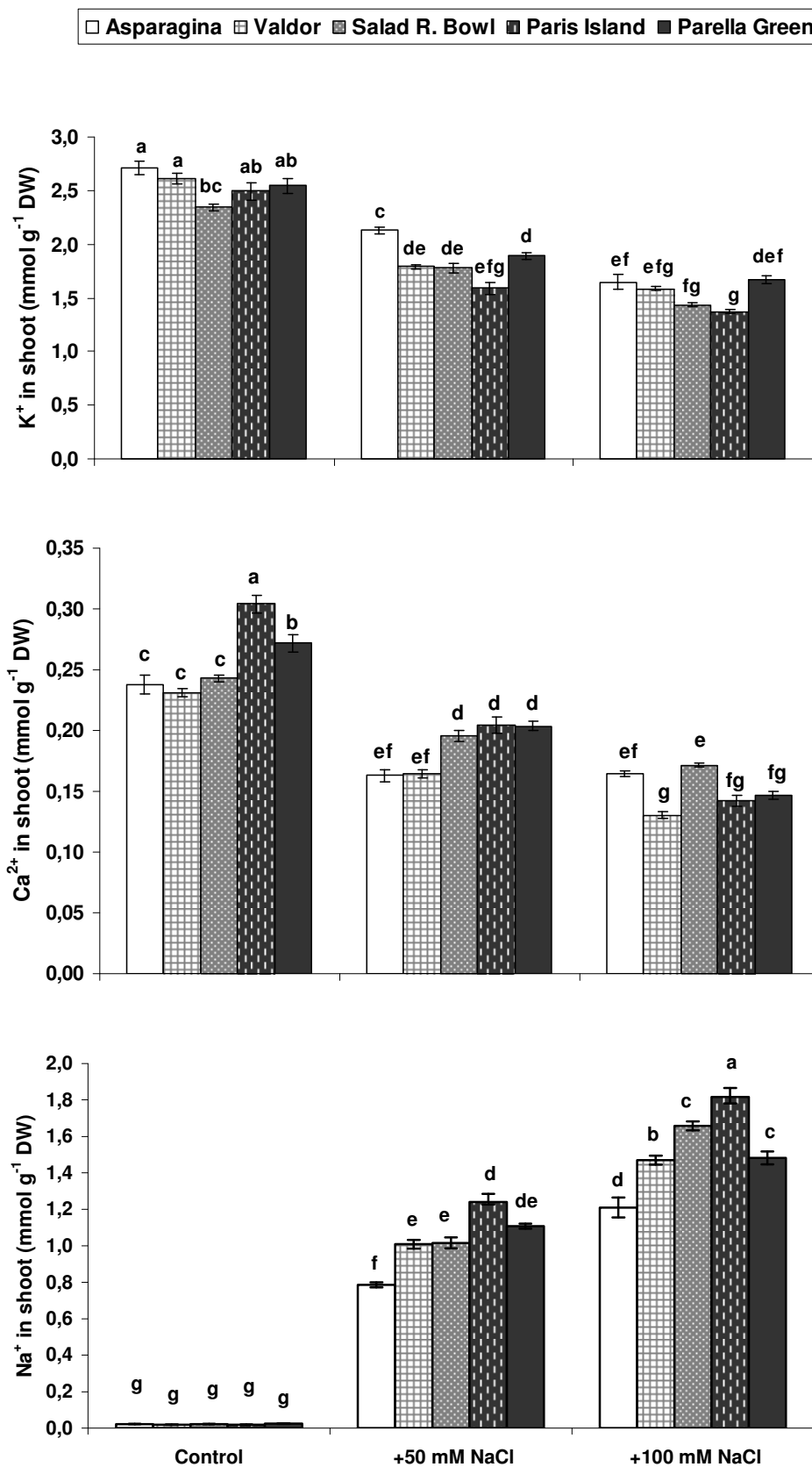


Fig. 12. Influența stresului salin asupra conținutului de K⁺, Ca²⁺ și Na⁺ în frunzele a cinci cultivare de salată

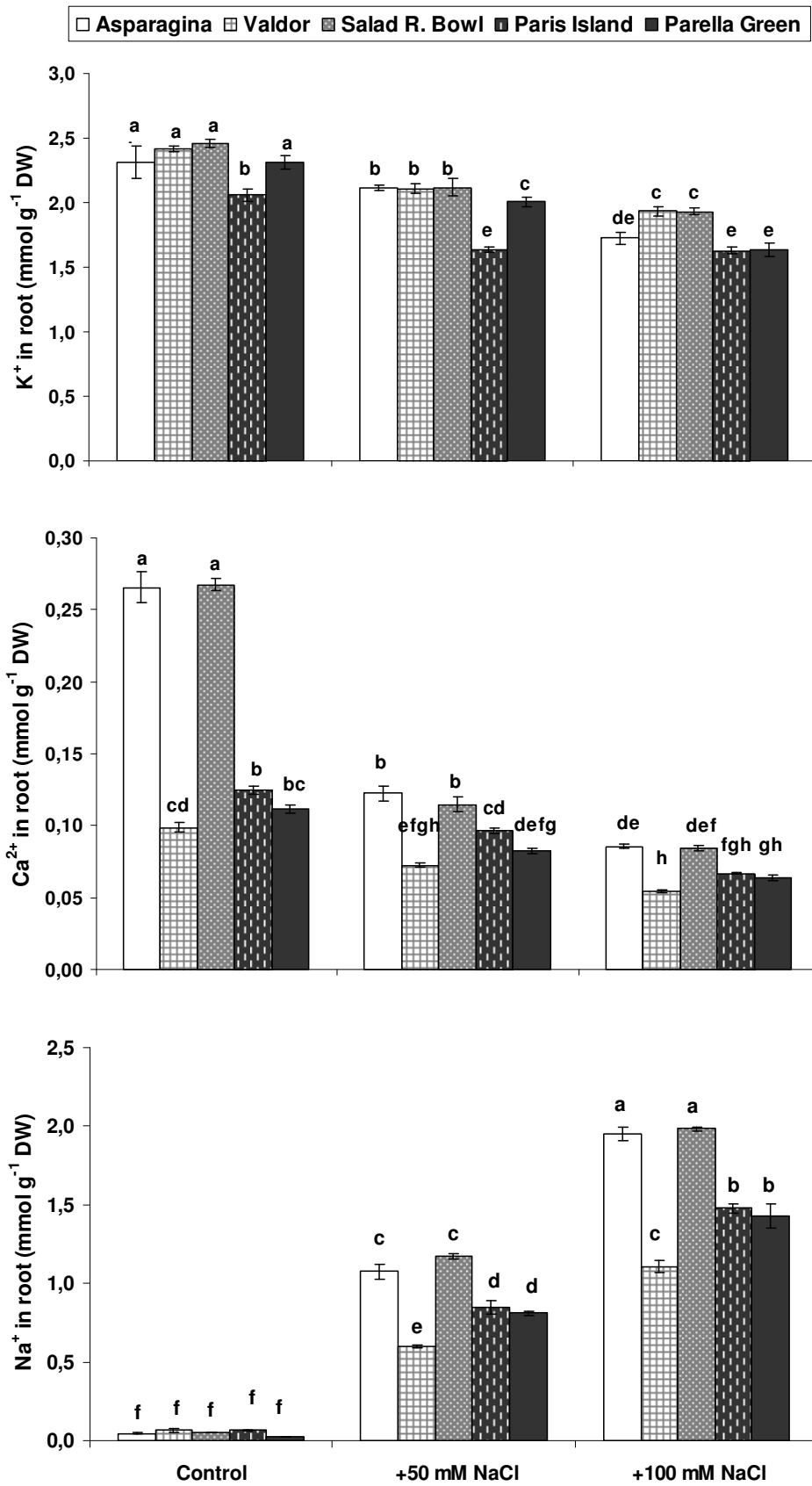


Fig. 13. Influența stresului salin asupra conținutului de K⁺, Ca²⁺ și Na⁺ în rădăcina la cinci cultivare de *Lactuca sativa*

Influența stresului salin asupra concentrației foliare de prolină liberă și de glucide hidrosolubile simple

Una dintre cele mai răspândite substanțe osmoprotectoare la plantele vasculare este prolina. La cele cinci cultivare de salată ambele concentrații de NaCl au stimulat creșterea cantității prolinei libere din țesuturile foliare, îndeosebi la 100 mM (Fig. 14).

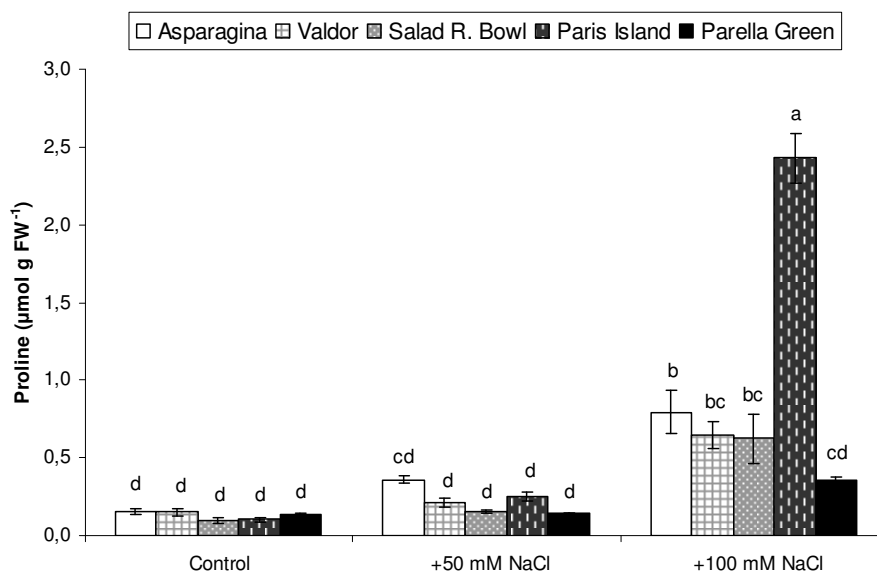


Fig. 14. Concentrația prolinei libere în extractele foliare de la cinci cultivare de salată expuse influenței stresului de salinitate

La soiul Paris Island expus la 100 mM NaCl a fost detectată creșterea cea mai pronunțată, unde concentrația prolinei libere a fost de aproximativ douăzeci de ori mai mare decât în plantele martor. La alte soiuri această creștere a fost mai puțin accentuată: triplă la Parella Green, de patru ori la Asparagina și Valdor și de șapte ori la soiul Bowl Red.

Concentrația crescută de Na^+ în citosol poate fi toxică pentru celulele vegetale, motiv pentru care ionii de sodiu sunt sechestrați în vacuolă. Pentru echilibrarea potențialului osmotic al sucului vacuolar, plantele acumulează în citosol diferite substanțe organice osmoactive, care sunt compatibile cu activitatea metabolică. Capacitatea de acumulare crescută a prolinei la soiul Paris Island poate fi considerată un bun indicator biochimic al toleranței față de stresul de salinitate.

În condiții de salinitate crescută, la unele glicofite glucidele pot contribui cu până la 50% la potențialul osmotic (Cram, 1996). În cazul celor cinci soiuri de salată

nu s-a putut evidenția o corelație între conținutul de glucide solubile în țesuturile foliare și tratamentul cu NaCl (Fig. 15.).

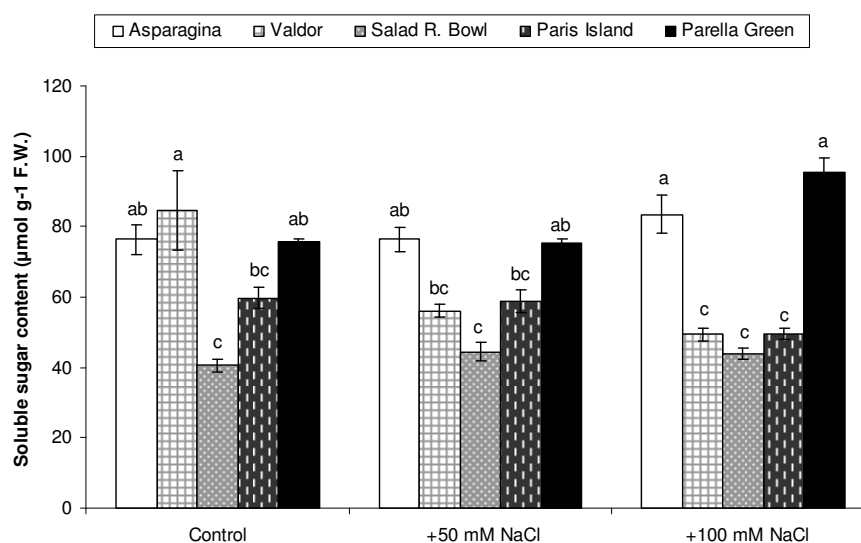


Fig. 15. Concentrația glucidelor hidrosolubile simple în frunzele a cinci cultivare de salată sub influența stresului de salinitate

În privința acumulării glucidelor solubile, ca răspuns la stresul de salinitate, există diferențe majore la nivel interspecific și intraspecific, și pot fi diferențe mari chiar și între liniile care sunt tolerante la stresul de salinitate (Ahsraf și Fatima, 1995; Ahsraf 1999). Informațiile sunt deocamdată insuficiente pentru a concluziona că glucidele simple hidrosolubile sunt asociate universal cu toleranța față de stresul de salinitate. În cazul soiurilor de salată expuse stresului salin, putem concluziona că glucidele solubile nu au un rol important în contracararea stresului osmotic.

Potențialul osmotic al țesuturilor foliare și al sevei brute xilemice sub influența salinității crescute

Multe procese fiziologice, cum ar fi expansiunea foliară sau mișcările stomatice, sunt direct afectate de reducerea potențialului osmotic (Jones și Turner, 1998). Rezultatele arată că potențialul osmotic foliar, ca urmare a stresului salin, a crescut semnificativ (valori mai negative, adică forță de sucțiune mai mare) la toate soiurile de salată. Conform valorilor înregistrate, cultivarele Valdor și Parella Green

au avut cel mai negativ potențial osmotic foliar în urma stresului de salinitate (Fig. 16).

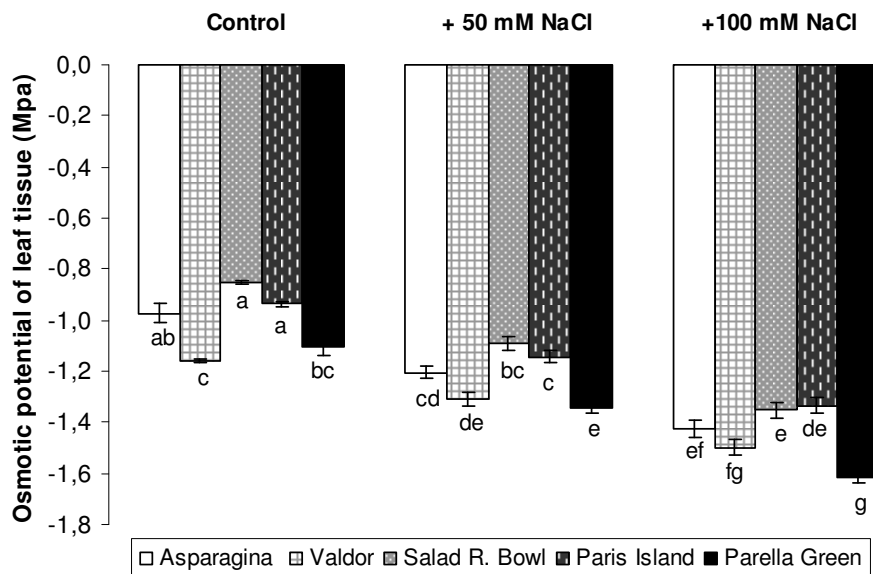


Fig. 16. Influența stresului de salinitate asupra potențialul osmotic foliar la cinci soiuri de salată

Comparativ cu potențialul osmotic foliar, stresul salin a avut un efect mai accentuat asupra potențialului osmotic din seva brută xilemică. Cea mai puternică accentuare a forței de suucțiune a fost înregistrată la soiul Asparagina, unde tratamentul de zece zile cu 100 mM de NaCl a mărit de 4 ori potențialul osmotic al sevei brute. În contrast, la Paris Island a fost detectată doar o triplare a valorii, aceasta fiind cea mai mică dintre toate soiurile examinate (fig. 17).

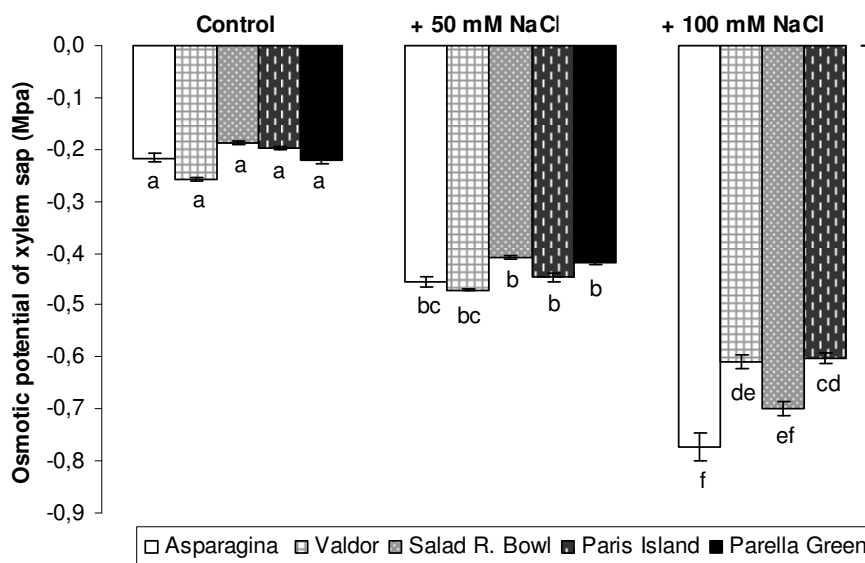


Fig. 17. Influența stresului de salinitate asupra potențialul osmotic al sevei brute xilemice la cinci soiuri de *Lactuca sativa*

Putem concluziona că potențialul osmotic foliar variază mai mult în funcție de cultivare, iar impactul salinității crescute modifică proporțional valorile forței de sucțiune la toate soiurile. Martorii diferitelor cultivare de salată au un potențialul osmotic destul de uniformă în seva brută, iar salinitatea crescută modifică valorile fiecărui cultivar în funcție de toleranța față de stres. Pentru a detecta diferențele dintre cultivare față de stresul salin, determinarea potențialului osmotic din seva brută xilemică este mai utilă decât cea din extractul foliar.

Efectul stresului salin asupra concentrației pigmentilor fotosintetici din frunze

Sub influența a 100 mM NaCl, în frunzele cultivarelor Asparagina, Salad Bowl Red și Parella Green s-a redus conținutul clorofilei *a*. Prin contrast, la soiul Paris Island, aceeași concentrație de sare în mediul de creștere a mărit moderat concentrația clorofilei *a*. În cazul cultivarului Valdor nici o diferență semnificativă nu a fost detectată între martor și plantele expuse la stresul de salinitate (Fig. 18).

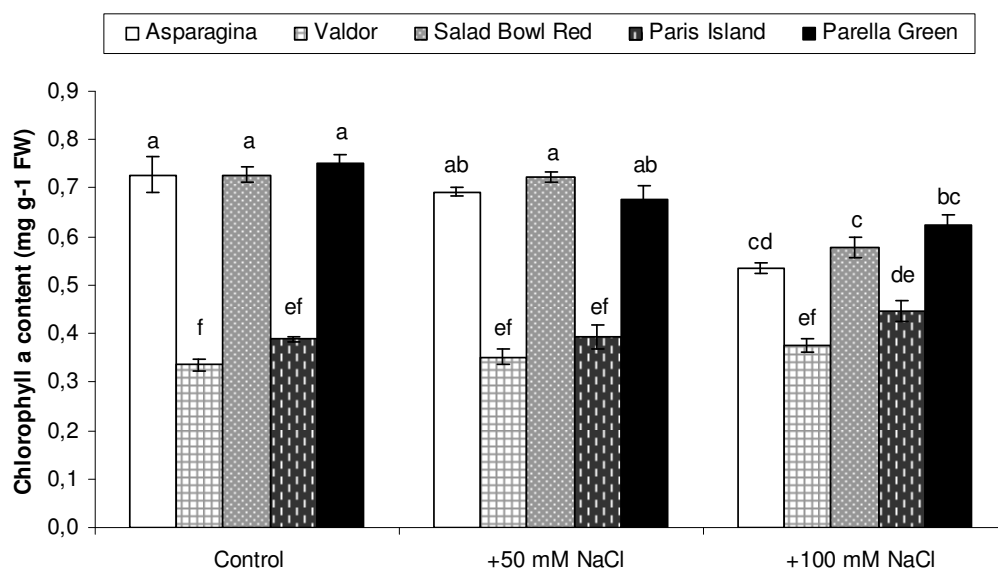


Fig.18. Efectele stresului salin asupra concentrației de clorofila *a* în frunzele de la cinci cultivare de salată

Stresul salin a afectat conținutul clorofilei *b* într-o măsură mai mică în raport cu clorofila *a*, și doar în cazul soiului Parella Green a fost detectată o scădere

semnificativă. Cultivarul Salad Bowl Red expus la stresul salin a manifestat o creștere moderată în conținutul de clorofilă *b*, în timp ce, în aceleași condiții, concentrația de clorofila *a* s-a diminuat considerabil (Fig. 19).

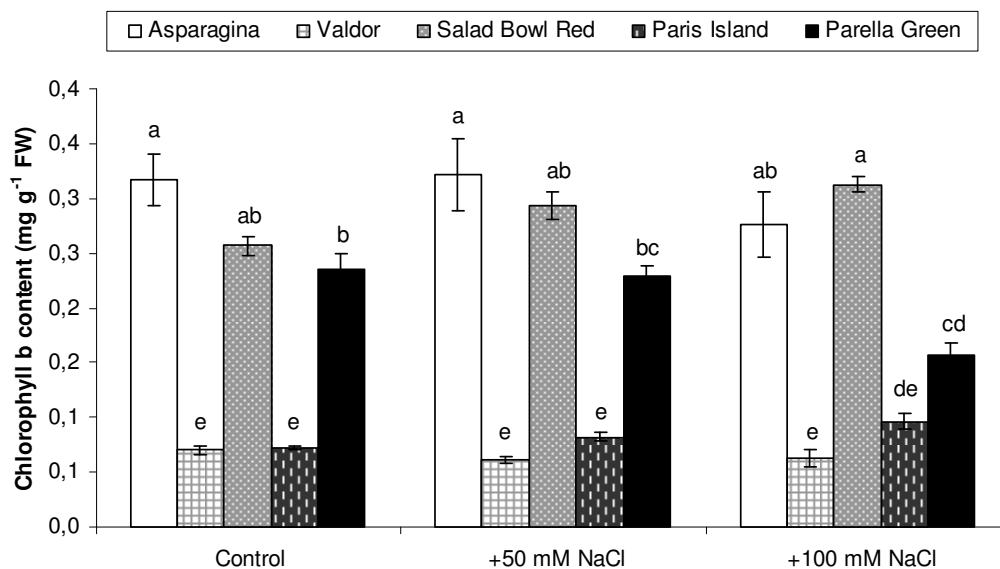


Fig. 19 Efectele stresului salin asupra concentrației de clorofilă *b* în frunzele de la cinci cultivare de salată

Reducerea cantității pigmentilor fotosintetici poate fi explicată prin inhibarea procesului de biosinteză sau prin degradarea accentuată a acestora. Alte rapoarte confirmă faptul că conținutul de clorofilă a fost redus ca răspuns la stresul de salinitate (Tort și Turkyilmaz, 2004; Siler *et al.*, 2007). Rezultatele noastre corespund în general acestor constatări, deși în cazul soiurilor Paris Island și Valdor stresul salin nu a redus semnificativ concentrația pigmentilor asimilatori, fapt ce poate fi considerat o manifestare a sensibilității reduse a sistemului de pigmenți antenari față de stresul salin.

Influența stresului salin asupra parametrilor fluorescenței clorofiliene induse

Cea mai modernă metodă de investigare a randamentului energetic al fotosintezei este cea a determinării parametrilor fluorescenței clorofiliene induse (de tip convențional și modulată). Aceasta este o metodă sensibilă, nedistructivă, aplicabilă *in situ*, prin care se poate evidenția locul și modul de acțiune a diferiților factori de stres la nivelul aparatului fotosintetic din membranele tilacoidale ale cloroplastelor.

A fost urmărită fluorescența inițială (F_0), fluorescența maximă (F_m), fluorescența maximă modulată (F_m'), fluorescența de echilibru (F_s), indicele de vitalitate ($RFD = (F_m - F_s) / F_s$) și cele două indicatoare energetice de bază ale fotosintezei: randamentul cuantic potențial (F_v / F_m) și randamentul cuantic efectiv al sistemului fotochimic II (Φ_{PSII}) (Tab. 1).

La cele cinci soiuri de salată expuse stresului de salinitate nu au fost detectate schimbări semnificative în parametrii fluorescenței clorofilene induse măsurate pe frunze intacte complet dezvoltate. Probabil că tratamentul de 10 zile cu 100 mM NaCl nu are nici un efect dăunător asupra funcționării normale a aparatului fotosintetic (acesta fiind rezistent la stresul osmotic). Acest lucru poate fi benefic pentru plante, fiindcă dacă eficiența energetică a reacțiilor fotochimice nu este redusă, producția de energie prin fotosinteză poate să compenseze pentru alte daune funcționale cauzate de stresul salin. În general, o mare parte a clorurii de sodiu din mediul extern rămâne la nivelul rădăcinii, iar din partea care se translocă prin fluxul de transpirație în lungul vaselor lemnoase, cea mai mare proporție rămâne în spațiile pereților celulari, respectiv este preluată de vacuole, astfel încât cloroplastele rămân relativ bine protejate de efectele osmotice și ionice nefavorabile ale stresului de salinitate. Aceasta este și explicația faptului că influențele stresului salin asupra fotosintezei sunt cunoscute îndeosebi din experimente efectuate pe suspensii de cloroplaste izolate sau pe fragmente foliare lipsite de epidermă, în condiții care nu se pot extrapola cu cele existente în mod natural. Din acest punct de vedere, putem constata o rezistență sporită a funcționării aparatului fotosintetic la stresul salin, care afectează preponderent alte procese fiziologice ale plantelor (transportul apei, schimburile de gaze, procele de creștere și dezvoltare ontogenetică etc.).

Tab. 1: Influența stresului salin asupra diferiților parametri ai fluorescenței clorofilene induse la cinci cultivare de *Lactuca sativa*

Cultivars	Fs	Fm'	Φ PSII	Fo	Fm	Fv/Fm	Fm/Fo	(Fm-Fs)/Fs
<i>Asparagina</i>								
Ø (control)	549,8	1354,8	0,59	327,4	2148,0	0,85	6,56	2,90
50mM NaCl	586,0	1488,4	0,61	295,0	1976,2	0,85	6,69	2,37
100mM NaCl	461,0	1252,6	0,63	262,6	1751,0	0,85	6,66	2,79
<i>Valdor</i>								
Ø	576,0	1257,8	0,54	234,0	1546,4	0,85	6,60	1,68
50mM NaCl	482,2	1190,8	0,59	258,6	1750,8	0,85	6,77	2,63
100mM NaCl	559,5	1353,2	0,59	267,2	1697,5	0,84	6,35	2,03
<i>Salad Bowl Red</i>								
Ø	428,8	1033,6	0,59	219,2	1360,8	0,84	6,20	2,17
50mM NaCl	397,8	927,2	0,57	193,0	1301,6	0,85	6,74	2,27
100mM NaCl	398,6	930,8	0,57	199,5	1241,1	0,83	6,22	2,11
<i>Paris Island</i>								
Ø	534,3	1547,0	0,66	182,0	1418,3	0,88	7,79	1,65
50mM NaCl	489,4	1435,6	0,66	172,7	1346,2	0,88	7,79	1,75
100mM NaCl	501,2	1460,8	0,66	239,2	1741,0	0,86	7,27	2,47
<i>Parella Green</i>								
Ø	887,2	1744,6	0,49	337,	1974,8	0,83	5,85	1,22
50mM NaCl	681,8	1571,0	0,56	286,4	1797,0	0,84	6,27	1,63
100mM NaCl	699,0	1555,0	0,55	412,8	2222,4	0,81	5,38	2,17

Nivelul de peroxidare a lipidelor membranare în frunzele de salată expuse la stresul de salinitate

Cultivarele Asparagina și Paris Island au fost alese pentru stabilirea nivelului de peroxidare a acizilor grași nesaturați în lipidele membranare foliare, fiind cele mai diferite două soiuri în ceea ce privește toleranța față de stres salin (Fig. 20.).

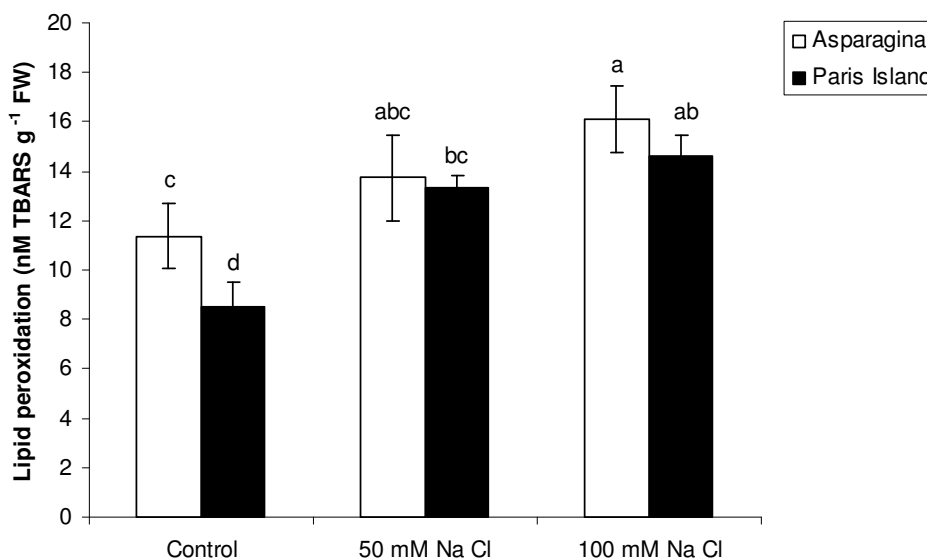


Fig. 20. Gradul de peroxidare a lipidelor membranare din frunzele a două soiuri de salată expuse la stresul de salinitate

Deși la ambele soiuri expuse la stresul salin gradul de peroxidare a lipidelor a crescut, această creștere a fost foarte asemănătoare. Ca urmare, acest parametru nu poate fi folosit ca marker biochimic pentru identificarea gradului de toleranță la stresul salin în cazul diferitelor soiuri de salată. Acest lucru reflectă faptul că peroxidarea lipidelor membranare este la soiurile de salată mai degrabă o manifestare generală a efectelor oxidative secundare ale salinității, iar gradul acestuia depinde de intensitatea și durata stresului, dar nu variază intraspecific.

CONCLUZII

Dintre cultivarele de salată investigate, Paris Island a prezentat toleranța cea mai ridicată față de stresul salin, în timp ce Asparagina a fost cea mai sensibilă la salinitatea ridicată. Acest fapt este susținut de o creștere mai accentuată a biomasei, de o reducere mai moderată a conductanței hidrice radiculare și a conductivității stomatice, precum și de un conținut de prolină mai ridicat la cultivarul Paris Islanda expus la stresul de salinitate. În consecință, pentru cultivare zonele cu salinitate ridicată recomandăm soiul Paris Island.

În condiții hidroponice, la toate cele cinci soiuri de salată, după zece zile de expunere la 100 mM NaCl, efectul osmotic al stresului de salinitate încă predomină față de efectul de toxicitate ionică.

La salată excluderea ionilor de Na^+ nu este principalul mecanism pentru contracararea salinității excesive a mediului. În schimb, sechestrarea sodiului în vacuole reprezintă principalul mecanism de apărare antistres. Acest lucru nu era cunoscut anterior pentru plantele de cultură sensibile de sare.

La soiurile de salată expuse la stres salin conținutul ionilor de potasiu și de calciu a fost redus în corm și în rădăcină, în timp ce cantitatea acestor cationi a fost mai ridicată în seva brută xilemică, care reprezintă un depozit de rezervă pentru aceste macroelemente ale nutriției minerale, aflate în antagonism cu ionii de sodiu. Acest fapt, de asemenea, nu a fost încă raportat în literatura de specialitate.

În cazul diferitelor cultivare de salată conductanța hidrică radiculară s-a dovedit a fi un bun indicator fiziologic al halotoleranței, iar creșterea conținutului de prolină liberă este un marker biochimic adecvat pentru selectarea varietăților mai puțin sensibile la salinitatea excesivă a mediului.

Ca indicator fiziologic, energia germinativă a semințelor poate fii folosită pentru identificarea soiurilor mai tolerante față de stresul salin, precum și pentru stabilirea corectă a intervalului de concentrație salină în cazul diferitelor soiuri de salată cultivate în condiții hidroponice.

Conținutul foliar de glucide hidrosolubile simple, în contrast cu datele din literatură referitoare la alte cormofite, nu au fost modificate semnificativ în urma expunerii la salinitate, reflectând faptul că salata nu utilizează glucide simple pentru osmoreglaj.

Gradul de peroxidare a acizilor grași nesaturați în lipidele membranare nu este proporțional cu gradul de salinitate, ceea ce indică faptul că în cazul salatei, stresul oxidativ, ca efect secundar al stresului de salinitate, este mai puțin pronunțat decât în multe alte plante investigate până acum pentru toleranța la salinitate.

Descrescerea conductivității stomatice este în corelație cu sensibilitatea la stresul salin, în timp ce randamentul cuantic efectiv al fotosintezei este rezistent față de expunerea la salinitate pe o durată mai scurtă.

Descoperirile noastre contribuie la o mai bună înțelegere a reacțiilor glicofitelor față de stresul salin și pot oferi cultivatorilor o metodă științifică eficientă de selectare a unor soiuri cu diferite grade de toleranță față de salinitatea crescută.

Investigații suplimentare pot duce o posibilă aplicare a soiurilor halotolerante în fitoremedierea solurilor saline, precum și în teste biologice pentru determinarea nivelului de salinitate a solului. Cultivarul Paris Island poate fi recomandat pentru cultivare în zonele afectate de salinitate crescută, cu precizarea că experimentele în câmp ar trebui să le completeze pe cele întreprinse în studiul de față.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Alberico, G.L., Cramer, G.R. (1993). Is the salt tolerance of maize related to sodium exclusion? I. Preliminary screening of seven cultivars. *J. Plant Nutr.* 16: 2289-2303.
- Amtmann, A., Sanders, D. (1999). Mechanisms of Na⁺ uptake by plant cells. *Adv. Bot.* 29: 75-112.
- Ashraf, M. (1990). Organic substances responsible for salt tolerance in *Eruca sativa*. *Biol. Plant.* 36: 255-259.
- Ashraf, M., Mcneilly, T. (1990). Responses of four *Brassica* species to sodium chloride. *Environ. Exp. Bot.* 30: 475-487.
- Ashraf, M., Fatima, H. (1995). Responses of some salt tolerant and salt sensitive lines of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Acta Physiol. Plant.* 17: 61-71.
- Azevedo-Neto, A.D., Tabosa, J.N. (2000). Salt stress in maize seedlings: II. Distribution of cationic macronutrients and it's relation with sodium. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 4: 165-171.
- Azevedo-Neto, A.D., Prisco, J.T., Enéas-Filho, J., Lacerda, C.F., Silva, J.V., Costa, P.H.A., Gomes-Filho, E. (2004). Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. *Braz. J. Plant Physiol.* 16: 31-38.
- Bartels, D., Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 24: 23-58.
- Cabanero, F.J., Carvajal, M. (2007). Different cation stresses affect specifically osmotic root hydraulic conductance, involving aquaporins, ATPase and xylem loading of ions in *Capsicum annuum* L. plants. *J. Plant Physiol.* 164: 1300-1310.
- Carvajal, M., Cerda, A., Martínez, V. (2000). Does calcium ameliorate the negative effect of NaCl on melon root water transport by regulating water channel activity? *New Phytol.* 145: 439-447.
- Coons, J.M., Kuehl, R.O., Simons, N.R. (1990). Tolerance of ten lettuce cultivars to high temperature combined with NaCl during germination. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 115: 1004-1007.
- Cram, W.J. (1976). Negative feedback regulation of transport in cells. The maintenance of turgor, volume and nutrient supply, In: U. Luttge, M.G. Pitman (Ed.), *Encyclopaedia of Plant Physiology*, pp.284-316, New Series, vol. 2, Springer-Verlag, Berlin.
- Dajic, Z. (2006). Salt stress. In: K.V Madhava Rao, A.S. Raghavendra and K. Janardhan Reddy (Ed.), *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance*, pp. 41-99, Springer, Dordrecht.
- Demir, M., Aril, I. (2003). Effects of different soil salinity levels on germination and seedling growth of safflower. *Turkish. J. Agric.* 27: 221-227.
- Eraslan, F., Inal, A., Savasturk, O., Gunes, A. (2007). Changes in antioxidative system and membrane damage of lettuce in response to salinity and boron toxicity. *Sci. Hortic.* 114: 5-10.
- Flowers, T.J., Colmer, T.D., (2008). Salinity tolerance of halophytes. *New Phytol.* 179: 945-963.
- Flowers, T.J., Troke, P.F., Yeo, A.R. (1977). The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 28: 89-121.

- Glenn, E.P., Brown, J.J., Blumwald, E. (1999). Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Crit. Rev. Plant Sci.* 18: 227-255.
- Greenway, H., Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31: 149-190.
- Hajlaoui, H., El Ayeb, N., Garrec, J.P., Denden M. (2010). Differential effects of salt stress on osmotic adjustment and solutes allocation on the basis of root and leaf tissue senescence of two silage maize (*Zea mays* L.) varieties. *Ind. Crops Prod.* 31: 122-130.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., Bohnert, H.J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Mol. Biol. Plant Physiol.* 51: 463-499.
- Hu, Y., Burucs, Z., von Tucher, S., Schmidhalter, U. (2007). Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves of maize seedlings. *Environ. Exp. Bot.* 60: 268-275.
- Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., Sánchez-Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiol. Plant.* 84: 67-72.
- James, R.A., von Caemmerer, S., Condon A.G., Zwart A.B., Munns, R. (2008). Genetic variation in tolerance to the osmotic stress component of salinity stress in durum wheat. *Funct. Plant Biol.* 35: 111-123.
- Jeannette, S., Craig, R.J., Lynch, P. (2002). Salinity tolerance of phaseolus species during germination and early seedling growth. *Crop Sci.* 42: 1584-1594.
- Jones, M.M., Osmond, C.B., Turner, N.C. (1980). Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficit. *Aust. J. Plant Physiol.* 7: 193-205.
- Jones, M. M., Turner, N. C. (1978). Osmotic adjustment in leaves of *Sorghum* in response to water deficits. *Plant Physiol.* 61: 122-126.
- Kohler, J., Hernandez, J.A., Caracava, F., Roldan, A. (2009). Induction of antioxidant enzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of lettuce to severe salt stress. *Environ. Exp. Bot.* 65: 245-252.
- Kristkova, E., Dolezalova, I., Lebeda, A., Vinter, V., Novotna, A. (2008). Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources, *Hortic. Sci.* 35(3): 113-129.
- Lebeda, A., Ryder, E.J., Grube, R., Dolezalova, I., Kristkova, E., (2007). Lettuce (*Asteraceae*; *Lactuca* spp.). In: R.J. Singh (Ed.), Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement, Vol. 3, Vegetable Crops, pp. 377-472, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Lu, C., Qiu, N., Wang, B., Zhang, J. (2003). Salinity treatment shows no effects on photochemistry, but increases the resistance of photosystem II to heat stress in halophyte *Suaeda salsa*. *J. Exp. Bot.* 54: 851-860.
- Mansour, M.M.F., Salama, K.H.A., Ali, F.Z.M., Abou Hadid, A.F. (2005). Cell and plant responses to NaCl in *Zea mays* L. cultivars differing in salt tolerance. *Gen. Appl. Plant Physiol.* 31: 29-41.
- Martinez-Ballesta, M.C., Martinez, V., Carvajal, M. (2000). Regulation of water channel activity in whole roots and in protoplasts from roots of melon plants grown under saline conditions. *Aust. J. Plant Physiol.* 27: 685-691.
- Mittler, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends Plant Sci.* 11: 15-19.

- Morant-Manceau, A., Pradier, E., Tremblin, G. (2004). Osmotic adjustment, gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale and its parental species under salt stress. *J. Plant Physiol.* 161: 25-33.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25:239-250.
- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167: 645-663.
- Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.
- Muries, B., Faize, M., Carvajal, M., Martínez-Ballesta, M.C. (2011). Identification and differential induction of the expression of aquaporins by salinity in broccoli plants. *Mol. Biosyst.* 7(4): 1322-1335.
- Nasri, N., Kaddour, R., Rabhi, M., Plassard, C., Lachaal, M. (2010). Effect of salinity on germination, phytase activity and phytate content in lettuce seedling. *Physiol. Plant.* 33(3): 935-942.
- Pasternak, D., De Malach, Y., Borovic, I., Shram, M., Aviram, C. (1986). Irrigation with brackish water under desert conditions. IV. Sal tolerance studies with lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agric. Water Manag.* 11: 303-311.
- Pessaraki, M. and Szabolcs, I. (1994). Soil salinity and sodicity as particular crop stress factors. In: M. Pessaraki (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*. pp. 1-15, Marcel Dekker, New York.
- Rajendran, K., Tester, M., Roy, S.J. (2009). Quantifying the three main components of salinity tolerance in cereals. *Plant Cell Environ.* 32: 237-249.
- Sairam, R.K., Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Curr. Sci.* 86: 407-412.
- Shabala, S., Shabala, L., Cuin, T., Pang, J., Percey, W., Chen, Z., Conn, S., Eing, C., Wegner, L. (2010). Xylem ionic relations and salinity tolerance in barley. *Plant J.* 61: 839-853.
- Siler, B., Misic, D., Filipovic, B., Popovic, Z., Cvetic, T. Mijovic, A. (2007). Effects of salinity on in vitro growth and photosynthesis of common centaury (*Centaurea erythraea* Rafn.). *Arch. Biol. Sci.* 59(2): 129-134.
- Tort, N., Turkyilmaz, B. (2004). A physiological investigation on the mechanisms of salinity tolerance in some barley culture forms. *J.F.S.* 27: 1-16.
- Turan, M.A., Kalkat, V., Taban, S. (2007). Salinity-induced stomatal resistance, proline, chlorophyll and ion concentrations of bean. *Int. J. Agric. Res.* 2(5): 483-488.
- Turkan, I., Demiran, T. (2009). Recent development in understanding salinity tolerance. *Environ. Exp. Bot.* 67: 2-9.
- Verbruggen, N., Hermans, C., (2008). Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids* 35: 753-759.
- Walia, H., Wilson, C., Condamine, P., Liu, X., Ismail, A.M., Zeng, L., Wanamaker, S.I., Mandal, J., Xu, J., Cui, X., Close, T.J. (2005). Comparative transcriptional profiling of two contrasting rice genotypes under salinity stress during the vegetative growth stage. *Plant Physiol.* 139: 822-835.
- Wyn-Jones, R.G., Storey, R., Leigh, R.A., Ahmad, N., Pollard, A. (1977). A hypothesis on cytoplasmic osmoregulation. In: E. Marre, O. Cifferi (Ed.), *Regulation of Cell Membrane Activities in Plants*, pp. 121-136, Elsevier, Amsterdam.
- Yokoi, S., Bressan, R.A., Hasegawa, P.M. (2002). Salt stress tolerance of plants. *JIRCAS Working Report*, 25-33.

PUBLICAȚII ALE AUTORULUI DIN DOMENIUL TEZEI

- Fodorpataki L., Nagy K., Bartha L., **Bartha Cs.** (2008): Comparison of halotolerance of lettuce varieties adapted to low and high temperature, based on ecophysiological characteristics. In: Orosz, Z., Szabo, V., Molnar, G., Fazekas, I. (eds.): Environmental protection and preservation of nature, Debrecen (Hungary), 185-191.
- **Bartha Cs.**, Fodorpataki L., Popescu, O. (2009): Antioxidants in two lettuce varieties exposed to salt stress, *Rom. J. Biochem.* 46: 134-135.
- **Bartha Cs.** (2009): Sóstressz által előidézett életműködési változások salátafajtáknál (Physiological changes induced by salt stress in lettuce cultivars), Volume of *Xth RODOSZ Conference*, Cluj-Napoca, 356-367.
- **Bartha Cs.**, Fodorpataki L., Nagy E., Keresztes Zs. Gy., Székely Gy., Popescu, O. (2010): Photosynthesis and water relations of leaf cells exposed to salt stress, *Annals Rom. Soc. Cell Biol.* 15(1): 211-218.
- **Bartha Cs.**, Fodorpataki L., Székely Gy., Popescu, O. (2010): Physiological diversity of lettuce varieties exposed to salinity stress, *Contrib. Bot.* 45: 47-56.
- **Bartha Cs.**, Martinez Ballesta, M. C., Fodorpataki L., Popescu, O., Carvajal, M.: Screening parameters for salt stress tolerance of lettuce cultivars, based on physiological and biochemical responses, *Curr. Op. Biotechnol.* 22(1): 136-137.
- **Bartha Cs.**, Fodorpataki L., Martinez-Ballesta, C. M., Popescu, O., Carvajal, M. (2011): Salt stress reactions of lettuce cultivars, revealed by physiological and biochemical parameters, *Sci. Horticult.*, IF 1.482 (predat pentru publicare)

ALTE PUBLICAȚII ALE AUTORULUI

Cărți:

1. Fodorpataki L., Szigyártó L., **Bartha Cs.** (2009): *Növénytani ismeretek (Biologia plantelor)*, ediția a 2-a, Ed. Scientia, Cluj-Napoca, 248 pag., ISBN 978-793-1970-12-7.
2. Fodorpataki L., Papp J., **Bartha Cs.**, Keresztes Zs. Gy. (2010): *Növényélettan és ökofiziológia laboratóriumi gyakorlatok (Lucrări de laborator în fiziologia și ecofiziologia plantelor)*, Cluj University Press, Cluj-Napoca, 255 pag., ISBN 978-973-595-109-2.

Articole:

- Fodorpataki L., **Bartha Cs.**, Demeter Sz. J., Turoczy Z. (2003): Interactive effects of hypoxia, low light stress and different carbon sources on photosynthetic parameters of the green alga *Scenedesmus intermedius* Chod., *Contrib. Bot.* 38(1): 105-111.
- Fodorpataki L., **Bartha Cs.** (2003): Káros oxigénformák által előidézett stresszhatások és ezek leküzdése élő rendszerekben (Oxidative stress induced by harmful oxygen derivatives and mechanisms of antioxidative protection), *Firka* (Cluj-Napoca) 12(5): 187-191.
- Fodorpataki L., **Bartha Cs.** (2004): Salt stress tolerance of a freshwater green alga under different photon flux densities, *Studia Univ. Babeş-Bolyai, Biologia*, 49(2): 85-94.
- Fodorpataki L., **Bartha Cs.**, Keresztes Zs. Gy. (2009): Stress-physiological reactions of the green alga *Scenedesmus opoliensis* to water pollution with herbicides, *Analele Univ. Oradea, Fasc. Biologie*, 16(1): 51-56.
- Keresztes Zs. Gy., Somogyi B., Boros E., Szekely Gy., **Bartha Cs.**, Nagy E., Dragos, N., Voros L. (2010): Picoplankton in soda lakes of the carpathian basin, *Contrib. Bot.* 45: 47-56.
- Fodorpataki L., Keresztes Zs. Gy., **Bartha Cs.**, Barna Sz. (2010): Bioindication of water pollution in the Somes River using molecular and physiological parameters of the green alga *Scenedesmus opoliensis* P. Richter, *Egypt. J. Phycol.* 12: 47-56.

REZULTATE PREZENTATE ÎN CONFERINȚE ȘTIINȚIFICE

- Sesiunea Științifică „Actualități în biologia vegetală”, ediția a XI-a, Cluj-Napoca, 9-10 mai 2003 (Fodorpataki L., **Bartha Cs.**, Demeter J.Sz., Turoczy Z. : Studiul toleranței față de stresul oxidativ în culturi de celule algale, pp. 36-37)
- International Conference of Romanian Society of Biochemistry and Molecular Biology, Cluj-Napoca, 30. IX.-3. X. 2009 (**Bartha Cs.**, Fodorpataki L., Popescu, O.: Antioxidants in two lettuce varieties exposed to salt stress)

- A 28-a Sesiune Științifică a SRBC, Constanța, 9-12 VI. 2010 (Keresztes Zs. Gy., Nagy E., **Bartha Cs.**, Barna Sz., Fodorpataki L.: Modificări fiziologice și biochimice în celule algale, ca bioindicatori ai calității mediului acvatic)
- Second International Conference on Phycology, Limnology and Aquatic Sciences, Port Said (Egypt), 14-16 Febr. 2010
- 15th International Congress of Photosynthesis, Beijing (China), 22-27. VIII. 2010 (**Bartha Cs.**, Fodorpataki L., Keresztes Zs. Gy., Szekely Gy., Popescu, O.: Influence of salt stress on photosynthesis of different lettuce cultivars)
- European Biotechnology Congress 2011, Istanbul (Turkey), 28. IX.-02. X. 2011 (Fodorpataki L., Keresztes Zs.Gy., **Bartha Cs.**, Marton A.L., Barna Sz.: Suitability of a green microalgal strain for wastewater bioremediation and biomass production)

PARTICIPĂRI ÎN PROIECTE DE CERCETARE

- „Comparative study of the ecophysiological basis of halotolerance and of acclimation to various light regimes in different crop plant species”, proiect finanțat de Institutul Programelor de Cercetare Sapiientia
- „Molecular phylogeny of picoalgae from Romanian salt lakes”, finanțat de CNCSIS (Proiect TE 306)