

6. táblázat. Különböző habitátum-preferenciájú ikerfajok az Alpok növényzetéből (Larcher 2001 nyomán)

Nemzetség	Mészkedvelő faj	Mészkerülő faj
<i>Achillea</i> (cickafark)	<i>atrata</i>	<i>moschata</i>
<i>Carex</i> (sás)	<i>firma</i>	<i>curvula</i>
<i>Gentiana</i> (tárnics)	<i>clusii</i>	<i>korchiana</i>
<i>Pedicularis</i> (kakastaréj)	<i>rostratocapitata</i>	<i>kernerii</i>
<i>Primula</i> (kankalin)	<i>auricula</i>	<i>hirsuta</i>
<i>Pulsatilla</i> (kökörcsin)	<i>alpina</i>	<i>sulphurea</i>
<i>Ranunculus</i> (boglárka)	<i>alpestris</i>	<i>glacialis</i>
<i>Rhododendron</i> (havasszépe)	<i>hirsutum</i>	<i>ferrugineum</i>
<i>Saxifraga</i> (kőtörőfű)	<i>moschata</i>	<i>exarata</i>
<i>Soldanella</i> (harangrojt)	<i>alpina</i>	<i>pusilla</i>

3. A nitrogéndús közeget kedvelő vagy **nitrofil** növények széles, sötétzöld, puha leveleket fejlesztenek, száruk hajlékony, kevésbé merev. Semleges vagy enyhén bázikus talajokon fordulnak elő, ahol sok a nitrát vagy az állati eredetű urea. Jól tűrik a túlzott nitrogéntrágyázás vagy a gépkocsik kipufogó gázából származó nitrogén-oxidok miatti eutrofizációt. Ilyen növény a disznóparéj, a csalán, a papsajtmályva, a maszlag, a libatop, a ragadós galaj, a gombvirág stb.

4. A nehézfémek nagyobb mennyiségét eltűrő növények vagy **metallofitonok** magas érc tartalmú kőzeteken, meddőhányókon, forgalmas utak mentén fejlődnek ki. Hatékonyan megkötik, immobilizálják a testükbe nagy mennyiségben bejutó fémionokat, így ezek nem jutnak el az enzimekhez, a membránfehérjékhez stb., ahol káros hatásukat kifejthetnék. Az ellenálló ökotípusok nem veszik fel a nehézfém fölösleget, a toleráns ökotípusok viszont fokozatosan testükbe gyűjtik, bioakkumulálják az egyes fémeket vakuólumaikban, sejtfalaikban, kelátképző szerves anyagokhoz kötötten. (Az ökotípus a sajátos helyi körülményekhez való alkalmazkodás során a fajon belül elkülönülő olyan változat, amely ökológiai igényét tekintve különbözik a faj azon populációitól, amelyek másfajta élőhelyeken fordulnak elő.) Ismertek, például, olyan lándzsás útifű, cérnatippan, juhcsenkesz, habszegfű és tarsóka ökotípusok, amelyek toleránsak a magas réz-, nikkel- vagy cinktartalomra és egyben bioakkumulálják is ezeket a fémeket a talaj vizes oldatából. A forgalmas utak mentén ólomrezisztens ökotípusokat sikerült azonosítani számos növényfaj esetében.

5. A savas vagy a bázikus talajokat kedvelő, **acidofil** vagy **bazofil** (alkalifil) növények ásványi táplálkozása az alacsony, illetve a magas pH értékek mellett nagy mennyiségben felvehető tápelemekkel való gazdálkodás sajátosságait mutatja. A legtöbb növény amfitoleráns, a semlegestől nem túl távoli, enyhén savas és enyhén bázikus (5,5-8 közötti pH-jú) közegből egyaránt felveszi a szükséges szervesetlen tápanyagokat. Az anyagcsere folyamatok sejtben belüli pH-igénye bármely növény esetében 6-7 körüli, bizonyos mértékű kilengések irányított protonszállításal

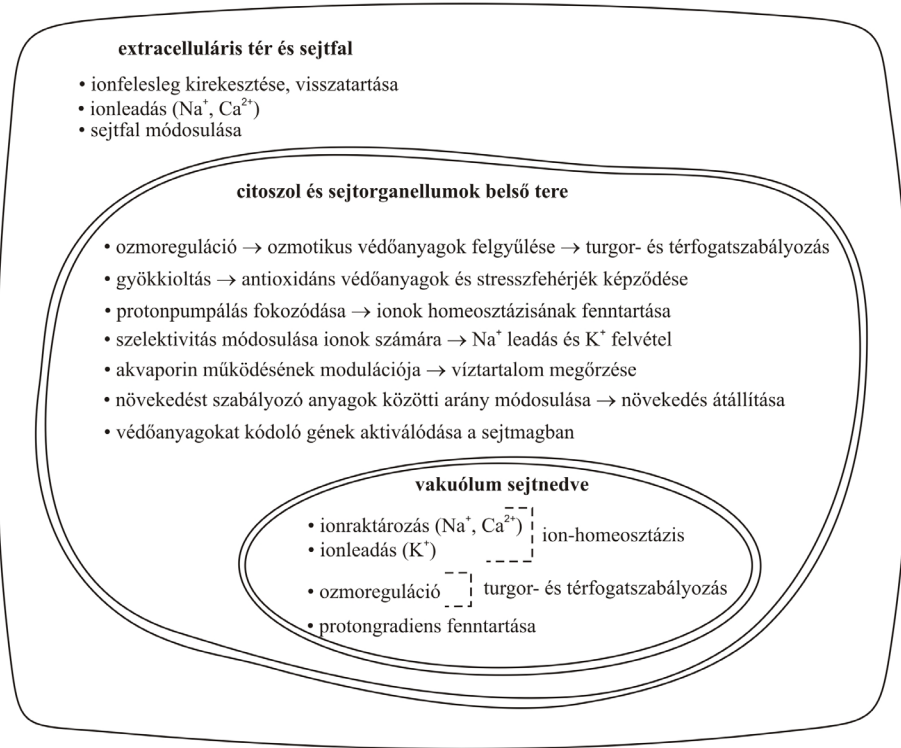
kompenzálhatók, a sejtek homeosztatisz pufferrendszere pedig a semleges körüli pH megőrzését biztosítja a citoplazmában, miközben a sejtfaak és a vakuólumok vizes közege savas vegyhatású. Savas talajoldatban sok az oldott alumínium, vas és mangán, kevés a magnézium, a kalcium, a kálium, a foszfor és a molibdén, a szervetlen nitrogénforrások közül pedig több az ammónium, mint a nitrát. Lúgos közegben sok a bór, ugyanakkor kevés a felvehető cink, mangán és vas. A savas talajok gyakori indikátornövénye számos rododendron faj, a csarab (főleg homokos, tápanyagokban szegény termőhelyeken), a számoóafa (a dél-európai makkiák vagy keménylombú cserjések jellegzetes növénye), valamint az *Avenella flexuosa*, mely 4-es pH-t is elvisel. Az acidofil és bazofil jelleg vízi növényeknél is jelen van, például a *Dunaliella salina* nevű egysejtű zöldalga tipikus bazofil faj, fejlődésének optimális pH-ja 11, rokon faja pedig, a *Dunaliella acidiphila* kifejezetten acidofil, pH-optimuma 1,5.

6. A sótűrő vagy **halofil** növények magas sótartalmú közegből veszik fel ásványi tápanyagaikat. Száraz területeken (sivatagokban, szikes sztyeppeken) a talaj vizes oldatában nagyon sok a szulfát, a karbonát, a magnézium és a kalcium, nedves területeken pedig (például tengerparton, sós tavak körül) a nátrium és a klorid van jelen nagy mennyiségekben. Azokat a halofitonokat, amelyek sótűrése a nátrium magas koncentrációjával függ össze, **nátrofil** növényeknek is nevezzük. A sós talajok egyben bázikus vegyhatásúak is (pH-juk 8 és 11 között van), ezért a halofil jellegük egymásra tevődnek a bazofil jellegekkel. A sótűrő növények általában pozsgás alkatúak (húsos, vastag szárakkal és levelekkel), leveleik gyakran redukált felületűek vagy sókiválasztó mirigyeket viselnek, sok lehet bennük a vörös antocianin pigment és alacsony a tömegegységre vonatkoztatott klorofilltartalmuk. Ilyen növényekre példa a sziksófű, a sóballa, a pozsgás zsázsa, a bárányparéj, a sziki őszirózsa, a laboda, a sziki ballagófű, a tengerparti mocsárerdőkben levő csavarpálma stb.

3.3.4. A halotolerancia élettani alapjai sós vizekben és szikes talajokon

A **nátrium-klorid túlsúlya** két fő úton hat a növényekben: a) egyrészt hipertónikus közegként vízvesztést, ezáltal pedig turgoresökkenést okoz, amire a növényi sejtek a szárazságtűrőskor észlelhető módon válaszolnak: kezdetben aktívan ionokat vesznek fel a külső vizes oldatból, majd elkezdnek nagy mennyiségben előállítani ozmotikusan aktív (vízben jól oldódó), kis molekulájú, elektromosan semleges szerves anyagokat, melyek segítségével helyreáll a belső turgor és a szükséges víztartalom; b) másrészt, a nátrium nagy mennyisége vegyi stresszorként hat, hiszen számos **enzimet gátol** (főleg azokat, amelyek természetes aktivátora a kálium ion), így megzavarja az anyagcserét; ennek kivédésére aktiválódnak azok a membrán-transzporterek (elsősorban a plazmamembrán és a tonoplaszt szintjén), amelyek protonpumpa működéséhez kapcsolt aktív transzporttal, **Na⁺/H⁺ antiport** útján eltávolítják a nátriumfőlösleget a citoszolból. A sóstressz tehát egyaránt jelent fizikai

(turgorcsökkenési, zsugorodási) és kémiai (nátriumtöbblet általi gátló hatásban megnyilvánuló) zavaró tényezőt a növények életműködései számára (36. ábra).



36. ábra. A talaj magas sótartalmához való alkalmazkodás fontosabb sejszintű folyamatai növényekben (Parida és Das 2005 után módosítva)

A sós közegben szükséges ozmoreguláció szempontjából algák esetében a legjobb út a glicerin felhalmozása, mert az **ozmolitikumok** közül ennek a bioszintézise igényeli a legkevesebb (molekulánként 30 ATP-vel egyenértékű) energiát, ugyanakkor kifejezetten vízdékony. Hajtásos növényekben a sótűrést biztosító leggyakoribb anatonotikus vegyület a glicin-betain, viszont ennek autotróf úton történő bioszintézise energiaigényesebb (molekulánként 81 ATP egyenértéke). Mivel a magas sókoncentrációt a növény vízhiányként (szárazsági stresszként) is érzékeli, a sótűrés kialakulásakor gyorsan emelkedik a sejtekben a szabad prolin szintje is. Közepes energiaigénnyel állít elő számos növény ozmotikusan aktív cukoralkoholokat (főleg szorbitolt és mannitolt), más esetekben viszont csak a sokkal energiaigényesebb (109 ATP / molekula) diszacharid szintézissel (trehalóz és szacharóz felgyűjtésével) képesek a növények helyreállítani belső turgornyomásukat és ionegyensúlyukat. Nemrég az is ismertté vált, hogy a fenti ozmolitikumok közül erős sóstressz vagy fénystressz esetében a **cukoralkoholoknak** és a trehalóznak káros szabad gyököket semlegesítő hatásuk is van.

A különböző növények más-más ozmotikusan aktív molekulákat termelnek változatos mennyiségekben, ez pedig sokféle képpen befolyásolja energiagazdálkodásukat és növekedésüket. A halotolerancia ismerete egy sajátos élőhelytípus fenntartásában és védelmében nyer közvetlen alkalmazást: a sós vízparti élőhelyek esetében.

A tengerparti övezeteket és folyótorkolatokat szegélyező sós vízi élőhelyek állandóan fejlődő és változó biotopok. Az ilyen, iszapos környezetben megtelepedő első növényeknek nagyon ingatag környezettel kell megbirkózniuk. Az iszapot, amely a vízáramlás változásával mozoghat, a nap java részében tengervíz borítja. Amint azonban szárazra kerül (rendszerint naponta kétszer), a napsugárzás kiszárítja, vagy a víztartalma hidegben éppenséggel megfagy. A levegővel való érintkezés révén ingadozik a hőmérséklete és a víz elpárolgása következtében nő a sótartalma. Ha azonban eső áztatja, a sótartalma csökken. Leggyakrabban tengerifű, sziksófű és Spartina jelenik meg először az ilyen, változékony környezetben. Ezek közül világszerte a Spartina (*Spartina anglica*) a legsikeresebb, mely magok és gyöktörzsdarabok által egyaránt megtelepedhet és terjedhet. Bár a sziksófű (*Salicornia sp.*) sótűrő és a kiszáradást meg a víz alá merülést jól elviselő, apró levelű pozsgás növény, nem köti meg olyan hatékonyan az iszapot, mint a Spartina.

A sótűrő növények megjelenése elősegíti az iszap rögzülését és fokozatos felhalmozódását. Amint az iszap felszíne egyre magasabbra emelkedik, olyan növények is megtelepednek rajta, amelyek kevésbé viselik el a vízzel való tartós borítást. Ilyen, például, a mézpázsit (*Puccinellia maritima*), a sziki útifű (*Plantago maritima*), a vörös csenkesz (*Festuca rubra*), a sziki szittyó (*Juncus gerardi*) és a bagolyfű (*Glaux maritima*). A sós mocsári tőzegen néhány rovarmegporzású, nektárt termelő sótűrő növény is megjelenik, például az istác (*Armeria maritima*) és a sóvirág (*Limonium vulgare*), amelyek rovarokat vonzanak az életközösségbe, ezeket pedig rovarévó madarak és egyéb állatok megtelepedése követi. A trópusi partmenti iszapok jellegzetes fái a mangrovet alkotó fajok. A mangrovemocsár a trópusi esőerdő sós vízparti megfelelője, de nem annyira változatos benne a növényi élet. A különböző mangrovefák zonálisan helyezkednek el a parton az iszap stabilitásától, a sótartalomtól, a vízmélységtől és a csapadék mennyiségétől függően.

A sós vízi élőhelyekre a part menti övezet hajózási vagy ipartelepítési hasznosítása jelenti a legnagyobb veszélyt, tekintve, hogy a sós talajnak rendszerint csekély a mezőgazdasági értéke. A több, mint 60 millió éves múlttal rendelkező mangrovemocsarak még nagyobb veszélyben vannak, mert rizsföldekké változtathatók, amint arra Délkelet-Ázsiában számos példa található. De mocsárerdők fáit fűtőanyagként is hasznosítják, a Fülöp-szigetek, Malajzia és Thaiföld mangrove mocsarai ezért is pusztulnak, változatos és egyedi élővilágukkal együtt. Pedig a trópusi tengerpart menti mocsárerdőknek védő szerepük is van: felfogják a hurrikánok által keltett árhullám jelentős részét és ezáltal védik a belső, lakott területeket. Ha a mangrovemocsarak tönkremennek, akkor nincs, ami megóvjá a partvidéket a viharoktól, ezért jelenleg, például India számos vidékén, mangrovet telepítenek.