

muskone and civetone. Then the Baur musk and other related nitro-derivatives of benzene are outlined, and finally the polycyclic musk compounds are mentioned. The fact that nowadays these compounds present a hazard for the environment is pointed out.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Ружичка, Улога мирисних материја у мом хемијском животном делу, Хем. Преглед 13 (1972) 58.
2. P. Kraft, J. A. Bajgrowicz, C. Deuss, G. Frater, Recent development in the chemistry of odorants, *Angew. Chem. Int. Ed.* 39 (2000) 2980-3010.
3. A. D. Fortineau, Chemistry perfumes your daily life, *J. Chem. Educ.* 81 (2004) 45.
4. T. Moore, Synthesis and fragrant properties of macrocyclic musks, preprint (2005).
5. A. Walters, D. Santillo, P. Johnston, Environmental and human health concerns relating to synthetic musk compounds, Greenpeace Research Laboratories (University of Exeter) Technical Note 07 (2005).



СВЕТЛАНА М. БОГО И СЛАВИЦА С. РАЖИЋ, Фармацеутски факултет, Универзитет у Београду, 11000 Београд (e-mail: [sdjogo@chem.bg.ac.yu](mailto:sdjogo@chem.bg.ac.yu); [snsn@sezampro.yu](mailto:snsn@sezampro.yu))

## ЕЛЕМЕНТИ НА ПУТУ ОД ЗЕМЉИШТА ДО БИЉАКА

### КОЛИКО СУ ЕЛЕМЕНТИ ЗНАЧАЈНИ ЗА ЖИВОТ БИЉАКА?

Минералне материје имају вишеструку улогу у животу биљака, али неке од најважнијих су да: улазе у састав бројних органских једињења, директно утичу на осмотски потенцијал ћелија, учествују у катализи биохемијских процеса, заштити од вируса и општем имунитету [1, 2], а то значи да посредно или непосредно учествују у свим животним процесима биљака, па су стога неопходне. До сада је у биљним ткивима утврђено присуство око 70 елемената, а њихова заступљеност у биљкама је различита и зависи од низа унутрашњих и спољашњих фактора (Табела 1).

Табела 1. Просечан садржај неких биогених елемената у сувој материји

Елемент	%	Елемент	%	Елемент	mg/kg	Елемент	mg/kg
C	45	Ca	0,5	Cl	100	Cu	6
O	45	Mg	0,2	Fe	100	Mo	0,1
H	6	P	0,2	Mn	50	Ni	0,1
N	1,5	S	0,1	Zn	20		
K	1,0			B	20		

На основу критеријума заступљености у биљкама елементи се често групишу у:

- а) макроелементе, чији је садржај у сувој материји биљке од 2 до 60 mg/g, искључујући C, H и O
- б) микроелементе, са садржајем од 1 µg/g до 1 mg/g у сувој материји биљке
- ц) ултрамикроелементе, чији је садржај мањи од 1 µg/g.

Оваква подела, међутим, не означава и њихову улогу у метаболизму биљака. Тако на пример, бакар, манган и цинк, иако присутни у малим количинама, имају незаменљиву улогу у животном циклусу биљака јер су компоненте ензима и коензима, неоп-

ходни су за раст, фотосинтезу и дисање [3]. Са друге стране, олово и кадмијум немају никакву физиолошку улогу, штавише, токсични су, а биљке их ипак усвајају [3, 4]. Важно је напоменути да и есенцијални елементи могу постати токсични уколико се прекорачи дозвољен опсег концентрација. Како механизам усвајања јона није сасвим селективан, биљке преко корена и надземних делова усвајају све за њих приступачне јоне и молекуле из хранљиве средине, иако сви нису и неопходни [4].

Из наведених разлога, најчешће примењивана подела елемената који су у саставу биљке је управо она по којој се ти елементи деле по значају:

1) неопходни, односно, есенцијални елементи (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, F, B, Mn, Cu, Zn, Cl, Mo и Ni) без којих биљка не може заокружити животни циклус, улога у животним процесима им је специфична и не могу се заменити другим елементима

2) корисни елементи (Na, Si, Co, Se и Al) без којих биљке могу завршити животни циклус, али делују стимулативно на раст и развој

3) неважни, односно сви остали елементи који се налазе у биљкама и који у малим концентрацијама не утичу на метаболизам, али у већој концентрацији могу деловати токсично као, на пример, Pb, Cd и Hg

Ова подела, међутим, нема општу важност јер је услед специфичног метаболизма биљних врста и значај појединих елемената различит. Односно, оно што је за једну биљку неопходно за другу је само корисно. Карактеристично је да поједине лековите биљке имају склоност ка акумулирању неких тешких метала, често бакра, јер ови учествују у функционисању лековитих принципа те биљке [5, 6]. С друге стране, за кантарион (*Hypericum perforatum*) је карактеристично да акумулира некористан и токсичан елемент кадмијум, па је за ову биљку чак и у нормативима за максимално дозвољен садржај Cd установљена граница од 0,2 mg/kg померена на 0,5 mg/kg [7].

Стога је можда најприхватљивија подела нутријената у биљкама на основу њихове улоге у физиолошким и биохемијским процесима, при чему је важно истаћи да ни ова класификација елемената нема општу важност, што је и разумљиво ако се има у виду њихова вишеструка улога у животним процесима, али и врло често специфична потреба појединих врста за неким елементима. На пример, биљке “акумулатори” или фиторемедијатори у одређеним условима могу имати знатно већи садржај неких микроелемената, па чак и ултрамикроелемената, него неког макроелемента.

### КОЈИ ФАКТОРИ УТИЧУ НА УСВАЈАЊЕ ЕЛЕМЕНАТА?

Усвајање елемената у биљкама је регулисано низом фактора који зависе од саме биљке, али и од услова животне средине.

**Генетска специфичност.** Главни фактор који контролише садржај минерала у биљкама јесте генетски потенцијал за исхрану различитим минералима. Испољава се у неједнакој осетљивости према недостатку или сувишку неког елемента, различитом садржају, расподели и способности за акумулацију појединих елемената.

Познато је да биљке са великим потенцијалом за усвајање Na и Mn (*Atriplex hortense* и *Lettuca*) могу садржавати и до 60 пута више натријума и мангана од биљака са ниским потенцијалом за усвајање ових елемената (*Fagopyrum* и *Nicotiana*), [8].

Специфичност врсте и генотипова у односу на минералну исхрану проистиче из њихове прилагођености одређеним еколошким условима, специфичности метаболизма, морфолошке и анатомске грађе.

**Особине кореновог система.** Корен има три важне функције: 1) везивање биљке за подлогу, 2)

усвајање и транспорт материја и воде, 3) синтеза фитохормона и других органских једињења [8]. Способност биљке да искористи земљиште, односно да усвоји нутријенте зависи од морфологије корена, што не подразумева само величину него и број и дужину коренових длачица, које површину корена могу повећати и до 10 пута. Између укупне површине корена и интензитета усвајања јона утврђена је позитивна корелација [9].

Поред улоге у усвајању елемената из земљишта, корен је и својеврстан филтер. Наиме, есенцијални елементи врло лако пролазе коренску баријеру, лако прелазе у надземне делове биљака и мобилни су кроз њих, док се токсични елементи задржавају, уколико нису присутни у превеликим концентрацијама [1]. Познато је да епидермис корена представља баријеру за усвајање олова [10], те да су бакар и хром такође слабо мобилни у надземне делове биљке [11]. С друге стране, најнижа концентрација мангана је управо у корену јер је овај елемент саставни део хлорофила и по својој физиолошкој улози је најпотребнији у листовима [2]. Цинк је такође елемент са карактеристично великом мобилношћу кроз биљку и slabим задржавањем у корену [12]. Међутим, иако токсичан и, у физиолошком смислу, биљци непотребан, кадмијум се врло лако креће ка надземним деловима [13].

Осим што усваја материје из земљишта корен може значајно и да измени хемијске, биолошке па и физичке особине ризосфере. Корен у спољашњу средину излучује органске киселине,  $H^+$ ,  $HCO_3^-$  и  $OH^-$  јоне, шећере и аминокиселине (Сл. 1). Ова једињења могу мењати киселост ризосфере, слоја земље у непосредном контакту са кореном али и градити комплексе са неорганским јонима, те тако утицати на њихову ремобилизацију [10].

Корен биљке



Слика 1. Исхрана биљака путем корена

**Обојине листа** Лист је биљни орган који поред корена има важну улогу у исхрани биљке јер су за њега везани фотосинтеза и процеси дисања. Лист може обављати неке од функција корена, усвајати воду, минерале и органску материју, штавише, код водених биљака листови су главно место усвајања минералних материја [14]. Истраживања су показала да не постоје битне разлике у механизму и селекцији усвајања материја путем листа и корена [9].

**Онтогенетско развиће биљака** Интензитет усвајања јона није исти у свим фазама живота биљке. У већини случајева биљке најинтензивније усвајају минералне материје у почетку раста, што потврђује и већи садржај пепела у младим биљкама у односу на старе [9].

Друга група фактора је везана за супстрат из кога биљке апсорбују хранљиве супстанце, односно за његову структуру и процесе који се дешавају унутар супстрата.

**Земљиште** је хетерогени систем сачињен из три фазе: чврсте, течне и гасовите. Чврста фаза је главни резервоар хранљивих материја и основа структуре земљишта. Наиме, структура земљишта се може дефинисати као организација земљишних честица у групе агрегата. Када 40-50% земљишне запремине заузимају поре између агрегата, земљиште се сматра добрим за узгој биљака јер може чувати воду и кисеоник и кроз њега се лако пробија корен. Управо је ова вода, односно водени раствор земљишта у порама чврсте фазе, течна фаза земљишта. Она је одговорна за транспорт нутријената у земљишту и биљке једино одатле могу узети хранљиве, али и штетне супстанце [15]. Земљишни ваздух је растворен у течной фази и производ је размене гасова између живих организама у земљишту и атмосферског ваздуха.

Све материје, које биљка може узети из земљишта, налазе се у сталној динамичкој равнотежи и под утицајем низа физичких, хемијских и биохемијских фактора, пролазе кроз процесе мобилизације (превођење у једињења приступачна за биљку) и

имобилизације (превођења у практично нерастворљиве и тиме биљци неприступачне облике (Сл. 2) [8]. С тим у вези важно је указати на факторе који утичу на мобилизацију и имобилизацију елемената у земљишту.

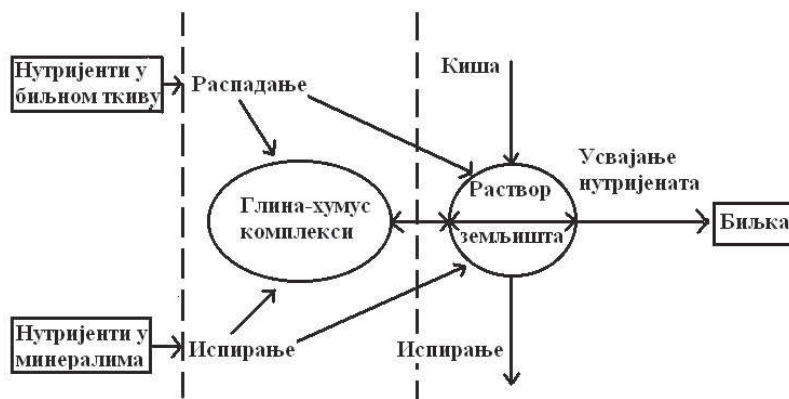
**Концентрација јона** у спољашњој средини је један од најугицајнијих фактора [9]. Усвајање јона расте повећањем концентрације јона у спољашњој средини [8] што указује да механизам усвајања јона није сасвим селективан и биљке могу усвајати знатно већу количину јона него што им је потребно за оптимално одвијање животних процеса. Доступност хранљивих супстанци, међутим, не зависи само од њихове концентрације у земљишту, него и од способности земљишта да одржава ту концентрацију, али и од способности биљке да селективно акумулира неке од елемената [15].

**Узајамно дејство јона** се може уочити приликом њиховог усвајања кореновим системом и у метаболизму биљака. Испољава се на два начина, као антагонизам и синергизам.

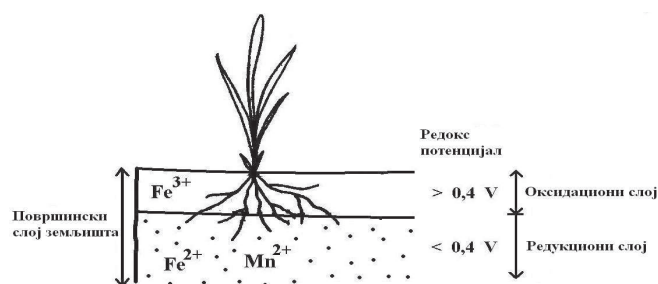
Апсорпција катјона је мање или више неспецифичан процес, зависи углавном од концентрације катјонских врста у медијуму за исхрану, па се зато може очекивати и неспецифично такмичење међу катјонским врстама за негативно наелектрисање преносиоца и тај процес се зове антагонизам [8]. Услед овакве појаве може доћи до промене односа садржаја појединих елемената и практично њиховог недостатка у биљкама.

Синергизам је супротна појава која се испољава тако што усвајање једног јона стимулише усвајање другог. На синергизам углавном утичу односи катјона и ањона.

**Кисеоник** је моћан оксиданс и његово присуство у земљишту је важно за многе метаболичке процесе укључујући и активно усвајање јона. Оксидацијом преводи С, Н, N, S, Fe, Mn у форму одговарајућих оксида или ањонских врста ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ , ...). Редокс потенцијал добро аерисаног земљишта износи око  $\pm 0,33 \text{ V}$  (Сл. 3).



Слика 2. Складиштење, губици и транспорт нутријената у земљишту



Слика 3. Схематски приказ редокс потенцијала у земљишту

Анаеробни услови почињу нестанком  $O_2$  и микробиолошком редукцијом  $NO_3^-$  у  $N_2$  и  $N_2O$ . Манган и гвожђе прелазе према редоследу својих редокс потенцијала у форме двовалентних јона. Првенствено се редукују хидратисани оксиди, али и кристалне форме као што су гетит и хематит. Редукција  $Fe^{3+}$  утиче на биолошке процесе микроорганизама који користе  $Fe_2O_3$  као акцептор електрона у процесу дисања [16]. Осим тога, двовалентни јони гвожђа и мангана су лако мобилни и штетни за биљке.

Друга фаза редукције је повезана са наглим падом редокс потенцијала који се препознаје по стварању сулфида,  $N_2$  и  $CH_4$ , али и једињења као што су бутерна и масне киселине.

**Киселост земљишта** има велики утицај на мобилност јона и на њихово усвајање од стране биљака. Што се земљишта тиче, треба направити разлику између стварног ацидитета, који представља концентрацију  $H^+$  јона у земљишном раствору, и потенцијалног ацидитета који подразумева и  $H^+$  јоне адсорбоване на колоиде земљишта [8].

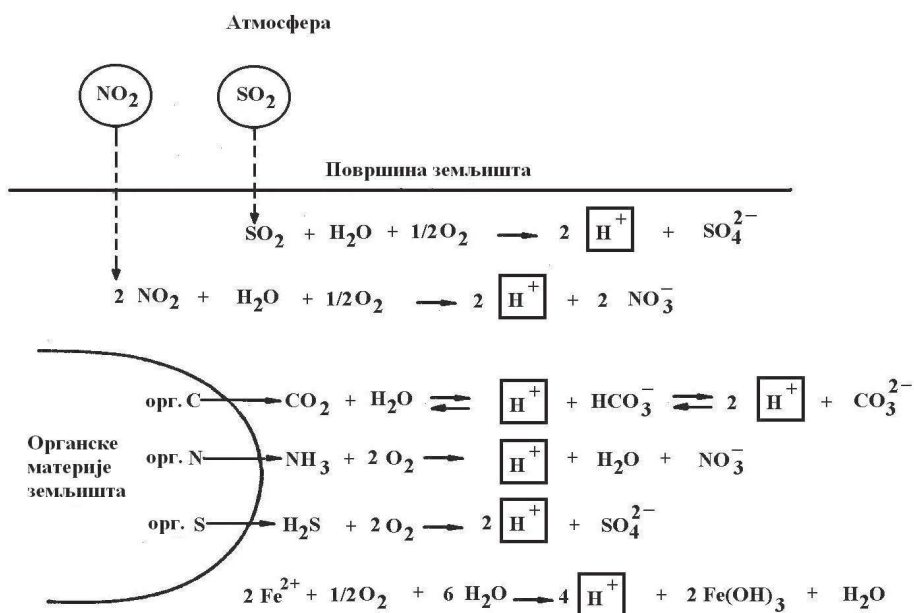
Потенцијални ацидитет је мера пуферског капацитета земљишта. Земљишта богата органским материјама и неорганичким колоидима имају велики пуферски капацитет. У зависности од концентрације водоничних јона разликују се кисела, неутрална и

базна земљишта. Оптимална рН вредност за раст различитих биљних врста није униформна. Биљке су способне да се „изборе” са варирањем рН и ефектима које ове промене производе у земљишту.

Многи процеси у земљишту могу узроковати повећање киселости (Сл. 4). Угљен-диоксид настао микробиолошком разградњом органске материје у контакту са водом гради угљену киселину. Разградњом органске материје настају  $NH_3$  и  $H_2S$ , а оба ова гаса се у аерисаном земљишту оксидују до јаких неорганичких киселина и утичу на смањење рН. Атмосферски  $SO_2$  и  $NO_2$  такође доводе до закишељавања земљишта, као и оксидације  $Fe^{2+}$  у  $Fe^{3+}$ .

Осим тога, корење биљака излучује водоничне и карбонатне јоне што је од великог значаја за литосферу и може променити утицај хемијских и биолошких процеса у овој зони.

Вредност рН земљишта има важан утицај на многе конституенте земљишта, нарочито на минерале, микроорганизме и корен биљака. Повећање концентрације водоничних јона узрокује испирања минерала и повећање растворљивости карбонатних, фосфатних и сулфатних соли што за последицу има ослобађање јонских врста као што су:  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  и  $Al^{3+}$ .



Слика 4. Приказ реакција које могу узроковати повећање киселости земљишта

Усвајање хранљивих материја је такође условљено рН вредношћу. Уопштено, биљке лакше усвајају анјоне, укључујући и нитрате и фосфате, у слабо киселим условима, а катјоне на неутралном и слабо базном рН [9]. При ниским рН вредностима (мањим од 3,0) мембране ћелија бивају оштећене и постају пропустљивије. Ово доводи до губитка нутријената, нарочито калијума, који дифундује из ћелија корена у земљишни раствор.

**Органске материје земљишта** имају велики капацитет „складиштења” метала, утичу на раст биљка и служе као незаменљив извор нутријената и енергије. Органске супстанце утичу на физичке и хемијске особине земљишта, стварају стабилне комплексе између органских полимера и минерала земљишта, што доприноси стабилизацији земљишне структуре, а утиче на порозност и садржај кисеоника. Процеси распадања органских материја утичу на редокс потенцијал и киселост, формирање органских киселина и  $\text{CO}_2$ . Негативно наелектрисање хуминских супстанци је важан фактор који утиче на капацитет измене катјона.

Важно је напоменути да стабилност комплекса метала и органских лиганата зависи од метала, врсте лиганда, рН и јонске силе. Капацитет сорпције органске супстанце зависи од количине негативног наелектрисања групе која се везује, што приближно одговара броју дисосованих карбоксилних и хидрокси-силних група. Осим великих молекула органских киселина и мали молекули (алифатичне и аминокиселине, полифеноли) као и фулвокиселине су укључене у формирање мобилних, хелатних комплекса са металима у земљишту. Хелати су врло стабилна једињења и њихово настајање је често праћено „извлачењем” катјона из кристалне решетке примарних и секундарних минерала, што катјоне чини приступачним за биљке. Шта више, саме биљке путем корена луче хелирајуће супстанце и на тај начин везују катјоне из дубљег земљишног хоризонта. Најстабилније хелате граде тешки метали, али им постојаност није једнака и опада у низу:  $\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Mg}$ .

Олово и бакар су обично везани за високомолекуларне фракције органске супстанце, па се тако скоро у потпуности уклањају из земљишног раствора копреципитацијом. С друге стране, цинк и кадмијум се углавном везују са органским молекулима средње молекулске масе градећи растворне комплексе, и тако премештају у земљишном профилу [13, 17].

**Температура и светлост** у знатној мери утичу на усвајање јона од стране биљака. При вишој температури је бржа синтеза једињења у чији састав улазе усвојени конституциони елементи, па се брже ослобађају места за која се могу везивати нови јони. Сем тога, температура и посредним путем утиче на усвајање јона, јер се са порастом убрзавају процеси фотосинтезе и ћелијског дисања у којима се образују енергетски богата једињења, што се опет одражава на брзину усвајања јона.

Светлост својим интензитетом, квалитетом и трајањем утиче, не само на усвајање јона, него и на њихово укључивање у метаболизам биљака јер утиче директно на интензитет фотосинтезе и дисање.

#### Abstract

#### ELEMENTS ON THEIR JOURNEY FROM THE SOIL TO PLANTS

Svetlana M. Đogo, Slavica S. Ražić, Faculty of Pharmacy, University of Belgrade, 11000 Belgrade (e-mail: sdjogo@chem.bg.ac.yu; sns@sezampro.yu)

Elements, as inorganic components in plants, with only 3% of total plant mass, are very important and, mostly essential for numerous metabolic functions. Plant uptake of the elements occurs mainly from the soil by root system, less with upper plant parts (flowers, leaves, stems...) and from that reason there is a very significant relation between those compartments, soil and plants. All the processes between, such as chemical, physical as well as biological too, are influenced by various factors and have to be (and definitely are) in a positive or negative correlations, all in order of accomplishing the plant living cycle.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bennett J. P., Chiriboga E., Coleman J., Waller D. M., *Sci. Tot., Environ.*, **246** (2000) 261-269
2. Ražić S., Onjia A., Potkonjak B., *J. Pharm., Biomed. Analysis*, **32** (2003) 845-850
3. Abou-Arab A. A. K., Kawther M. S., El Tantawy M. E., Badeaa R. I., Khayria N., *Food. Chem.*, **67** (1999) 357-363
4. Elles M. P., Blaylock M. J., Huang J. W., Gussman C. D., *Food Chem.*, **71** (2000) 181-188
5. Parmar V. S., Gupta A. K., Jha H. N., Varma P. N., Lohar D. R., *International Journal of Pharmacognosy*, **31** (1993) 324-326
6. Lemberkovic E., Czinner E., Szentmihalyi K., Balazs A., Szoke E., *Food Chemistry*, **78** (2002) 119-127
7. Ministarstvo zaštite životne sredine Republike Srbije, Strategija zaštite lekovitog bilja u Srbiji, Beograd, 1999
8. Mengel K., Kirkby A. E., Principles of Plant Nutrition, International Potash Institute, Switzerland (1987) 11-238, 427-601
9. Kastori, R., Fiziologija biljaka, Novi Sad, 1998.
10. Patra M., Comparative analysis of mercurials in higher plants in vivo, *J. Indian Bot. Soc.*, **79**, 133-138, 2000
11. Fitzgerald E. J., Caffrey J. M., Nesaratnam S. T., McLoughlin P., *Environ. Pollut.*, **132** (2003) 67-74
12. Doyle M. O., Otte M. L., *Environ. Pollut.*, **96** (1997) 1-11
13. Alfani A., Baldantoni D., Maisto G., Bartoli G., Virzo De Santo A., *Environ. Pollut.*, **109** (2000) 119-129
14. Queirolo F., Stegen S., Restovic M., Paz M., Ostapczuk P., Schwuger M. J., Munoz L., *Sci. Total Environ.*, **255** (2000) 75-84
15. Lozak A., Soltyk K., Ostapczuk P., Fijalek Z., *Sci. Tot. Environ.*, **289** (2002) 33-40
16. Munch J. C., Ottow J. C. G., *Sci. Soil-Bulletin AFES*, **3** (1983) 205-215
17. Wang X., Shan X., Zhang S., Wen B., *Chemosphere*, **55** (2004) 811-822