

Selektivní redukce oxidů dusíku amoniakem

Ve stručném nástinu je podán rozbor teoretických a některých praktických aspektů při řešení problematiky exhalací odpadních oxidů dusíku z výroby kyseliny dusičné metodou selektivní katalytické redukce.

Přehledně jsou uvedeny výsledky československého základního a aplikovaného výzkumu a jejich uplatnění při průmyslové realizaci uvedeného procesu, doplněné o popis provozního zařízení RENOX s udáním prakticky dosahovaných hodnot účinnosti procesu.

Alven-dato de la manuskripto: 6.3.1983

Scienca Revuo en 1984

Jam antaŭe (SR, 1982, 100), la prezidanto de ISAE atentigis la SR-abonantojn, ke — por povi vivi — nia revuo bezonas minimume 400-500 pagantajn membrojn. Ĉar daŭras la financa krizo de ISAE, en 1984 ni devos denove redukti la kajerojn tiel, ke aperos solaj du anstataŭ la normalaj kvar. Tamen, niaj legantoj ne malgajnos: rekompence ili ricevos la tre utilan eldonaĵon de Pola Esperanto-Asocio: **Bibliografio de la enhavo de Scienca Revuo (1949-1978) kun la Suplemento (1979-1982)**. La aŭtorino de la zorge kompilita verko estas **Irena Bednarz**. La 86-paĝa broŝuro, samformata kiel SR, povos esti bindita kun la du aperontaj kajeroj de la 35-a SR-volumo (1984).

Por ke nia revuo povu en 1985 reaperi normal-amplekse, ni turnas nin al la ISAE-membroj kun insista peto:

VARBU PLIAJN ABONANTOJN!

Redakcio

Sorbo kaj elimino de substancoj per aer-plantaj organoj

(Ekologia kaj geohemia signifo)*

Lev Vladimiroviĉ Medvedev** (Sovetio)

1. Enkonduko

La klasika biologio atribuis al la folio du funkciojn, tiujn de asimilado kaj transpirado. Sed jam ekde la komenco de la 18-a jarcento aperis unuaj donitaĵoj pri ĝia kapablo sorbi kaj elimini diversajn peorganikajn kaj organikajn substancojn, kaj tiamaniere partopreni en nutrado de la planto. Malgraŭ tiuj donitaĵoj, la triumfo de la **liebigea teorio** (1840) pri la minerala perradika nutrado por kelkaj jardekoj prokrastis agnoskon de la sorb-elimina kapablo kiel la tria gravega foli-funkcio. Kaj ĝis nun, scio pri multaj teoriaj kaj praktikaj aspektoj de tiu ĉi funkcio ne estas sur kontentiga nivelo.

2. Sorbo

La unuajn pruvojn pri sorbo kaj utiligo de mineralaj saloj tra la folio ni ŝuldas al *Davy* (1802) por $NH_4 NO_3$, al *Reinsch* (1871) por *P* kaj *K*, al *Bous-singault* (1978) por $CaSO_4$. Dank al skrupulaj eksperimentoj de la laste nomita aŭtoro (p. 394), kiu skribis, ke «sorbante likvan akvon, la folioj povas konduki en plant-organismon nutrajn substancojn... tenatajn en aer-suspensio kaj kaptatajn, solvatajn de roso», estis definitive pruvita kapablo de aer-plantaj organoj sorbi mineralajn substancojn. Baldaŭ la malkovro trovis vastan aplikon por «eksterradika nutrado» (la terminon proponis en 1903 *Ševirjev*) kaj por trakto de plantoj per pesticidoj, kaj lastatempe por fi-toindikado de atmosfera poluo (*Guderian* 1977, *Tukey k.a.* 1962).

* prelego (20.10.1983) en Moskva Sciencista Esperanto-Klubo (MSEKz)

** sciencisto, en Instituto por Akvoproblemoj, de Scienca Akademio de Sovetio, av. Mira, 196-144, 129128 MOSKVA

La lastaj esploroj evidentigis, ke bezono de planto pri *N*, *Cl*, *S* estas kovrata parte per ilia sorbo el atmosferaj precipitaĵoj kaj pri *Cl*, *S* ankaŭ el aero (*Guderian 1977*). Lige kun kresko de sulfurdioksido (SO_2) en la aero, sulfuro en plantoj pli kaj pli ofte akumuliĝas superflue. Tio kaŭzas unuflanke grandarean pereon de arbaroj. Aliflanke, superflua sulfuro neeviteble ellaviĝas per precipitaĵoj. Estas tre probable, ke ĝuste per tiu meĥanismo ĥloridaj kaj hidrokarbonataj precipitaĵoj post kontakto kun vegetaloj transformiĝas en sulfurajn. Precipe forte kreskas sulfurkvanto en trunkaj precipitaĵoj kaj ĝuste korko laŭ *Swieboda-Kalemba (1979)* estas bonega sorbilo de SO_2 . Sekve, aer-plantaj organoj plenumas gravan rolon de atmosfera puriganto, transformante venenajn gasojn SO_2 , HCl kaj aliajn acidajn substancojn je iliaj malpli danĝeraj saloj. La lastaj kun precipitaĵoj trafas grundon, tie ĝisfine neŭtraliĝas kaj ne fiksiĝante migras pluen tra riveroj al maroj.

3. Aktiva elimino

«Dumvivajn eliminaĵojn» (*Grodzinskij 1965*, p. 6) de la plantoj eblas dividi je aktivaj, kaŭzataj de normala vivofunkciado, kaj pasivaj — pro atmosferaj precipitaĵoj. Aktiva elimino okazas en formoj gasa (plejparte organikaj substancoj), likva (gutad-fenomeno) kaj solida (kristaloj de mineralaj saloj); la pasiva okazas en formo likva (organikaj kaj mineralaj substancoj).

Kvantoj da aktivaj eliminaĵoj estas tre grandaj: da neorganikaj sole kun transpirata akvo — ĝis 10-20 kg/ha (*Nemerjuk 1970*) kaj multe pli en la formoj likva kaj solida; da organikaj — ĝis 500 kg/ha per aerplantaj organoj. Se oni konsideras ankaŭ la perradikan eliminadon, tiam la kvantoj kompareblas kun rikolto (*Grodzinskij 1965*).

Por eliminado, planto liberiĝas de nenecesaj kaj malutilaj substancoj. Sed pli gravas elimino de substancoj biologie aktivaj: fitoncidoj, aromoleoj, vitaminoj, fermentoj. Ili helpas al fitocenozo defendi okupitan areon, stimulantante «amikajn» estaĵojn (ekz. aromoj logas insektojn, kiuj siavice fekundigas la planton) kaj malstimulante aŭ fortimigante la «malamikajn» konkurplantojn, malsanigajn bakteriojn, plantovorajn insektojn kaj eĉ grandajn animalojn. Multfojaj elimino kaj sorbo de la sama organika molekulo, analoge kun cikla migrado de mineralaj elementoj, ebligas paroli pri iaspeca ciklado de biologie aktivaj substancoj en biogeocenozo.

Konsidero de la ciklado estas signifa en agrikulturo, medicino kaj ĝeohemio. Laŭ komuniko de *Curtin k.a. (1974)*, koniferaj arboj kreskantaj su-

per mikroelemente riĉaj ercoj mem estas riĉigitaj per ili kaj eligas mikroelementojn en aeron kune kun organikaj volatilaj substancoj. Sekve per analizo de aerspecimenoj eblas malkovri la ercojn.

4. Pasiva elimino

Pasiva eliminado estas esplorita pli profunde. Tial ni analizu ĝin pli detale. Jam *Saussure (1804)* montris, ke folioj lavitaj per akvo enhavas malpli da saloj ol la nelavitaj. Poste oni trovis, ke akvogutoj sur folioj iĝas alkalaj kaj riĉiĝas je karbonatoj; ke plantoj de humidaj klimatoj kaj sezonoj estas malpli cindrohavaj ol tiuj de pli aridaj; ke kvanto da nutraj elementoj en folio varias dum vegetado, malgrandiĝante post pluvo (*Arens 1934, Lausberg 1935, Tukey 1970*). *Wehmer (1892)* estis la unua, kiu ligis tiujn diferencojn kun ellava efiko de akvo; *Mann-Wallace (1925)* donis al la fenomeno la nomon «*leaching*», t.e. **ellavo**, **lizo**, forigo de alkaloj. Tiu termino, plene respegulante la fenomenon mem, venkis la analogiajn: «*exosmosis*» de *Brooks (1916)*, «*lixiviation*» de *Wallace (1930)*, «*kutikuläre Exkretion*» de *Arens (1934)*, «*Stoffausscheidung*» de *Frey-Wyssling (1935)* — kaj ekde la 50-aj jaroj iĝis uzata de ĉiuj. Nuntempe, sub ellavo aŭ lizo oni komprenas «eligon de substancoj el plantoj per akvosolvaĵoj, tiaj kiaj pluvo, roso, nebulpluvo, nebulo... senkonsidere eliminan meĥanisman, fonton kaj naturon de ellavataj substancoj kaj ilian lokiĝon — interne aŭ surface de la planto» (*Tukey 1970*, p. 305).

Malgraŭ multaj atestoj, la fenomeno estis nerefuteble pruvita nur en la 50-aj jaroj dank' al metodo de markitaj atomoj. En radioizotopaj esploroj la plej grandan sukceson atingis la skolo de usonano *Tukey*, ekzameninta ĉ. 200 plantospeciojn de multaj naturaj zonoj. Estas malkovritaj jenaj leĝkonformejoj de interŝanĝaj reagoj inter la planto kaj la medio:

— Ĉiuj aeraj organoj de ĉiuj plantoj kapablas sorbi kaj elimini ajnan neorganikan aŭ organikan substancon.

— Intenseco de sorbo kaj elimino diferencas por diversaj substancoj aŭ por la samaj, sed en diversaj kondiĉoj, organoj kaj specioj.

— Laŭ sorbebleco kaj moviĝemo en plantoj (% de la izotop-kvanto metita sur fabfolion, mezurita post 24 horoj kaj donita laŭ malkresko de %), mineralaj elementoj dividiĝas je tre moviĝemaj (*N*, *Rb*, *K*, *Na*, *Sc*), moviĝemaj (*P*, *Cl*, *S*), parte moviĝemaj (*Zn*, *Cu*, *Mn*, *Fe*, *Mo*) kaj nemoviĝemaj (*B*, *Mg*, *Ca*, *Sr*, *Ba*). Analoge laŭ relativa ellavebleco (% de la kvanto en junaj fabfo-

lioj), la elementoj dividiĝas je ellaveblaj facile (24-45%: *Na*, *Mn*), meze (1-10%: *Ca*, *Mg*, *S*, *K*, *Sr*, *Y*) kaj malfacile (1%: *Fe*, *Zn*, *P*, *Cl*). El maljunaj folioj, la elementoj ellaviĝas samorde, krom *K*, kiu ekokupas la unuan lokon (Tukey k.a. 1962).

Totala ellavo povas atingi dum diurna pluvo 6-10% de la tuta seka foli-substanco, ellavo de cindraĵoj - 50%, *K* - 80%, *Na* - pli ol 100% pro alfluo el aliaj organoj (Arens 1934, Lausberg 1935, Manakov - Ušakova 1978).

— Jenaj faktoroj influas sorbon kaj eliminon de substancoj:

internaj	eksteraj
— plantaj tipo kaj specio	— trakta solvaĵo: pH
— planta organo	— ĥemiaj komponantoj
— ellavata substanco	— ilia koncentriteco
— karakterizoj de la folio:	— surfacaktivaj substancoj
— akvaltireco	— lumecgrado
— vakseco	— temperaturo aera (grunda)
— kutikla specifo	— interaga tempo
— harozeco	— pluv-kvanto kaj -intenseco
— kvanto da duktoj	— aer-humideco, roso
— fiziologia aĝo (fazo)	— nutrado en radika medio
— nutra stato de la planto	— difektoj (malsanoj, insektoj)
— fiziologiaj disordoj	— (meĥanikaj, klimataj, nutraj)

— Unuavice estas ellavataj superfluaĵoj elementoj de interĉela ŝanĝofunduso. Ili eliĝas tre rapide ĝis certa nivelo de koncentriteco, tial ĉiu plia pluvporcio ellavas malpli ol la antaŭa. Tamen la ellavo ne falas ĝis nulo, ĉar elĉerpiĝo de la elementoj en folio stimulas ilian perradikan sorbon kaj fluon al la lavata organo. Rezulte, el folioj surplantaj povaj ellaviĝi 2-3-oble pli multe ol el la forŝiritaj (Lausberg 1935, Tukey 1970).

— La ellavo konsistas el interŝanĝaj reakcioj sur la organo kaj (aŭ) rekta difuzo de substancoj en lavsolvaĵon tra specialaj kondukaj fadenoj en epidermo aŭ disŝiroj en kutikla tavolo. Por ellavo sufiĉas iomete malsekigi la folisurfaco, tial kvanto da precipitaĵoj estas malpli influa ol ilia daŭro. Precipe efike ellavas interrompata pluvo, ĉar alterna sekigo-malsekigo malgrandigas akvoreziston de la folisurfaco, maksimuman ĉe juna folio (Tukey 1970). Ĥemia konsisto de la precipitaĵoj ankaŭ influas. Elementoj, maldensigantaj la histojn (*K*, malpli *Na*), pligrandigas la ellavon kompare kun disti-

lita akvo, densigantaj (*Ca*), malgrandigas ĝin (Tukey 1970).

— Malpli ellavrezistaj estas folioj difektitaj, maljunaj, riĉe aŭ neekvilibre nutrataj per radikoj; harozaj, kun la surfaco akvaltira, maldike vaksita kaj kutiklita (Lausberg 1935, Tukey 1970). Pro tio el molfoliaj plantoj la ellavo estas pli forta ol el la durfoliaj, kaj el la foliĥavaj pli, ol el la pingloĥavaj. Ekz., en nordtajgaj kondiĉoj, el piceaj pingloj ellaviĝas 2-10%, el betulaj 4-19% de la sumo *K-Na-Ca-Mg-P* (kalkulita laŭ Manakov-Ušakova 1978 kaj Manakov-Nikonov 1981).

5. Rolo de la pasivaj eliminaĵoj

Estante ĉeno en sistemo de nutra ekvilibro en la planto, la ellavo — el ĝeneralaj biologiaj pozicioj — havas ne negativan, kiel iuj ankoraŭ opinias, sed pozitivan signifon. Ĉar dank' al tio la planto liberiĝas de tiuj malutilaj substancoj, kiujn ĝi ne povas elimini memstare (Tukey 1970). Krom tio, *B*, *Mg*, *Co*, *Ca*, *Sr* preskaŭ ne migras malsupren interne de la planto kaj tial redistribuiĝas kaj reutiliĝas en planto grandparte pro la ellavo per precipitaĵoj (Sisuev 1977, Tukey 1970). Supozeblas, ke nedisigebleco de akva kaj minerala nutrado de plantoj ĉe neceso transpiri kolosajn kvantojn da akvo, eĉ se ĝi estas preskaŭ sensala kaj parto de la saloj formigras atmosferen en kompleksoj kun akvovaporoj (Nemerjuk 1970) aŭ kun volatilaj organikaj substancoj (Curtin k.a. 1974), neeviteble kondukas al akumulado de mineralaj elementoj en korko kaj folioj. Ilian superfluan eblas kompari kun sedimento en tekaldrano. Ĉu ne plej prudente estus vidpunkte de la planto forigi helpe de pluvoj la sedimenton kaj tiamaniere ĝiajn komponantojn servigi al si denove?

Ĉiuj organikaj substancoj de la planto estas trovataj ankaŭ inter la ellavataj; dominas karbonhidratoj (Tukey k.a. 1962). Laŭ donitaĵoj de Vedrova (1980), 0-40% de akvosolvebla karbono en frondaj precipitaĵoj kaj 10-54% en la trunkaj apartenas al polifenoloj; 1-6% kaj 4-11% respektive — al organikaj acidoj. En trunkaj precipitaĵoj dominas nevolatilaj acidoj (50-95%): okzalata kaj citrata, en la frondaj — volatilaj (60-100%): acetata kaj formiata. Kaj la polifenoloj, kaj la acidoj, havas grandajn reduktajn kaj kompleksigajn kapablojn.

Ellavo da n. 10 - n. 100 kg/ha. jaro de organikaj substancoj donas al frondaj kaj trunkaj precipitaĵoj kvalite novajn ecojn de ĥemie kaj biologie aktivaj solvaĵoj, partoprenantaj en procesoj de bioregulado (Arens 1934, Grod-

zinskij 1965), pedogenezo (*Karpačevskij 1981, Medvedev 1976, Vedrova 1980*) kaj geohemia transportado de substancoj.

Veno de mineralaj elementoj en grundon per planta defalo kaj la ellavo estas proksimalvaloraj: n. 10 kg/ha. jaro. Tamen pasiva elimino, same kiel la aktiva el la folioj, fruktoj, trunko kaj radikoj ĝis nun ne trovis kvantan respugulon en ŝemoj de biologia cirkulado de substancoj. Sekve, ĝiaj ĉefaj parametroj — la enigo de substancoj por konstrui fitomason kaj la eligo antaŭ vintro — estas forte subtaksataj. Laŭ karbono — proksimume duoble (*Grodzinskij 1965*), verŝajne ne malpli — laŭ mineralaj elementoj, kaj des pli por ĉiu aparta elemento, ju pli ĝi estas moviĝema. Dank' al multfoja uzo de la sama elemento, unuavice — deficita, enesto de ĝiaj moviĝemaj formoj en la sistemo kvazaŭ pligrandiĝas proporcie al nombro de ĝiaj rondiroj dum jaro. Tial realaj fluoj de substancoj en ekosistemo estas multe pli potencaj ol ni imagas nun.

6. Referencoj

- Arens, K. (1934): *Die kutikuläre Exkretion des Laubblattes*. — *J. wissenschaftl. Botanik*, 80, 2, 248-300. Leipzig.
- Boussingault, J.B. (1878): *Agronomie, chimie agricole et physiologie*. — Paris.
- Brooks, . (1916): *Am. J. Bot.*, 3, 483-492.
- Curtin, G. C. — King, H.D. — Mosier, E.L. (1974): *Movement of elements into the atmosphere from coniferous trees in subalpine forests of Colorado and Idaho*. — *J. geochem. Explor.*, 3, 3, 245-263. Amsterdam.
- Davy, H. (1802): *Elements of chemical philosophy, Part 1*, London.
- Frey-Wyssling, A. (1935): *Protoplasma*, 23, 393-409.
- Guderian, R. (1977): *Air Pollution*. — Springer. Berlin-Heidelberg-New York.
- Grodzinskij, A. M. (1965): *Allelopatia v fizni rastenij i ih soobščestv*. — *Naukova Dumka*. Kiev.
- Karpačevskij, L. O. (1981): *Les i lesnie počvi*. — *Lesnaja promišlennostj*. Moskva.
- Lausberg, T. (1935): *Quantitative Untersuchungen über die kutikuläre Exkretion des Laubblattes*. — *J. wissenschaftl. Botanik*, 81, 5, 769-806. Berlin.
- Liebig, J. (1840): *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikulturchemie und Physiologie*. Berlin.
- Manakov, K. N. — Ušakova, G.I. (1978): *Rolj atmosfernih osadkov v biocenozaĥ*. — *Biologičeskaja produktivnostj i obmen v lesnih biocenozaĥ Koljskogo poluostrava*. Appatiti.
- Manakov, K. N. — Nikonov, V. V. (1981): *Biologičeskij krugovorot mineralnih elementov i počvoobrazovanie v eljnikah Krajnego Severa*. Nauka. Leningrad.
- Mann, C.E.T. — Wallace, T. (1925): *The effects of leaching of cold water of the foliage of the apple*. — *J. Pomol. Horticult. Sci.*, 4, 146-161. London.
- Medvedev, L. V. (1976): *Kemia ŝanĝiĝo de atmosferaj akvoj traintaj arbarkronaron*. — *Sciencaj Komunikajoj*, 49-50. Budapest.
- Nemerjuk, G. J. (1970): *Migracia solej v atmosferu pri transpiracii*. — *Fiziologia rastenij*, 17, 14, 673-679.

Reinsch, . (1871): *Chem. Zbl.*, 52. Berlin.

Saussure, N.T. (1804): *Recherches chimiques sur la végétation...* — Paris.

Sisuev, V. V. (1977): *Sovremennije geohimičeskie processi i relikti v južno-tajnih konečnomorenih landsaftah Valdaja*. — *Avtoreferat*. Moskva.

Swieboda, M. — Kalembe, A. (1979): *The bark of Scots pine (Pinus sylvestris L.) as a biological indicator of atmospheric air pollution*. — *Acta Soc. Bot. Poloniae*, 48, 4, 539-549. Warszawa.

Ševirjev, I. J. (1903): *Vnekornevoe pitanie bolnih derevjev*. — Peterburg.

Tukey, H. B. J. — Wittwer, S. H. — Bukovac, M.J. (1962): *The uptake and loss of materials by leaves and other above-ground plant parts with special reference to plant nutrition*. — *Agrochimica*, 7, 1, 1-28. Pisa.

Tukey, H. B. J. (1970): *Leaching of substances from Plants*. — *Annual Review of Plant Physiology*, 21, 305-324.

Vedrova, E. F. (1980): *Vlianie sosnovih nasaĝdenij na svojstva počvi*. — *Nauka*. Novosibirsk.

Wehmer, . (1892): *Landwirt. Jb.* 21, 513-569.

Pogloŝćenie i videlenie veŝčestv nadzemnimi organami rastenij. Ekologičeskoe i geohimičeskoe značenje.

Pogloŝćenie i videlenie veŝčestv nadzemnimi organami imeet suŝčestvennoe značenje v podderĝanij piŝčevogo ravnovesia v rastenii, osobenno v otnoŝenii bazipetaljno malopodvijnih: Mg, Co, Ca, Ba i letuŝiĥ elementov: S i Cl. Pogloŝĉaja sernistij gaz, rastenie oĉiŝĉaet atmosferu (ĉasto cenoj boleznej i gibeli), a otdavaja seru omivajuŝim osadkam, prevraŝĉaet ih iz gidrokarbonatnih i hlوريدnih v sulfatnie. Vimivanie iz kron i stvolov desjatkov-soten kg/ga.god organiĉeskikh soedinenij pridaet osadkam lesa kaĉestvenno novie svojstva himiĉeski i biologičeski aktivnih rastvorov, vkljuĉajuŝihsja v processi bioreguljacii, počvoobrazovania, geohimičeskogo transporta veŝčestv.

Parametri biologičeskogo krugovorota, osnovannie na učete veŝčestv, potraĉennih na godičnij prirost fitomassi i vozvraŝĉennih s godičnim opadom, dajut liŝj rezuljtirujuŝuju processa. Bлагodarja vnutrigodiĉnomu pogloŝćeniu i videleniu nadzemnimi i podzemnimi organami gazoobraznih, jidkih i tverdiĥ veŝčestv realnije ih potoki v ekosisteme znaĉiteljno moŝĉnee, v srednem dvoe-vtroe, a dlja kaĝdogo elementa v otdeljnosti — proporcionaljno koliĉestvu ego krugovorotov za god.