

Agrovoc descriptors: diatomite, adsorbents, storage losses, stored products pests, antibiotic properties, toxicity, biopesticides, biological control, pest control

Agris category code: H10, Q01, P33

Značilnosti diatomejske zemlje kot naravnega insekticida za zatiranje skladiščnih škodljivcev

Helena ROJHT¹, Aleksander HORVAT², Stanislav TRDAN³

Delo je prispelo 13. februarja 2012, sprejeto 19. marca 2012.

Received Februar 13, 2012; accepted March 19, 2012.

IZVLEČEK

Diatomejsko zemljo uporabljajo v številne namene, med drugim tudi kot bioinsekticid za varovanje uskladiščenih pridelkov. Ta zemlja nastane z mletjem sedimentnih kamnin, imenovanih diatomiti. Obstaja veliko vrst diatomejske zemlje, a le zemlje z manj kot 7 % kristalnega SiO₂ so primerne za zatiranje škodljivcev. Diatomejska zemlja ni toksična za sesalce, dolgotrajno varuje živež pred škodljivimi žuželkami, za njen nanos se uporablja približno enaka tehnologija kot pri klasičnem nanosu insekticidov in se med predelavo zlahka odstrani z živeža. Med nekaj negativnimi lastnostmi gre izpostaviti dejstvo, da zmanjša hektolitrsko maso zrnja (zniža nasipno gostoto zrnja), ki je glavno merilo kakovosti zrnja. Diatomejska zemlja ima velik absorpcijski potencial in se veže na epikutikularne voske žuželk, zato deluje praktično na vse škodljivce, ki imajo kutikulo zaščiteno z voski.

Ključne besede: diatomejska zemlja, insekticidno delovanje, skladiščni škodljivci, uskladiščeni pridelki

ABSTRACT

CHARACTERISTICS OF DIATOMACEOUS EARTH AS BIOPESTICIDE FOR CONTROL OF STORED PESTS

Diatomaceous earth is used for many purposes, including as a bioinsecticide for protection of stored crops. This material is produced by milling the sedimentary rock called diatomite. There are many types of diatomaceous earth but only diatomaceous earths with less than 7% of crystalline silica are suitable for pest control. Diatomaceous earth is not toxic to mammals, it provides the protection of food on a long-term against harmful insects, and for its application it is used around the same technology as in the conventional application of insecticides and is easily removed during processing. Among some of the negative characteristics is that reduces bulk density of grain, which is the main criterion of assessing the quality of grain. Diatomaceous earth has a high absorption potential and is bound to insect epicuticular waxes, and act practically on all pests that have cuticula protected by wax.

Key words: diatomaceous earth, insecticidal activity, stored pests, stored products

1 UVOD

Za varovanje uskladiščenih pridelkov pred skladiščnimi škodljivimi žuželkami se najpogosteje uporabljajo neposredno na živež nanoseni insekticidi. Zaradi več negativnih lastnosti sintetičnih insekticidov, kot so toksičnost za sesalce, ostanki insekticidov na živežu in pojav odpornosti nekaterih škodljivcev na insekticide (Arthur, 1996), so zaželeno alternativne metode zatiranja. Mednje prištevamo zatiranje skladiščnih

škodljivcev z diatomejsko zemljo (Athanassiou in sod., 2005a), ki je klasificirana kot okoljsko sprejemljiva metoda (Arthur, 1996) in ki jo v nizkih koncentracijah zmešamo z zrnjem (Rojht, 2010ab). V praksi se navadno uporablja v 0,1 % koncentraciji. V Sloveniji je trenutno registriranih pet fitofarmaceutskih sredstev (FFS) za zatiranje skladiščnih škodljivcev: žitni žužek (*Sitophilus granarius*), žitni kutar (*Rhizopertha*

¹ mlada raziskovalka, mag., Jamnikarjeva 101, SI-1111 Ljubljana, e-mail: helena.rojht@bf.uni-lj.si

² doc. dr., Privoz 11, SI-1000 Ljubljana, e-mail: aleksander.horvat@geo.nf.uni-lj.si

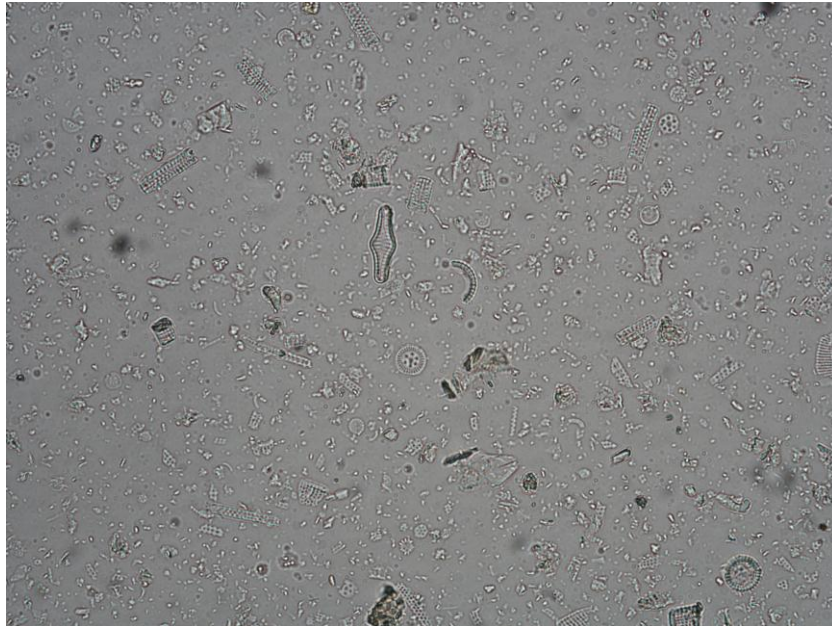
³ izr. prof. dr., Jamnikarjeva 101, SI-1111 Ljubljana, e-mail: stanislav.trdan@bf.uni-lj.si

dominica), rižev žužek (*Sitophilus oryzae*), mokaerji (*Tribolium* spp.) in krljev molj (*Plodia interpunctella*), pri čemer se nekaterih pripravkov, zaradi možnega vpliva na kalitev, ne sme uporabljati v praznih prostorih, v katerih se bo kasneje skladiščilo semenski material (Seznam registriranih fitofarmaceutskih sredstev, 2012).

1.1 Kaj je diatomejska zemlja

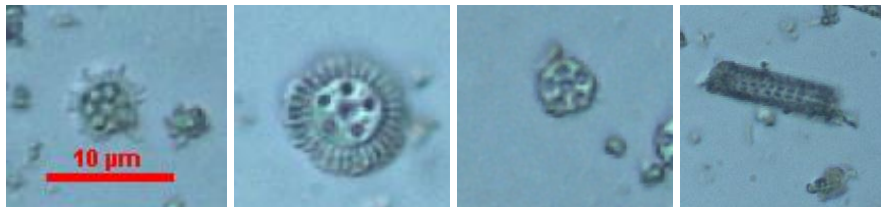
Diatomejska zemlja (DZ) je lahka, porozna biogena klastična sedimentna kamnina, ki je nastala z nakopičenjem skeletnih ostankov kremenčnih alg ali diatomej (Bacillariophyta), odloženih na dnu morij in jezer (Round in sod. 1990). Od 35.000 vrst alg je na

svetu kar 12.000 kremenčnih, ki živijo v slani in sladki vodi ter v tleh. Skeleti odmrlih alg se nabirajo na dnu voda in na leto tvorijo od 0,2 do 0,5 mm debele lamine sedimentov (Hauptman in sod. 2006) ter v različnih geoloških obdobjih tvorijo več sto metrov debele sekvence kamnin (Ross, 1981). Kremenčne alge so različnih oblik (slika 1, 2 in 3). Njihove lupine sestavljajo številne pore in so zgrajene iz hidratizirane amorfne kremenice oziroma opala ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$). Tako je diatomejska zemlja sestavljena predvsem iz amorfne kremenice (SiO_2), z redkimi primesmi elementov in spojin, kot so aluminij, železov oksid, kalcijev hidroksid, magnezij in natrij (Round in sod. 1990).



Slika 1: Ostanki diatomej v vzorcu diatomita iz Grčije po mletju v diatomejsko zemljo. Fotografija je posneta pod optičnim mikroskopom Nikon Eclipse 80i (foto: F. A. Celar).

Figure 1: Remains of diatoms from Greek diatomite sample after the milling into diatomaceous earth. Image was taken by using optical microscope Nikon Eclipse 80i (photo: F. A. Celar).





Slika 2: Raznolikost diatomej v testiranih diatomejskih zemljah iz več Evropskih nahajališč. Fotografije so posnete pod optičnim mikroskopom Nikon Eclipse 80i (foto: H. Rojht).

Figure 2: The diversity of diatoms in tested diatomaceous earth from several European locations. Image was taken by using optical microscope Nikon Eclipse 80i (photo: H. Rojht).

Največje proizvajalke diatomejske zemlje so ZDA (620.000 t na leto), Kitajska (390.000 t), Danska (233.000 t) in Japonska (130.000 t), ki pa morajo za proizvodnjo izpolnjevati določene pogoje. Najstarejša nahajališča sedimentov kremenastih alg so v Burgerheimu, vendar so izkopavanje zaradi predragega postopka pred desetimi leti opustili (Hauptman in sod. 2006). V Sloveniji so do sedaj odkrili le diatomejske sedimente iz srednjega miocena, in sicer v Krški kotlini in Tuhinjskem gričevju. Prave diatomejske zemlje v Sloveniji ne poznamo. Glede na mineraloške analize jih uvrščamo v tri skupine (Horvat in Mišič, 2004). V prvo skupino se uvrščajo diatomejski meljeveci z visoko vsebnostjo kremenca (nad 30 %), opala-A (okoli 30 %) in glinenih mineralov (53-64 %), so brez karbonatov, vsebujejo pa tudi tufsko komponento. V drugo skupino se uvrščajo diatomejski sedimenti z visoko vsebnostjo karbonatov (nad 60 %), nizko vsebnostjo kremenca (pod 15 %) in opala A (pod 4 %) ter so brez tufske komponente. Zaradi klastične strukture kamnin Horvat in Mišič (2004) za to skupino predlagata poimenovanje diatomejski laporovec oz. diatomejski karbonatni meljevec. Tretja skupina predstavlja diatomejski laporovec oz. diatomejski karbonatni meljevec z dokaj visoko vsebnostjo kremenca (15-20 %) in opala-A (okoli

25 %), relativno nizko vsebnostjo karbonatov in v nekaterih primerih z visoko vsebnostjo tufske komponente. Znotraj te skupine najdemo vzorec, kjer delež tufske komponente preseže 20%, zato ga Horvat in Mišič (2004) opredelita kot tufski diatomit.

1.2 Uporaba diatomejske zemlje

Glede na nastanek delimo DZ na morske in sladkovodne. Obdelano DZ uporabljajo kot filtracijsko sredstvo za pripravo pijač (vino, pivo, sadni sokovi, rastlinska olja) ter kot polnilo pri izdelovanju avtomobilskih gum, papirja, zdravil, stenskih barv, kartona (daje mu trdnost in stabilnost), zobnih in polirnih past, kozmetičnih pripravkov. Alfred Nobel je z njeno pomočjo stabiliziral nitroglicer in tako naredil dinamit. DZ sladkovodnega izvora so v preteklosti uporabljali za sijaj živalske dlake in čiščenje konjskih podkev (Hauptman in sod. 2006). Nekateri kmetje prisegajo na razglitvanje domačih živali z DZ (Fernandez, 1998). DZ, ki je registrirana kot insekticid, mora vsebovati manj kot 7 % kristalnega SiO₂. Kristalizirano SiO₂ namreč povzroča silikozo in je tudi rakotvoren, če se ga inhalira (IARC, 1997). Trenutno jo proučuje veliko znanstvenikov z namenom njene implementacije v skladišča z uskladiščenimi pridelki.

2 PREGLED DELOVANJA DIATOMEJSKE ZEMLJE NA SKLADIŠČNE ŠKODLJIVCE

2.1 Insekticidne lastnosti diatomejske zemlje

Splošno znano je, da DZ deluje na zaščitno povoskano plast kutikule žuželk (delci DZ absorbirajo vodoodporne epikutikularne voske), kar rezultira v povečani izgubi vode in smrti zaradi izsušitve (Korunić, 1998; Subramanyam in Roesli, 2000). DZ deluje tudi abrazivno na kutikulo, vendar je to delovanje pri DZ z veliko vsebnostjo SiO₂ manj pomembno. Žuželke poginejo, ko izgubijo približno 60 % vode oz. 30 % telesne teže (Ebeling, 1971). Nekateri avtorji navajajo še druge teorije o delovanju na žuželke. Webb (1945) trdi, da delci DZ zamašijo stigme in traheje, Smith (1969) pa, da DZ poškoduje prebavni trakt. V vseh primerih gre za fizikalno delovanje DZ, zato je verjetnost za pojav rezistence

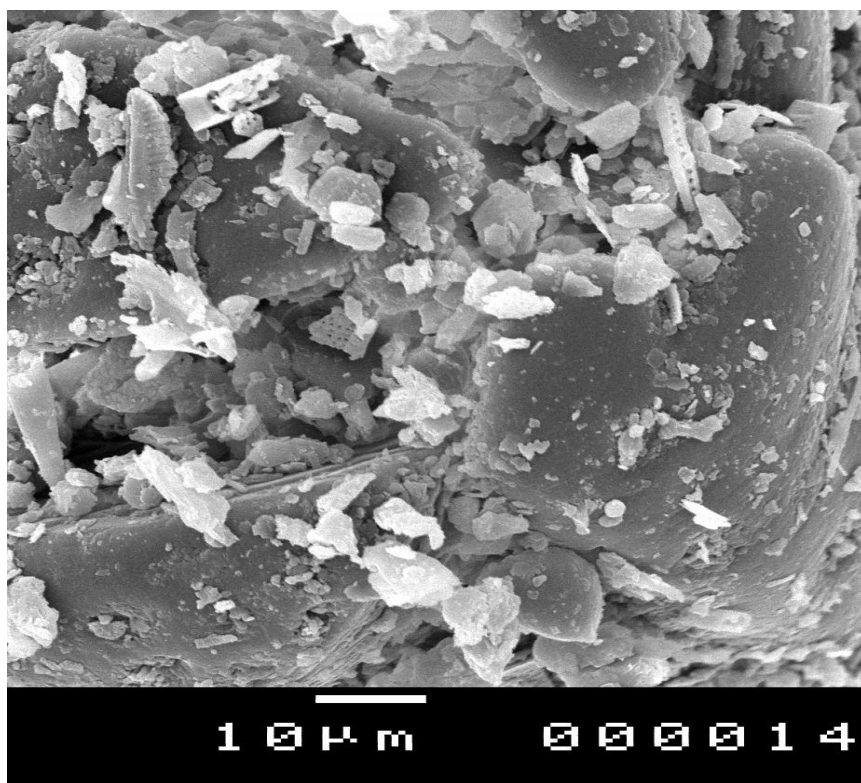
žuželk nanjo majhna (Golob, 1997; Korunić, 1998; Subramanyam in Roesli, 2000). Diatomejska zemlja ima več prednosti pred drugimi insekticidi: ni toksična za sesalce, med predelavo se zlahka odstrani z živeža (Golob, 1997; Korunić, 1998; Subramanyam in Roesli, 2000), za njen nanos se uporablja približno enaka tehnologija kot pri klasičnem nanosu insekticidov, predstavlja dolgotrajno varstvo živeža pred škodljivci (Stathers in sod. 2004, Athanassiou in sod. 2005a). Na insekticidne lastnosti DZ vpliva več dejavnikov. Med najpomembnejše prištevamo: geološki izvor DZ, vsebnost SiO₂, zbitost gostoto, absorpcijo za olje, velikost delcev in pH (Golob, 1997; Korunić, 1998). Insekticidno učinkovite DZ imajo vsebnost amorfnega SiO₂ nad 80 %, vsebnost kristalnega SiO₂ pod 7 %, pH pod 8.5 in zbitost

gostoto pod 300 g/l (Korunić, 1997). Prav tako pa na učinkovito delovanje DZ vplivajo temperatura (Subramanyam in Roesli, 2000; Arthur, 2000), vlaga (Fields in Korunić, 2000), ciljni škodljivci (Fields in Korunić, 2000) in vrsta živeža, ki ga želimo zavarovati (Athanassiou in sod., 2003).

2.2 Primeri zatiranja skladiščnih škodljivcev z diatomejsko zemljo

Rižev žužek (*Sitophilus oryzae* [L.] Coleoptera, Curculionidae) in žitni kutar (*Rhyzopertha dominica* [F.], Coleoptera, Bostrychidae) sta najbolj škodljiva in najbolj razširjena škodljivca uskladiščenega žita (Aitken, 1975; Maceljki, 1999; Athanassiou et al., 2001ab). Spadata med primarne škodljivce, kar pomeni, da sta sposobna napasti zdrava, cela zrna. Ličinke obeh vrst se razvijajo v semenu, zato so zaščitene pred sredstvi za zatiranje. Vrsti sta razvili precejšno odpornost na insekticide (Champ in Dyte, 1976; Arthur, 1996; Benhalima et al., 2004) in ju ni mogoče zatreči z odmerki FFS, ki so učinkoviti za druge skladiščne škodljivce

(Samson in Parker, 1989; Arthur, 1999). Rezultati več raziskav so pokazali, da je tega škodljivca mogoče zatirati z različnimi vrstami diatomejske zemlje, in sicer s komercialnimi pripravki kot so SilicoSec (Athanassiou in sod., 2003; Athanassiou in sod., 2004; Kavallieratos in sod., 2005; Shabbir, 2005), Protect-It (Athanassiou in sod., 2008) Insecto (Athanassiou in sod., 2004; Athanassiou in sod., 2005b; Kavallieratos in sod., 2005) in PyriSec (Athanassiou in sod., 2004; Athanassiou in sod., 2005b) in tudi nekomercialnimi lokalnimi diatomejskimi zemljami, ki vsebujejo manj SiO₂ (Athanassiou in sod., 2010; Rojht in sod., 2010ab). S komercialnimi pripravki diatomejske zemlje se lahko uspešno zatira vse pomembnejše skladiščne škodljivce (Arnaud in sod., 2005; Arthur, 2001; Athanassiou in sod., 2006; Athanassiou in sod., 2007; Islam in sod., 2010; Kavallieratos in sod., 2007). Na DZ so najbolj tolerantni mokaarji (Arthur, 2000), med katere štejemo malega mokaarja (*Tribolium confusum* du Val), ki lahko preživi odmerke DZ, ki so za druge skladiščne škodljivce letalni (Korunić, 1998).



Slika 3: Ostanki skeletov diatomej na vzorcu slovenske DZ na ustnem aparatu riževega žužka (*Sitophilus oryzae*) 21 dan po tretiranju. Posneto pod elektronskim mikroskopom JEOL JSM - T 300A na PIIR ZRC SAZU (foto: H. Rojht).

Figure 3: Remains of diatoms skeletons from slovenian diatomaceous earth on mouthparts of rice weevils. Image was taken by using Scanning Electron Microscope JEOL JSM - T 300A at PIIR ZRC SAZU (photo: H. Rojht).

2.3 Omejitve pri uporabi diatomejske zemlje

Glavne omejitve pri uporabi DZ za zatiranje skladiščnih škodljivcev so: zmanjšana sipkost zrnja, neprijetno tretiranje zaradi velikega prašenja in zmanjšana hektolitrska masa zrnja. DZ se namreč zalepi na površino zrn in poveča trenje med zrni. To

povzroči povišanje kota zdrsa zrn in zmanjša nasipno gostoto zrnja oziroma hektolitrsko maso zrnja (Fields, 1999).

Ker DZ deluje tako, da žuželke izsuši, ne deluje tako dobro v vlažnih razmerah (pri uskladiščenih pridelkih z višjo vlago) kot v suhih (le Patourel, 1986; Aldryhim, 1993). Vendar pa ta trditve ne velja za DZ z večjim deležem glinenih mineralov (in posledično z

manjšim deležem SiO₂), saj je laboratorijska raziskava pokazala signifikantno boljše delovanje na odrasle osebkke riževega žužka pri 75 % relativni vlagi kot pri 55 % (Rojht in sod., 2010b). Za razliko od kemičnih fumigantov, DZ ne vpliva na razvojne stopnje škodljivcev, ki se dogajajo znotraj zrnja (Fields, 1999). Čeprav se za nanos DZ uporablja ista oprema, kot za nanos drugih

FFS, pa je lahko tretiranje uskladiščenih pridelkov z DZ zelo neprijetno zaradi velike količine prahu, ki nastaja ob nanosu (Fields, 1999). V Avstraliji so zato uporabljali vodno aplikacijo DZ, vendar se je učinkovitost DZ zmanjšala (Maceljski in Korunić, 1972).

3 ZAKLJUČKI

Čeprav prvi zapisi o uporabi DZ za namene varovanja uskladiščenih pridelkov datirajo 4000 let nazaj, še danes ne vemo natančno, kako bi DZ najučinkoviteje uporabljali v skladiščih. Da bi premostili vse negativne lastnosti DZ, bi jo lahko nanašali le po površju uskladiščenih pridelkov ali po plasteh, kot jo uporabljajo v ZDA. Prav tako bi lahko DZ mešali z

nizkimi koncentracijami sintetičnih insekticidov (Fields, 1999). Vsekakor je DZ primerna za varovanje uskladiščenega živeža, vendar pa jo je smiselno vključiti med ostale ukrepe integriranega varstva uskladiščenih pridelkov, prav tako pa je za uspešno varovanje živeža potrebno upoštevati tudi posredne in neposredne varstvene ukrepe.

4 ZAHVALA

Prispevek, ki ima korenine v mednarodnem projektu SEE-ERA.NET "Development of a non-toxic, ecologically compatible, natural-resource based insecticide from diatomaceous earth deposits of South Eastern Europe to control stored-product insect pests" (2007-2008), je nastal v okviru CRP projekta V4-1067, financiranega s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost RS, Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in

prehrano RS in Ministrstva za okolje in prostor RS. Avtorji se zahvaljujemo Milošu Bartolu, Špeli Goričan in Adrijanu Koširju iz Paleontološkega inštituta Ivana Rakovca ZRC SAZU za pomoč pri delu na elektronskem mikroskopu, Franciju Acu Celarju za fotografije diatomej pod optičnim mikroskopom ter Nickolasu Kavallieratosu za posredovanje vzorcev diatomejske zemlje.

5 VIRI

- Aitken A.D. 1975. Insect travelers, I: Coleoptera. Technical Bulletin 31. H. M. S. O., London, 191 str.
- Aldryhim, Y. N. 1993. Combination of classes of wheat and environmental factors affecting the efficacy of amorphous silica dust, Dryacide, against *Rhyzopertha dominica* (F.). Journal of Stored Products Research, 29: 271-275.
- Arnaud L., Lan H.T.T., Brostaux Y., Haubruge E. 2005. Efficacy of diatomaceous earth formulations admixed with grain against populations of *Tribolium castaneum*. Journal of Stored Products Research, 41: 121-130.
- Arthur, F. H. 1996. Grain protectants: current status and prospects for the future. Journal of Stored Products Research, 32: 293-302.
- Arthur, F. H. 2000. Toxicity of diatomaceous earth to red flour beetles and confused flour beetles (Coleoptera: Tenebrionidae): effects of temperature and relative humidity. Journal of Economic Entomology, 93: 526-532.
- Arthur F. H. 2001. Immediate and delayed mortality of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) exposed on wheat treated with diatomaceous earth: effects of temperature, relative humidity, and exposure interval. Journal of Stored Products Research, 37: 13-21.
- Athanassiou, C. G., Buchelos, C. T. 2001a. Detection of stored-wheat beetle species and estimation of population density using unbaited probe traps and grain trier samples. Entomologia Experimentalis et Applicata, 98: 67-78.
- Athanassiou, C. G., Palyvos, N. E., Eliopoulos, P. A., Papadoulis, G. T. 2001b. Distribution and migration of insects and mites in flat storage containing wheat. Phytoparasitica, 29: 379-392.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos N. G., Tsaganou F. C., Vayias B. J., Dimizas C. B., Buchelos C. Th. 2003. Effect of grain type on the insecticidal efficacy of SilicoSec against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). Crop Protection, 22: 1141-1147.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos N. G., Andris N.S. 2004. Insecticidal effect of three diatomaceous earth formulations against adults of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) on oat, rye and triticale. Journal of Economic Entomology, 97: 2160-2216
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos N. G., Economou L. P., Dimizas C. B., Vayias B. J., Tomanović Ž., Milutinović M. 2005a. Persistence and efficacy of three diatomaceous earth formulations against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera:

- Curculionidae) on wheat and barley. *Journal of Economic Entomology*, 98: 1404-1412.
- Athanassiou, C. G., Vayias B. J., Dimizas C. B., Kavallieratos N. G., Papagregoriou, Buchelos C. Th. 2005b. Insecticidal efficacy of diatomaceous earth against *Sitophilus oryzae* (L.) du Val (Coleoptera: Curculionidae) on stored wheat: influence of dose rate, temperature and exposure interval. *Journal of Stored Products Research*, 41: 47-55.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos N.G., Tsakiri J.B., Xyrafidis S.N., Vayias B.J. 2006. Effect of temperature and humidity on insecticidal effect of SilicoSec against *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) Larvae. *Journal of Economic Entomology*, 99: 1520-1524
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos N. G., Peteinatos G. G., Petrou S. E., Boukvala M.C. Tomanović Ž. 2007. Influence of temperature and humidity on insecticidal effect of three diatomaceous earth formulations against larger grain borer (Coleoptera: Bostrychidae). *Journal of Economic Entomology*, 100: 599-603
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos N. G., Vayias B. J., Tomanović Ž., Petrović A., Rozman V., Adler C., Korunić Z., Milovanović D. 2010. Laboratory evaluation of diatomaceous earth deposits mined from several locations in central and southeastern Europe as potential grain protectants. *Crop Protection*, 30: 329-339.
- Champ, B. R., Dyte, C.E. 1976. Report of the FAO Global Survey of pesticide susceptibility of stored grain pests. FAO, Rim, Italija, 297 str.
- Ebeling, W. 1971. Sorptive dusts for pest control. *Annual Review of Entomology*, 16: 123-158.
- Fernandez, M.I., Woodward, B.W., Stromberg, B.E. 1998. Effect of diatomaceous earth as an anthelmintic treatment on internal parasites and feedlot performance of beef steers. *Animal Science*, 66: 635-641
- Fields, P.G. 1999. Diatomaceous earth: advantages and limitations. V: Proceedings 7th Int. Working Conf. Stored Products Protection, Jin Z., Liang Q., Liang Y., Tan X., Guan L., (ur.) Sichuan Publishing House of Science & Technology: Chengdu, Volume 1, 781-784.
- Fields, P., Korunić, Z. 2000. The effect of grain moisture content and temperature on the efficacy of diatomaceous earths from different geographical locations against stored-product beetles. *Journal of Stored Products Research*, 36: 1-13.
- Golob, P. 1997. Current status and future perspectives for inert dusts for control of stored product insects. *Journal of Stored Products Research*, 33: 69-79.
- Hauptman, J., Jazbec N., Jurič N., Leskovar T., Rabenzki S., Sachsenmaier H., Fuhrmann E. Umwelt-baut-Brücken. Projekt der Schulen aus Heubach/Deutschland und Ptuj/Slowenien. (12.3.2006)
- <http://schulwebs1.dasan.de/gimptuj/ht06sl.htm> (30.8.2008)
- Horvat, A., Mišič, M. 2004. Mineralogy and sedimentology of diatomaceous sediments of Slovenia. *RMZ Mater Geoenviron* 51: 2145–2161.
- International Agency for Research on Cancer (IARC), 1997. Silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils. Volume 68, IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Lyon, 506 str.
- Islam, Md. S., Hasan, Md. M., Lei, C., Mucha-Pelzer, T., Mewis, I., Ulrichs, C. 2010. Direct and admixture toxicity of diatomaceous earth and monoterpenoids against the storage pests *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Pest Science*, 83: 105-112.
- Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Pashalidou, F.G., Andris, N.S., Tomanović, S. 2005. Influence of grain type on the insecticidal efficacy of two diatomaceous earth formulations against *Rhyzopertha dominica* (F.) Coleoptera: Bostrychidae. *Pest Management Science*, 61: 660-666
- Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Maistrou S.N., Vayias, B.J. 2007. Influence of temperature on susceptibility of *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) populations to three modified diatomaceous earth formulations. *Florida Entomologist*, 90: 616-625.
- Korunić, Z. 1997. Rapid assessment of the insecticidal value of diatomaceous earth without conducting bioassays. *Journal of Stored Products Research*, 33: 219-229
- Korunić, Z. 1998. Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *Journal of Stored Products Research*, 34: 87-97.
- le Patourel, G. N. J. 1986. The effect of grain moisture content on the toxicity of a sorptive silica dust to four species of grain beetles. *Journal of Stored Products Research*, 22: 63-69.
- Rojht, H., Athanassiou, C.G., Vayias, B.J., Kavallieratos, N.G., Tomanović, Ž., Vidrih, M., Kos, K., Trdan, S. 2010a. The effect of diatomaceous earth of different origin, temperature and relative humidity against adults of rice weevil (*Sitophilus oryzae* [L.], Coleoptera, Curculionidae) in stored wheat. *Acta agriculturae Slovenica*, 95: 13-20
- Rojht, H., Horvat, A., Athanassiou C.G., Vayias B.J., Tomanović Ž., Trdan S. 2010b. Impact of geochemical composition of diatomaceous earth on its insecticidal activity against adults of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Pest Science*, 83, 4: 429-436.
- Round, F. E., Crawford, R. M., Mann, D. G. 1990. The diatoms. Cambridge University Press, Cambridge: 747 p.
- Ross, T. E. 1981. Diatomaceous earth as a possible alternative to chemical insecticides. *Agriculture and Environment*, 6: 43-51.
- Subramanyam, Bh., Roesli, R., 2000. Inert dusts. In: Subramanyam, Bh., Hagstrum, D.W. (Eds.), *Alternatives to Pesticides in Stored-Product IPM*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 321–380.
- Smith, B. C. 1969. Effects of silica on the survival of *Coleomegilla maculate lengi* (Coleoptera: Coccinellidae)

- and *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). Canadian Entomologist, 101: 460-462.
- Vayias, B.J., Athanassiou, C.G. 2004. Factors affecting efficacy of the diatomaceous earth formulation SilicoSec® against adults and larvae of the confused beetle *Tribolium confusum* Jacquelin DuVal (Coleoptera: Tenebrionidae). Crop Protection, 23: 565-573
- Webb J. E. 1945. The penetration of Derris Through the Spiracles and cuticle of *Melophagus ovinus*, L. Bulletin of Entomological Research, 36: 15-22.
- Seznam registriranih fitofarmacevtskih sredstev na dan 15.1.2012.
<http://spletni2.furs.gov.si/FFS/REGSR/index.htm>
(15.1.2012)
- Stathers, T. E., M. Denniff, Golob, P. 2004. The efficacy and persistence of diatomaceous earth admixed with commodity against four tropical stored product beetle pests. Journal of Stored Products Research, 40: 113-123.