

Dažādu Latvijas mālu šūnainās keramikas granulu pielietošanas iespējas biotehnoloģijā

Vizma Nikolajeva¹, Faculty of Biology, University of Latvia, Tatjana Griba², Zaiga Petrīna³, ²⁻³ Institute of Microbiology and Biotechnology, University of Latvia

Kopsavilkums. Darbā pētītas sešu dažādu RTU Silikātu materiālu institūtā pagatavotu šūnainās keramikas granulu veidu izmantošanas iespējas biotehnoloģijā. Noskaidrots, ka baktēriju adhēzija notiek uz visām pētītajām granulām, kas iegūtas no Liepas, Lodes un Prometeja atradņu māliem, tomēr tikai Lodes granulas ir piemērotas dzīvu šūnu imobilizācijai. Prometeja mālu granulām ūdens vidē piemīt baktericīda iedarbība. Tā ir mazāk izteikta Liepas granulām, bet nepiemīt Lodes granulām. Darbā skaidroti baktericīdās iedarbības iespējamie mehānismi. Rezultāti liecina, ka no Latvijas māliem iegūtie keramikas materiāli ir daudzveidīgi, un tādēļ tiem ir plašas pielietošanas iespējas biotehnoloģijā.

Atslēgas vārdi: biotehnoloģija, baktērijas, māls, šūnainā keramika.

IEVADS

Mikroorganismi dabā sastopami gan brīvā jeb suspendētā, gan arī imobilizētā stāvoklī, kas ir plaši izplatīts mikroorganismu dzīvesveids [pārskatam – 1]. Tas atvieglo šūnu kontaktēšanos un noved pie bioplēvju veidošanās. Imobilizācija palielina daudzu bioloģisko procesu efektivitāti. No vienas puses, mikroorganismu adhēzija un tai sekojoša bioplēvju veidošanās rada kontaminācijas problēmas un izraisa bojājumus, piemēram, pārtikā, cauruļvadu sistēmās un medicīnā, taču, no otras puses, imobilizētus mikroorganismus plaši izmanto daudzās nozarēs – medicīnā, pārtikas rūpniecībā, vides attīrīšanā u.c.

Mikroorganismu (baktēriju un sēņu) imobilizēšanai izmanto vairākas principiāli atšķirīgas metodes – kovalentu saistīšanu, šķērssaistīšanu, fizikālu saistīšanu, piemēram, iekapsulēšanu, kā arī dabisko adhēzijas procesu. Adhēzijas galvenās priekšrocības ir maksimāla šūnu dzīvotspēja un aktivitāte bioplēves veidošanās dēļ. Adhēziju ietekmē vides jonu sastāvs un spēks, pH, temperatūra, kontakta laiks, biomasas daudzums (koncentrācija) u.c. faktori [pārskatam – 2, 3]. Adhēzija ir ļoti atkarīga no materiāla, pie kura notiek mikroorganismu saistīšanās. Saistīšanos spēcīgi ietekmē tādi faktori kā virsmas lādiņš, hidrofobitāte, porainība, raupjums un virsmas mikropograjība [4]. Pieņemot, ka baktērijas ir dzīvas koloidālas daļiņas, to adhēzijas sākumposmu uz inertām virsmām vismaz daļēji apraksta termodinamikas likumi un koloīdu stabilitātes DLVO teorija [5].

Mikroorganismu imobilizēšanai izmanto dažādus neorganiskas un organiskas dabas materiālus, kā arī šo nesēju visdažādākās fizikālās formas. Mikroorganismu adhēzija notiek pat uz relatīvi gludām stikla virsmām [6].

Mūsu darba mērķis bija novērtēt vairāku no Latvijas māliem izgatavotu šūnainās keramikas – keramzīta – granulu piemērotību mikroorganismu imobilizēšanai. Kā modeļorganismu adhēzijai izvēlējāmies gramnegatīvas, aerobas, mezofilas, saprofītiskas, augsnē un ūdenī plaši izplatītas *Pseudomonas putida* sugas baktērijas [7].

MATERIĀLI UN METODES

Mikroorganismi un to kultivēšana

Izmantotas baktērijas *Pseudomonas putida* LMKK 650. Eksperimentam baktērijas tika kultivētas uz agarizētas barotnes aerobo baktēriju kopskaita noteikšanai (PCA, *Plate count agar*, Bio-Rad, Francija) 20±2 °C temperatūrā 2 diennaktis.

Keramikas granulas

Darbā izmantotas prof. V. Švinkas vadībā RTU Silikātu materiālu institūtā pagatavotās un raksturotās šūnu keramikas granulas (sk. 1. tabulu).

Adhēzijas eksperimenti

Adhēzijas eksperimenti tika veikti 100 ml tilpuma stikla pudelēs (Simax, Čehija). Pudelēs tika iesvērts pa 15 g keramikas granulu, un granulas kopā ar traukiem tika nosterilizētas autoklāvā ar karstu tvaiku, 121 °C 15 min.

Uzsākot eksperimentu, granulas pudelēs tika aplietas ar 50 ml sterila destilēta ūdens. Atsevišķi tika sagatavota baktēriju *P. putida* suspensija un pievienota aplietajām granulām līdz OD₅₄₀ 0.05-0.06 (*Ultrospec 3100 pro*, Amersham Biosciences, Lielbritānija). Lai noteiktu baktēriju koncentrāciju, t.i., kolonijas veidojošo vienību (kvv) daudzumu mililitrā, tika gatavota baktēriju suspensijas 10-kārtīgu atšķaidījumu sērija (no 1:10 līdz 1: 10⁷) un no katra atšķaidījuma pa 0.1 ml uzsēts uz Petri traukiem ar PCA barotni. Pēc divu dienu ilgas inkubācijas 20±2 °C tika saskaitītas uz Petri traukiem izaugušās *P. putida* kolonijas un aprēķināts kvv daudzums mililitrā.

Sagatavotās pudeles tika inkubētas termostātā (Binder KB 53, Vācija) 30 °C temperatūrā, divas reizes stundā sakratot. Vienu un četras stundas pēc inkubācijas sākuma tika ņemti paraugi baktēriju koncentrācijas noteikšanai un izsēti uz PCA barotnes. Pēc četrus stundu ilgušās inkubācijas šķidrums tika noliets no granulām, granulas tika divas reizes noskalotas ar PBS (137 mM NaCl, 2.7 mM KCl, 10 mM KH₂PO₄, pH 7.4) un pēc tam nelielā PBS tilpumā ar piestiņu sterili noberztas, lai atdalītu adsorbētās mikroorganismu šūnas. Arī šajā suspensijā

tika noteikta baktēriju kvv koncentrācija, izsējot uz barotnes pa 0.1 ml no atšķaidījumu sērijas.

1. TABULA

ŠŪNAINĀS KERAMIKAS GRANULU RAKSTUROJUMS

Granulas*	Diametrs, cm	Masa, g	Tilpums, g/cm ³
Liepa 1150	1.3	1.5	1.30
Liepa 1200	1.4	1.5	1.04
Liepa 1175	1.2	1.2	1.33
Prometejs 1100	1.2	1.2	1.33
Prometejs 1150	1.2	0.5	0.55
Lode 1100	0.6	0.2	1.77

* mālu atradnes nosaukums un granulū apdedzināšanas temperatūra, °C.

Eksperimenti atkārtoti 2-3 reizes, un rezultātos analizēti vidējie aritmētiskie dati.

pH un elektrovadītspējas noteikšana

Pirms inkubācijas, kā arī vienu un četras stundas pēc inkubācijas sākuma šķidrumos tika mērīts pH, izmantojot pH-metru AD-1405 (Adrona, Latvija).

Kontroles variantos bez baktērijām pēc vienas, četru un 48 stundu ilgas inkubācijas tika mērīta elektrovadītspēja ar PWT HI98308 (Hanna Instruments, Maurīcija). Kontrolei un paraugu atšķaidīšanai izmantotā ūdens elektrovadītspēja bija 0.4 mS/m.

REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS

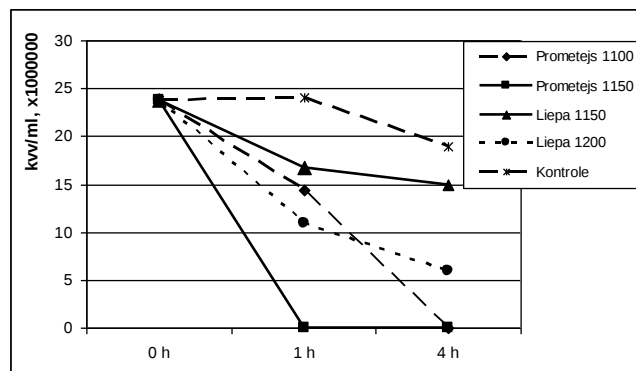
Šūnainās keramikas granulas plaši izmanto praksē, tai skaitā arī ar mērķi, lai tās nonāktu kontaktā ar dzīvjiem organismiem. Tādi ir, piemēram, keramiskie hidroponikas materiāli – nesēji augu kultivēšanai siltumnīcās [8] – un granulas notekūdens attīrīšanas un fermentācijas tehnoloģijās [9], kur tieši uz granulām veidojas kompleksas mikroorganismu bioplēves.

Balstoties uz mūsu iepriekšējiem pētījumiem [10], kopumā var teikt, ka Latvijas mālu šūnainās keramikas granulas ir iespējams izmantot dzīvu mikroorganismu imobilizēšanai, tomēr dažādas granulas atšķirīgi ietekmē baktēriju adhēziju un dzīvotspēju. Dzīvotspēja ir atkarīga no granulū veida (sastāva, apstrādes temperatūras u.c. īpašībām) (sk. 1. attēlu) un imobilizēšanas vides temperatūras. Granulū veids ietekmē arī uz keramikas granulām adsorbēto baktēriju daudzumu (sk. 2. attēlu).

1. attēlā redzams, ka visos eksperimenta variantos baktēriju koncentrācija suspensijā ar laiku samazinās. Vislēnāk tas notiek kontrolē (ūdenī), bet visātrāk – vidē ar Prometeja granulām. Dažreiz rēķina starpību starp suspendēto kvv daudzumu kontrolē un analizējamajā variantā, un šo starpību pieņem par adsorbēto šūnu daudzumu [11], tomēr tas nav pareizi, jo tikpat labi tas var liecināt arī par to, ka mikroorganismi ir gājuši bojā.

Mūsu iegūtie dati par baktēriju daudzumu uz granulām (sk. 2. attēlu) norāda, ka baktērijas tiešām ir adsorbējušās uz visām pētītajām granulām. Uz tām atrodas no 39 tūkstošiem (Prometejs 1150) līdz 10 miljoniem (Liepa 1100) baktēriju uz vienu gramu granulū masas, tomēr tas sastāda ne vairāk par 10 % no baktēriju kopskaita. Līdz ar to dzīvotspējīgo jeb

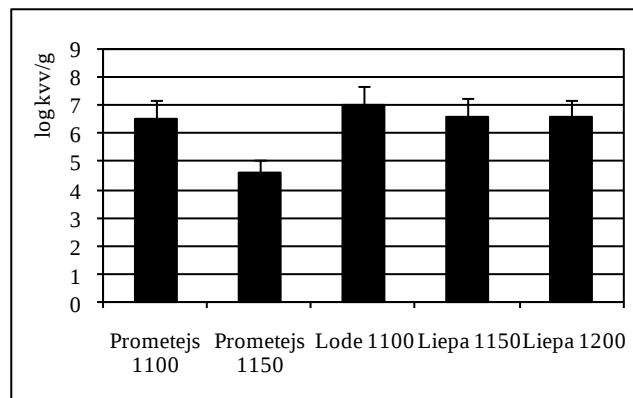
kolonijas veidojošo baktēriju kopskaits atspoguļo to pašu 1. attēlā redzamo ainu, kas raksturo baktēriju kvv koncentrāciju suspensijā. Acīmredzot granulas izraisa baktēriju bojāeju šķidrumā. Tas notiek arī zemākā temperatūrā (20 °C) [10], tikai ievērojami lēnāk.



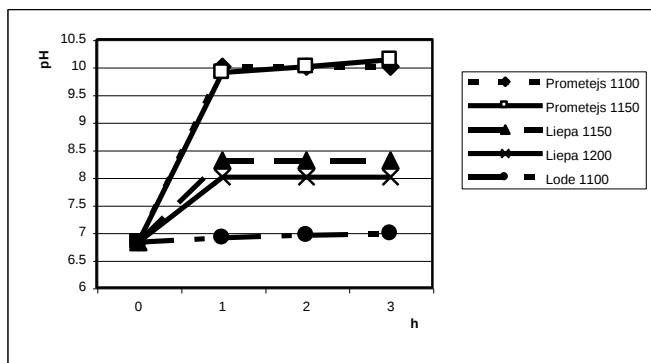
1.att. Baktēriju *P. putida* kolonijas veidojošo vienību (kvv) koncentrācijas izmaiņas suspensijā četru stundu laikā 30 °C vidē ar dažādām keramikas granulām.

No Prometeja māliem iegūtās keramikas granulas iznīcina baktērijas ievērojami aktīvāk nekā Liepas mālu granulas (sk. 1. attēlu), turklāt parādās likumsakarība, ka, paaugstinoties granulū apdedzināšanas temperatūrai (par 50 °C), palielinās baktericīdais efekts. Tas attiecas gan uz Prometeja, gan arī uz Liepas mālu granulām.

Baktericīdā efekta izcelsmi mēģinājam noskaidrot, nosakot šķidrumu pH un elektrovadītspēju. Kā redzams 3. attēlā, jau pēc vienu stundu ilgas atrašanās sterilā ūdenī (30 °C) Prometeja mālu granulas ir paaugstinājušas tā pH no 6.8 līdz 10.0, Liepas mālu granulas – līdz pH 8.0-8.3, bet šķidrumā ar Lodes granulām pH paaugstinājies tikai par 0.2 un sasniedzis 7.0. Nolejot šo sārmaino ūdeni un uzlejot jaunu, Prometeja un Liepas mālu granulas arī atkārtoti pacēla ūdens pH līdz iepriekšminētajām vērtībām, un tādā pH saglabājās vismaz 20 stundas. Tik sārmaina vide neapšaubāmi izraisa *P. putida* un daudzu citu mikroorganismu pakāpenisku bojāeju. Tādējādi varam secināt, ka eksperimentā izmantotās Lodes mālu granulas ir piemērotas mikroorganismu imobilizēšanai, bet Prometeja un Liepas mālu granulas šim mērķim nav izmantojamas. Var pētīt iespējas pielietot šādu keramikas granulū baktericīdās īpašības.



2.att. Uz keramikas granulām adsorbēto *P. putida* daudzums 30 °C, log kolonijas veidojošās vienības (kvv) uz vienu gramu granulū ±S.D.



3.att. pH izmaiņas ūdens vidē ar keramikas granulām.

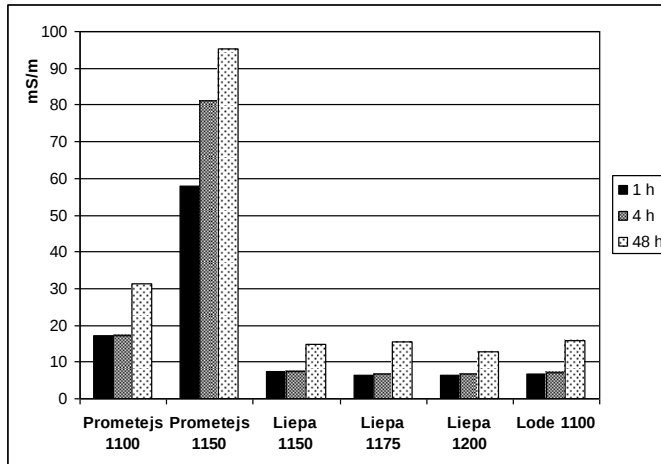
Literatūrā ir aprakstīti pētījumi par dažu dabisku māla veidu baktericīdajām īpašībām [12]. Piemēram, antimikrobiāla aktivitāte ir konstatēta vairākiem māliem, kuru pH ir zem 4 [13]. Izpētīto aktīvo mālu galvenās sastāvdaļas bija Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , SO_3 , CuO vai Cl_2O . Šo mālu pētījuma autori izvirzīja hipotēzi, ka baktericīdo aktivitāti galvenokārt nosaka zemais pH, tomēr iespējama arī katjonu Cu, Al un dažādu anjonu ietekme [13].

Citos pētījumos noskaidrots, ka metālu oksīdu hidratācija ir pats svarīgākais antibakteriālās iedarbības mehānisms, taču, tā kā antibakteriālā iedarbība ir lielāka nekā NaOH šķīdumam ar identisku pH vērtību un maksimāla efekta sasniegšanai nepieciešams tiešs kontakts starp metālu oksīdu daļiņām un mikroorganismu šūnām, tad darbojas arī citi mehānismi [14]. Protams, mūsu pētītās keramikas granulas ir apstrādāti māla izstrādājumi, bet arī vairākas no tām uzrādīja baktericīdas īpašības. Atšķirībā no minētajiem citu autoru eksperimentiem, mūsu granulas nevis pazemināja, bet gan paaugstināja vides pH. Kā zināms, augstā temperatūrā, kādā iegūst šūnaino keramiku, notiek metālu oksidēšanās, un droši vien tieši metālu oksīdi, reaģējot ar ūdeni, rada bāzisko vidi, kas iznīcina daudzus mikroorganismus. No mūsu pētītajiem materiāliem visstiprākā baktericīdā iedarbība piemita Prometeja mālu keramikai. Lode 1100 granulām, kuru vidē pH nepārsniedza 7.0, nebija baktericīdas ietekmes uz *P. putida*.

Lai iegūtu priekšstatu par jonu koncentrāciju granulu vidē, noteicām šķīdumu elektrovadītspēju. Kā zināms, elektrovadītspēja raksturo ūdenī izšķīdušos jonus, taču tā neizsaka jonu precīzu koncentrāciju, jo ir atkarīga arī no jonu īpašībām, tai skaitā valences [15]. 4. attēlā apkopoti dati par elektrovadītspēju ūdenī, kurā ievietotas mūsu pētītās granulas. Liepas un Lodes granulu vidē elektrovadītspēja 48 stundu laikā pacēlās līdz 12.7-15.9 mS/m, Prometeja 1100 vidē – līdz 31.2, bet Prometeja 1150 vidē – līdz 95.2 mS/m.

Prometeja un Liepas mālu gadījumā parādījās likumsakarība, ka palielinoties elektrovadītspējai, paaugstinās arī pH, bet, kaut arī Lodes mālu keramikai pH bija ievērojami zemāks nekā Liepas keramikai (sk. 3. attēlu), elektrovadītspēja vidē ar šiem abiem materiāliem gandrīz neatšķīrās.

Pētījuma rezultāti liecina, ka Latvijas māli un no tiem izstrādātie šūnainās keramikas materiāli ir daudzveidīgi, un tādēļ tiem ir plašas izmantošanas iespējas biotehnoloģijā. Inovatīvu produktu radīšanai nepieciešams turpināt un padziļināt iesāktos pētījumus.



4.att. Elektrovadītspēja ūdens vidē ar dažādām šūnainās keramikas granulām pēc vienas, četru un 48 stundu ilgas inkubācijas 30 °C. Izmantotā ūdens elektrovadītspēja 0.4 mS/m.

SECINĀJUMI

1. No Liepas, Lodes un Prometeja atradnēm iegūtajām šūnainās keramikas granulām ir atšķirīgas izmantošanas iespējas biotehnoloģijā.
2. Baktēriju adhēzija notiek uz visām pētītajām granulām, tomēr tikai Lodes šūnainās keramikas granulas ir piemērotas dzīvību šūnu imobilizācijai.
3. Prometeja mālu granulām ūdens vidē piemīt baktericīda iedarbība. Tā ir mazāk izteikta Liepas mālu granulām, bet nepiemīt Lodes mālu granulām.

PATEICĪBAS

Pateicamies RTU profesoriem V. Švinkam, R. Švinkai un A. Cimīeram par vērtīgām diskusijām un sagādāto iespēju strādāt ar keramikas granulām. Pētījumi veikti Valsts pētījumu programmas Nr. 2010.10-4/VPP-5 „Vietējo resursu (zemes dzīļu, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas (NatRes)” projekta „Jaunu tehnoloģiju izstrādāšana inovatīvu produktu radīšanai no Latvijas zemes dzīļu resursiem (Zemes dzīles)” ietvaros.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Donlad, R. M., Costerson, J. W. Biofilms: Survival Mechanisms of Clinically Relevant Microorganisms. *Clinical Microbiology Reviews*, 2002, vol. 15, N 2, p. 167-193.
2. *Bacterial Adhesion: Molecular and Ecological Diversity*. Ed. by M. Fletcher. New York: Wiley-Liss, 1996. 361 p.
3. Hori, K., Matsumoto, S. Bacterial Adhesion: From Mechanism to Control. *Biochemical Engineering Journal*, 2010, vol. 48, N 3, p. 424-434.
4. Palmer, J., Flint, J., Brooks, J. Bacterial Cell Attachment, the Beginning of a Biofilm. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 2007, vol. 34, N 9, p. 577-588.
5. Van Loosdrecht, M. C. M., Lyklema, J., Norde, W., et al. Bacterial Adhesion. A Physicochemical Approach. *Microbial Ecology*, 1989, vol. 17, N 1, p. 1-15.
6. Mitik-Dineva, N., Wang, J., Truong, V. K., et al. *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Staphylococcus aureus* Attachment Patterns on Glass Surfaces with Nanoscale Roughness. *Currant Microbiology*, 2009, vol. 58, N 3, p. 268-273.
7. Timmis, K.N. *Pseudomonas putida*: a Cosmopolitan Opportunist par excellence. *Environmental Microbiology*, 2002, vol. 4, N 12, p. 779-781.

8. **Pickens, J. M., Fain, G. B., Sibley, J. L., et al.** Evaluation of Clay Aggregates in Perennial Offshoot Production. *Journal of Environmental Horticulture*, 2009, vol. 27, N 1, p. 1-6.
9. **Barros, A. R., Cavalcante de Amorim, E. L., Reis, C. M., et al.** Biohydrogen Production in Anaerobic Fluidized Bed Reactors: Effect of Support Material and Hydraulic Retention Time. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2010, vol. 35, N 8, p. 3379-3388.
10. **Nikolajeva, V., Petriņa, Z., Griba, T., et al.** Keramikas granulu un baktēriju mijiedarbības pētījumi. *Grāmatā: Ģeogrāfijas, ģeoloģijas, vides zinātne. Referātu tēzes: zin. raksti*. Latvijas Universitāte, Rīga, 2011., 342.-344. lpp.
11. **Robledo-Ortiz, J. R., Ramirez-Arreola, D. E., Gomez, C., et al.** Bacterial Immobilization by Adhesion onto Agave-Fiber/Polymer Foamed Composites. *Bioresource Technology*, 2010, vol. 101, N 4, p. 1293-1299.
12. **Haydel, S. E., Remenih, C. M., Williams, L. B.** Broad-Spectrum *in vitro* Antibacterial Activities of Clay Minerals against Antibiotic-Susceptible and Antibiotic-Resistant Bacterial Pathogens. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 2008, vol. 61, N 2, p. 353-361.
13. **Mpuchane, S. F., Ekosse, G.-I. E., Gashe, B. A., et al.** Microbiological Characterisation of Southern African Medicinal and Cosmetic Clays. *International Journal of Environmental Health Research*, 2010, vol. 20, N 1, p. 27-41.
14. **Sawai, J.** Quantitative Evaluation of Antibacterial Activities of Metallic Oxide Powders (ZnO, MgO and CaO) by Conductimetric Assay. *Journal of Microbiological Methods*, 2003, vol. 54, N 2, p. 177-182.
15. **Helferich, F.** *Ion Exchange*. Toronto : Courier Dover Publications, 1995. 624 p.

Vizma Nikolajeva, Dr. biol., docent, senior researcher
Faculty of Biology, University of Latvia
Address: Kronvalda blvd. 4, Rīga, LV-1586, Latvia
E-mail: vizma.nikolajeva@lu.lv
Member of the Microbiological Society of Latvia

Tatjana Griba, undergraduate, laboratory assistant
Institute of Microbiology and Biotechnology, University of Latvia
Address: Kronvalda blvd. 4, Rīga, LV-1586, Latvia

Zaiga Petrīna, biologist, research assistant
Institute of Microbiology and Biotechnology, University of Latvia
Address: Kronvalda blvd. 4, Rīga, LV-1586, Latvia
Member of the Microbiological Society of Latvia

Vizma Nikolajeva, Tatjana Griba, Zaiga Petrīna. Application Possibilities of Different Expanded Latvian Clay Granules in Biotechnology

Possibilities of application of six kinds of different expanded clay granules in biotechnology were evaluated. The granules were prepared and characterized in the Institute of Silicate Materials, Riga Technical University. The main raw material was clay obtained from three Latvian clay deposits. Adhesion of microorganisms onto expanded clay granules was studied. The Gram-negative saprophytic bacterium *Pseudomonas putida* MSCL 650 was chosen as a model because *P. putida* is widespread throughout the environment. The batch experiments were carried out in order to determine the number of viable number of bacteria (colony forming units – CFU) in the presence and absence of clay granules in the incubation liquid as well as in the suspension recovered from surface of granules after four hours long incubation at 30 °C. The concentration of CFU was obtained using the serial dilution technique. Experimental data analysis showed that bacterial adhesion take place in all of the investigated expanded clay granules obtained from deposits of Liepa, Lode and Prometejs, and sintered at temperature of 1100-1200 °C. However, only Lode granules were appropriate for the immobilization of live cells. It was ascertained that Prometejs granules possessed bactericidal action in the aquatic environment. Liepa granules showed comparatively small bactericidal action but Lode granules did not show any bactericidal activity. Electrical conductivity and pH of aquatic environment of granules was estimated and possible mechanisms of the established bactericidal activity were described. It was demonstrated that Prometejs granules increased the pH value of the liquid from 6.8 to 10.0 while Lode granules enhanced pH only by 0.2 units. Liquid medium of the Prometejs granules demonstrated also approximately six times greater electrical conductivity than medium of other granules. The results of the study suggest that Latvian clay and corresponding expanded clay materials are very different and therefore could be used in different fields of biotechnology.

Визма Николаева, Татьяна Гриб, Зайга Петриня. Возможности применения в биотехнологии гранул керамзита, полученных из различных залежей глины Латвии

В работе исследованы возможности применения в биотехнологии шести различных видов гранул керамзита. Гранулы получены и описаны в Институте Силикатных материалов Рижского технического университета. Основное сырье – глина из трех залежей Латвии. Изучена адгезия микроорганизмов к гранулам керамзита. Для проведения исследований были выбраны грамотрицательные сапротрофные бактерии *Pseudomonas putida* MSCL 650, так как бактерии этого вида широко распространены в окружающей среде. Были проведены эксперименты для определения количества жизнеспособных бактерий (колонии образующих единиц – КОЕ) в жидкости в присутствии и отсутствии керамзита в течение четырех часов при температуре 30 °C, а также в суспензии, полученной после тщательного отмывания поверхности керамзита в конце эксперимента. Концентрация КОЕ определена методом серийных разведений. Анализ экспериментальных данных показывает, что бактериальная адгезия происходит ко всем исследованным гранулам, полученным из залежей Лиэпа, Лодэ и Прометей и обожженных при температуре 1100-1200 °C, однако только гранулы Лодэ подходят для иммобилизации живых клеток. Установлено, что гранулы Прометей в водной среде обладают бактерицидным действием. Гранулы Лиэпа имеют менее выраженное бактерицидное действие, а гранулы Лодэ вообще не обладают бактерицидными свойствами. В работе определена электропроводимость и концентрация водородных ионов в водной среде, содержащей гранулы керамзита, и объяснены возможные механизмы бактерицидного действия. Установлено, что гранулы Прометей вызывают повышение pH среды от 6,8 до 10,0. В то же время гранулы Лодэ повышают pH только на 0,2 единицы. Гранулам Прометей присуща повышенная электропроводимость, примерно в шесть раз превышающая электропроводимость аналогичной среды, в которой помещены другие гранулы. Результаты исследований показывают, что глина и соответствующие керамзиты Латвии очень разнообразны и поэтому могут быть применены в различных областях биотехнологии.