

PEROKSIDAZE KATALIZUOJAMOS BISFENOLIO A OKSIDACIJOS REAKCIJOS, DALYVAUJANT FENOKSAZINO DARINIUI, TYRIMAS

Rūta Ivanec-Goranina, Pranas Zazerskis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

E. p.: ruta.ivanec-goranina@vgtu.lt; p.zazerskis@gmail.com

Įvadas

Kasdien susiduriama su daugybe heminių medžiagų, kai kurios iš jų yra kenksmingos žmonėms ir aplinkai. Kyla vis didesnis susirūpinimas, kaip tinkamai gaminti, naudoti ir pašalinti potencialiai kenksmingas sveikatai ir aplinkai medžiagas. Namuose naudojami plovikliai, farmaciniai produktai ar net biogeniniai hormonai patenka į nuotekamuosius vandenius, o po nuotekų perdirbimo (kuris nėra pritaikytas didžiąjai daliai cheminių medžiagų, ypač sunkiai degraduojamų) patenka į gamtinius vandenius ir cirkuliuoja natūralioje aplinkoje. Kaip tik dėl šios priežasties šiuo metu plėtojami tyrimai, kuriais siekiama iširti asmeninio naudojimo produktus, savo sudėtyje turinčius toksinių, kancerogeninių ar mutageninių medžiagų, šių medžiagų įtaką gyvajai aplinkai. Vienas iš daugelio tankiai apgyvendintų zonų nuotekose gausiai aptinkamų fenolinių darinių yra bisfenolis A [1].

Fenolinių junginių dažnai randama daugelio pramonės šakų gamyklų nuotekamuosiuose vandenyse, pavyzdžiui, medienos, polimerų sintezės pramonėje, audinių, dažų gamyboje ir kt. Dauguma fenolinių junginių yra toksiški ir priskiriami patvariųjų organinių teršalų grupei, pavojingi žmogaus ir gyvūnų sveikatai. Kai kurie iš šių junginių yra kancerogeniški. Dėl šių junginių patvarumo jų kiekis gamtoje tik didėja ir greitai gali pasiekti kritines koncentracijas [2].

Yra keli būdai fenoliniams junginiams perdirbti ir pašalinti iš nuotekų: ekstrahavimas, degradacija mikroorganizmais, adsorbcija ant aktyvuotos anglies, elektrocheminė oksidacija [3–5]. Šie fenolinių darinių degradavimo būdai yra brangūs ir kartais neefektyvūs. Dažnai po degradacijos susidarę junginiai būna dar toksiškesni. Fenolinių junginių degradacija fermentais – tai efektyvus būdas jiems šalinti. Dėl fermentų gausos ir specifškumo galima oksiduoti daug ir įvairių aromatinių junginių [2].

Fermentai – tai makromolekulės, pasižyminčios dideliu specifškumu ir efektyvumu katalizuojant biologinių sistemų reakcijas. Fermentai reikalingi beveik kiekvienai gyvuosiuose organizmuose vykstančiai cheminei reakcijai. Tobulėjant biotechnologijoms, vis

daugiau naujų fermentų yra atrandama, aprašoma ir pritaikoma įvairiose pramonės šakose, pavyzdžiui, medicinoje, žemės ūkyje, kasdienio vartojimo prekių sektoriuje, biokuro gamyboje, nuotekų valyme ir kt. Šiuo metu siekiama kuo daugiau fermentų išgauti iš rekombinantinių mikroorganizmų. Pramoninėje fermentų gamyboje taikomos naujos genų manipuliacijų technologijos, bandoma pasiekti kuo didesnę fermentų gamybos produktyvumą [6].

Fenolinių darinių katalizinėje oksidacijoje daugiausia naudojamos peroksidazės, išskirtos iš augalų (krienų, sojų pupelių), tačiau toks išskyrimas yra sunkus ir brangus. Paskutiniu metu besivystančios genų inžinerijos technologijos sukuria naujų galimybių sintetinti fermentus genų rekombinacijos metodu. Rekombinantiniai genų produktai (fermentai) yra lengviau prieinami ir tokie pat efektyvūs kaip jų nerekombinantiniai analogai [1].

Šiame darbe nustatyta, kad rekombinantinė *Coprinus cinereus* peroksidazė (rCiP) oksiduoja bisfenolį A (Bis A). Kadangi peroksidazės katalizuojamas Bis A oksidacijos procesas buvo lėtas, norint jį pagreitinti naudotas aukšto reaktiškumo substratas, pasižymintis geromis mediatorinėmis savybėmis aromatiniam N-hidroksi dariniams – tai 3-(10H-fenoksazin-10-il) propioninė rūgštis (PPA). Pastebėta, kad PPA greitina Bis A oksidaciją. Nustatytos pradinio oksidacijos reakcijos greičio priklausomybės nuo kiekvieno iš komponentų (Bis A, PPSA ir rPpL). Pasiūlyta schema, aprašanti Bis A oksidacijos metu vykstančius procesus, apskaičiuoti kinetiniai parametrai.

Darbo tikslas – rekombinantine *Coprinus cinereus* peroksidaze (rCiP) katalizuojamos bisfenolio A oksidacijos, dalyvaujant 3-(10H-fenoksazin-10-il) propioninei rūgščiai (PPA), tyrimas.

Darbo uždaviniai: 1) iširti bisfenolio A oksidacijos pradinio reakcijos greičio priklausomybę nuo fermento, bisfenolio A ir PPA koncentracijų, kai terpėje nėra mediatoriaus ir esant mediatoriui; taip pat PPA oksidacijos pradinio reakcijos greičio priklausomybę nuo PPA koncentracijos; 2) atlikti matematinį bisfenolio A peroksidazinės oksidacijos mechanizmo modeliavimą, nesant ir esant PPA.

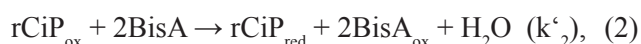
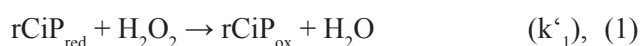
Tyrimo metodai ir skaičiavimai

Darbe naudota rekombinatinė *Coprinus cine-reus* peroksidazė (rCiP), gauta iš „Novoenzymes A/S“ (Danija). Peroksidazės koncentracija nustatyta spektrofotometriškai esant 405 nm bangos ilgiui ir naudojant molinės sugerties koeficientą $109 \text{ mM}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ [7]. Bisfenolis A (BisA) pagamintas „MERCCK“ (Vokietija), tirpalas paruoštas pagal svorį natrio fosfatiniame buferiniame tirpale. Fenoksazino darinys PPA gautas iš VU buvusio Biochemijos instituto (Lietuva), tirpalas ruoštas medžiagą sveriant ir tirpinant dejonizuotame vandenyje. Natrio dihidrofosfatas pagamintas „GIROchem“ (Slovėnija), natrio hidrofosfatas – „Chempur“ (Lenkija) produktas. 30 proc. vandenilio peroksido tirpalas gautas iš „Polskie odczynniki chemiczne S. A.“ (Lenkija). Vandenilio peroksido koncentracija nustatyta spektrofotometriškai, naudojant $39,4 \text{ mM}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ molinės sugerties koeficientą, esant 240 nm bangos ilgiui.

Spektrofotometriniai matavimai atlikti kompiuterizuotu „Evolution 300“ spektrofotometru. Kinetiniai matavimai atlikti termostatuojamoje 1 cm skersmens kiuvetėje, palaikant 25°C temperatūrą, 25 mM natrio fosfatiniame buferiniame tirpale pH 7,7 (25 mM natrio dihidrofosfato ir 25 mM natrio hidrofosfato komponentai), esant 2,5–22 μM BisA, 100 μM vandenilio peroksido, 5–20 nM rCiP, 0–0,5 μM PPA. Bisfenolio A oksidacijos reakcijos kinetika fiksuota esant 276 nm bangos ilgiui. Esant 530 nm bangos ilgio fiksuota PPA oksidacijos reakcijos kinetika. Reakcija inicijuojama įvedus peroksidazę.

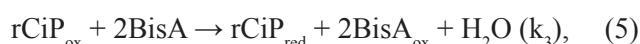
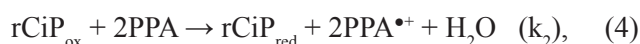
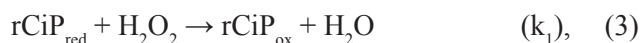
BisA ir PPA katalizinės oksidacijos kinetika stebėta spektrofotometriškai. Gautos kinetinės kreivės normuotos naudojamai BisA ir PPA oksidacijos produktų koncentracijai ir jų pradinės dalys (50 s) aproksimuotos taikant tiesės lygtį, kurioje tiesės nuolinio kampo tangentes atitinka pradinę reakcijos greitį (V). Biokatalizinei PPA oksidacijos pradinio reakcijos greičio priklausomybei nuo PPA koncentracijos analizuoti ir tariamiems kinetiniams parametrams V_{max} ir K_m nustatyti taikyta Michaelis-Menten lygtis. Visi eksperimentai kartoti 3 kartus ($n = 3$).

BisA oksidaciją rCiP (nesant PPA) galima aprašyti supaprastinta peroksidazės veikimo schema [8]:



čia rCiP_{red} – redukuotas fermentas, rCiP_{ox} – oksiduotas fermentas, BisA_{ox} – oksiduota BisA forma, o k'_1 , k'_2 – 1, 2 lygčių reakcijų bimolekulinės greičio konstantos.

Tiriant BisA katalizinės oksidacijos pradinis reakcijos greičius, dalyvaujant mediatoriui PPA, pastebėta, kad BisA oksidacijos reakcijos greičiai padidėja kelis kartus. Vadinas, reakcijoje BisA yra oksiduojamas ne tik aktyvaus fermento, bet ir mediatoriaus PPA katijoninio radikalo ($\text{PPA}^{\bullet+}$). Vykstantiems procesams siūloma supaprastinta schema [8]:



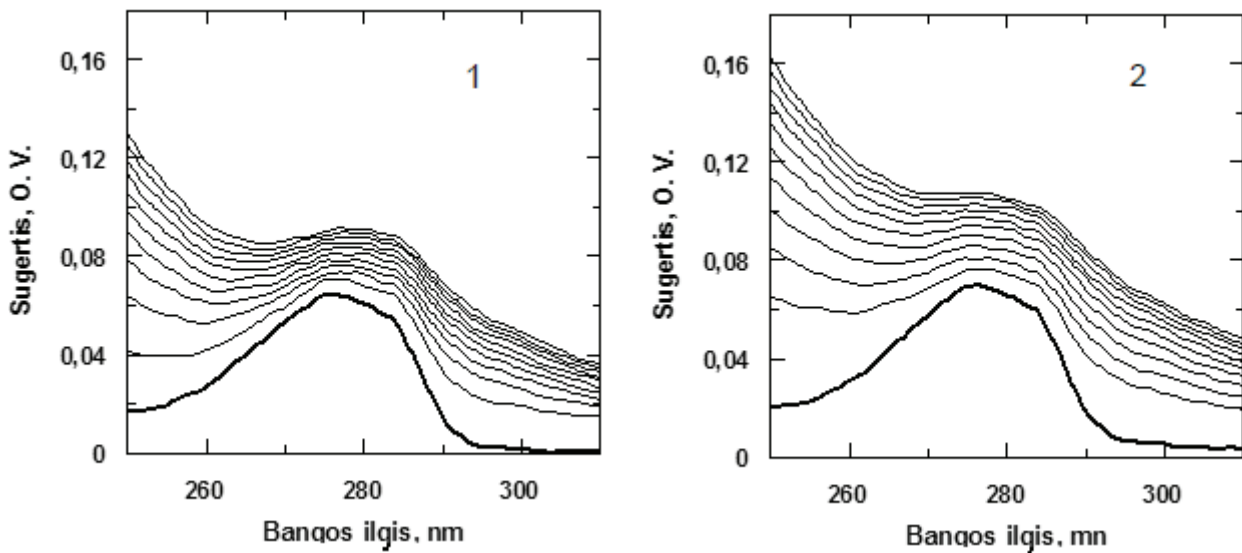
čia k_1 , k_2 , k_3 , k_4 – 3, 4, 5, 6 lygčių reakcijų greičio bimolekulinės konstantos.

Gauti duomenys apdoroti kompiuterinėmis inžinerinio modeliavimo programomis Mathcad14 ir Grafit 3,01.

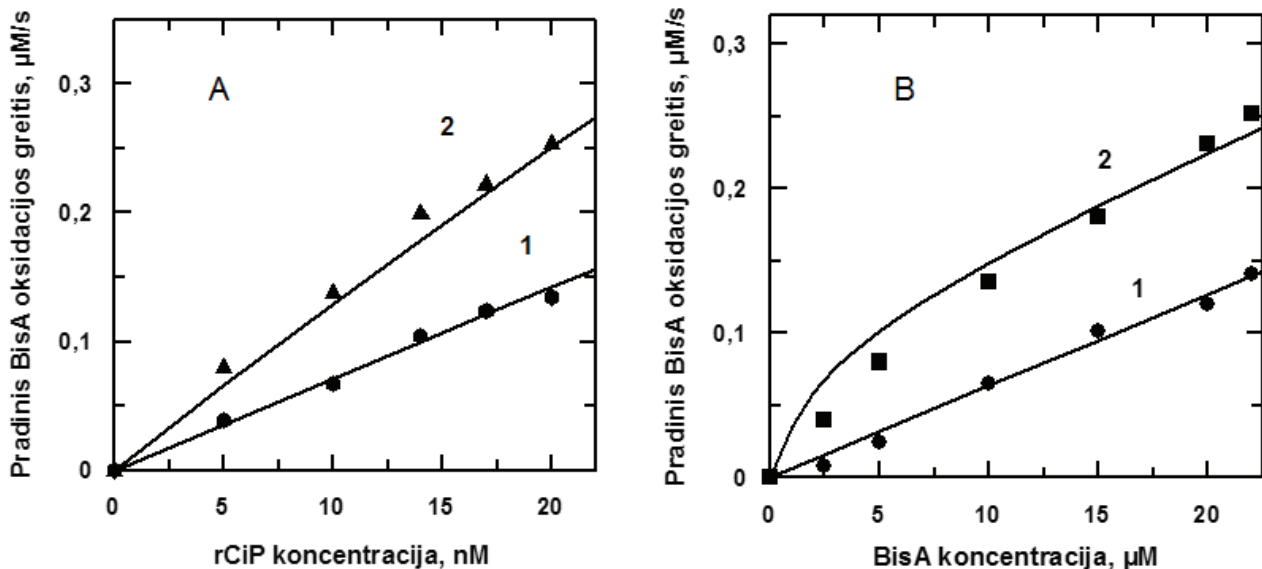
Tyrimo rezultatai

Esant 25°C temperatūrai, fosfatiniame buferiniame tirpale pH 7,7 užrašyti Bis A sugerties spektrai (1 pav.). Skirtingas spektrų kitimas rodo, kad kai mediatoriaus nėra, Bis A oksidacija vyksta lėčiau (1 pav. 1), jei lyginsime su reakcija, kai mediatorius PPA dalyvauja (1 pav. 2). Nustatytas sugerties maksimumas ties 276 nm bangos ilgiu, esant tokiam bangos ilgiui fiksuoti visi BisA oksidacijos produkto kitimo spektrai.

Esant 25°C temperatūrai, fosfatiniame buferiniame tirpale (pH 7,7) tirta BisA biokatalizinės oksidacijos pradinio reakcijos greičio priklausomybė nuo fermento rCiP koncentracijos intervale 5–20 nM (2 pav. A). BisA ir PPA koncentracijos tirpale pastovios ir atitinkamai lygios 20 μM ir 0,4 μM . Kai tirpale nėra PPA, pradinis reakcijos greitis keičiasi nuo 0,04 $\mu\text{M/s}$ iki 0,1 $\mu\text{M/s}$. Tirpale esant PPA, pradinis reakcijos greitis kinta nuo 80 nM/s iki 0,25 $\mu\text{M/s}$. BisA oksidacijos pradiniai reakcijos greičiai tiesiškai priklauso nuo rCiP koncentracijos. Koreliacijos koeficientas (r) nesant PPA yra 0,9963, o esant PPA – $r = 0,9925$. Į reakciją įvedus PPA, pradinis reakcijos greitis esant mažoms rCiP koncentracijoms (0–14 nM) padidėja dvigubai, o kai fermento koncentracijos didesnės, pradinis greitis padidėja 1,5 karto, jei lyginsime su reakcija, kai tirpale nėra PPA.



1 pav. Bis A oksidacijos produkto sugerties spektro kitimas rCiP katalizuojamos BisA oksidacijos metu reakcijos mišinyje nesant (1) ir esant PPA (2). Sąlygos: 20 μM BisA, 100 μM H_2O_2 , 20 nM rCiP, 0 μM PPA (1), 0,4 μM PPA (2), pH 7,7, temperatūra 25 $^\circ\text{C}$. Spektro kitimai registruoti kas 20 s



2 pav. BisA katalizinės oksidacijos pradinio reakcijos greičio priklausomybė nuo rCiP koncentracijos (A) ir nuo BisA koncentracijos (B). Sąlygos: pH 7,7, 25 $^\circ\text{C}$, A- 20 μM BisA, 100 μM H_2O_2 , 2–20 nM rCiP, 0 μM PPA (1), 0,4 μM PPA (2); B- 20 nM rCiP, 100 μM H_2O_2 , 2,5–22 μM BisA, 0 μM PPA (1), 0,4 μM PPA (2). Eksperimentiniai taškai aproksimuoti taikant stacionariosios kinetikos modelį

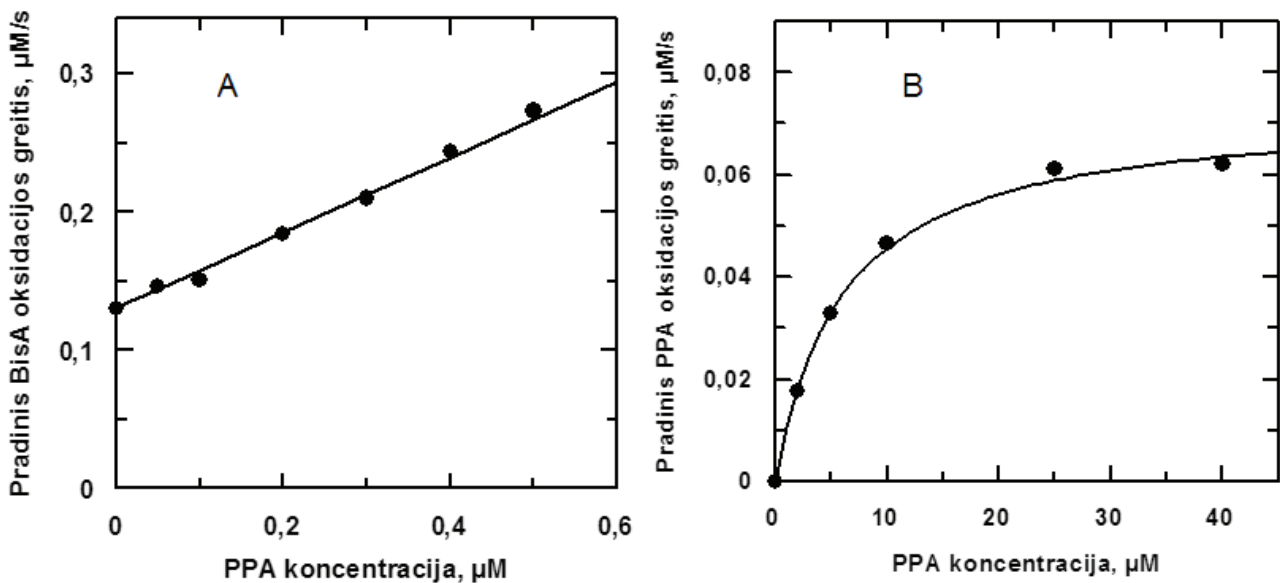
Tirta biokatalizinės BisA oksidacijos pradinio reakcijos greičio priklausomybė nuo BisA koncentracijos, kai intervalas 2,5–22 μM (2 pav. B). Pradinis reakcijos greitis nesant PPA kinta nuo 80 nM/s iki 0,14 $\mu\text{M/s}$. o Tirpale esant PPA, V kinta nuo 40 nM/s iki 0,25 $\mu\text{M/s}$. PPA koncentracija tirpale 0,4 μM , rCiP koncentracija – 20 nM. Matome, kad katalizinė BisA oksidacija naudojant mažas BisA koncentracijas (2,5–10 μM), tirpale esant PPA, gali vykti nuo 2 iki 5 kartų greičiau, jei lyginsime su reakcija, kurioje PPA nedalyvauja. BisA oksidacijos reakcijoje be mediatoriaus

pradinio reakcijos greičio priklausomybė nuo BisA atitinka tiesės lygtį ($r = 0,9959$). Iš tiesės nuolinio kampo tangento, dalinto iš dviejų BisA koncentracijų, ir buvo apskaičiuota tariamoji bimolekulinė BisA reaktivity su rCiP konstanta k_3 , kurios reikšmė yra $(1,6 \pm 0,2) \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Gauta reikšmė rodo ganėtinai žemą BisA reaktivity su rCiP (apibūdina 5 reakcijos procesą).

Nustačius, kad PPA daro įtaką Bis A oksidacijos greičiui, tirta biokatalizinės Bis A oksidacijos pradinio reakcijos greičio priklausomybė nuo PPA kon-

centracijos (3 pav. A). Pasirinktos PPA koncentracijos intervale 0–0,5 μM ir pradinis reakcijos greitis kinta nuo 0,1 $\mu\text{M/s}$ iki 0,2 $\mu\text{M/s}$. Matoma tiesinė pradinio

reakcijos greičio priklausomybė nuo PPA koncentracijos ($r = 0,9967$).



3 pav. BisA katalizinės oksidacijos pradinio reakcijos greičio priklausomybė nuo PPA koncentracijos (A) ir PPA katalizinės oksidacijos pradinio reakcijos greičio priklausomybė nuo PPA koncentracijos (B). Sąlygos: pH 7,7, 25 °C, A: 0-0,5 μM PPA, 100 μM H_2O_2 , 20 μM BisA, 20 nM rCiP; B: 2-40 μM PPA, 100 μM H_2O_2 , 10 pM rCiP. Eksperimentiniai taškai aproksimuoti taikant stacionariosios kinetikos modelį (A) ir Michaelis-Menten modelį (B)

Norint įvertinti PPA reakingumą su fermentu, buvo atliktas eksperimentas, kurio metu tirta pradinio PPA oksidacijos reakcijos greičio priklausomybė nuo PPA koncentracijos (3 pav. B). PPA oksidacijos produkto kitimo spektras stebimas esant 530 nm bangos ilgiui. Naudota PPA koncentracija intervale 2–40 μM . Pradinis oksidacijos reakcijos greitis kinta nuo 0,02 $\mu\text{M/s}$ iki 0,06 $\mu\text{M/s}$. Procesas buvo aprašytas taikant Michaelis-Menten lygtį, gauti tariamieji kinetiniai parametrai $V_{\max} = (7,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-8} \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$ ir $K_m = (6,0 \pm 0,6) \cdot 10^{-6} \text{ M}$. Remiantis gautais parametrais, taikant lygtį $k_2 = V_{\max} / 2(K_m \cdot [\text{rCiP}])$, kai rCiP koncentracija lygi 10 pM, buvo apskaičiuota tariamoji bimolekulinė PPA reakingumo su rCiP konstanta $k_2 = (6,1 \pm 0,3) \cdot 10^8 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Gauta reikšmė rodo labai aukštą PPA reakingumą su rCiP (charakterizuoja 4 reakcijos procesą).

Iš literatūros žinoma, kad BisA gali oksiduoti tokie fermentai kaip krienų peroksidazė [9], lignino peroksidazė [10], lakazė [11], tačiau šie procesai labai lėti. Šiame darbe nustatyta, kad rekombinantinė *Coprinus cinereus* peroksidazė (rCiP) oksiduoja BisA irgi lėtai, t. y. apskaičiuota tariamoji bimolekulinė BisA reakingumo su rCiP konstanta ($k_3 = (1,6 \pm 0,2) \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) rodo tikrai žemą BisA reakingumą su rCiP. Norint pagreitinti BisA oksidaciją, mokslinėje literatūroje jau gerą dešimtį metų tyrinėjami įvairūs mediatoriai: 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfoninė rūgštis (ABTS), violuro rūgštis (VLA), 1-hi-

droksibenzotriazolas (HBT), N-hidroksiftalimidas (HPI) ir kt. [12]. Iš visų šių minėtų mediatorių ABTS pasižymėjo geriausiomis mediatorinėmis savybėmis laktazės katalizuojamose BisA oksidacijos reakcijose [11]. Šiame darbe buvo naudotas aukšto reakingumo substratas PPA, pasižymintis labai geromis mediatorinėmis savybėmis tinkančiomis siekiant oksiduoti aromatinius N-hidroksi darinius [13, 14], tačiau peroksidazės katalizuojamuose BisA oksidacijos sinerginiuose procesuose dar nebuvo tyrinėtos. Savo charakteristikomis PPA panašus ir netgi lenkia klasikinių mediatorių ABTS, t. y. abiejų darinių oksiduotos formos yra stabilios [15], o redoks potencialas PPA (0,634 V) mažesnis už ABTS (0,69 V) [12,14]. Šiame darbe nustatyta tariamoji bimolekulinė PPA reakingumo su rCiP konstanta ($k_2 = (6,1 \pm 0,3) \cdot 10^8 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) irgi rodo labai aukštą PPA reakingumą su rCiP, turi didelį privalumą anksčiau minėtų mediatorių atžvilgiu.

Išvados

1. Atlikus eksperimentinių tyrimų analizę ir sumodeliavus vykstančius procesus, pastebėta, kad PPA turi teigiamos įtakos BisA katalizinės oksidacijos pradiniam reakcijos greičiui.
2. PPA padidina BisA oksidacijos reakcijos greitį apie 2–5 kartus.

Padėka

Autoriai dėkoja dr. A. Palaimai ir dr. R. Jančienei iš VU buvusio Biochemijos instituto už susintetintą fenoksazino darinį.

Literatūra

1. Abelskov A. K., Smith A. T., Rasmussen C. B., Dunford H. B., Welinder K. G., 1997, pH Dependence and structural interpretation of the reactions of *Coprinus cinereus* peroxidase with hydrogen peroxide, ferulic acid, and 2,2'-Azinobis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid), *Biochemistry*, Vol. 36, P. 9453–9463.
2. Andersen M. B., Hsuanyu Y., Welinder K. G., Schneider P., Dunford H. B., 1991, Spectral and kinetic properties of oxidized intermediates of *Coprinus cinereus* peroxidase, *Acta Chemica Scandinavica*, Vol. 45, P. 1080–1086.
3. Toledo I. B., Garcia F. M. A., Utrilla R. J., 2005, Bisphenol A removal from water by activated carbon. Effects of carbon characteristics and solution chemistry, *Environmental Science Technology*, Vol. 39, No. 16, P. 6246–6250.
4. Kang J. H., Kondo F., 2002, Bisphenol A degradation by bacteria isolated from river water, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 43, P. 265–269.
5. Ryan D., Leukes W., Burton S., 2007, Improving the bioremediation of phenolic wastewaters by *Trametes versicolor*, *Bioresource Technology*, Vol. 98, P. 579–597.
6. Bratkovskaja I., Vidziunaite R., Kulys J., 2004, Oxidation of phenolic compounds by peroxidase in the presence of soluble polymers. *Biochemistry*, Vol. 69, No. 9, P. 985–992.
7. Gupta V. K., Tuohy M. G., Sharma G. D., Gaur S., 2013, Applications of microbial genes in enzyme technology, USA: Nova Science Publishers.
8. Kulys J., Dapkūnas Ž., Stupak R., 2009, Intensification of biocatalytical processes by synergistic substrate conversion. Fungal peroxidase catalyzed n-hydroxy acid phenoxazine, *Applied biochemistry and biotechnology*, Vol. 158, No. 2, P. 445–456.
9. Li H. M., Nicell J. A., 2008, Biocatalytic oxidation of bisphenol A in a reverse micelle system using horseradish peroxidase, *Bioresource Technology*, Vol. 99, No. 10, P. 4428–4437.
10. Takamiya M., Magan N., Warner P. J., 2008, Impact assessment of bisphenol A on lignin-modifying enzymes by basidiomycete *Trametes versicolor*, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 154, No. 1–3, P. 33–37.
11. Kim Y. J., Nicell J., 2006, Impact of reaction conditions on the laccase-catalyzed conversion of bisphenol A. *Bioresource Technology*, Vol. 97, No. 12, P. 1431–1442.
12. Fabbrini M., Galli C., Gentili P., 2002, Comparing the catalytic efficiency of some mediators of laccase, *Journal of Molecular Catalysis B Enzymatic*, Vol. 16, No. 5–6, P. 231–240.
13. Marcinkevičienė L., Vidžiūnaitė R., Tauraitė D., Rutkienė R., Bachmatova I., Morkūnas M., ir kt., 2013, Characterization of laccase from *Coriolopsis byrsina* GRB13 and application of the enzyme for synthesis of redox mediators, *Chemija*, Vol. 24, P. 48–58.
14. Tetianec L., Kulys J., 2009, Kinetics of N-substituted phenothiazines and N-substituted phenoxazines oxidation catalyzed by fungal laccases. *Central European Journal of Biology*, Vol. 4, No. 1, P. 62–67.
15. Kulys J., Bratkovskaja I., 2007, Antioxidants determination with laccase, *Talanta*, Vol. 72, No. 2, P. 526–531.

Summary

STUDY OF PEROXIDASE CATALYSED OXIDATION OF BISPHENOL A IN PRESENCE OF PHENOXASINE DERIVATIVE

R. Ivanec-Goranina, P. Zazerskis

Bisphenol A (Bis A) is notably harmful to human health, so research on its neutralisation is performed. Recombinant *Coprinus cinereus* peroxidase (rCiP) very slowly oxidises Bis A, but when 3-(10H-phenoxazin-10-yl) propionic acid (PPA) is added, oxidation speed increases. Bis A initial oxidation reaction rate dependences on the enzyme, substrate and mediator concentrations were established. PPA initial oxidation reaction rate dependence on the concentration of the mediator were established as well. Kinetic scheme for described processes was proposed. Kinetic characteristics were calculated from directly received data and modelling.

Keywords: peroxidase-catalysed oxidation, bisphenol A, phenoxazine derivative, mediator.

Santrauka

**PEROKSIDAZE KATALIZUOJAMOS BISFENOLIO A OKSIDACIJOS REAKCIJOS,
DALYVAUJANT FENOKSAZINO DARINIUI, TYRIMAS***R. Ivanec-Goranina, P. Zazerskis*

Bisfenolis A (Bis A) yra itin kenksmingas žmonių sveikatai, todėl ieškoma būdų, kaip jį neutralizuoti. Rekombinantinė *Coprinus cinereus* peroksidazė (rCiP) bisfenolį A oksiduoja lėtai, tačiau pridėjus 3-(10H-fenoksazin-10-il) propioninės rūgšties (PPA) reakcijos greitis išauga. Nustatytos Bis A pradinio oksidacijos reakcijos greičio priklausomybės nuo fermento, substrato, mediatoriaus koncentracijų, išsiaiškinta, kokia yra PPA pradinio oksidacijos reakcijos greičio priklausomybė nuo mediatoriaus koncentracijos. Vykstantiems procesams aprašyti pasiūlyta kinetinė schema. Iš tiesiogiai gautų duomenų ir modeliuojant apskaičiuoti kinetiniai parametrai.

Prasminiai žodžiai: peroksidazinė oksidacija, bisfenolis A, fenoksazino darinys, mediatorius.

Received 2017-08-30
Accepted 2017-11-20