

PŘEHLED ELEKTROANALYTICKÝCH PŘÍSTUPŮ STANOVENÍ AKRYLAMIDU

OVERVIEW OF ELECTROANALYTICAL APPROACHES IN DETERMINATION OF ACRYLAMIDE

Simona Žabčíková, Libor Červenka a Milan Sýs

*Katedra analytické chemie, Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice,
Studentská 573, 532 10 Pardubice*

E-mail simona.zabcikova@student.upce.cz

Souhrn

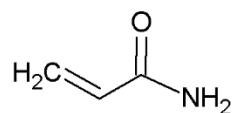
Tento příspěvek prezentuje přehled jednotlivých elektroanalytických přístupů použitelných při stanovení akrylamidu v potravinách. Tyto postupy jsou založeny na přímé redukci akrylamidu na rtuťové elektrodě, tvorbě komplexů s kationty přechodných kovů, interakci s DNA a hemoglobinem, specifické reakci s chinony a redukci akrylamidu v přítomnosti taurinu. Přestože výše zmíněné analytické metody jsou popsány v literatuře, jen u malé části z nich bylo dosaženo uspokojivých výsledků.

Abstract

This contribution presents an overview of the electroanalytical approaches for determination of acrylamide in foodstuffs. These procedures are based on the direct reduction of acrylamide on the mercury electrode, formation of complexes with transition metal cations, an interaction with DNA and hemoglobin, specific reactions with quinones and reduction of acrylamide in the presence of taurine, glycine or quercetin. Some of the above Analytical methods are described in the literature, others were proceed in our laboratory. In a few of them, satisfactory results have been achieved.

1. Úvod

Akrylamid (AA) (obrázek 1) je průmyslově produkovaná látka používaná především k syntéze polyakrylamidu. Polyakrylamidové polymery a kopolymery jsou využívány v mnoha odvětvích, v kosmetickém, papírenském nebo textilním průmyslu, při čištění odpadní i pitné vody, nebo také v laboratořích pro přípravu polyakrylamidového gelu pro elektroforetickou separaci proteinů [1, 2].



Obrázek 1: Chemická struktura akrylamidu.

V roce 2002 byl švédskými vědci z Univerzity ve Stockholmu ve spolupráci se Švédskou Národní potravinovou správou (NFA – National Food Agency) uveřejněn nález vysokého obsahu akrylamidu v potravinách [3, 4]. Nejvyšší obsah AA byl nalezen ve smažených bramborových lupíncích a všeobecně výrobcích z brambor. Ve vařených pokrmech nebyl akrylamid nalezen, protože při vaření se nedosahuje teplot vyšších než 100 °C, kdežto u smažení, pečení nebo grilování teplota přesahuje 120 °C, tedy teplotu, při které AA vzniká. Akrylamid se do potravin může dostávat také z obalového materiálu, při jehož výrobě se akrylamid používá [5]. Vyskytuje se také například v pšeničných výrobcích (chleba) a pražené kávě [1]. Hlavním mechanismem vzniku akrylamidu v potravinách je Maillardova reakce, kdy dochází k reakci hlavních prekurzorů vzniku akrylamidu - mezi aminokyselinou asparaginem a glukózou (redukujícím cukrem) [6]. AA vykazuje v lidském organismu neurotoxické a karcinogenní účinky [6-8]. Dle Globálně harmonizovaného systému (GHS – Globally Harmonized System) klasifikace a označování chemických látek je řazen do skupiny 6 (látky toxické) a 8 (látky nebezpečné pro zdraví) [9]. Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC – International Agency for Research of Cancer) klasifikuje AA do třídy 2A, tedy jako látku „pravděpodobně karcinogenní pro člověka“ [4, 6]. Hlavními příznaky intoxikace AA je necitlivost nebo slabost v končetinách, třes, ztráta rovnováhy, nestabilita, dále také nadměrné pocení, olupování kůže, ospalost. Mohou se vyskytovat i případy, kdy dochází k úbytku na váze a poruchám řeči. Další testy na zvířatech prokázaly, že AA vykazuje toxicitu při dermálním, orálním i parenterálním podání [7, 10].

Vzhledem k účinkům akrylamidu na lidský organismus je žádoucí, aby byla k dispozici spolehlivá, rychlá a jednoduchá metoda stanovení jeho obsahu v potravinách. Byla vyvinuta metoda analýzy AA pomocí plynové chromatografie ve spojení s hmotnostní případně s tandemovou hmotnostní detekcí (GC-MS, GC-MS/MS), dále kapalinová chromatografie s tandemovou hmotnostní detekcí (LC-MS/MS) [5, 11]. Akrylamid lze stanovit také infračervenou spektroskopií (IR), kapilární elektroforézou (CE), imunoenzymatickým testem ELISA nebo elektrochemickými biosenzory. Akrylamid nelze ve vzorcích stanovovat pomocí UV spektrofotometrie, protože v jeho molekule nejsou

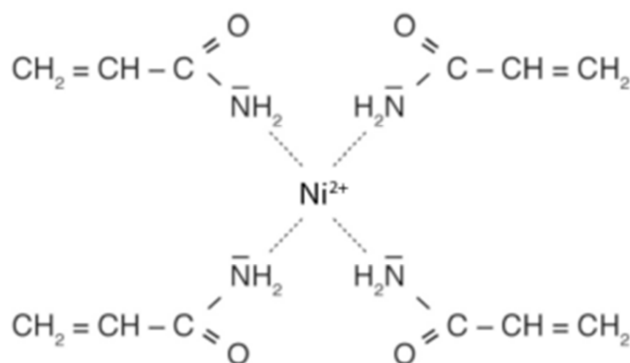
dostatečně silné dvojně ani trojně konjugované vazby ani aromatický kruh [12]. Všeobecně postup stanovení akrylamidu v reálných vzorcích zahrnuje přidavek vnitřního standardu, extrakci vodou, následné přečištění extraktu na pevné fázi a analýzu nejčastěji pomocí GC-MS po bromaci nebo přímo LC-MS/MS. Dosavadní používané metody stanovení akrylamidu jsou sice spolehlivé a plně funkční, nicméně mají značné nevýhody, jako je např. doba analýzy nebo složitá příprava vzorku k analýze, a proto je v dnešní době zaměřena řada studií na rychlé, jednoduché a ekonomicky dostupné metody. Jedním z cílů naší práce bylo vyvinout jednoduchou, rychlou, spolehlivou a přesnou elektroanalytickou metodu stanovení AA v potravinářských vzorcích.

2. Redukce akrylamidu na rtuťové elektrodě

Polarografická metoda pro stanovení akrylamidu byla zkoumána v prostředí vodných, směsných i čistě organických elektrolytů [13-15]. Vzhledem k rozpustnosti AA ve vodě je výhodné použít k extrakci právě vodné prostředí. Metodou přímé diferenčně pulsní polarografie byl akrylamid stanovován v prostředí $0,5 \text{ mol.L}^{-1} \text{LiCl}$, kde podléhá redukci na rtuťové elektrodě při potenciálu $-1,84 \text{ V}$ [15]. Přestože polarografické metody jsou spolehlivé, reprodukovatelné a citlivé, vzhledem k toxicitě rtuti je pro stanovení AA v potravinách vhodné použít elektrod z jiných materiálů, na což je v posledních letech zaměřeno několik dále popsanych studií.

3. Stanovení akrylamidu pomocí tvorby komplexu s kationty přechodných kovů

Akrylamid je schopen tvořit komplexy s kationty přechodných kovů [16]. Metoda stanovení AA pomocí tvorby komplexu s nikelnatými ionty byla navržena Veselou a Šucmanem. Komplex AA-Ni je adsorbován na povrch pracovní elektrody. Předpokládaná podoba tohoto komplexu je na obrázku 2. Stanovení AA metodou square wave adsorptivní stripping voltametrie (SWAdSV) bylo provedeno na visící rtuťové kapkové elektrodě v prostředí amonného pufru o pH 9,5 v přítomnosti $500 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1} \text{Ni}^{2+}$. Měření bylo provedeno v režimu oxidace, s počátečním potenciálem $-0,72 \text{ V}$ a koncovým potenciálem $-0,05 \text{ V}$. Oxidační pík Ni byl pozorován v oblasti $-0,35$ až $-0,25 \text{ V}$, přičemž se posouvá k vyšším hodnotám potenciálů se vzrůstající koncentrací akrylamidu a nikelnatých iontů. V rámci měření byla optimalizována také příprava vzorku k analýze akrylamidu. Bylo zjištěno, že optimální postup zahrnuje extrakci AA ve směsi etanolu s vodou 2:1 (50 mL) při pH 1,4 (přídavek 0,55 mL 30% HCl) v ultrazvuku po dobu 1 hod při teplotě $60 \text{ } ^\circ\text{C}$ s následnou centrifugací při 4000 rpm po dobu 20 minut [17, 18].

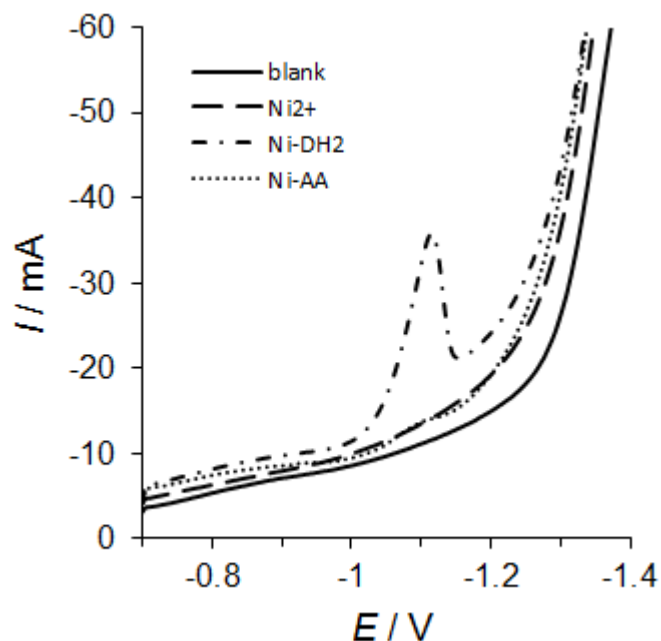


Obrázek 2: Návrh komplexu akrylamidu s Ni^{2+} [17].

Podobně byl AA stanoven metodou SWV pomocí tvorby komplexu s Co^{2+} ve vzorcích bramborových lupínků [19]. Obě výše zmíněné metody využívající tvorby komplexu akrylamidu s kationty přechodných kovů byly prováděny na rtuťové kapkové elektrodě a proudové odezvy byly zaznamenány v redukční oblasti. V naší práci byla pro stanovení použita uhlíková pastová elektroda (CPE) pro detekci tvorby komplexu AA-Ni v prostředí amonného pufru o pH 9,0 a AA-Co v prostředí 1 mol.L^{-1} LiCl. V případě komplexu AA-Ni byla při SWV měřeních zaznamenána proudová odezva odpovídající dusičnanu nikelnatému v oblasti $-0,310 \text{ V}$, nicméně v přítomnosti AA nedocházelo k žádným změnám. V případě použití síranu nikelnatého byly výsledky stejné, tedy byla pozorována proudová odezva v oblasti $-0,310 \text{ V}$ jak v přítomnosti AA, tak bez něj.

Navržená podoba komplexu AA s Ni^{2+} je obdobou komplexu dimethylglyoximátu nikelnatého (DH_2). Bylo provedeno také měření AA v přítomnosti Ni^{2+} a komplexu Ni- DH_2 na bismutové filmové elektrodě (BiFCPE). Komplex Ni- DH_2 poskytoval redukční pík v oblasti $-1,112 \text{ V}$, kdežto komplex Ni-AA nevykazoval žádnou viditelnou proudovou odezvu. Na základě tohoto zjištění lze předpokládat, že tvorba komplexu AA-Ni nemá stejný charakter jako v případě komplexu Ni- DH_2 (obrázek 3).

V případě komplexu AA-Co bylo dosaženo relativně uspokojivých výsledků. Pro stanovení byla použita CPE modifikovaná RuO_2 [20] v prostředí 1 mol.L^{-1} LiCl pro zlepšení signálu Co^{2+} . Po optimalizaci podmínek měření bylo v modelovém vodném roztoku AA dosaženo proudové odezvy komplexu AA-Co při $-0,225 \text{ V}$ v prostředí Britton-Robinsonova pufru (BR pufr) o pH 3,0, přičemž se zvětšujícím se obsahem AA hodnota proudu lineárně klesala. Metoda byla aplikována také na reálné vzorky, nicméně zde nebyly zaznamenány odpovídající vlny. Toto je přisuzováno reakci Carrezových činidel použitých k přípravě vzorku s Co^{2+} [21].



Obrázek 3: Záznam SWV komplexů Ni^{2+} s AA a DH_2 na BiFCPE.

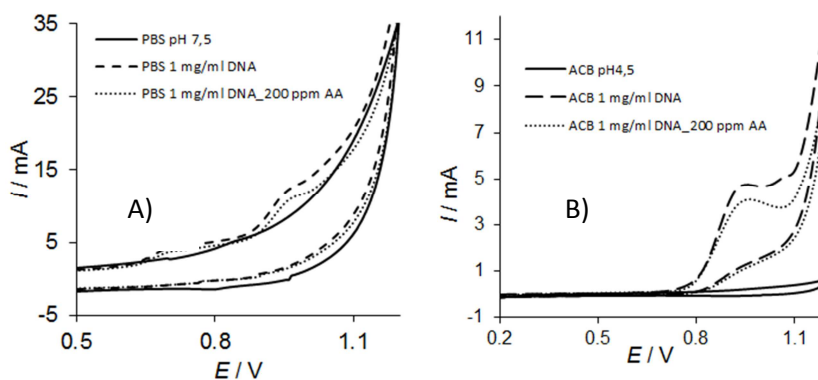
4. Stanovení akrylamidu pomocí tvorby aduktů AA s hemoglobinem

Mezi jedny z prvních biosenzorů pro stanovení AA ve vodných extraktech z potravin patří ty s hemoglobinem imobilizovaným na měrné elektrodě. Jak je známo, na základě Michaelovy reakce dochází k tvorbě aduktů mezi AA a amino skupinou valinu na N konci polypeptidového řetězce hemoglobinu [1, 8]. Hemoglobin se skládá ze čtyř hemových skupin obsahujících Fe^{3+} . Hemoglobinem lze modifikovat povrch CPE. Tato elektroda poté vykazuje quasi-reversibilní oxidačně-redukční reakci $\text{Hb-Fe}^{3+}/\text{Hb-Fe}^{2+}$, přičemž interakce mezi Hb-Fe a AA je sledována na redukční proudové odezvě. Přestože elektrodová reakce probíhá velmi pomalu, vykazuje metoda velmi nízké limity detekce ($1,2 \cdot 10^{-10} \text{ mol.L}^{-1}$) a je vhodná ke stanovení AA v potravinových matricích [22]. Hemoglobinem lze modifikovat také skleněnou uhlíkovou elektrodu (GCE – Glassy Carbon electrode) nebo tužkovou grafitovou elektrodu (PGE – Pencil graphite electrode) pomocí uhlíkových nanotrubiček, nebo také zlaté a skleněné elektrody [12, 23-25].

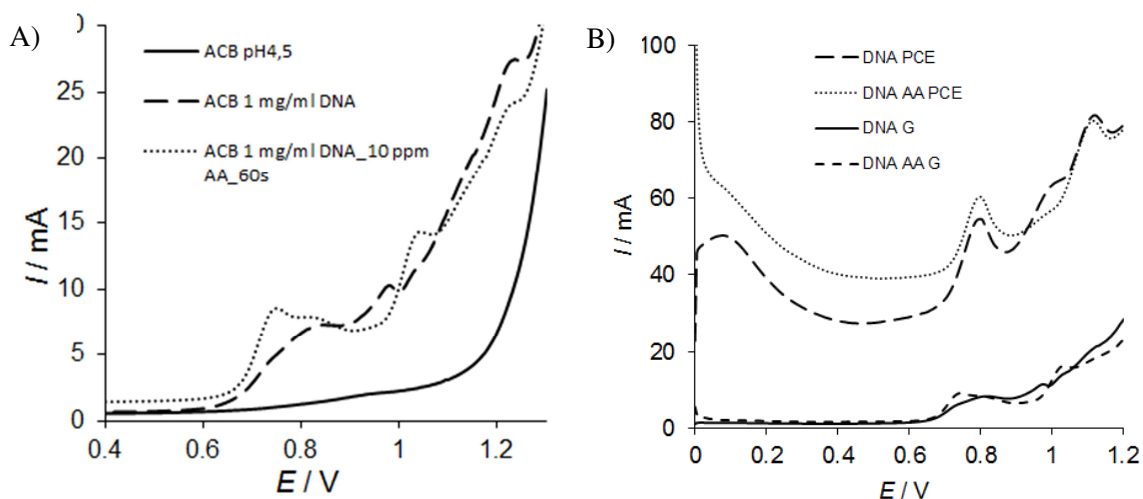
5. Stanovení akrylamidu pomocí tvorby aduktů AA s DNA

Akrylamid je schopen se pomocí vodíkové vazby vázat na purinové a pyridinové báze DNA a tvořit tak stabilní adukty. DNA absorbuje UV záření při 260 nm, kde je tvorba DNA-AA patrná z posunu spekter DNA a DNA v přítomnosti AA. Li et al. [26] vytvořili biosenzor pro stanovení AA založený na imobilizaci DNA na povrch GCE s vrstvou grafenu (DNA/GO/GCE). Povrch GCE byl nejprve standardně upraven, poté byl modifikován vrstvou

GO a na takto připravenou elektrodu byla pomocí elektroadsorpce přichycena DNA při +0,500 V po dobu 200 s. Bylo provedeno měření v režimu DPV v prostředí fosfátového pufru o pH 7,0, kde byly zaznamenány dva anodické oxidační píky DNA při potenciálu +0,700 V odpovídající guaninu a +1,000 V příslušící adeninu. Vzhledem k faktu, že tyto purinové nukleové báze jsou součástí makromolekuly DNA, je přenos elektronů této reakce pomalý. Z tohoto důvodu bylo pro modifikaci GCE použito grafenu, který usnadňuje přenos elektronů. Tento biosenzor se ukázal jako stabilní (30 dní) a vhodný pro stanovení AA v lineárním rozsahu $5,0 \cdot 10^{-8}$ až $1,0 \cdot 10^{-3}$ mol.L⁻¹. Podobných výsledků bylo dosaženo při modifikaci zlaté elektrody pomocí jednovláknové DNA (ssDNA), přičemž byl patrný pík guaninu při +0,740 V [27]. Na základě těchto zjištění byla provedena optimalizace stanovení AA pomocí CPE/DNA metodou CV a DPV. Pracovní elektroda byla připravena adsorpcí DNA na povrch standardní CPE při potenciálu +0,500 V po dobu 300 s. Bylo testováno prostředí octanového pufru o pH 4,5 (ACB), fosfátového pufru o pH 7,5 (PBS) a amonného pufru o pH 9,5 (AMB). V záznamech CV v prostředí PBS (obrázek 4 A) byly pozorovány dva oxidační píky při potenciálech +0,665 a +0,918 V, podobně jako v přechozích studiích. V prostředí AMB nebyly zaznamenány měřitelné proudové odezvy, naproti tomu v ACB (obrázek 4 B) byly zaznamenány dvě oxidační vlny DNA při potenciálech +0,930 V a +1,070 V, přičemž v přítomnosti 0,2 mg/mL AA došlo k vymizení druhého oxidačního píku. Tato práce byla prováděna v laboratořích Karl-Franzens University of Graz (Uni Graz) po dobu jednoho měsíce v rámci zahraniční stáže. Vzhledem ke krátkému časovému úseku pro práci nebyla optimalizační měření dokončena, nicméně v laboratořích Univerzity Pardubice (UPce) se nepodařilo výsledky zopakovat. Byly testovány jak různé typy elektrod (CPE, GCE, tištěné elektrody komerčně dostupné i připravené v laboratoři), tak dva typy instrumentačního zařízení (PalmSens, Autolab), nicméně nebyla pozorovatelná odpovídající proudová odezva pravděpodobného aduktu AA-guanin (obrázek 5).



Obrázek 4: Záznamy CV v prostředí ACB a PBS.



Obrázek 5: A) Záznam DPV v prostředí ACB. B) Srovnání záznamů DPV z laboratoří na Uni Graz a UPce.

6. Využití reakcí akrylamidu s chinony

Chinony lze považovat za produkty oxidace jednoduchých fenolických sloučenin. Tato zmíněná oxidace může být katalyzována přítomností enzymů obsahujících měď, též známých jako polyfenoloxidázy. Do skupiny těchto enzymů patří i lakáza (EC 1.10.3.2), která bývá v elektroanalytické chemii využívána při konstrukci amperometrických biosenzorů. V rámci této studie byla sledována katalytická aktivita lakázy vůči substrátu hydrochinonu v přítomnosti AA. Z cyklické voltametrie při nízkých rychlostech skenovací rychlosti nebyl pozorován žádný významný pokles redukčního píku vzniklého chinonu v přítomnosti vysokého obsahu AA. Na základě tohoto zjištění lze předpokládat, že vzniklý chinon nereaguje nebo reaguje velmi pomalu s AA.

7. Reakce akrylamidu s taurinem

Taurin (Tau) je semi-esenciální derivát cysteinu, často je proto řazen k aminokyselinám. Je to sulfonová kyselina, která je přirozenou součástí žluči lidí i zvířat, napomáhá trávení lipidů, má antioxidační aktivitu a příznivé účinky na zrak. Používá se k fortifikaci obilovin, je součástí energetických nápojů, kde společně s kofeinem napomáhá zvýšení mozkové aktivity a bdělosti [28]. Bylo prokázáno, že aminokyseliny lysin, cystein a glycin mohou inhibovat tvorbu AA. Amino skupiny glycinu (Gly) a lysinu a sulfanylová skupina cysteinu jsou schopny tvořit adukty s dvojnou vazbou akrylamidu [1, 29]. Při zahřívání modelové směsi asparaginu a glukózy dochází k tvorbě akrylamidu. V přítomnosti Tau byla tvorba AA snížena o 79 %. Při zahřívání na teploty 150 °C dochází díky přítomnosti Tau k redukci obsahu glukózy, v důsledku čehož tedy i k redukci obsahu

AA. Pomocí LC-QTOF-MS byly detekovány nové signály, které byly přisouzeny právě aduktům AA/Tau. Mechanismus tvorby nebyl dosud uspokojivě objasněn, nicméně přítomnost těchto signálů značí schopnost Tau přímo reagovat s dvojnou vazbou AA [28]. Této vlastnosti bylo využito pro stanovení AA ve vodných roztocích pomocí SWV. Metoda CV a SWV byla aplikována na vodné roztoky AA v přítomnosti Tau v prostředí $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ H_2SO_4 , KCl a NaOH, nicméně nebyla zaznamenána žádná proudová odezva odpovídající redoxní reakci v roztocích. Využití Tau pro elektrochemické stanovení AA nebylo tudíž dále zkoumáno.

8. Reakce akrylamidu s glycinem a kvercetinem na PGE

Jak již bylo zmíněno, akrylamid je schopen reagovat s amino skupinou glycinu [29], a také s polyfenolickými látkami [30]. Glycin, neesenciální aminokyselina s nepolárním postranním řetězcem, reaguje s dvojnou vazbou AA za vzniku aduktu [29]. Polyfenolická látka kvercetin (Q), patřící do skupiny flavonoidů, má antioxidační vlastnosti, poskytuje oxidační pík v kyselém prostředí s použitím PGE [31].

Reakční kinetika AA s Gly je závislá na teplotě. Při SWV tepelně neošetřené směsi AA a Gly nebyla zaznamenána žádná proudová odezva. Po zahřátí směsi AA/Gly ($1 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$) na teplotu $100 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 60 min byly v BR pufru při pH 7,0 pozorovány dva oxidační píky ($-0,110 \text{ V}$ a $+0,088 \text{ V}$), při pH 2,0 byl pozorován oxidační pík směsi při potenciálu $+0,160 \text{ V}$ a redukční pík při $-0,590 \text{ V}$. Navržená metoda však byla málo citlivá pro stanovení AA v reálných vzorcích.

Při stanovení akrylamidu s využitím tvorby aduktu kvercetinu na dvojnou vazbu AA byl v prostředí BR pufru o pH 7,0 v režimu SWV pozorován redukční pík při potenciálu $+0,128 \text{ V}$ pro tepelně neošetřenou směs AA/Q, v případě směsi po zahřátí na $100 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 60 min byl pozorován pík při stejném potenciálu, ale s téměř dvojnásobnou hodnotou proudu. Samotný Q v čerstvém roztoku neposkytoval pík, po zahřátí byl pozorovatelný redukční pík kvercetinu při potenciálu $+0,140 \text{ V}$. Při použití BR pufru o pH 2 a 10 nebyla pozorována žádná proudová odezva. Je zřejmé, že směs AA/Q v kyselém prostředí vykazuje elektrochemické chování, které může být přisuzováno tvorbě polymerní struktury na povrchu pracovní elektrody [30, 32].

9. Závěr

Prokazatelně nejlepší elektroanalytická metoda pro stanovení akrylamidu je jeho přímá redukce na DME, tedy polarografická metoda. Za další vhodnou metodu lze považovat

využití tvorby komplexu akrylamidu s hemoglobinem s detekcí pomocí povrchově modifikované CPE. Pozitivních výsledků bylo dosaženo také při využití CPE/RuO₂. Schopnosti AA tvořit komplexy s Ni²⁺ a Co²⁺ lze pro jeho stanovení také využít, nicméně zde je potřeba použití rtuťových elektrod vzhledem k negativním potenciálům, při kterých probíhá redukce.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantovým projektem SGS-2018-001 Fakulty chemicko-technologické Univerzity Pardubice.

Literatura

- [1] Friedman, M., *Chemistry, Biochemistry, and Safety of Acrylamide. A Review*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(16), pp. 4504-4526.
- [2] EPA. Available from: <http://www.epa.gov/iris/subst/0286.htm>.
- [3] Rosen, J. and K.-E. Hellenas, *Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry*. Analyst, 2002, 127(7), pp. 880-882.
- [4] Ciesarová, Z., *Minimálizácia obsahu akrylamidu v potravinách*. Chemické listy, 2005, 99, pp. 483 - 491.
- [5] Ahn, J.S., L. Castle, D.B. Clarke, A.S. Lloyd, M.R. Philo, and D.R. Speck, *Verification of the findings of acrylamide in heated foods*. Food Additives And Contaminants, 2002, 19(12), pp. 1116-1124.
- [6] Stadler, R.H. and G. Scholz, *Acrylamide: An Update on Current Knowledge in Analysis, Levels in Food, Mechanisms of Formation, and Potential Strategies of Control*. Nutrition Reviews, 2004, 62(12), pp. 449-67.
- [7] Garland, T.O. and M.W.H. Patterson, *Six Cases Of Acrylamide Poisoning*. The British Medical Journal, 1967, 4(5572), pp. 134-138.
- [8] Tareke, E., P. Rydberg, P. Karlsson, S. Eriksson, and M. Törnqvist, *Acrylamide: A Cooking Carcinogen?* Chemical Research in Toxicology, 2000, 13(6), pp. 517-522.
- [9] *Acrylamide - safety information*. Sigma-Aldrich. 2017; Available from: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/SIGMA/A8887?lang=en®ion=CZ&gclid=CJGequSBvMUCFczHtAodaCQA8w>.
- [10] Hagmar, L., M. Törnqvist, C. Nordander, I. Rosén, M. Bruze, A. Kautiainen, A.-L. Magnusson, B. Malmberg, P. Aprea, F. Granath, and A. Axmon, *Health effects of*

- occupational exposure to acrylamide using hemoglobin adducts as biomarkers of internal dose.* Scand J Work Environ Health, 2001, 24(4), pp. 219 - 226.
- [11] Wenzl, T., M.B. De La Calle, and E. Anklam, *Analytical methods for the determination of acrylamide in food products: a review.* Food Additives And Contaminants, 2003, 20(10), pp. 885-902.
- [12] Oracz, J., E. Nebesny, and D. Żyżelewicz, *New trends in quantification of acrylamide in food products.* Talanta, 2011, 86(0), pp. 23-34.
- [13] Betso, S.R. and J.D. McLean, *Determination of Acrylamide Monomer by Differential Pulse Polarography.* Analytical Chemistry, 1976, 48(4), pp. 766-770.
- [14] Macwilliams, D.C., D.C. Kaufman, and B.F. Waling, *Polarographic and Spectrophotometric Determination of Acrylamide in Acrylamide Polymers and Copolymers.* Analytical Chemistry, 1965, 37(12), pp. 1546-1552.
- [15] Niaz, A., Sirajuddin, A. Shah, M.I. Bhangar, M. Saeed, M.K. Jamali, and M.B. Arain, *A new simple sensitive differential pulse polarographic method for the determination of acrylamide in aqueous solution.* Talanta, 2008, 74(5), pp. 1608-1614.
- [16] Girma, K.B., V. Lorenz, S. Blaurock, and F.T. Edelman, *Coordination chemistry of acrylamide.* Coordination Chemistry Reviews, 2005, 249, pp. 1283-1293.
- [17] Veselá, H. and E. Šucman, *Determination of acrylamide in food using adsorption stripping voltammetry.* Czech Journal of Food Sciences, 2013, 31(4), pp. 401-406.
- [18] Šucman, E. and H. Veselá, *Determination of acrylamide in dry feedstuff for dogs and cats.* Acta Veterinaria Brno, 2013, 82(2), pp. 203-208.
- [19] Zargar, B., N.R. Sahraie, and F. Khoshnam, *Catalytic square-wave voltammetric determination of acrylamide in potato chips.* Analytical Letters, 2009, 42(10), pp. 1407-1417.
- [20] Červenka, L., S. Žabčíková, and L. Křivská, *Determination of acrylamide using ruthenium dioxide modified carbon paste electrode.* Scientific Papers of The University of Pardubice, Series A, Faculty of Chemical Technology, 2015, 21, pp. 21-29.
- [21] Žabčíková, S., L. Červenka, M. Sýs, and L. Křivská, *Využití komplexotvorných reakcí pro voltamtrické stanovení akrylamidu,* in *Bezpečnost a kontrola potravin*, J. Golian and Ľ. Belej, Eds. 2017, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, p. 296.
- [22] Stobiecka, A., H. Radecka, and J. Radecki, *Novel voltammetric biosensor for determining acrylamide in food samples.* Biosensors and Bioelectronics, 2007, 22(9–10), pp. 2165-2170.

- [23] Batra, B., S. Lata, M. Sharma, and C.S. Pundir, *An acrylamide biosensor based on immobilization of hemoglobin onto multiwalled carbon nanotube/copper nanoparticles/polyaniline hybrid film*. *Analytical Biochemistry*, 2013, 433(2), pp. 210-217.
- [24] Krajewska, A., J. Radecki, and H. Radecka, *A voltammetric biosensor based on glassy carbon electrodes modified with single-walled carbon nanotubes/hemoglobin for detection of acrylamide in water extracts from potato crisps*. *Sensors*, 2008, 8(9), pp. 5832-5844.
- [25] Krajewska, A., J. Radecki, and H. Radecka, *Sensors and biosensors for determination of acrylamide and acrylic acid in potato food products*. *Food*, 2009, 3(2), pp. 113-120.
- [26] Li, D., Y. Xu, L. Zhang, and H. Tong, *A Label-free electrochemical biosensor for acrylamide based on DNA immobilized on Graphene Oxide-modified glassy carbon electrode*. *International Journal of Electrochemical Science*, 2014, 9, pp. 7217-7227.
- [27] Huang, S., S. Lu, C. Huang, J. Sheng, L. Zhang, W. Su, and Q. Xiao, *An electrochemical biosensor based on single-stranded DNA modified gold electrode for acrylamide determination*. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2016, 224, pp. 22-30.
- [28] Hao, R., X. Leng, and H. Jing, *Acrylamide-aurine adducts formation as a key mechanism for taurine's inhibitory effect on acrylamide formation*. *International Journal of Food Science and Technology*, 2011, 46, pp. 1282-1288.
- [29] Shin, D.-C., C.-T. Kim, Y.-C. Lee, W.-J. Choi, Y.-J. Na, and K.-W. Lee, *Reduction of acrylamide by taurine in aqueous and potato chip model systems*. *Food Research International*, 2010, 43(5), pp. 1356-1360.
- [30] Liu, Y., P. Wang, F. Chen, Y. Yuan, Y. Zhu, H. Yan, and X. Hu, *Role of plant polyphenols in acrylamide formation and elimination*. *Food Chemistry*, 2015, 186, pp. 46-53.
- [31] Vu, D.L., S. Žabčíková, L. Cervenka, B. Ertek, and Y. Dilgin, *Sensitive voltammetric determination of natural flavonoid quercetin on a disposable graphite lead*. *Food Technology and Biotechnology*, 2015, 53(4), pp. 379-384.
- [32] Žabčíková, S., P. Kučerová, and L. Červenka, *Quercetin or glycine reaction products with acrylamide: A Quantitative approach to acrylamide detection using a pencil graphite electrode*. *Sci Pap Univ Pardubice, Ser A*, 2016, 22, pp. 15-22.

