

A Kaba CV3 szenes kondrit szervesanyag kutatásának aktuális eredményei

Current results of the research of the organic matter of Kaba CV3 carbonaceous chondrite

BALOGH Emese és Dr GUCSIK Arnold

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Eger, Leányka út 6-8. H-3301, Tel: +3636520400, gucsik.arnold@uni-eszterhazy.hu

Abstract

The Kaba meteorite, a CV3 carbonaceous chondrite, provides a unique opportunity to investigate extraterrestrial organic matter's molecular and structural characteristics. This study explores the distribution, composition, and evolution of organic compounds in the meteorite, emphasizing recent research findings. The role of hydrothermal alteration and redox conditions in the formation of the organic matter assemblage is discussed concerning mass spectrometry. Comparative analysis with other carbonaceous chondrites highlights the distinct chemical pathways and environmental influences shaping Kaba's organic material, such as soluble N-heterocyclic compounds.

Keywords: Carbonaceous chondrites, organic molecules, meteorite, early Solar System, Kaba CV3

Kulcsszavak: szenes kondritok, szerves molekulák, meteorit, korai Naprendszer, Kaba CV3

1. BEVEZETÉS

A Kaba meteorit, egy széntartalmú kondrit, régóta érdekli a földönkívüli anyagokban lévő szerves vegyületek összetételét és eloszlását tanulmányozó tudósok érdeklődését. A legújabb elemzések különféle heterociklusos molekulák, köztük alkylpyridinek jelenlétét tárták fel, amelyek támpontokat adhatnak a korai Naprendszerben előforduló potenciális prebiotikus kémiáról. Ezenkívül az alkylpyridinek azonosítása a Kaba meteoritban összhangban van más meteoritok eredményeivel, ami arra utal, hogy ezek a vegyületek nem csak erre a mintára jellemzőek, hanem a szerves molekulák szélesebb körű eloszlását képviselhetik a széntartalmú kondritokban [1]. Ez érdekes kérdéseket vet fel a szerves vegyületek szintézisében és megőrzésében szerepet játszó folyamatokkal kapcsolatban a Naprendszer kialakulása során, mivel a bizonyítékok arra utalnak, hogy hasonló szerves szerkezetek találhatóak más széntartalmú meteoritokban is [1]. Sőt, ezeknek a vegyületeknek a túlélése a meteorit légkörbe való belépése során rávilágít arra, hogy a komplex szerves kémia szélsőséges körülmények között is fennmaradhat, aláhúзва a széntartalmú meteoritok jelentőségét, mint a prebiotikus anyagok tározóit, amelyek hozzájárulhattak a földi élet eredetéhez [1,3]

A Kaba meteorit egyik legfontosabb jellemzője az alkylpyridinek jelenléte, a heterociklusos szerves vegyületek osztálya [2, 4-6]. Ezek a vegyületek különösen érdekesek a prebiotikus kémiában betöltött potenciális szerepük miatt, mivel építőköveiként szolgálhatnak az élethez nélkülözhetetlen összetettebb szerves molekuláknak, kiemelve a földönkívüli források fontosságát a homochiralitás eredetének megértésében a biológiai rendszerekben [5]. A királis molekulák képződése földönkívüli környezetben arra utal, hogy ezek a szerves vegyületek kritikus előfutárai lehetnek azoknak a biokémiai folyamatoknak, amelyek a földi élethez vezettek, különösen olyan folyamatok révén, mint az aszimmetrikus fotólízis csillagközi

környezetben, amelyek enantiomer feleslegeket eredményezhetnek a szerves anyagokban, amelyek végül a Naprendszerbe kerülnek [2-4].

Ennek a tanulmánynak az a célja, hogy azonosítsa a Kaba meteoritban lévő szerves vegyületeket egy tömegspektrométer segítségével. Ezt a technikát alkalmazzák a Ryugu (Hayabusa-2, JAXA) és a Bennu (OSIRIS-REx, NASA) aszteroidákról szállított minták elemzésére is. Ez segíthet megérteni a földi élet összetevőinek, például a makromolekuláris szénnek és az alkilezett N-heterociklusos molekuláknak a prekursoranyagát.

2. KUTATÁSI MÓDSZERTAN

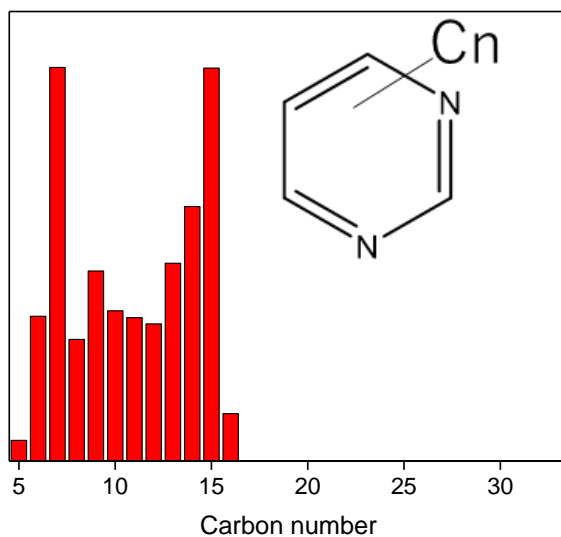
2.1 *Liquid chromatograph/time-of-flight tömegspektrométer*

Alkilezett N-heterociklusos molekulákat vontunk ki a Kaba meteoritporból (163,5 mg) metanollal (10 ml) ultrahangos készülékkel egy 50 ml-es üvegedényben, majd centrifugálás (4000 rpm x 15 perc) követte a folyamatot. Ezt követően a felszínen úszó részt egy üveg fiolába helyeztük a későbbi elemzéshez. Ezt a folyamatot háromszor megismételtük. A fenti eljárásokat szerpentin porokkal (156,9 mg) is elvégeztük az extrakciós eljárás során fellépő esetleges szennyeződés értékelésére. A kivont metanolos oldatot folyadékkromatográffal (LC) (1290 Infinity II, Agilent) és repülési idő tömegspektrométerrel (6230 TOFMS, Agilent) elemeztük. Az LC elemzés két mozgó fázist (A és B) használt: H₂O 0,1% hangyasavval A-ként és CH₃CN 0,1% hangyasavval B-ként. A kromatográfiás elválasztást PFP oszloppal (1 mm belső átmérő x 250 mm hosszú, 3 µm szemcseméret, GL Science) végeztük. Az elem kezdeti összetétele A:B = 90:10 volt. 5 perc várakozás után az eluens B koncentrációját 15 perc alatt fokozatosan 50%-ra emelték, és 80 percig tartották. Az analízis során az oszlop hőmérsékletét 40 °C-on tartottuk, és az áramlási sebesség 50 µL^{min⁻¹} volt. Az ionizációs feszültséget és a kapilláris hőmérsékletet 3,5 kV-ra, illetve 325 °C-ra állítottuk. A pozitív ionokat teljes szkennelési móddal mértük m/z 50 és 1000 közötti tartományban, ~12 000 tömegfelbontó teljesítmény beállítással teljes szélesség-fél-maximum mellett m/z = 100 esetén. A mért m/z pontosságának növelése érdekében a kalibránsok (purin és hexametoxifoszofazol, amelyek tömeg-töltés aránya (m/z) pozitív ion üzemmódban 121,0509, illetve 322,0481 volt) kevert oldatát folyamatosan koeluáltuk oldószerekkel. Így a tömeg pontossága jobb lehet, mint 5 ppm. Az analízist Prof. Yasuhiro Oba hajtotta végre a szapporói Hokkaidó Egyetemen.

3. EREDMÉNY ÉS KIÉRTÉKELÉS

Az eredmények a metanol-kivonat összion-kromatogramját és a C_nH_{2n-5}N (n = 13-18) általános molekulaképletű molekulák pozitív ionjainak reprezentatív tömegkromatogramjait mutatják, amelyek megfelelnek a piridin (C₅H₅N) alkilezett analógjainak (1 ábra). Minden tömegkromatogramon több csúcs jelent meg, ami elhanyagolható volt a vakkísérletben, csak szerpentinporokat használva. Ezért a megfigyelt csúcsok valóban a Kaba meteoritban őshonosak. A C_nH_{2n-5}N molekulák mellett az alkilezett, egyszerűen telítetlen piridinnel megfelelő C_nH_{2n-7}N molekulákat is kimutattunk [1-4].

Az alkyldpiridinek azonosítása a Kaba meteoritban hozzájárul a heterociklusos molekulák széles körű eloszlására utaló bizonyítékok növekvő mennyiségéhez a széntartalmú kondritokban. Ez az eloszlás azt sugallja, hogy ezek a szerves vegyületek különböző körülmények között keletkeztek az űrben, majd a korai Földre kerülhettek, ahol döntő szerepet játszhattak a prebiotikus kémia kialakításában és az élet kialakulásához szükséges összetett folyamatok támogatásában. A piridin és származékai viszonylag stabilak lehetnek bizonyos kémiai környezetekben, ami fontos a korai Földön történő túlélésükhöz. Ugyanakkor, a reaktivitásuk lehetővé teszi a komplexebb molekulák kialakulását is [2-6].



1. ábra: A Kaba meteorit *N*-heterociklusos molekuláinak reprezentatív széneloszlása.

Ezeknek a vegyületeknek a jelenléte a Kaba meteoritban, valamint más széntartalmú meteoritokban arra utal, hogy hasonló prebiotikus kémia fordulhatott elő a Naprendszer különböző régióiban, potenciálisan változatos szerves anyagforrást biztosítva a földi élet fejlődéséhez [1-4]. Ezenkívül az alkylpyridinek és más szerves molekulák kimutatása olyan meteoritokban, mint a Kaba, érdekes lehetőségeket vet fel szintézismechanizmusaik tekintetében, valamint a homochiralitás eredetére és az élet kialakulásához szükséges feltételekre gyakorolt következményeiket illetően a tágabb kozmikus kontextusban. Az *N*-heterociklusos vegyületek ugyanis közreműködhetnek a PNA-k (peptid nukleinsavak) kialakulásában, amelyek lehetséges alternatív genetikai polimerek, valamint elősegíthetik a fehérjék és nukleinsavak evolúcióját. A piridin és származékai, mint például a nikotinsav pedig fontos szerepet játszhatnak a biológiai molekulák kialakulásában [7].

Az eddig tárgyaltakon túl a Kaba meteorit hidrotermális átalakulásának és a redox körülményeknek a szerves anyagok keletkezésében és átalakulásában betöltött szerepe további tanulmányt érdemel. Ez segíthetne megérteni, hogyan befolyásolta a meteorit szülőtestének kémiai környezete a szerves anyagok összetételét. Annak kapcsán pedig, hogy a széntartalmú kondritok szervesanyagtartalmának eltéréseihez milyen kémiai útvonalak és környezeti hatások járultak hozzá, összehasonlító elemzésre volna szükség más széntartalmú kondritokkal, például a Murchisonnal vagy az Allendével.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A Szerzők köszönetüket fejezik ki Dr Nagy Mihálynak (nyugalmazott gimnáziumi igazgató, Debreceni Református Kollégium), aki lehetővé tette a Kaba Meteorit mintáinak tanulmányozását.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] IMAE, N., TAYLOR, S., & IWATA, N. 2013. Micrometeorite precursors: Clues from the mineralogy and petrology of their relict minerals. *Elsevier BV*, 100, 116-157.
- [2] BONNER, W A. 1996 *American Institute of Physics*.
- [3] GLEISER, M., & WALKER, S I. 2009. *The Chirality Of Life: From Phase Transitions to Astrobiology*. Cornell University.
- [4] BRESLOW, R., & CHENG, Z. 2009. *National Academy of Sciences*, 106(23), 9144-9146.
- [5] TOXVÆRD, S. (2013) The Role of Carbohydrates at the Origin of Homochirality in Biosystems. *Springer Science+Business Media*, 43(4-5), 391-409. [
- [6] MURCHIE, S L., et al (2009). *American Geophysical Union*, 114(E2).
- [7] LAURA E. RODRIGUEZ, CHRISTOPHER H. HOUSE, KAREN E. SMITH, MELISSA R. ROBERTS & MICHAEL P. CALLAHAN, 2019: Nitrogen heterocycles form peptide nucleic acid precursors in complex prebiotic mixtures, *Nature, Scientific reports*