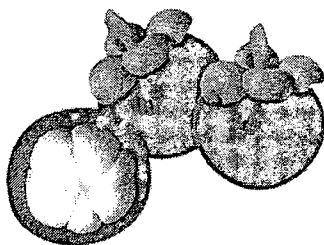


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

มังคุด (*Garcinia mangostana* L.) จัดอยู่ในวงศ์ Clusiaceae หรือ Guttiferae เป็นผลไม้ที่ได้รับการขนานนามว่า “ราชินีไม้ผลเมืองร้อน” เนื้อมีสีขาว รสหวานอมเปรี้ยว เป็นรสชาติเฉพาะตัว คุณค่าอาหารและสรรพคุณสมุนไพร มังคุดให้คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก กรดแอสคอร์บิก ซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส เปลือกมังคุดสามารถแก้ท้องร่วง แก้บิดมูกเลือด แก้ท้องเสีย สมานแผล แก้แผลเน่าเปื่อย พุพอง มีหนอง มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดหนอง มีฤทธิ์ต้านเชื้อโรคผิวหนัง รักษาแผลเป็นหนอง สิว ช่วยลดร่องรอยต่าง ๆ เปลือกมังคุดประกอบด้วยสารกลุ่มแซนโทน (Xanthone) ที่สำคัญ ได้แก่ Mangostin, γ -mangostin และ β -mangostin เป็นต้น สารกลุ่ม Anthocyanin ซึ่งเป็นสารสีแดง มีปริมาณ 31.29% ได้ Cyaniding-1-O- β -glycoside, Cyaniding-3-glycoside และมี Tannin ประมาณ 7 - 14 % และนำไปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางต่าง ๆ



ภาพที่ 1 แสดงผลมังคุด

มังคุดจะให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 30 - 50 กิโลกรัมต่อต้น หรือประมาณ 300 - 500 ผลต่อต้น มังคุด 1 กิโลกรัมจะให้เนื้อและเมล็ดประมาณ 3 - 4 ชีด นอกนั้นเป็นน้ำหนักรังของเปลือก

สารเคมีที่อยู่ในเปลือกมังคุด

Chrysanthemin, Xanthone, Garcinone A, Garcinone B, Gartanin, Mangostin, Kolanone มังคุดเป็นพืชที่มีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และแทนนินเป็นองค์ประกอบหลัก โดยสารสำคัญที่พบมากในส่วนเปลือกผลมังคุด คือ สารแมงโกสติน (Mangostin) ซึ่งเป็นสารประเภทแซนโทน (Xanthone)

แมงโกสตินที่พบในเปลือกผลมังคุดมี 3 ชนิดคือ แอลฟาแมงโกสติน (α -mangostin) เบต้าแมงโกสติน (β -mangostin) และ แกมมาแมงโกสติน (γ -mangostin)

จากโครงสร้างของสารทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีหมู่คาร์บอนิล (carbonyl) หมู่ฟีนอลิก (phenolic) และพันธะคู่ของแอลคีนซึ่งล้วนแต่เป็นบริเวณที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่น อะตอมออกซิเจนเหล่านั้นสามารถเกิดคีเลต (chelated) หรือ จับกับโลหะชนิด bivalent ได้ โดยเฉพาะการมีหมู่คาร์บอนิล ที่ ตำแหน่ง C-9 และหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C-1 จะเกิดการคีเลตกับโลหะไอออนได้ดีโดยจะเกิดผ่านวงแหวน 6 เหลี่ยม นอกจากนี้ตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล (C-6) ที่อยู่ ortho- กับหมู่เมทอกซี (methoxy) และไฮดรอกซิล ในแอลฟาแมงโกสติน เบต้าแมงโกสติน และแกมมาแมงโกสติน ตามลำดับ เป็นอีกตำแหน่งหนึ่งที่สามารถเกิดคีเลตกับโลหะไอออนได้ ทำให้สารแมงโกสตินจากเปลือกผลมังคุดมีความสามารถในการดูดซับ

เคมีคอมพิวเตอร์ (Computational Chemistry) ถือว่าเป็นศาสตร์ใหม่ซึ่งเกิดจากวิชาพื้นฐานของทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม และทฤษฎีกลศาสตร์สถิติ เคมีคอมพิวเตอร์ถูกเรียกว่าเป็นเครื่องมือวิทย์แห่งอนาคต เพราะมันสามารถใช้วัดสมบัติของสารด้วยวิธีการคำนวณได้ถึงในระดับของแต่ละอะตอมหรือโมเลกุลทีเดียว สิ่งนี้สำคัญมาก เพราะการทดลองทางเคมีบางอย่าง การวัดสมบัติของสารมีความซับซ้อนเกินกว่าที่จะทำได้ในห้องปฏิบัติการจริง ดังนั้นเคมีคอมพิวเตอร์จึงเป็นทางเลือกใหม่ของการพัฒนาวิทย์ รวมถึงการออกแบบและการทำนายโครงสร้างของสารเคมีหรือวัสดุขั้นสูง และสมบัติเฉพาะตัว

กลไกการทำงานของ การดูดซับ

ในระหว่าง การดูดซับของ ๑ ประเภของ ก๊าซจะเคลื่อนตัวจากกระแสของ ก๊าซที่ออกจาก ระบบ โดยเกาะติดอยู่ที่ผิวของของแข็ง โมเลกุลของ ก๊าซจะเคลื่อนที่เรียกว่า “ตัวถูกดูดซับ” ในขณะที่ของแข็งที่ดูดติดเรียกว่า “ตัวดูดซับ” โดยทั่วไปแล้วตัวดูดซับจะเป็นอนุภาคที่มีรูพรุนมากมาย สำหรับจุดประสงค์ในการควบคุมคุณภาพอากาศ การดูดซับไม่ใช่กระบวนการสุดท้ายของการกำจัด สารจะต้องมีกระบวนการในการกำจัดสารปนเปื้อนที่ดูดซับได้ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของการดูดซับสำหรับการควบคุมพิษ โดยทั่วไป จะใช้การควบคุมสารประกอบอินทรีย์ โดยส่วนใหญ่แล้ว สารประกอบอินทรีย์จะมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 45 ซึ่งจะเป็นตัวถูกดูดซับที่ดี การดูดซับเป็นการใช้การควบคุมการระบายในหลายตัวทำละลาย ใช้ในกระบวนการ เช่น การทำความสะอาดแบบแห้ง (dry cleaning) การกำจัดไขมัน (degreasing) การเคลือบผิว (surface coating) กระบวนการผลิตยาง (rubber cleaning) เป็นต้น ระบบการดูดซับใช้ควบคุมสารพิษหรือกลิ่นที่ได้จากกระบวนการผลิตอาหาร ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน และในหลาย ๆ กระบวนการทางเคมี (เช่น การผลิตยา การ

ผลิตน้ำมัน เป็นต้น) โดยทั่วไปแล้วตัวดูดซับที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็น activated carbon, silica gel, activated alumina และซีโอไลต์ เป็นตัวดูดซับที่มีลักษณะเฉพาะทางเคมี คือ มีพื้นที่ผิวมากการกระจายขนาดของรู และขนาดของอนุภาคลักษณะที่สำคัญอันหนึ่งในการสังเกตระหว่างตัวดูดซับคือ ความมีขั้วของผิว (surfacepolarity) ความมีขั้วหาได้จากชนิดของไอออนของอนุภาคจากตัวดูดซับ ที่กล่าวมาข้างต้น activated carbon เป็นตัวดูดซับที่ไม่มีขั้ว ส่วนตัวดูดซับที่มีขั้วชอบที่จะดูดซับไอน้ำที่อาจอยู่ในกระแสก๊าซ เนื่องจากความชื้นที่อยู่ในกระแสของสารมลพิษ ทำให้การใช้ตัวดูดซับที่มีขั้วเกิดข้อจำกัดขึ้นมาสำหรับระบบควบคุมมลพิษทางอากาศ

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติของการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ

การดูดซับทางเคมี	การดูดซับทางกายภาพ
ค่าความร้อนของการดูดซับ 100-500 kJ/mol	ค่าความร้อนของการดูดซับประมาณ 20 kJ/mol หรือน้อยกว่า
เกิดได้ที่อุณหภูมิสูง	เกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ
ไม่เกิดการผันกลับ	เกิดการผันกลับได้เป็นส่วนใหญ่
เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว	เกิดการดูดซับหลายชั้น
มีพลังงานก่อกัมมันต์เกี่ยวข้อง	ไม่มีพลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการ
แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดอย่างแข็งแรง	แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดอย่างอ่อนๆ

ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) หมายถึง การที่โมเลกุลของสารถูกดึงเข้ามาติดผิวของสารดูดซับ หรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับสารดูดซับ (Adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำจะถูกดูดซับได้ แต่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ พลังงานอิสระที่ผิวของสารดูดซับจะมีความสัมพันธ์กับแรงตึงผิวและพื้นที่ผิว ดังสมการ (1) เมื่อความตึงผิว (surface tension) หรือพื้นที่ผิว (surface area) เปลี่ยนไปจะเป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพลังงานอิสระที่ผิว ($\Delta G_{surface}$)

$$\Delta G_{surface} = \gamma A$$

เมื่อ $\Delta G_{surface}$ = พลังงานอิสระที่ผิว

γ = ความตึงผิว

A = พื้นที่ผิว

(1)

ปริมาณสารถูกดูดซับขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ความดันและพลังงานศักย์ของอันตรกิริยา (Interaction potential energy) ระหว่างสารถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ กับสารดูดซับซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption isotherm) เป็นความสัมพันธ์ของปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่พื้นผิวกับความดันของก๊าซหรือความเข้มข้นของสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายบนผิวแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิใดๆ ไอโซเทอร์มการดูดซับแบ่งออกได้เป็น ดังนี้

1. ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ในปี ค.ศ. 1916 เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอร์มแบบง่ายสุดโดยมีสมมติฐานคือ 1) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน 3) ในแต่ละ โมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน

จากการศึกษาไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลายได้ดังสมการ (2)

$$q_e = \frac{Q^\circ b C_e}{1 + b C_e} \quad (2)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณของสารถูกดูดซับบนสารดูดซับหนักหนึ่งกรัม
 C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล
 Q° = ปริมาณของสารถูกดูดซับอิ่มตัวแบบชั้นเดียว
 b = ค่าคงที่แลงเมียร์ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

หรือ $C_e/q_e = 1/bQ^\circ + C_e/Q^\circ \quad (3)$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรง มีจุดตัดแกน C_e/q_e เป็น $1/bQ^\circ$ และมีความชันเท่ากับ $1/Q^\circ$

2. ไอโซเทอมแบบฟรอยด์ลิค (Freundlich isotherm)

ในปี ค.ศ. 1880-1941 นักฟิสิกส์-เคมี ชาวเยอรมัน Herbert Max Finlay Freundlich ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายดังสมการ (3)

$$q_e = X/m = k_f C_e^{1/n} \quad (4)$$

เมื่อ C_c = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการดูดซับที่สมดุล
 X/m = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ
 K_f และ n = ค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

จากสมการฟรอยด์ลิช เมื่อใส่ลอการิทึม (logarithm) จะได้สมการ

$$\log q_c = \log X/m = \log k_f + (1/n) \log C_c \quad (5)$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\log X/m$ กับ $\log C_c$ ที่อุณหภูมิคงที่ จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกนสามารถนำมาหาค่า k_f ได้ และความชันของกราฟเป็น $1/n$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

N.U. Zhanpiesov, W.S. Ju and M. Anpo ศึกษาทางเคมีคำนวณด้วยการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีการคำนวณในระดับของ Hatree Fock (HF) และ Density Functional Theory (DFT) ของระบบการเกิดอัตรกิริยาระหว่างโครงสร้างพื้นฐานของซีโอไลต์ ซึ่งแสดงบริเวณที่สามารถมีอันตรกิริยากับไอออนตะกั่ว ถือได้ว่าเป็นบทบาทใหม่ของการนำผลการศึกษาทางเคมีคำนวณไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม พบว่าตะกั่วไอออนสามารถเกิดอันตรกิริยาที่คึกคักบนโครงสร้างซีโอไลต์ได้ 3 รูปแบบ รอบๆ ของอะตอมออกซิเจนบนโครงสร้างของซีโอไลต์

Xin-Min Zhan et al., (2003: 3905-3912) ศึกษาวิธีการดูดซับเพื่อกำจัดสารตะกั่วจากน้ำเสีย การสังเคราะห์การดูดซับตะกั่วแบบใหม่โดยใช้แทนนินเข้มข้นในธรรมชาติ ซึ่งค่า pH มีอิทธิพลต่อการสกัดตะกั่ว (Pb) จากสารละลายน้ำ ความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกั่วสูงถึง 71%, 87% และ 91% ที่ pH 3.0, 3.6 และ 4.2 ตามลำดับ และค่าสูงสุดของการดูดซับที่ยอมรับได้ คือ 57.5, 76.9 และ 114.9 mg(Pb)/g ที่ pH 3.0, 3.6, และ 4.2 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมในการดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียที่เป็นกรด

Graciela Palma et al., (2003) การใช้สารสกัดแทนนินและเปลือกต้นสน *Pinus radiata* ในการกำจัดไอออนของโลหะออกจากสารละลายน้ำและน้ำจากการทำเหมืองทองแดง ศึกษาความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะที่หลากหลาย [V(V), Re(VII), Mo(VI), Ge(IV), As(V), Cd(II), Hg(II), Al(III), Pb(II), Fe(II), Fe(III), Cu(II)] และปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดโลหะออกจากสารละลาย ความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะแตกต่างกันมาก และการดูดซับส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย พบว่าค่าการดูดซับโดยใช้แทนนินมีค่าต่ำกว่าการใช้เปลือกต้นสน และที่ pH 3 ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนไอออนสูงที่สุด ในส่วนของเปลือกสนประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนไอออนอยู่ระหว่าง 0.93 mgqg⁻¹ ของปรอทถึง 6.8 mgqg⁻¹ ของวาเนเดียม ไอออน

ของโลหะในน้ำเสียเริ่มต้น Cu(II) (35.2 mgL^{-1}), Fe(III) (198 mgL^{-1}), Al(III) (83.5 mgL^{-1}) และ Cd(II) (0.15 mgL^{-1}) ที่ pH 2 พบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับ 15.6%, 46.9%, 83.7% และ 3.3% ตามลำดับ ซึ่งใช้ตัวดูดซับ 1 g ค่อน้ำเสีย 10 ml

Y. Kim, J.H. Kim, K.G. Lee and S.G. Kang 2005 ศึกษาอัตราการดูดซับและลักษณะเฉพาะของไอออนโลหะหนักที่อยู่ในสารละลายทดสอบโดยดินเหนียวสีแดง ดินเหนียวสีขาว ดินเหนียวสีแดงรวมกับดินเหนียวสีขาวและซีโอไลต์ภายใต้ pH และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

S. Sun, W. Chen, W. Cao, F. Zhang, J. Song and C. Tian 2008 ศึกษาการเกิดคีเลตกันระหว่างเคอเซทิน (3,3',4',5,7-pentahydroxyflavone) และโครเมียม (III) ไอออน ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณ Density Functional Theory (DFT) ใช้ basis set B3LYP 6-311+G (2d, 2p) เพื่อหา binding energy ของระบบที่เกิดการคีเลตที่ตำแหน่งต่างๆ และใช้ค่าพลังงานดังกล่าวเป็นการทำนายตำแหน่งที่แน่นอนของการคีเลตกันระหว่างเคอเซทินกับ Cr^{3+} และศึกษาความถี่และความยาวคลื่นของการเกิดการคีเลตของระบบดังกล่าวด้วยเทคนิค IR spectroscopy analysis และ UV-vis spectrum analysis

L. Curkovic 1996 พบว่ามีปัจจัยที่เป็นประเด็นน่าสนใจ 3 อย่าง คือ ความเข้มข้นของตัวอย่าง รูปทรงหรือพื้นที่ผิว อุณหภูมิขณะแลกเปลี่ยน ซึ่งปัจจัยทั้ง 3 นี้ ถูกนำมาศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากชุมชน โดยใช้ Croatian clinoptilolite พบว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการแลกเปลี่ยนไอออนของซีโอไลต์ชนิดนี้กับตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และทองแดง จะพบว่าซีโอไลต์สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับตะกั่ว และแคดเมียมดีกว่าตัวอื่นๆ

P.K Tewari 2001 พบว่าผลกระทบของ pH ในการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักของตัวดูดซับจะเกิดได้ดีเมื่อมีสภาพเป็นกรด เช่น Amberlite XAD7 ดูดซับตะกั่วได้ดีที่ pH4 และตัวดูดซับจะปลดปล่อยโลหะสู่สารละลายเมื่อระบบดูดซับมีสภาพเป็นเบส สาเหตุที่ตะกั่วจับกับตัวดูดซับน้อยเมื่ออยู่ในสภาพเป็นเบสเพราะจะอยู่ในสูตรของสารประกอบไอออน anionic hydroxo-complexes ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับตัวดูดซับ จึงจับกับซีโอไลต์ได้น้อย ในปีเดียวกัน ศึกษาการดูดซับโลหะหนักนิยมนำมาทดลอง 2 วิธี คือ วิธี Batch adsorption โดยการนำตัวดูดซับใส่ในสารละลายโลหะหนักในภาชนะเขย่ารอจนกว่าการดูดซับถึงจุดสมดุล แล้วนำสารละลายมากรอง ก่อนที่จะไปวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซับการดูดซับ วิธีที่ 2 Fixed bed column เป็นการนำซีโอไลต์ไปบรรจุในคอลัมน์ แล้วผ่านสารละลายโลหะหนักให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนโดยการควบคุมอัตราการไหลหรือศึกษาปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติมแล้วนำสารละลายที่ผ่านมาวัดค่าการดูดซับ Sultan Ahmed, 1997 และคณะ ศึกษาปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักต่อปริมาณ

ซีโอไลต์ชนิด Na-Y zeolite พบว่า การดูดซับมีประสิทธิภาพเป็นดังนี้ $Pb^{2+} > Cd^{2+} > Cu^{2+} > Ni^{2+}$ และการกำจัดโลหะหนักด้วย mexican clinoptilolite ที่ระดับ pH ที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก พบว่า ลำดับการดูดซับโลหะหนักคือ $Pb > Cu > Zn$ การดูดซับตะกั่วได้ดีในสภาพกรดได้ 95 % ในเวลา 18 ชั่วโมง และ Runping Han, 2006 พบว่า การใช้ Manganeseoxide zeolite สามารถดูดซับ ตะกั่วดีกว่าทองแดง ในสถานะที่เป็นกรดซึ่ง กระตุ้นด้วยกรดไนตริก 0.5 โมลต่อลิตร

M. Turan, 2005 พบว่าขนาดของวัสดุดูดซับเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเช่น ซีโอไลต์ขนาด 0.6-0.8 มิลลิเมตรจะดูดซับตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้ดีกว่าขนาด 0.1-0.5 มิลลิเมตร และ Marinos A. Stylianou, 2006 ได้ศึกษาปัจจัยอัตราการไหลที่มีผลต่อการดูดซับพบว่าอัตราการไหลช้ามีการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ดีกว่าอัตราการไหลเร็ว และ ปริมาณการดูดซับโลหะหนักเรียงจากมากไปหาน้อยคือ ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง

ในปี ค.ศ. 2004 E.Erdem ได้ศึกษาการดูดซับโลหะหนักด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ (clinoptilolite) โดยศึกษา Co^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} และ Mn^{2+} เพื่อนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสีย ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ซีโอไลต์ธรรมชาติ มีศักยภาพในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนกับโลหะหนัก ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้