

ความสามารถของไดอะตอมไมต์ในการดูดซับแคตไอออนในสารละลายเกลือต่าง ๆ

Capacity of Diatomite to Sorb Cations in Various Salt Solutions

จุฬาลักษณ์ จงสุพรรณพงศ์¹ และแสงดาว แลนรอต (เขาแก้ว)^{1*}

Chulaluck Chongsuphanpong¹ and Saengdao Landrot (Khaokaew)^{1*}

บทคัดย่อ

ศึกษาสมบัติของไดอะตอมไมต์ และเกลือที่มีโอกาสพบในดิน รวมทั้งศึกษาความสามารถของไดอะตอมไมต์ในการดูดซับแคตไอออน (Ca, Na, Fe และ K) ในสารละลายเกลือ ได้แก่ NaCl, Na₂SO₄, CaCl₂, CaSO₄, KCl, K₂SO₄, FeCl₃ และ FeSO₄ โดยใช้ Batch Technique ทำการศึกษาโดยใช้ไดอะตอมไมต์จำนวน 2 ตัวอย่าง และสัดส่วนไดอะตอมไมต์ต่อสารละลายเกลือ 2 อัตรา (1:50 และ 1:100) ผลการทดลองพบว่าไดอะตอมไมต์สามารถดูดซับแคตไอออนได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือ โซเดียมเป็นธาตุที่ถูกดูดซับได้ดีที่สุดโดยไดอะตอมไมต์ รองลงมาคือแคลเซียม และเหล็ก ทั้งในสารละลาย NaCl และ Na₂SO₄ ไดอะตอมไมต์สามารถลดปริมาณโซเดียมได้มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของโซเดียมในสารละลาย ไดอะตอมไมต์ลดแคลเซียมในสารละลาย CaSO₄ ได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ แต่ลดได้เพียง 2-21 เปอร์เซ็นต์ ใน CaCl₂ ไดอะตอมไมต์สามารถลดปริมาณเหล็ก ได้ 13-25 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลาย FeCl₃ และ FeSO₄ แต่ไดอะตอมไมต์ไม่สามารถลดปริมาณโพแทสเซียมทั้งในสารละลาย KCl และ K₂SO₄ ได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไดอะตอมไมต์มีความสามารถที่ดีในการดูดซับแคตไอออนบางตัวในสารละลายเกลือโดยเฉพาะโซเดียม

คำสำคัญ: ไดอะตอมไมต์ เกลือที่ละลายน้ำได้ ดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ โซเดียม ระบบชลประทานเพื่อการเกษตร

Abstract

This investigation aimed to study the properties of diatomite and salt possibly found in soils. The sorption capacity of diatomite to sorb cations (Ca, Na, Fe, and K) in salt solutions i.e. NaCl, Na₂SO₄, CaCl₂, CaSO₄, KCl, K₂SO₄, FeCl₃, and FeSO₄ was also studied using a batch technique. Two diatomite samples, and two diatomite-to-salt-solution ratios (i.e. 1:50 and 1:100) were studied. Results showed that diatomites had different capacities to sorb cations depending on the type of salts. Sodium was the element sorbed the most by the diatomites, followed by calcium, and iron. In both NaCl and Na₂SO₄ solutions, diatomites could reduce more than 60 weight percent of sodium in solution. They reduced more than 80 percent of calcium in CaSO₄ solution, but only 2-21 percent in CaCl₂. Diatomites could reduce 13-15 percent of iron in FeCl₃ or FeSO₄ solution. However, they were not able to remove potassium in KCl or K₂SO₄ solutions. This demonstrated that diatomite could efficiently sorb some cations in salt solutions, especially sodium.

Keywords: diatomite, soluble salt, salt-affected soil, sodium, agricultural irrigation system

คำนำ

เกลือ (salt) โดยทั่วไปหมายถึง สารประกอบไอออนิก ประกอบด้วยไอออนบวก (แคตไอออน) และไอออนลบ (แอนไอออน ยกเว้น OH⁻) ตัวอย่าง เช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ประกอบด้วยโซเดียมไอออน (Na⁺) และคลอไรด์ไอออน (Cl⁻) เกลือแบเรียมซัลเฟต (BaSO₄) ประกอบด้วยแบเรียมไอออน (Ba²⁺) และซัลเฟตไอออน (SO₄²⁻) เกลือทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการละลายและการนำไฟฟ้าแตกต่างกัน โดยที่เกลือ NaCl ละลายในน้ำได้ดีและสามารถแตกตัวให้ Na⁺ และ Cl⁻ ทำให้สารละลายของเกลือ NaCl ละลายน้ำได้ดี แต่เกลือ BaSO₄ เป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ ส่งผลให้สารละลายของเกลือ BaSO₄ ไม่นำไฟฟ้า สำหรับในดินนั้นพบเกลือได้หลายประเภท ปริมาณที่พบแตกต่างกันไป เกลือที่พบในดินเกิดจากการรวมตัวของธาตุที่มีประจุบวก พวกโซเดียม แมกนีเซียม รวมกับธาตุที่มีประจุลบ เช่น คลอไรด์ ซัลเฟต คาร์บอเนต และไนเตรต สำหรับเกลือที่พบในพื้นที่ดินเค็มส่วนใหญ่ คือ เกลือคลอไรด์และซัลเฟต ของ โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เช่น ดินเค็มหรือดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือที่เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเกลือส่วนใหญ่อยู่ในรูป NaCl ดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

*Corresponding author, Email: agrsdk2@yahoo.com or agrsdk@yahoo.co.th

มีแหล่งกำเนิดมาจาก 3 แหล่งหลัก คือ 1) แหล่งเกลือทะเล เป็นเกลือที่มาจากน้ำทะเลหรือมหาสมุทรทำให้เกิดดินเค็มชายทะเล 2) แหล่งเกลือทางธรณี เป็นเกลือที่มาจากการสลายตัวของหินและแร่ทางธรณีซึ่งมักก่อให้เกิดดินเค็มบก และ 3) เกลือที่มาจากแหล่งกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำนาเกลือ (สมศรี อรุณินท์, 2539) นอกจากนี้ดินเค็มที่เกิดขึ้นเป็นพื้นที่ใหญ่ ๆ อาจมีสาเหตุมาจากการใช้น้ำชลประทานที่คุณภาพไม่ดี หรือมีน้ำใต้ดินเค็มอยู่ใกล้ผิวดิน การนำน้ำที่คุณภาพไม่ดีมาใช้ในการเกษตร แม้ว่าน้ำนั้นจะเค็มไม่มาก แต่เมื่อใช้ไปนาน ๆ ก็ทำให้เกลือสะสมในดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีปริมาณฝนน้อย ไม่เพียงพอต่อการชะล้างเกลือออกไปจากชั้นดิน (Sumner, 1995; Rietz and Haynes, 2003) น้ำจากแหล่งต่าง ๆ มีคุณภาพแตกต่างกันไป เกลือที่ทำให้เกิดปัญหาดินเค็มคือเกลือที่ละลายน้ำได้และเคลื่อนย้ายไปกับน้ำ คุณภาพน้ำที่จะนำมาใช้เพื่อการเกษตรขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของเกลือในน้ำ โดยหากน้ำมีค่าอัตราโซเดียมที่ถูกดูดซับ (Sodium Absorption Ratio: SAR) เท่ากับ 18-26 ถือว่าเป็นน้ำที่มีคุณภาพต่ำ และหากสูงกว่า 26 จัดว่าเป็นน้ำที่มีคุณภาพต่ำมาก ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เพื่อการชลประทาน สำหรับการเกษตร (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.; Fipps, 2017) การหว่าสดูราคาถูกภายในประเทศที่มีศักยภาพในการดูดซับ (sorption) เกลือ มาใส่ลงในน้ำเพื่อลดปริมาณเกลือก่อนนำไปใช้ทางการเกษตรอาจเป็นแนวทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาแหล่งน้ำที่มีเกลือเกินมาตรฐานและไม่เหมาะกับการเกษตร โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง เช่น ในกรณีปัญหาที่พบในการผลิตข้าวของเกษตรกรในจังหวัดสระบุรี (Khaoakew et al., 2017) อย่างไรก็ตามข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุต่าง ๆ ที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าวข้างจำกัด ไดอะตอมไมต์หรือไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธ (diatomite or diatomaceous earth) หรือดินเบา ในประเทศไทยมีแหล่งใหญ่อยู่ที่จังหวัดลำปาง เป็นวัสดุธรรมชาติที่นำสนใจทดลอง เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับและพื้นที่ผิวสูง โดยในปัจจุบันมีการนำมาใช้เพื่อเป็นตัวดูดซับโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะแคดไมียม เช่น ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง ไทเทเนียม นิกเกิล และแมงกานีส (Al-Degs et al., 2001; Khraisheh et al., 2004; Sheng et al., 2008; Guru et al., 2008; Bakr, 2010; Sheng et al., 2011; Yuan et al., 2013)

ไดอะตอมไมต์เกิดจากไดอะตอมฟอสซิลหรือสาหร่ายเซลล์เดียวที่ส่วนใหญ่เกิดในระบบนิเวศทางน้ำแต่ก็สามารถเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมภาคพื้นดินได้ เมื่อประมาณ 20 ถึง 80 ล้านปี ในยุค Eocene และ Miocene มีมากกว่าสองหมื่นสายพันธุ์และมีลักษณะแตกต่างกันไป (Round et al., 1992) ไดอะตอมสเก็คซิลิคอนจากน้ำเกิดโครงสร้างซิลิกาอสัณฐาน เมื่อไดอะตอมตายซากของไดอะตอมไมต์จมลงก้นทะเล และเมื่อเวลาผ่านไปหลายศตวรรษซากเหล่านี้ก่อตัวเป็นชั้นหนาตั้งแต่ไม่กี่เซนติเมตรไปจนหนาหลายร้อยเมตรเป็นตะกอนชีวภาพ (biogenic sediment) ไดอะตอมมีรูปร่างและขนาดต่างกัน มีสีแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบจากสีขาว สีเทา สีเหลืองจนถึงออกแดงส้ม แต่มีองค์ประกอบพื้นฐานหลักเหมือนกันคือซิลิคอนอสัณฐาน ไดออกไซด์โดยมีซิลิกาอสัณฐาน ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) เป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 60 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ประกอบกับส่วนผสมอื่น ๆ เช่น แคลเซียม อลูมิเนียม เหล็ก แมกนีเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส กำมะถัน นิกเกิล สังกะสี และแมงกานีส ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด ไดอะตอมไมต์ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำ ค่า pH ตั้งแต่ 4.4 ถึง 9.2 มีมวลที่เฉพาะเจาะจงแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิด และแหล่งกำเนิดตั้งแต่ประมาณ 220-230 กรัม/ลิตร ถึงประมาณ 670 กรัม/ลิตร (Korunic, 1997; Kuronic, 2013) ไดอะตอมไมต์ไม่ติดไฟ ไม่มีความเสี่ยงจากการระเบิดของฝุ่น มีความเสถียร ไม่ก่อให้เกิดสารเคมีตกค้างหรือทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ในสิ่งแวดล้อม โดยตามที่สำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อม (EPA) ในสหรัฐอเมริกา ไดอะตอมไมต์ธรรมชาติเรียกว่าเป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนไดออกไซด์ซึ่งจัดอยู่ในประเภทที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่าปลอดภัยในการใช้ประโยชน์ (Anon, 1991) หลังจากผ่านการกระบวนการทางเหมือง (การขุด การทำให้แห้ง และการทำให้ละเอียด) ไดอะตอมไมต์จะมีขนาดเล็ก ละเอียดอนุภาคมีขนาด 1 ถึง 150 ไมครอน โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.5 ถึง 30 ไมครอน อนุภาคทั้งหมดมีความพรุนสูงมากถึง 35-65 เปอร์เซ็นต์ (Murer and Mobil, 2000) ความพรุนรวมของไดอะตอมไมต์เป็นผลรวมของความพรุนของช่องหลายขนาด ตั้งแต่ช่องขนาดเล็กกว่า 2 นาโนเมตร ไปจนถึงช่องขนาดใหญ่ 450 นาโนเมตร (Osmanlioglu, 2007) ไดอะตอมไมต์มีความหนาแน่นต่ำ มีพื้นที่ผิวสูง และมีความสามารถทางกายภาพในการดูดซับ (Gao et al., 2005; Bakr, 2010)

ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบศักยภาพเบื้องต้นของไดอะตอมไมต์จากจังหวัดลำปาง ในการดูดซับแคดไมียมในสารละลายเกลือต่าง ๆ ที่เป็นเกลือที่มีโอกาสพบในดิน ได้แก่ เกลือของโซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม (สมศรี อรุณินท์, 2539; Khaoakew et al., 2017; Fipps, 2017) รวมทั้งทำการศึกษาสมบัติของเกลือและไดอะตอมไมต์เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาหาแนวทางลดปริมาณเกลือในแหล่งน้ำสำหรับการเกษตรที่มีเกลือเกินมาตรฐานและเป็นอันตรายต่อพืช

วิธีการศึกษา

การเตรียมสารละลายเกลือ และการศึกษาค่าพีเอช (pH) และการนำไฟฟ้า (EC) ของเกลือประเภทต่าง ๆ

ทำการเตรียมสารละลายเกลือของเหล็ก แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม โดยใช้สารเคมีเกรดสำหรับการวิเคราะห์ (analytical grade) รายละเอียดเกี่ยวกับสูตรทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของสารแสดงใน Table 1 เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่ไม่สูงและต่ำมาก และสำหรับเกลือบางตัวเป็นความเข้มข้นที่มีโอกาสพบได้จริง โดยเฉพาะในดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ (Khaoaew et al., 2017) ทำการเตรียมสารละลายเกลือต่าง ๆ ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (M) แล้วทำการวิเคราะห์ค่า pH และ EC โดยใช้เครื่อง pH และ EC มิเตอร์ ตามลำดับ รวมทั้งสังเกตสีของสารละลาย และสภาพการละลายได้ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าของเกลือแต่ละประเภทที่ความเข้มข้น 0.1 M ซึ่งสมบัติเหล่านี้ผู้วิจัยเห็นว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ทำให้ทราบว่าเกลือชนิดใดมีค่า pH และ EC สูงต่ำกว่ากันอย่างไร ซึ่งคาดว่าจะมีประโยชน์สำหรับผู้สนใจศึกษาเกี่ยวกับดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานบางประการของไดอะตอมไมต์

ตัวอย่างไดอะตอมไมต์ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างจากบริษัท SEAR จังหวัดลำปาง จำนวน 2 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ขุดมาจากความลึกที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างที่ 1 (Pit 1-3: P1) เป็นตัวอย่างไดอะตอมไมต์ชั้นบนสุด ใกล้เปลือกโลก มีสีขาว ส่วนตัวอย่างที่ 2 (Pit 1-9: P5) เป็นตัวอย่างไดอะตอมไมต์ชั้นล่างสุด มีสีส้ม (Figure 1) สำหรับข้อมูลตัวอย่างไม่สามารถลงรายละเอียดได้ เนื่องจากบริษัทยังไม่ได้เปิดเหมืองอย่างเป็นทางการในขณะนี้ เมื่อได้ตัวอย่างมาแล้วนำตัวอย่างที่ได้ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนเบาและพรุนมาทำการบด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 มม. วิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ค่า pH และ EC โดยใช้สัดส่วนตัวอย่างต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 แล้ววัดด้วยเครื่อง pH และ EC มิเตอร์ ตามลำดับ ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนโดยวิธีการชะละลาย (leaching) ด้วยสารละลาย 1 โมลาร์ NH_4OAc pH 7.0 (จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, 2550; National Soil Survey, 1996) วิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุ Na, Ca, Mg, K และ Fe โดยการย่อยด้วยกรด aqua regia (Conc. HNO_3 : HCl อัตราส่วน 1:3, Chen and Ma, 2001) แล้วย่อยด้วยบิลิกไดเจส จากนั้นนำสารละลายไปวัดปริมาณความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ โดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS)

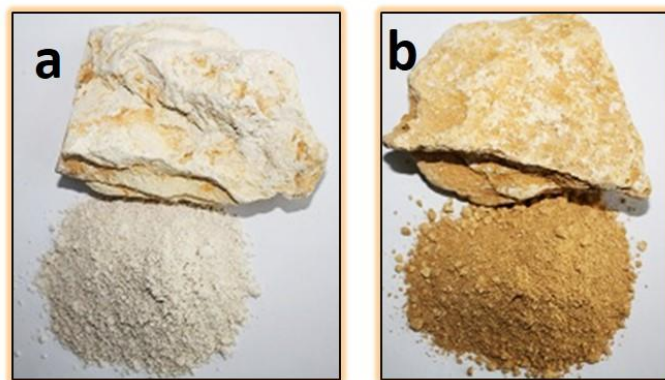


Figure 1 Diatomite samples (a) sample P1 and (b) sample P5.

การศึกษามลของไดอะตอมไมต์ต่อการลดปริมาณเกลือต่าง ๆ ในสารละลาย

ทำการศึกษา sorption experiment ของไดอะตอมไมต์กับ Na, Ca, K หรือ Fe ในสารละลาย 0.1 M NaCl , Na_2SO_4 , CaCl_2 , CaSO_4 , KCl , K_2SO_4 , FeCl_3 และ FeSO_4 ด้วย batch technique เพื่อให้ทราบถึงศักยภาพของไดอะตอมไมต์ในการดูดซับแคตไอออนในสารละลายเกลือที่มีโอกาสพบในดิน ใช้ตัวอย่างไดอะตอมไมต์ P1 และ P5 โดยใช้ในอัตราส่วนไดอะตอมไมต์ต่อสารละลายเกลือที่ 2 อัตรา คือ 1:100 และ 1:50 และตัวควบคุม (control) คือสารละลายเกลือที่ไม่ใส่ไดอะตอมไมต์ ซึ่งอัตราและเวลาที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบจากการศึกษาสำหรับธาตุอื่น ๆ (Al-Degs et al., 2001; Sheng et al., 2008; Guru et al., 2008; Nenadovic et al., 2009; Sheng et al., 2011; Yuan et al., 2013) ทำการเขย่าสารละลายด้วยความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที เวลา 45 นาที แล้วกรองเพื่อนำมาวัดความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ โดยใช้เครื่อง AAS ทำการทดลองอย่างละ 3 ซ้ำ แผนภาพสรุปการทดลองแสดงใน Figure 2

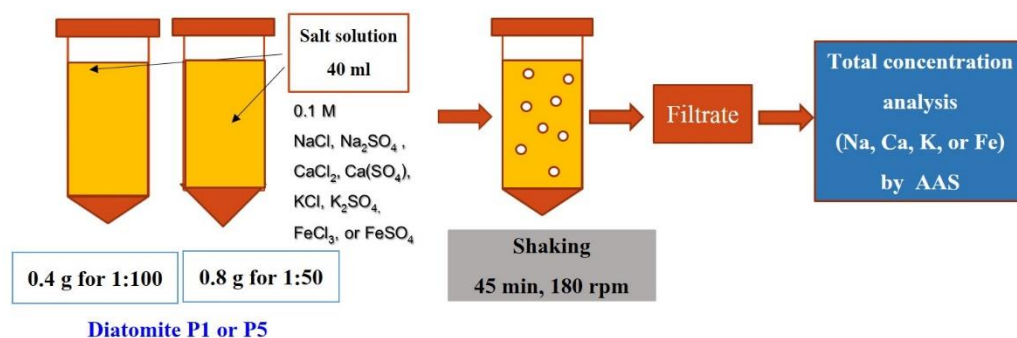


Figure 2 Sorption of cations by diatomite using a batch technique.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าของเกลือประเภทต่าง ๆ

จากผลศึกษาค่าพีเอชและการนำไฟฟ้าของเกลือประเภทต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่ามีค่าแตกต่างกันไป ดังแสดงใน Table 1 โดยสำหรับไอออนบวกของเกลือคลอไรด์นั้น พบว่าธาตุที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงเรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ $\text{Fe} > \text{Mg} \sim \text{Ca} > \text{K} > \text{Na}$ และ $\text{K} > \text{Na} > \text{Fe} \sim \text{Mg} > \text{Ca}$ สำหรับเกลือซัลเฟต ในส่วนเกลือไนเตรตนั้น พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของ แคตไอออน $\text{Fe} > \text{K} > \text{Ca} \sim \text{Mg} > \text{Na}$ นอกจากนี้สีและการละลายได้ของเกลือแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน (Figure 3) โดยเกลือ NaCl , Na_2SO_4 , NaNO_3 , KCl , K_2SO_4 , KNO_3 , MgCl_2 , MgSO_4 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, CaCl_2 และ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ เมื่อละลายแล้ว จะมีสีใส และละลายได้ดี 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมองด้วยตาเปล่า ในขณะที่เกลือ CaSO_4 ละลายแล้วได้สารละลายสีขาวขุ่น ส่วนเกลือ FeCl_3 , FeSO_4 และ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ละลายแล้วจะได้สีเหลืองถึงเหลืองส้ม โดยเกลือ FeCl_3 และ FeSO_4 เป็นตะกอนขุ่น สำหรับค่าพีเอชนั้น พบว่าสารละลายเกลือทุกชนิดที่ศึกษามีค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 และพบค่าพีเอชต่ำที่สุดในกลุ่มสารละลายเกลือของเหล็ก

Table 1 Salt name, concentration, chemical formula, molar mass, pH and EC of salt solutions.

No.	Salt name	Concentration (M)	Chemical formula	Molar mass (g/mol)	pH	EC (mS/cm)
1	NaCl	0.1	NaCl	58.44	5.11	12.89
2	Na ₂ SO ₄	0.1	Na ₂ SO ₄	142.04	5.24	17.64
3	NaNO ₃	0.1	NaNO ₃	84.99	5.57	11.19
4	CaCl ₂	0.1	CaCl ₂ ·2H ₂ O	147.02	6.15	18.06
5	CaSO ₄	0.1	CaSO ₄ ·2H ₂ O	172.17	5.28	2.42
6	Ca(NO ₃) ₂	0.1	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	236.15	5.18	19.19
7	MgCl	0.1	MgCl ₂ ·6H ₂ O	203.00	5.55	19.13
8	MgSO ₄	0.1	MgSO ₄ ·7H ₂ O	246.47	5.19	10.90
9	Mg(NO ₃) ₂	0.1	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	256.41	4.70	19.13
10	KCl	0.1	KCl	74.55	5.77	14.26
11	K ₂ SO ₄	0.1	K ₂ SO ₄	174.26	5.83	21.21
12	KNO ₃	0.1	KNO ₃	101.10	5.05	13.19
13	FeCl ₃	0.1	FeCl ₃ ·6H ₂ O	270.30	1.59	36.35
14	FeSO ₄	0.1	FeSO ₄ ·7H ₂ O	278.01	2.53	11.63
15	Fe(NO ₃) ₃	0.1	Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	404.00	1.78	31.63

สมบัติของไดอะตอมไมต์

ผลการศึกษาสมบัติของไดอะตอมไมต์แสดงดัง Table 2 โดยจากผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างไดอะตอมไมต์ที่ศึกษา มีค่าพีเอชต่ำกว่า 4.5 ซึ่งถือว่าเป็นกรดจัด มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำมากซึ่งถือว่าเป็นสมบัติที่ดี มีธาตุซิลิกอนเป็นองค์ประกอบสูงมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการศึกษาอื่น ๆ (Korunic, 1997; Karonic, 2013) สำหรับธาตุอื่น ๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ทั้งสองตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน แต่สำหรับธาตุโพแทสเซียมและเหล็กนั้น พบว่าตัวอย่างไดอะตอมไมต์ที่อยู่ชั้นล่าง (P5) มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่อยู่ใกล้ผิวโลก (P1) ซึ่งเห็นได้ชัดเจนมากในกรณีของธาตุเหล็ก ซึ่งพบสูงมากในตัวอย่าง P5 สอดคล้องกับสีของไดอะตอมไมต์ที่มีสีออกเหลืองส้ม ในขณะที่ตัวอย่าง P1 มีสีออกขาวกว่ามาก โดย Tsai et al. (2006) รายงานว่า นอกจากไดอะตอมไมต์มีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบสูงแล้ว โดยทั่วไปยังมีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เป็นองค์ประกอบจำนวนมากด้วย สำหรับค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนนั้นพบอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันทั้ง 2 ตัวอย่าง



Figure 3 Appearance of the various salt solutions used in this study.

Table 2 Chemical properties of diatomite samples.

Diatomite sample	pH	EC (mS/cm)	CEC (cmol (+) /kg)	SiO_2^* (%)	Total concentration				
					Ca (%)	Mg (%)	Na (mg/kg)	K (%)	Fe (%)
P1	4.38	0.03	8.2	65.88	0.35	0.08	5.41	0.15	1.08
P5	4.35	0.03	12.4	73.80	0.21	0.15	1.34	0.33	6.90

Remark: *Samples analyzed by Central Laboratory (Thailand) Company Limited.

ผลไดอะตอมไมต์ต่อการดูดซับแคตไอออนในสารละลายเกลือต่าง ๆ

ผลของการศึกษาความสามารถของไดอะตอมไมต์ต่อการดูดซับแคตไอออนในสารละลายเกลือต่าง ๆ ที่สัดส่วนระหว่างไดอะตอมไมต์ต่อสารละลายเกลือ 1:50 และ 1:100 นั้น พบว่าความสามารถในการดูดซับในไดอะตอมไมต์ทั้ง 2 ตัวอย่าง และ 2 อัตราส่วนไดอะตอมไมต์และสารละลายเกลือ ให้ผลสอดคล้องกันและใกล้เคียงกัน โดยพบว่าความสามารถในการดูดซับแคตไอออนของไดอะตอมไมต์จะขึ้นอยู่กับชนิดของแคตไอออนและสารละลายเกลืออย่างชัดเจน (Table 3) รายละเอียดแยกพิจารณาแต่ละธาตุดังนี้

การดูดซับธาตุแคลเซียมจากเกลือ CaCl_2 และ CaSO_4 พบว่าการใช้ไดอะตอมไมต์ทั้งสองตัวอย่างและที่ทั้งสองอัตราสามารถลดปริมาณแคลเซียมได้ใกล้เคียงกัน แต่สามารถลดแคลเซียมในเกลือซัลเฟตได้ดีกว่าในเกลือคลอไรด์ โดยพบว่าปริมาณแคลเซียมในสารละลายซัลเฟตลดลงมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าควบคุม ในขณะที่ในสารละลาย CaCl_2 นั้นลดได้เพียง 2-21 เปอร์เซ็นต์ (Figure 4) แม้ว่าค่าพีเอชของสารละลายทั้งสองจะต่างกันเพียงประมาณ 1 หน่วยเท่านั้น (Table 1) ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการที่สารละลายเกลือทั้งสองมีแอนไอออนต่างชนิดกัน และอาจมีผลต่อพฤติกรรมในการดูดซับแคลเซียมกับพื้นผิวของไดอะตอมไมต์ ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้จากการทดลองนี้ จำเป็นต้องอาศัยการศึกษาเชิงลึกในระดับโมเลกุล

การดูดซับธาตุโซเดียมจากเกลือ NaCl และ Na_2SO_4 พบว่าการใช้ไดอะตอมไมต์ทั้งสองชนิดและสองอัตราสามารถลดปริมาณโซเดียมได้ใกล้เคียงกัน และลดได้ในปริมาณมาก คิดเป็นค่ามากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ (Figure 5) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม มีแนวโน้มชัดเจนว่าการเพิ่มอัตราส่วนระหว่างไดอะตอมไมต์และสารละลายจะลดการดูดซับธาตุโซเดียม นอกจากนี้ยังพบว่าการดูดซับโซเดียมโดยไดอะตอมไมต์ในสารละลายคลอไรด์จะดีกว่าซัลเฟต

การดูดซับธาตุเหล็กจากเกลือ FeCl_3 และ FeSO_4 พบว่าการใช้ไดอะตอมไมต์ทั้งสองชนิดและสองอัตราสามารถลดปริมาณเหล็กได้ใกล้เคียงกัน แต่มีแนวโน้มว่าการเพิ่มอัตราส่วนระหว่างไดอะตอมไมต์และสารละลายจะลดการดูดซับธาตุเหล็ก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่มีเกลือเพิ่มขึ้น (1:100) เมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนของสารละลายทำให้ค่าการดูดซับเหล็กที่ใช้ไดอะตอมไมต์น้ำหนักเท่าเดิมต่ำกว่าที่สัดส่วน 1:50 นอกจากนี้ยังพบว่าการดูดซับของเหล็กโดยไดอะตอมไมต์ในสารละลายคลอไรด์จะดีกว่าซัลเฟต

Table 3 Total concentration of iron, sodium, calcium, and potassium in salt solutions from each sorption treatment.

Treat	Total [Ca] mg/L		Total [Na] mg/L		Total [Fe] mg/L		Total [K] mg/L	
	CaSO_4	CaCl_2	Na_2SO_4	NaCl	FeSO_4	FeCl_3	K_2SO_4	KCl
Control	4119±25	3262±271	4881±36	2393±18	5960±120	4810±29	5916±178	2226±120
P1R _{1:100}	669±37	2570±181	1162±31	689±134	4454±298	3943±58	9816±15	2222±572
P1R _{1:50}	692±19	3187±55	1818±75	484±58	4576±309	3636±178	8833±262	2743±62
P5R _{1:100}	671±28	3092±269	1361±68	683±216	4614±511	4204±204	9236±971	2936±178
P5R _{1:50}	702±17	2955±39	1788±150	383±21	4010±560	3589±84	8051±332	3135±291

Remark: ± Standard error of the mean.

สำหรับการดูดซับธาตุโพแทสเซียมจากเกลือ KCl และ K_2SO_4 โดยไดอะตอมไมต์ทั้งสองตัวอย่างและสองอัตรา นั้นพบว่าแตกต่างจากธาตุอื่น ๆ มาก เนื่องจากปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่เพิ่มมานี้ อาจมาจากไดอะตอมไมต์ เนื่องจากไดอะตอมไมต์มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ และเมื่อเปรียบเทียบกับไอออน (ionic radii) ของโพแทสเซียมไอออน ($\text{K}^+ = 138 \text{ pm}$) พบว่ามีขนาดใหญ่มากกว่าธาตุอื่น ๆ ซึ่งอาจจับยึดอยู่ด้วยแรงที่ไม่เหนียวแน่นหรืออยู่ในโพรงขนาดใหญ่ของไดอะตอมไมต์ จึงอาจเป็นเหตุให้โพแทสเซียมหลุดออกมาจากไดอะตอมไมต์ได้ง่ายกว่าธาตุอื่น ๆ ที่มีขนาดเล็กกว่า เช่น Na ($\text{Na}^+ = 102 \text{ pm}$) Fe ($\text{Fe}^{2+} = 70$ ใน FeSO_4 , $\text{Fe}^{3+} = 60 \text{ pm}$ ใน FeCl_3) และ Ca ($\text{Ca}^{2+} = 100 \text{ pm}$) (Wells, 1984) การที่ไดอะตอมไมต์ดูดซับธาตุโซเดียมและแคลเซียมได้ดีกว่าเหล็กและโพแทสเซียม ส่วนหนึ่งน่าจะเกิดจากลักษณะโครงสร้างของไดอะตอมไมต์ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุนหลายขนาด โดยเมื่อพิจารณาจากคาร์มีไอออนจะพบว่าโซเดียมและแคลเซียมไอออนนั้นมีขนาดใกล้เคียงกันมาก ($\text{Na}^+ = 102 \text{ pm}$ และ $\text{Ca}^{2+} = 100 \text{ pm}$; Wells, 1984) ซึ่งพื้นผิวหรือขนาดของรูพรุนไดอะตอมไมต์อาจมีความพอดีหรือความชอบ (affinity) กับไอออนทั้งสองนี้ Lemonas (1997) รายงานว่า โครงสร้างของไดอะตอมไมต์มีช่องว่างสูงถึง 80-90% และพื้นที่ผิวสูง แต่การที่มีความสามารถในการดูดซับโซเดียมได้ดีในเกลือคลอไรด์ ในขณะที่แคลเซียมดูดซับได้ดีในเกลือซัลเฟตนั้น อาจเป็นผลมาจากค่าพีเอช เนื่องจากสารละลาย CaCl_2 มีพีเอช 6.15 ในขณะที่ NaCl , Na_2SO_4 และ CaSO_4 มีค่าพีเอชใกล้เคียงกันคือ 5.11, 5.24 และ 5.28 ซึ่งพฤติกรรมการดูดซับโซเดียมและแคลเซียมกับพีเอชนี้ต่างจากการรายงานในกรณีศึกษาในธาตุอื่น เช่น ตะกั่ว ซึ่งพบว่าการดูดซับของตะกั่วโดยไดอะตอมไมต์ สูงสุดในช่วงกลาง ๆ คือ 7-8 (Sijovic et al., 2009) ซึ่งเคมีเชิงลึกและธรรมชาติการดูดซับแคตไอออนบนพื้นผิวไดอะตอมไมต์เป็นประเด็นที่น่าสนใจศึกษาเพิ่มเติมเชิงลึกในอนาคตเพื่อให้ได้คำตอบที่ชัดเจนขึ้น

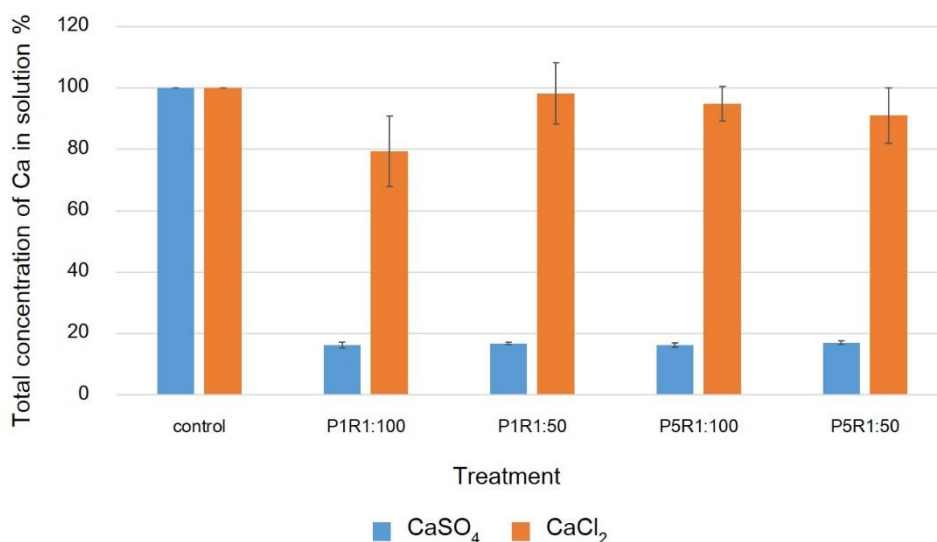


Figure 4 Relative concentration percentage of calcium in CaCl₂ or CaSO₄ in each sorption experiment.

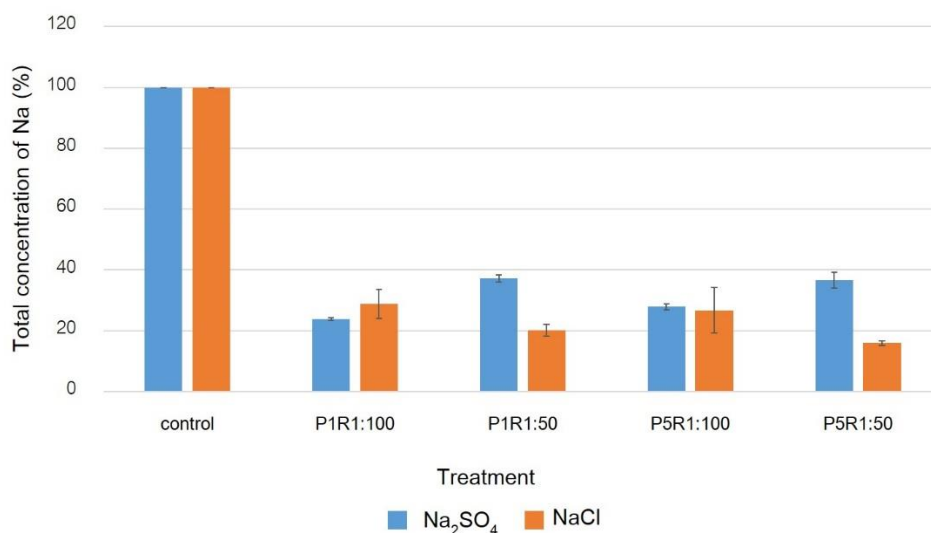


Figure 5 Relative concentration percentage of sodium in NaCl or Na₂SO₄ in each sorption experiment.

สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาค่าพีเอชและการนำไฟฟ้าของสารละลาย NaCl, Na₂SO₄, NaNO₃, KCl, K₂SO₄, KNO₃, MgCl₂, MgSO₄, Mg(NO₃)₂, CaCl₂, CaSO₄, Ca(NO₃)₂, FeCl₃, FeSO₄ และ Fe(NO₃)₃ ที่ความเข้มข้นเดียวกัน (0.1 M) พบว่าสำหรับเกลือคลอไรด์ สารละลายของธาตุที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงเรียงจากมากไปน้อยคือ Fe > Mg~Ca > K > Na สำหรับเกลือซัลเฟต K > Na > Fe~Mg > Ca และสำหรับเกลือไนเตรต Fe > K > Ca~Mg > Na สำหรับค่าพีเอชนั้น พบว่าสารละลายเกลือทุกชนิดที่ศึกษามีค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 ตัวอย่างไดอะตอมไมต์ที่ใช้ในการศึกษานี้มีค่าพีเอชเท่ากับ 4.3 มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 0.1 mS/cm และมี SiO₂ เป็นองค์ประกอบหลักมากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ ไดอะตอมไมต์มีผลต่อการลดปริมาณธาตุเหล็ก โซเดียม แคลเซียม และโพแทสเซียม ในสารละลายเกลือแต่ละชนิดแตกต่างกัน แต่ไดอะตอมไมต์ทั้งสองตัวอย่างและทั้งสองอัตราที่ใช้มีผลสอดคล้องและได้ค่าในการดูดซับใกล้เคียงกัน โดยไดอะตอมไมต์สามารถดูดจับแคตไอออนได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือ โซเดียมเป็นธาตุที่ถูกดูดจับได้ดีที่สุดโดยไดอะตอมไมต์ รองลงมาคือแคลเซียม และเหล็ก ทั้งในสารละลาย NaCl และ Na₂SO₄ ไดอะตอมไมต์สามารถลดปริมาณ Na ได้มากกว่า 60% โดยน้ำหนักของโซเดียมในสารละลาย ไดอะตอมไมต์ลดแคลเซียมในสารละลาย CaSO₄ ได้มากกว่า 80% และลดได้เพียง 2-21% ใน CaCl₂ ไดอะตอมไมต์สามารถลดปริมาณ Fe ได้

13-25% ในสารละลาย FeCl_3 และ FeSO_4 แต่ไดอะตอมไมต์ไม่สามารถลดปริมาณ K ทั้งในสารละลาย KCl และ K_2SO_4 ได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ไดอะตอมไมต์มีความสามารถในการดูดซับแคตไอออนบางตัวในสารละลายเกลือ โดยเฉพาะโซเดียม อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นเพียงการทดลองศึกษาศักยภาพของไดอะตอมไมต์เบื้องต้นเท่านั้น ผู้สนใจจึงไม่ควรนำไดอะตอมไมต์ไปใช้กับน้ำในพื้นที่จริงทันที จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เช่น ทดลองกับน้ำชลประทานที่มีเกลือเกินค่ามาตรฐานก่อนมีการนำไปทดลองใช้ลดปริมาณแคตไอออนในแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรที่มีปัญหาในพื้นที่จริง เนื่องจากน้ำชลประทานจะมีเกลืออยู่หลายประเภทผสมกันและความเข้มข้นแตกต่างกันไป พฤติกรรมการดูดซับของไอออนต่าง ๆ อาจเหมือนหรือแตกต่างจากการทดลองนี้ได้ รวมทั้งควรมีการศึกษาสมบัติอื่น ๆ ของไดอะตอมไมต์ด้วย เช่น ปริมาณอาร์เซนิก ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้นโดยการสกัดด้วยวิธี EPA3050 และ EPA3052B พบว่าไดอะตอมไมต์สีขาวหรือเทา (P1) มีอาร์เซนิกต่ำกว่า 15 มก./กก. ในขณะที่ไดอะตอมไมต์ที่มีสีส้ม (P5) มีอาร์เซนิกสูงกว่า 100 มก./กก. ดังนั้นหากสนใจนำไดอะตอมไมต์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในอนาคตควรมีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาร์เซนิกหรือธาตุไม่พึงประสงค์อื่น ๆ ก่อน และควรเลือกใช้ไดอะตอมไมต์ที่มีธาตุที่ไม่พึงประสงค์ต่ำ เช่น ตัวอย่างไดอะตอมไมต์ P1

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. ม.ป.ป. *คุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร*. http://www.idd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical03001_2.pdf (1 มกราคม 2562).
- จรัญชัย จันทรเจริญสุข. 2550. *การวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมศรี อรุณินท์. 2539. *เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการกรมพัฒนาที่ดินเรื่องดินเค็มในประเทศไทย*. http://www.idd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical03035_1.pdf (1 มกราคม 2562).
- Al-Degs, Y., Khraisheh, M. A. M., and Tutunji, M. F. 2001. Sorption of lead ions on diatomite and manganese oxides modified diatomite. *Water Research* 35: 3724-3728.
- Anon. 1991. Silicon dioxide and silica gel: Reregistration Eligibility Decision (RED) fact. Environmental Protection Agency (EPA). <https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/pdf/4081fact.pdf> (20 December 2018).
- Bakr, H. E. G. M. M. 2010. Diatomite: it characterization, modifications, and applications. *Asian Journal of Materials Science* 2: 121-136.
- Chen, M., and Ma, L. Q. 2001. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. *Soil Science Social American Journal* 65: 491-499.
- Fipps, G. 2017. Irrigation water quality standards and salinity management strategies. Texas A&M AgriLife Extension Service, Texas A&M University. <https://aglifesciences.tamu.edu/baen/wp-content/uploads/sites/24/2017/01/B-1667> (1 April 2019).
- Gao, B., Jiang, P., An, F., Zhao, S., and Ge, Z. 2005. Studies on the surface modification of diatomite with polyethyleneimine and trapping effect of the modified diatomite for phenol. *Applied Surface Science* 250: 273-279.
- Guru, M., Venedik, D., and Murathan, A. 2008. Removal of trivalent chromium from water using low-cost natural diatomite. *Journal of Hazardous Materials* 160: 318-323.
- Khaokaew, S., Takrattanasaran, N., Lachitavong, K., and Landrot, G. 2017. Decrease in rice production during the dry season in a Central Region of Thailand: linking water, paddy soil, and rice properties. In *Goldschmidt 2017 Conference*. Paris, France.
- Khraisheh, M. A. M., Al-degs, Y. S., and McMinn, W. A. M. 2004. Remediation of wastewater containing heavy metals using raw and modified diatomite. *Chemical Engineering Journal* 99: 177-184.
- Korunic, Z. 1998. Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *Journal of Stored Products Research* 34(2/3): 87-97.
- Korunic, Z. 2013. Diatomaceous earths - natural insecticides. *Pesticides & Phytomedicine* 28(2): 77-95.
- Lemonas, J. F. 1997. Diatomite. *American Ceramic Society Bulletin* 76: 92-95.
- Murer, A. S., Mobil, E., Mc-Clennen, K. L., Ellison, T. K., and Mobil, E. 2000. Steam injection project in heavy-oil diatomite. *SPE Reservoir Evaluation & Engineering* 3: 2-12.
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil survey laboratory methods manual (soil survey investigations report No. 42, version 3.0)*. Lincoln: Natural Resource Conservation Service, United States Department of Agriculture.
- Nenadovic, S., Nenadovic, M., Kovacevic, R., Matovic, L., Matovic, B., Jovanovic, Z., and Novakovic, J. G. 2009. Influence of diatomite microstructure on its adsorption capacity for Pb(II). *Science of Sintering* 41: 309-317.
- Osmanlioglu. 2007. Natural diatomite process for removal of radioactivity from liquid waste. *Applied Radiation and Isotopes* 65: 17-20.
- Rietz, D. N., and Haynes, R. J. 2003. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 845-854.
- Round, F. E., Crawford, R. M., and Mann, D. G. 1992. *The diatoms. biology & morphology of the genera*. New York: Cambridge University Press.

- Sheng, G., Yang, S., Sheng, J., Hu, J., Tan, X., and Wang, X. 2011. Macroscopic and microscopic investigation of Ni(II) sequestration on diatomite by Batch, XPS, and EXAFS techniques. *Environmental Science and Technology* 45: 7718-7726.
- Sheng, G. D., Hu, J., and Wang, X. K. 2008. Sorption properties of Th(IV) on the raw diatomite - effects of contact time pH, ionic strength and temperature. *Applied Radiation and Isotopes* 66: 1313-1320.
- Sljivic, M., Smiciklas, I., Pejanovic, S., and Pleca, I. 2009. Comparative study of Cu²⁺ adsorption on a zeolite, a clay and a diatomite from Serbia. *Applied Clay Science* 43: 33-40.
- Sumner, M. E. 1995. Sodic soils: new perspectives. In *Australian sodic soils: distribution, properties and management*, Naidu, R., Sumner, M. E., Rengasamy, P. eds. pp. 1-34. Melbourne: CSIRO.
- Tsai, W. T., Lai, C. W., and Hsien, K. J. 2006. Characterization and adsorption properties of diatomaceous earth modified by hydrofluoric acid etching. *Journal of Colloid and Interface Science* 297: 749-754.
- Wells, A. F. 1984. *Structural inorganic chemistry*. 5th Edition. Oxford: Oxford University Press.
- Yuan, P., Liu, D., Tan, D. Y., Liu, K. K., Yu, H. G., Zhong, Y. H., Yuan, A. H., Yu, W. B., and He, H. P. 2013. Surface silylation of mesoporous/macroporous diatomite (diatomaceous earth) and its function in Cu(II) adsorption: the effects of heating pretreatment. *Microporous and Mesoporous Materials* 170: 9-19.

วันรับบทความ (Received date) : 4 ก.พ. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 4 เม.ย. 62

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 7 ส.ค. 62