

บทคัดย่อ

จากการคัดเลือกไม้ประดับ 8 ชนิดประกอบด้วย ต้นปาล์ม ต้นพลูด่าง ต้นลิ้นมังกร ต้นฟีโล ต้นเข็ม ต้นปาล์มน้ำพุลู ต้นราชินีสีทอง และต้นกววมิม เพื่อใช้ในการบำบัดแก๊สเบนซีนในระบบปิด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ต้นกววมิมสามารถบำบัด เบนซีนได้สูงที่สุดเมื่อเทียบกับต้นไม้ชนิดอื่นๆ จากการศึกษาในระยะยาวโดยการรมพืชด้วยเบนซีนเริ่มต้น 20 พีพีเอ็ม จำนวน 4 รอบ รอบละ 7 วันทั้งในที่มืดและที่สว่างพบว่าต้นกววมิมที่ปลูกในที่สว่างสามารถบำบัดเบนซีนได้ดีกว่าต้นกววมิมที่ปลูกในที่มืดและยังพบว่าต้นกววมิมสามารถบำบัดเบนซีนได้อย่างต่อเนื่อง จากการสำรวจการเปิดปิดของปากใบแสดงให้เห็นว่าพืชมีการปิดปากใบในสภาวะมืดส่งผลให้ในสภาวะมืดพืชสามารถดูดเบนซีนได้น้อยกว่าในสภาวะมีแสงอย่างไรก็ตามแม้จะปลูกต้นกววมิมในสภาวะมืดแต่ก็ยังพบว่าพืชสามารถดูดเบนซีนได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการดูดเบนซีนโดยไซบอนใบพืช จากการคำนวณสัดส่วนระหว่างการดูดเบนซีนโดยปากใบและการดูดเบนซีนโดยไซบอนใบพืช พบว่าปริมาณเบนซีนร้อยละ 54 ถูกดูดซับโดยปากใบในขณะที่ร้อยละ 46 ถูกดูดซับโดยไซบอนใบพืช หลังการทดลองพบพืชไม่แสดงอาการผิดปกติใดๆ และยังคงสามารถบำบัดเบนซีนได้เป็นอย่างดี จากผลการทดลองดังกล่าวไซบอนใบพืชจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดเบนซีน การออกแบบวัสดุดูดซับจากใบไม้และคัดกรองวัสดุดูดซับจากใบไม้ 21 ชนิดเพื่อค้นหาวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดเบนซีน ผลการทดลองพบว่าวัสดุดูดซับจากต้นปรองไจ้ ใบโพธิ์ สาวน้อยปะแป้ง อินทนิลน้ำ กววมิม และดินเป็ด มีประสิทธิภาพในการบำบัดเบนซีนได้ดี นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดเบนซีนและปริมาณไซบอนใบพืชพบว่ามีความสัมพันธ์แบบกราฟลอการิทึม และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.65 อย่างไรก็ตามวัสดุดูดซับบางชนิดแม้ว่าจะมีปริมาณไซบอนใบมากแต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดเบนซีนต่ำ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดเบนซีนและองค์ประกอบของไซบอนใบพืชพบว่า กรดไขมันแอลฟาไลโนลินิกและโคโคซิลไซโครเฮกเซน อาจเป็นองค์ประกอบหลักที่วัสดุดูดซับจากใบพืชใช้ในการดูดซับเบนซีน การศึกษาการบำบัดเบนซีนของตัวดูดซับที่ถูกเลือก 6 ชนิดที่ถูกตรึงลงบนเม็ดแก้วในระบบดูดซับแบบต่อเนื่องที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 55พีพีเอ็มพบว่าวัสดุดูดซับจากใบอินทนิลและใบดินเป็ดมีความจุเบนซีนบนผิววัสดุสูงที่สุดที่ระยะเวลาการกรอง 3 นาที การตรวจสอบกลไกการดูดซับเบนซีนของวัสดุดูดซับจากใบพืชโดยวิธีการชะเบนซีนออกจากตัวดูดซับและตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันทางเคมีบนผิวตัวดูดซับ พบว่าวัสดุดูดซับจากใบพืชใช้กลไกการดูดซับ แบบกายภาพในการดูดซับเบนซีน

คำสำคัญ: ไซบอนใบพืช/ เบนซีน/ ไม้ประดับ/ วัสดุดูดซับจากใบไม้

Abstract

After screening 8 ornamental plants for 20 ppm benzene removal in a static system by *Chamaedorea seifrizii*, *Scindapsus aureus*, *Sansevieria trifasciata*, *Philodendron domesticum*, *Ixoraebarbata craib*, *Monster acuminata*, *Epipremnum aureum*, and *Dracaena sanderiana* found that *D. sanderiana* had the highest benzene removal efficiency of 20 ppm under 32 °C at 72 hours. In a long-term study, 4 cycles of benzene exposure were studied under both 24 hour dark and 24 hour light conditions. From the 2nd to 4th cycle, *D. sanderiana* growing under 24 hour light conditions had higher benzene removal efficiency than *D. sanderiana* growing under 24 hour dark conditions, and the closing of *D. sanderiana* stomata was found only in 24 hour dark conditions. At the final cycle, *D. sanderiana* still survived, and benzene uptake continued. From the calculation, 46% of benzene was taken up by *D. sanderiana* crude wax, while 54% of benzene was predicted to be taken up by the stomata at 72 hours. This result suggests that gaseous benzene phytoremediation is a sustainable technology. Due to high levels of benzene being taken up by crude wax, the application of plant wax for gaseous benzene adsorption was also studied. Twenty-one plant leaf materials such as *Homalomena rubescens*, *Citrus hystrix*, *Musa paradisiaca*, *Mangifera indica*, *Catura metet*, *Lagerstroemia inermis*, *Cananga odorata*, *Cassia siamea*, *Bougain villea*, *Litchi chinensis*, *Coccinia grandis*, *Dieffenbachia picta*, *Attacus atlas*, *Polyalthia longifolia*, *Acrostichum aureum*, *Ficus religiosa*, *Alstonia scholaris*, *Anthurium andraeanum*, *Plerocarpus Indicus*, *Lagerstroemia macrocarpa*, and *Dracaena sanderiana* were screened for benzene adsorption efficiency in a static system. The leaf materials from *Dieffenbachia picta*, *Acrostichum aureum*, *Ficus religiosa*, *Lagerstroemia macrocarpa*, *Alstonia scholaris*, and *Dracaena sanderiana* were found to have high potential for benzene removal. In addition, the relationship between quantity and composition of wax to benzene removal efficiency was also studied. The relationship between benzene adsorption and quantity of wax was found to be a logarithmic curve with $R^2=0.65$. Increasing crude wax can improve benzene adsorption, however, although high quantities of wax occurred in some leaf materials, low benzene removal was found to be significant if compared with other plant materials with the same wax quantity. For the composition of wax, alpha-linoleic acid and dodecyl cyclohexane were found to be the main composition in plant leaf materials with high benzene adsorption. This might also be a key factor for benzene removal. Therefore 15 g of 6 plant leaf materials with high gaseous benzene adsorption such as *D. picta*, *A. aureum*, *F. religiosa*, *L. macrocarpa*, *A. scholaris* and *D. sanderiana* were applied in a continuous system. Glass beads with cassava glue-immobilized with leaf material were investigated in a continuous adsorption system with 3 min of retention time. In an adsorption system, *A. aureum* and *A. scholaris* leaf materials showed the highest benzene removal capacity, around 60-80% benzene removal for 120 h. Other leaf material from *D. picta*, *F. religiosa*, *L. macrocarpa*, and *D. sanderiana* can uptake benzene around 60-80%, but these material was saturated with benzene in 102 h. Physical sorption was confirmed by hexane desorption and the FT-IR results.

Keywords: Adsorption/ Benzene/ Crude wax/ *Dracaena sanderiana*/ Phytoremediation/ Plant leaf material

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT) that provides the funding which allocated from government for research implementation. Moreover, we also thank the Pilot Plant Development and Training Institute and the Division of Biotechnology, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi to facilitate the use of space and equipment for this study.

Research Group

30th-September 2016

CONTENTS

	PAGE
Thai Abstract	i
English Abstract	ii
Acknowledgments	iii
Contents	iv
List of Tables	v
List of Figures	vi
Introduction	1
Literature Reviews	4
Materials and Methods	36
Results and Discussions	45
Conclusion	64
References	66

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE	
2.1	Physical and chemical properties of benzene	5
2.2	Percentage of benzene emission sources in Thailand	7
2.3	VOCs emission from each consumer product	9
2.4	International available of ambient benzene	11
2.5	Internationally available of work space benzene concentration	11
2.6	Internationally available of water contamination with benzene	12
2.7	Capacity index numbers and descriptions	17
2.8	Chemical absorption index of activated charcoal / activated carbon	18
2.9	Total non-volatile benzene metabolites radioactivity from abaxial and adaxial side of plant after exposure to 0.1 mmol/L of gaseous benzene concentration; 1.76 MBq/mmol of radioactivity at 8 h exposure under light conditions (22-23°C)	24
2.10	Distribution of benzene and benzene metabolite intracellular organelles of plant leaf after exposure to 0.1 mmol/L of gaseous benzene concentration; 1.76 MBq/mmol of radioactivity at 7 h exposure under light (22-23°C)	25
2.11	Non-volatile benzene and toluene metabolites, low molecular weight compounds, in plant after exposure to 0.2 mmol/L of gaseous benzene concentration; 1.76 MBq/mmol of radioactivity in benzene and 1.5 MBq/mmol of radioactivity in toluene at 72 h exposure under light conditions (22-26°C)	27
2.12	Transformation of benzene by spinach chloroplasts	28
2.13	Transformation of benzene by spinach leaf enzyme preparation	29
2.14	Mean benzene removal efficiency in each plant ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$) by dynamic system experiment	32
3.1	Continuous system conditions in each selected plant leaf materials	42
4.1	Number of stomata, crude wax, photosynthesis, and percentage of benzene removal at 72 h of various plants	48
4.2	Benzene adsorption efficiency by various dried leaf powders	52
4.3	Benzene adsorption efficiency by each plant leaf materials and their wax weight	54
4.4	Benzene adsorption capacities of 6 plant biomaterials and percentage of benzene desorption in these selected materials	61

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2.1 Benzene molecule	4
2.2 Petroleum distillations	6
2.3 Percentage of benzene emission sources in Canada	7
2.4 Percentage of human benzene exposure sources in Canada	8
2.5 Demand-supply of benzene in 2001-2005	12
2.6 Benzene concentration in ambient air around Thailand, 2008-2011	14
2.7 Adsorption and absorption process	15
2.8 Principle of green liver concept	22
2.9 Gaseous BTEX uptake pathway in plant (stomata and cuticle)	23
2.10 P450 monooxygenase function for hydroxyl group addition on xenobiotic molecules	30
2.11 Phenoxidase function for oxygen active species generation and benzene metabolism by oxygen active species	31
2.12 Benzene metabolisms in plant cell	31
2.13 Removal of benzene from test-chamber air by potted <i>Zamioculcas zamiifolia</i> and <i>Aglaonema modestum</i> , challenged with three consecutive doses of 25 ppm benzene	33
2.14 Benzene levels in air of test chambers containing <i>Spathyphyllum</i> var <i>Petite</i> plants maintained in hydroponic medium	34
3.1 Benzene adsorption system	41
4.1 Benzene uptake by 8 ornamental plants	47
4.2 Remaining benzene concentration (ppm) in the system of 1st, 2nd, 3rd, and 4th cycle under 24 h light and 24 h dark conditions	50
4.3 Stomata observation on the leaf of <i>D. sanderiana</i> under 24 h light conditions (a, c, e, g) and 24 h dark conditions (b, d, f, h) when exposure with 20 ppm of initial benzene concentration	50
4.4 The ratios (%) of benzene uptake by wax and stomata of <i>D. sanderiana</i> at 72 h	51
4.5 Relationship between benzene adsorption efficiency and wax quantity	55
4.6 Comparison of benzene adsorption efficiency of plant leaf materials grouped by non-significantly difference in wax quantity by Duncan multiple range test: a) 0.01-0.03 mg/g of absorbent b) 0.04-0.06 mg/g of absorbent c) 0.05-0.07 mg/g of absorbent d) 0.1-0.16 mg/g of absorbent and e) 0.18-0.25 mg/g of absorbent (average and SD in each dot and error bar, respectively)	56

FIGURE		PAGE
4.7	Percentage of fatty acid composition in wax of each plant leaf materials	57
4.8	Percentage of fatty acid composition in wax of plant leaf materials that contain wax in the range of 0.10-0.16 mg/g of adsorbent	58
4.9	Linear regression of benzene adsorption efficiency and percentage of alpha-linoleic acid (a) and octadecanoic acid (b)	59
4.10	Percentage hexane composition in wax of each plant leaf materials	59
4.11	Benzene removal efficiency (%) in a continuous system of 6 plants biomaterials	60
4.12	Functional groups on the surface of adsorbent before and after benzene adsorption in selected plant leaf material	62