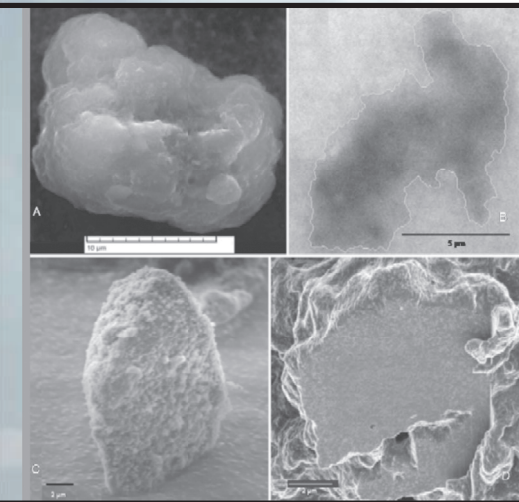


# สารมลพิษอันตรายจากยางรถยนต์

ดร.เบญจลักษณ์ กาญจนเศรษฐ์\*



ทราบหรือไม่ว่าปริมาณการผลิตยางรถยนต์ทั่วโลกมีจำนวนมหาศาลและมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากการเดินทางด้วยรถยนต์ยังเป็นที่นิยมและเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว คาดว่าในปี 2556 จะมีปริมาณการผลิตทั่วโลกถึง 26.9 ล้านตัน [1] ผลจากการใช้ยางรถยนต์ทำให้เกิดขยะจำนวนมาก ปัญหาการกำจัดทิ้งและปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม จากปัญหาการกำจัดทิ้งดังกล่าวจึงมีความพยายามที่จะนำยางรถยนต์ใช้แล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์อื่นมากขึ้น เช่น บดยางให้ละเอียดเพื่อใช้ทำถนนที่ปูพื้นถนนโดยตรง หรือผสมกับแอสฟัลต์(ยางมะตอย)ก่อน ปัจจุบันมีการนำยางรถยนต์ใช้แล้วกลับไปหล่อดอกมาใช้ใหม่ ใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาให้เกิดความร้อนเพื่อผลิตซีเมนต์หรือผลิตกระแสไฟฟ้า หรือนำยางกลับมาใช้ใหม่ทั้งเส้นนอกนั้นกองไว้ตามพื้นที่กองทิ้ง ซึ่งอาจทำให้ติดไฟก่อให้เกิดควันไอพิษ ใช้น้ำมัน และยากที่จะดับ [2]

\*สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากยางรถยนต์มีสมบัติยืดหยุ่น แข็งแรง ค่อนข้างลอยตัวในน้ำ จึงมีการใช้ยางรถยนต์ใช้แล้วเป็นปะการังเทียม (Artificial reef) เป็นตัวกันกระแทกของเรือ เป็นตัวชะลอแรงน้ำ (Breakwater) [3] ดังนั้นปัจจุบันมีการใช้ยางรถยนต์ใช้แล้วเป็นปะการังเทียมทั่วโลกจำนวนหลายล้านเส้น ครอบคลุมพื้นที่ทั้งอเมริกาเหนือ ทะเลแคริบเบียน ยุโรป ตะวันออกกลาง เอเชีย และออสเตรเลีย

## ส่วนประกอบของหน้ายางรถยนต์

สารมลพิษที่ปลดปล่อยออกจากยางรถยนต์ได้นั้นเนื่องมาจากเป็นส่วนประกอบที่มีอยู่ในยางรถยนต์นั่นเอง ทั้งนี้เพราะการผลิตยางรถยนต์จะใช้วัตถุดิบซึ่งเป็นสารอินทรีย์หลายชนิด จะเป็นชนิดใดขึ้นกับวัตถุประสงค์ของกระบวนการผลิตและการนำไปใช้ประโยชน์ ตัวอย่างเช่น หน้ายางรถยนต์ซึ่งเป็นส่วนที่สึกเป็นส่วนใหญ่ นั้นโดยทั่วไปประกอบด้วยยางสไตรีนบิวตาไดอิน (Styrene butadiene rubber, SBR) พอลิบิวตาไดอิน (Polybutadiene) ยางธรรมชาติ (Natural rubber) ในกระบวนการผลิตมีการเติม Carbon black หรือซิลิกา (Silica) ในส่วนผสมเพื่อใช้เป็น Reinforcer หรือ Filler เติม Extender oil เพื่อให้ยางยืดหยุ่น แต่ Extender oil มี High aromatic oils เป็นส่วนประกอบหลัก (6-8% ของน้ำหนักยางทั้งเส้น) [4] และพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) [5] นอกจากนี้ในกระบวนการทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing process) โดยทั่วไปจะใช้ซัลเฟอร์เพื่อเชื่อมระหว่างโซ่ของพอลิเมอร์ และตัวเร่งปฏิกิริยา (เช่น Zinc oxide, Stearic acid และ Thiazoles) นอกจากนี้ยังใช้ตัวชะลอ (Retarder) กระบวนการคงรูป เช่น Benzoic acid, N-Nitrosodiphenylamine เพื่อป้องกันยางไหม้ และตัวป้องกันการเกิดออกซิเดชันจากออกซิเจน โอโซน ความร้อน หรืออื่นๆ เช่น ไดอามีน (Diamines) หรือไขมัน (Waxes) [6] จะเห็นได้ว่าการผลิตยางรถยนต์ใช้สารมากมายหลายชนิด

การใช้งานยางรถยนต์ในกิจการต่างๆก่อให้เกิดสารมลพิษอินทรีย์ได้ดังนี้

### 1. ใช้ในการขับขี่ยางยนต์

ยางรถยนต์เมื่อสัมผัสกับพื้นถนนตลอดเวลาที่รถยนต์วิ่งจะเกิดการขัดสี (Abrasion) กับพื้นถนนไม่ว่าจะเป็นแอสฟัลท์ ซีเมนต์ ดิน การขัดสีมากขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดพื้นถนน ผลของการขัดสีจะทำให้ส่วนประกอบของยางเสื่อมจนเข้าก็สึกหลุดออกจากยางเรียกว่า อนุภาคยางสึก (Tire wear particle) อุณหภูมิพื้นถนนก็เป็นปัจจัยเร่งให้เกิดอนุภาคยางสึก [7] นอกจากเกิดอนุภาคยางสึกจากการขัดสีแล้ว การขัดสียังสามารถปล่อย Extender oil ที่เป็นส่วนประกอบของยาง ระเหยออกไปได้ด้วย รวมทั้งมี PAHs เกาะติดในอนุภาคยางสึกด้วย (ตารางที่ 1) นอกจาก PAHs แล้วยังมีสารอินทรีย์อื่นๆ อีกหลายชนิดที่ปล่อยออกมาดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งแจกแจงสารอินทรีย์อื่นๆ ที่ตรวจพบในอนุภาคยางสึกที่ล่องลอยในอากาศ ท้องถนน และพื้นดิน อนุภาคยางสึกเมื่อหลุดออกจากยางแล้วจะลอยในท้องถนนประมาณ 5% [10, 11] และ <1 % เป็นสารระเหย หรืออยู่ในรูปของแก๊สไฮโดรคาร์บอนหรือซัลเฟอร์ [11] นอกนั้นเป็นอนุภาคใหญ่ที่ตกสู่พื้นถนนปนเปื้อนกับดิน หรือถูกฝนชะลงสู่แหล่งน้ำใกล้เคียง ทะเล มหาสมุทร และสะสมอยู่ในดินตะกอนในที่สุด

ส่วนอัตราการสึกของยางปกติเท่ากับ 10-20% ของน้ำหนักยาง หรือประมาณ 140 กรัมต่อระยะทางเป็นเมตรต่อปี [12] หรือเท่ากับ 0.006-0.09 ก. /ก.ยาง อย่างไรก็ตามอัตราการสึกของยางขึ้นอยู่กับชนิดของยาง และส่วนประกอบในการผลิตยาง

สำหรับขนาดของอนุภาคยางสึกนั้นมีตั้งแต่ขนาดเล็ก <10 ไมโครเมตร จนถึง >10 ไมโครเมตรเป็นส่วนใหญ่ [13] ขนาดและปริมาณที่แตกต่างกันของอนุภาคยางสึกมาจากชนิดยางที่ใช้ ชนิดพื้นถนน อุณหภูมิพื้นถนน ความเร็ว ขรุขระของพื้น การเบรก การเลี้ยว ความเร็วขับเคลื่อน [14] เป็นต้น

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของ Polycyclic aromatic hydrocarbons ในอนุภาคจากถนน อนุภาคยางลึ้ก และ อนุภาคหน้ายาง หน่วยเป็นหนึ่งส่วนในล้านส่วน [8]

PAHs	อนุภาคในถนน	อนุภาคยางลึ้ก	อนุภาคหน้ายาง
Acenaphthene	4.08	0.04	0.13
Napthalene	6.1	0.2	1.18
Phenanthrene	53.4	1.66	1.21
Pyrene	54.84	4.77	0.06
Acenaphthalene	0.14	0.15	1.24
Anthracene	7.36	0.1	0.11
Benzo[a]anthracene	38.65	0.18	2.87
Benzo[a]pyrene	12.51	0.28	Nd
Benzo[b]fluoranthene	7.4	0.37	0.92
Benzo[gh]perylene	4.04	3.22	1.77
Benzo[k]fluoranthene	7.4	0.02	0.92
Chrysene	17.72	0.36	2.95
Dibenzo[ah]anthracene	2.56	0.1	0.87
Fluoranthene	82.13	0.98	1.62
Fluorene	1.76	0.07	0.25
Indeno-1,2,3	5.36	0.21	Nd
[cd]pyrene	305.45	12.71	16.1
Total			

ตารางที่ 2 ปริมาณสารอินทรีย์ที่ตรวจวัดได้ในอนุภาคยางลึ้กที่เก็บจากถนน พื้นดิน และอากาศ [9]

ตัวกลางสิ่งแวดล้อม	ความเข้มข้น [มก/กก]	สารอินทรีย์
<b>ฝุ่นในถนน</b>		
-เก็บจากผิวถนน	700-2700	SBR <sup>1</sup> /NR <sup>2</sup>
	35000	BT <sup>3</sup>
	1100	HOBT <sup>4</sup>
	56,000	NCBA <sup>5</sup>
-ภายในอุโมงค์	210,000	24MoBT <sup>6</sup>
-ภายนอกอุโมงค์	124,000	24MoBT
<b>พื้นดิน</b>		
-0-8 เมตร จากถนน	1000-24000	SBR
-30 เมตร จากถนน	0	SBR
-ริมถนน	117,000	24MoBT
<b>อากาศ</b>		
	มก/ลบม	
	6-11	SBR
	7	BT
	5.3	NCBA

1 styrene butadiene rubber

2 NR- natural rubber

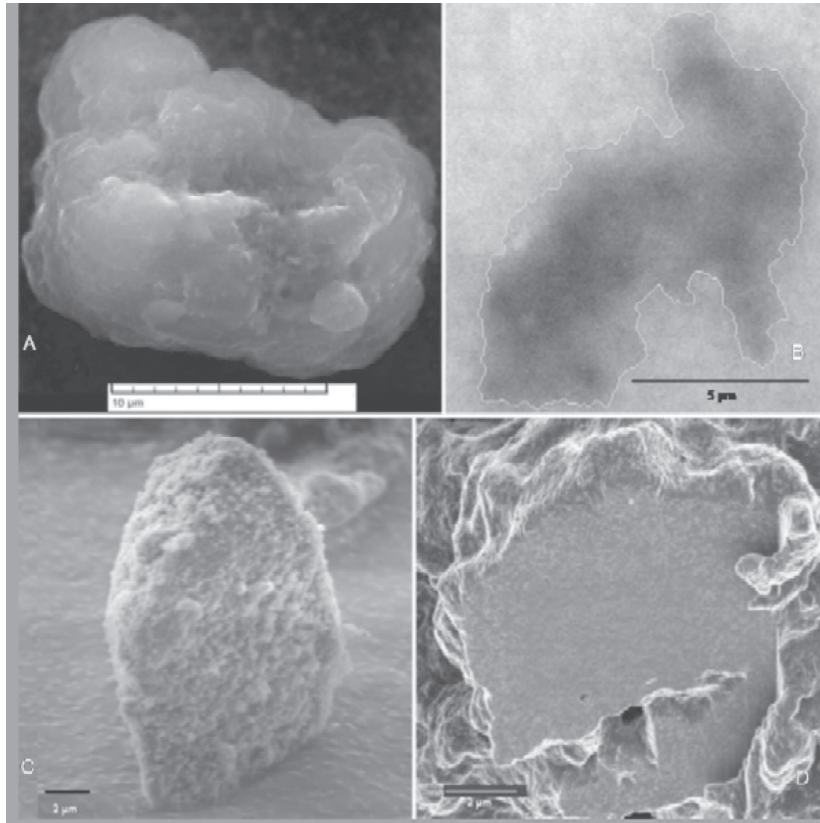
3 BT-benzothiazole

4 HOBT-2-hydroxybenzothiazole

5 NCBA- N-cyclohexyl-2-benzothiazolamine

6 24MoBT-2-(4-morpholinyl benzothiazole

อนุภาคน้ำมันที่มีรูปร่างและสัณฐาน (Morphology) ค่อนข้างซับซ้อนไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และภายในพรุน [15] รูปที่ 1 แสดงอนุภาคน้ำมันที่เกิดขึ้น และตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) เครื่อง TEM (Transmission Electron Microscope) และเครื่อง FIB (Focused Ion Beam) ซึ่งแสดงรูปร่างภายในของอนุภาคน้ำมันด้านตัดขวาง และด้วยเครื่อง FIB resolution สูงทำให้เห็นความหนาแน่นขององค์ประกอบต่างๆ ของอนุภาคน้ำมันได้



รูปที่ 1 รูปร่างของอนุภาคน้ำมัน A ภาพจาก SEM, B ภาพจาก TEM, C ภาพจาก FIB, D ภาพจาก FIB ภายในอนุภาคน้ำมัน [16]

## 2. ใช้เป็นปะการังเทียม/แนวกันกระแทกเรือ/แนวชะลอน้ำ

ยางรถยนต์ที่ใช้แล้วและมีการนำไปใช้เป็นปะการังเทียม หรือ เป็นแนวกันกระแทกเรือ/ทำน้ำ หรือเป็นแนวชะลอน้ำกระแสน้ำก็ดี เมื่อยางแช่ในน้ำไม่ว่าจะเป็นน้ำจืด น้ำเค็ม หรือน้ำกร่อย มีโอกาสที่น้ำจะชะเอาสารต่างๆ ที่อยู่ในยางรถยนต์ออกมาในอัตราและปริมาณต่างๆ กันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างซึ่งจะได้กล่าวต่อไป โดยมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ยืนยันเกี่ยวกับการตรวจวัดได้ของสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำชะ ตัวอย่างเช่น (1) พบ High aromatic oils ในแท็งก์น้ำที่เลี้ยงปลาเทราท์ และใส่ยางรถยนต์แช่ไว้ รวมทั้งพบ Aromatic nitrogen ในน้ำดี (Bile) ของปลาด้วย [17] (2) พบ PAHs ในน้ำภายหลังจากแช่ยางรถยนต์ไว้ในแท็งก์ที่มีน้ำทะเลเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ความเข้มข้นของ PAHs ที่ตรวจวัดได้มีความแตกต่างกันทั้งนี้เนื่องจากใช้ยางรถยนต์ต่างชนิดซึ่งมีสูตรผสมแตกต่างกัน แต่เป็นที่สังเกตว่าทุกผลศึกษาจะพบ Pyrene มีค่าความเข้มข้นสูงที่สุด [18] (3) พบว่าในน้ำชะยางรถยนต์จะประกอบด้วยสารพวกคาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbon disulfide), เมทิลเอทิลคีโตน Methyl ethyl ketone, โทลูอีน (Toluene) และฟีนอล (Phenol) [19] (4) จากการสกัดและวิเคราะห์น้ำชะยางรถยนต์ที่บดละเอียด พบสาร Benzothiazole, Butylated hydroxyanisole, n-Hexadecane, 4-[t-octyl] Phenol [20]



การชะสารอินทรีย์ออกจากยางด้วยน้ำได้มากน้อยนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเค็มของน้ำ ความเค็มที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สารอินทรีย์ถูกชะออกจากยางน้อยลง นั้นหมายความว่ายางรถยนต์ใช้แล้วที่ใช้เป็นปะการังเทียมก็ดี แนวกันคลื่นก็ดีในน้ำทะเล จะมีปัญหาไม่มากนักเพราะสารอินทรีย์จะถูกชะออกมาต่ำ แต่ถ้าใช้เป็นระยะเวลายาวนานก็อาจมีปัญหาได้ อย่างไรก็ตามก็ตีปนดิ้นน้ำทะเลจะไม่นิ่งมีคลื่นเสมอซึ่งจะทำให้สารมลพิษกระจายออกไปทำให้ความเข้มข้นแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่สูงนัก แต่ที่น้ำก้างวลคือ สัตว์น้ำพวกปลา หอย ฟิชน้ำพวกสาหร่าย มากกว่าที่สามารถกลืนกินสารเหล่านี้ไปสะสมอยู่ในตัวได้ สำหรับกรณีน้ำจืดจะมีปัญหามากกว่าน้ำทะเล นอกจากนี้ที่มีสภาพกรดหรือด่างก็เช่นกัน จะทำให้สารอินทรีย์ถูกชะน้อยลง รวมทั้งแสงยูวีซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ยางเสื่อมสภาพได้ง่าย แต่ถ้ายางนั้นแช่อยู่ในน้ำลึกโอกาสได้รับแสงแดดย่อมน้อยก็จะค่อนข้างคงสภาพมากกว่า

กล่าวโดยสรุปแล้วสารอินทรีย์ที่ตรวจพบในน้ำชะจากยางรถยนต์ใช้แล้ว มาจากวัตถุดิบและสารเติมแต่งชนิดต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางรถยนต์ เช่น Highly aromatic oils, Aromatic nitrogen, PAHs (เช่น Phenanthrene, Fluorene, Pyrene, Benzo (ghi) pyrene, Anthracene, Benzo(b)fluorene, Benzo(k)fluorine Benzo(a)pyrene, Pyrene), Volatile organic compounds, Semi-volatile organic compounds, Benzothiazoles (ได้แก่ 24MoBT หรือ 2-4-Morpholinyl benzothiazole, Benzothiazole, HOBT หรือ (2-Hydroxybenzothiazole)), NCBA หรือ (N-cyclohexyl-2-benzothiazolamine), Styrene butadiene rubber หรือ SBR นอกจากการชะแล้ว หากปล่อยยางรถยนต์แช่ในน้ำสะอาด เช่น น้ำแยกไอออน (Deionized water) สารอินทรีย์บางชนิดข้างต้นที่อยู่ในยางรถยนต์ก็สามารถตรวจพบได้ในน้ำเช่นกัน

ความเข้มข้นของการตรวจพบสารอินทรีย์เหล่านี้ในน้ำชะขึ้นกับประเภทของยางรถยนต์ ซึ่งจะมีสูตรการผลิตยางแตกต่างกัน อายุของยางรถยนต์ ระยะเวลาสัมผัสกับน้ำ ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการชะเท่าที่มีการศึกษา ได้แก่ สมบัติของน้ำชะ [ความเค็ม ความเป็นกรดต่าง] ประเภทชนิดและอายุของยางรถยนต์

เป็นข้อสังเกตว่าสารอินทรีย์ที่ถูกชะและตรวจวัดได้ในน้ำบริเวณรอบๆแนวปะการังเทียม แนวชะลอน้ำ ยางกันกระแทกนั้น อาจมีไซ้มาจากสารอินทรีย์จากแนวปะการังเทียม/แนวยางดังกล่าวทั้งหมด เนื่องจากยังมีอนุภาค ยางสึกล่องลอยในอากาศตามท้องถนนที่ถูกพามาโดยลมหรือน้ำฝนชะลงทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง BT พบว่ามีการนำไปใช้เป็นสารให้รส (Flavoring substance) ในอาหารต่างๆ เช่น เครื่องดื่มที่มีและไม่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสม ลูกกวาด ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ชูป น้ำเกรวี ผลิตภัณฑ์นม เนยแข็ง รวมทั้งใช้เป็นสารต้านจุลชีพ (Antimicrobial agent) ในเส้นรองเท้าที่ใช้ทางกรีธา จะเห็นว่ามีการใช้ BT ค่อนข้างกว้างขวาง ดังนั้น หากมีการตรวจวัดในน้ำทะเล/น้ำจืด BT ที่ตรวจวัดได้ก็อาจเป็นปริมาณที่ไม่ไซ้มาจากยางที่แช่อยู่ในน้ำเพียงอย่างเดียว จึงต้องมีการวางแผนเก็บตัวอย่างให้รอบคอบเพื่อให้สามารถประเมินสถานการณ์ระดับสารอินทรีย์ที่ชะจากแนวยางดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณการไฟฟ้านครหลวงที่ให้เงินสนับสนุนงานวิจัยเกี่ยวกับสารมลพิษอินทรีย์ที่ชะจากยางรถยนต์

## เอกสารอ้างอิง

- [1] [http://www.rubbercenter.org/informationcenter/file/rubber\\_2013s.pdf](http://www.rubbercenter.org/informationcenter/file/rubber_2013s.pdf)
- [2] Day, K.E., Holtze, K.E., Metcalfe-Smith, J.L., Bishop, C.T. and Dutka, B.J. Toxicity of leachate from automobile tires to aquatic biota. *Chemosphere*. 1993; 27: 665-675
- [3] Stones, R.B., Coston, L.C. Hoss, D.E. and Cross, F.A. Environment on some possible effects of tire reefs on pinfish [*Lagodon rhomboids*] and black sea bass [*Centropristis striata*]. *Mar. Fish. Rev.* 1975; 37: 18-20.

- [4] Kovac, F.J. and Rogers, M.B. Tire engineering. In: Mark, J.E., Erman, B., Eirich, F.R. [Eds.], Science and Technology of Rubber, 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press, San Diego 1994: 675–718.
- [5] Aatmeeyata, and Sharma, M. Polycyclic aromatic hydrocarbons, elemental and organic carbon emissions from tire-wear. *Sci. Total. Environ.* 2010; 408 [20]: 4563–8.
- [6] Ahlbom, J., Armas, J.O., Duus, V. and Varmby, G. Miljö och funktionstest av däck utan hogaromatiska oljor I slitbanan. Reprot from Transportorbransle TRB AB, Goteborgas Lastbilscentral GLC Miljosekretariatet Goteborgs stad, Lansstyrelseni Goteborgs och Bohus Ian, Gothenburg 1996; 26pp. [in Swedish].
- [7] Environment Agency News. Tyres in the environment: executive summary Nov. 1998. ISBN. 01873 160755, pp.48. EA, Bristol. *Sci.Total. Environ.* 1999; 234: 243–245.
- [8] Aatmeeyata, and Sharma, M. Polycyclic aromatic hydrocarbons, elemental and organic carbon emissions from tire-wear. *Sci. Total. Environ.* 2010; 408 [20]: 4563–8.
- [9] Rogge, W.F., Hildermann, L.M., Marurek, M.A. and Cass, G.R. Sources of fine organic aerosol3. Road dust, tire debris and organometallic brake lining dust: roads as sources and sinks. *Environ. Sci.Technol* 1993; 27:1892–1904.
- [10] Pierson, W.R. and Brachaczek, W.W. Airborne particulate debris from rubber tires. *Rubber Chem. Technol.* 1974; 47: 1275–1299.
- [11] Cadle, S.H. and Williams, R.L. Gas and particle emissions from automobile tires in laboratory and field studies. *Rubber Chem. Technol.* 1978; 52: 146–158.
- [12] Rogge, W.F., Hildermann, L.M., Marurek, M.A. and Cass, G.R. Sources of fine organic aerosol3. Road dust, tire debris and organometallic brake lining dust: roads as sources and sinks. *Environ. Sci.Technol* 1993; 27:1892–1904.
- [13] Wik, A. and Dave, G. Occurrence and effects of tire wear particles in the environment–A critical review and an initial risk assessment. *Environ. Pollut.* 2009; 157: 1–11.
- [15] Stalnaker, D., Turner, J., Parekh, D., Whittle, B. and Norton, R. Indoor simulation of tyre wear: some case studies. *Tyre Sci Technol.* 1996; 24: 94–118.
- [16] Milani, M., Pucillo, F.P., Balleini, M., Camatini, M., Gualtieri, M. and Martino, S. First evidence of tyre debris characterization at the nanoscale by focused ion beam. *Mater. Charact.* 2004;52: 283–288.
- [17] Stephensen, E., Adolfsson-Erici, M., Celander, M., Hulander, M., Parkkonen, J., Hegelund, T., Sturve, J., Hasselberg, L., Bengtsson, M. and Forlin, L. Biomarker responses and chemical analyses in fish indicate leakage of polycyclic aromatic hydrocarbons and other compounds from car tire rubber. *Environ.Toxicol. Chem.* 2003; 22: 2926–2931.



- [18] Hartwell, S.I., Jordahl, D.M., Dawson, C.E.O. and Ives, A.S. Toxicity of scrap tire leachates in estuarine salinities: are tires acceptable for artificial reefs? Transactions Amer. Fish. Soc. 1998; 127: 796–806.
- [19] Kanematsu, M., Hayashi, A., Denison, M.S. and Young, T.M. Characterization and potential environmental risks of leachate from shredded rubber mulches. Chemosphere. 2009; 76 [7]: 952–958.
- [20] Brown, D.R. Artificial turf: exposure to ground-up rubber tires athletic fields/playgrounds/gardening mulch. Environment and Human Health, Inc; North Haven, CT: 2007

