

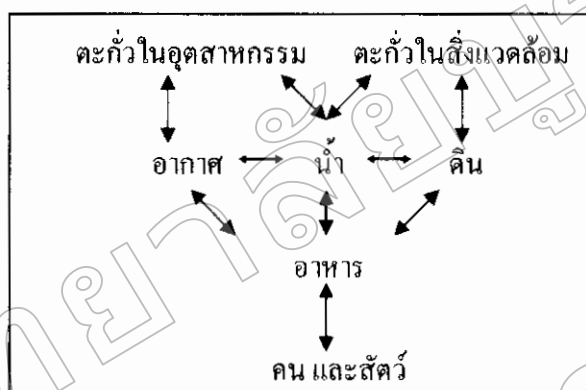
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำ (Water) เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ช่วยรักษาความสมดุลของโลก ทุกคนจึงควรรู้จักใช้น้ำอย่างรู้คุณค่า รู้จักปัญหา และวิธีการแก้ไข เพื่อให้มีน้ำที่มีคุณภาพ ใช้อย่างเพียงพอ เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการดำรงชีวิต และเพื่อรักษาระบบนิเวศน์ที่ดีของโลก (ศรีเชาว์ วิหคโค, 2548) ปัจจุบันความต้องการในการใช้น้ำมีปริมาณสูง อันเนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนของประชากร และกิจกรรมในการดำรงชีวิต จึงก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ โดย กรมควบคุมมลพิษ (2549) กล่าวถึงน้ำเสียมาจาก 3 แหล่งหลัก ๆ คือ น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากเกษตรกรรม และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พุทธิพร ชลสาคร (2542) โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industry Waste Water) เป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ ซึ่งเกิดจากการประกอบกิจกรรมของโรงงาน ระบายน้ำเสียออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือสิ่งแวดล้อม โดยหมายรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานและกิจกรรมอื่น ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม น้ำทิ้งเหล่านั้นจะแตกต่างกันไปตามขั้นตอนการผลิต ได้แก่ 1) น้ำหล่อเย็น (Cooling Water) เป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการระบายความร้อนในเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ อุณหภูมิประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ 2) น้ำล้าง (Wash Water) เป็นน้ำที่เกิดจากกระบวนการล้างวัตถุดิบต่าง ๆ เครื่องอุปกรณ์ต่าง ๆ และพื้นโรงงาน น้ำประเภทนี้มีการปนเปื้อนมาก เช่น สารอินทรีย์ สารเคมี สารแขวนลอย 3) น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต (Process Waste Water) เป็นน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำจากกระบวนการนี้ส่วนใหญ่มีความสกปรกมาก และ 4) น้ำทิ้งจากกิจกรรมอื่น ๆ (Miscellaneous Waste Water) เช่น น้ำทิ้งจากหม้อน้ำ น้ำจากคอนเดนเซอร์ เป็นน้ำที่ใช้ในการควบแน่น หรือแม่แต่สำนักงาน หอพัก บ้านพัก ซึ่งมีปริมาณมาก และอุณหภูมิสูง รวมทั้งมีสิ่งสกปรกปะปนอยู่ด้วย

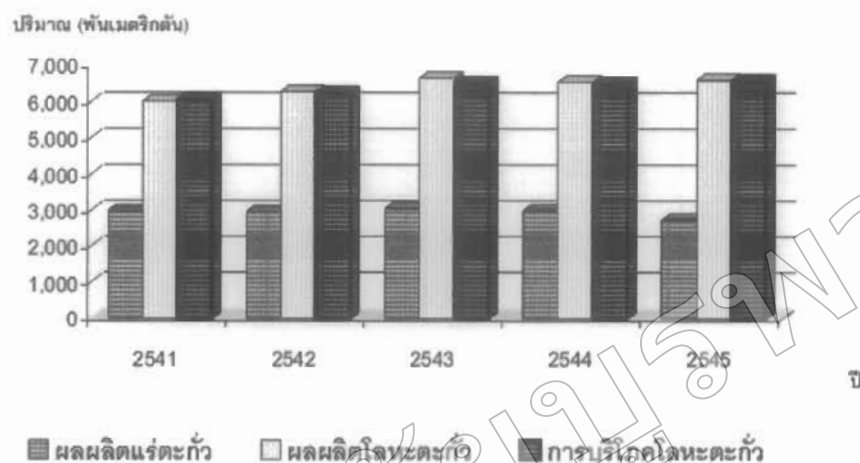
วิชาญ วงศ์วิวัฒน์ (2539) กล่าวถึงน้ำเสียชุมชนประกอบด้วย 1) สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ โดยจุลินทรีย์ เช่น แป้ง โปรตีน ไขมัน 2) สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ยาก เช่น ผงซักฟอก 3) สารแขวนลอย เช่น เศษอาหาร เศษสิ่งปฏิกูล 4) สีของน้ำ เทาอ่อน หรือน้ำตาลอ่อน 5) มีสารประกอบไนโตรเจนอยู่ 6) มีสารประกอบฟอสฟอรัสอยู่ 7) มีไขมันปนอยู่ 8) มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำ 9) อาจมีสารพิษปนเปื้อนจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครัวเรือน 10) มีจุลินทรีย์หลายชนิดปนเปื้อน 11) มีหนอนพายุ และไขพยาธิอยู่ 12) มีสารอินทรีย์ หลากหลายชนิด ในขณะ

ที่นำจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักจากการผลิตพลาสติก พีวีซี สี ถ่านไฟฉาย ส่วนอุตสาหกรรมการเกษตร ใช้โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลง และปุ๋ย ทางด้านการแพทย์ใช้เป็นส่วนผสมของยา อุปกรณ์ทางการแพทย์ และเครื่องสำอาง ซึ่งสารประกอบของโลหะหนัก เช่นปรอท ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม ฯลฯ เป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้เองในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน น้ำ และสัตว์น้ำ ส่งผลกระทบต่อระบบห่วงโซ่อาหารโดยเฉพาะมนุษย์ (ประสพชัย นามลาพุทธา, 2549) ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ความสัมพันธ์ของสารตะกั่วในอุตสาหกรรม และในสิ่งแวดล้อม (สุวรรณ ธีรุต, 2549)

ในบรรดาโลหะในโลก ตะกั่วเป็นโลหะที่มนุษย์สนใจในเรื่องความเป็นพิษมากที่สุด เนื่องจากการใช้ประโยชน์อย่างมากมาย โดยเฉพาะในด้านอุตสาหกรรมแบตเตอรี่รถยนต์ และเรือดำน้ำใช้ตะกั่วเกือบร้อยละ 50 ของผลิตผลตะกั่วทั้งหมด และยังใช้ในรูปของตะกั่วอินทรีย์ (Alkyl Lead) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้เติมในน้ำมันเบนซิน ใช้ในอุตสาหกรรมสี เช่น ตะกั่วออกไซด์ (Red Lead) ตะกั่วโครเมต (Lead Chromate) ตะกั่วคาร์บอเนต (Lead Carbonate) และตะกั่วซัลเฟต (Lead Sulfate) เป็นต้น ปริมาณการใช้ตะกั่วในแต่ละปี (สุวรรณ ธีรุต, 2549) ดังแสดงในภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 แสดงปริมาณการผลิตและการบริโภคตะกั่วของโลก ปี 2541-2545 (วรรณงา ส่งศิริ, 2546)

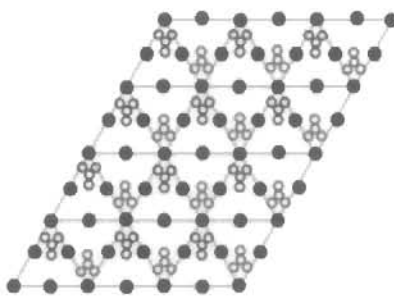
ตะกั่วที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมีน้อยมาก โอกาสพบตะกั่วที่เป็นไอออนอิสระในธรรมชาติมีน้อย ความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในชั้นเปลือกโลกมีประมาณ 1.6 กรัมของตะกั่ว ต่อดิน 100 กิโลกรัม ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณน้อยมาก (Pain, 1995) โดยทั่วไปมักพบตะกั่วในรูปของสารประกอบ เช่น สารประกอบซัลไฟด์ ซัลเฟต ซิลิเกต และคาร์บอเนตในธรรมชาติ สารประกอบเหล่านี้อยู่ในรูปของแร่ต่าง ๆ อยู่ในรูป Pb^{2+} มากกว่า Pb^{4+} ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับกลุ่มอัลคาไลน์เอิร์ธ จึงสามารถเข้าแทนที่โพแทสเซียม แคลเซียม สตรอนเชียม และแคลเซียม ส่วนกากตะกอนน้ำเสียซึ่งเกิดจากชุมชนของกลุ่มสหภาพยุโรป (EU) และประเทศอิตาลีกำหนดความเข้มข้นของธาตุตะกั่วของกากตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในการเกษตร มีค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ เท่ากับ 50-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (Moolenarr & Beltrami, 1998) ตะกั่วปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อมปริมาณสูง เมื่อนำสารเคมีมาใช้ทำให้มีตะกั่วตกค้างอยู่ในพื้นที่การเกษตรเป็นปริมาณมาก ตะกั่วยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ไป เช่น น้ำมันเครื่องยนต์ โลหะผสม แบตเตอรี่ สีทาบ้าน ลูกปืน หมึกพิมพ์ พลาสติก และเครื่องเคลือบ จึงเป็นเหตุให้มีตะกั่วตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมทั้งดินและน้ำ โดยจะพบตะกั่วที่มีค่าความเข้มข้นตั้งแต่ 1.5-189 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าเฉลี่ยธาตุตะกั่วในดินควรมีค่าไม่เกิน 70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณตะกั่วในพืชปกติมีค่าระหว่าง 0.5-3.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

องค์การอนามัยโลก (WHO) และสำนักงานกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้กำหนดมาตรฐานของสารตะกั่วในสิ่งแวดล้อมไว้ คือ ตะกั่วในอากาศไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงปี พ.ศ. 2531-2532 ตะกั่วในแหล่งน้ำผิวดิน และมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำเพื่อการประปาควรมีน้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และตะกั่วในอาหาร กำหนดไว้ให้น้อยกว่า 300 มิลลิกรัมต่อวัน (สำนักงานกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2545) ส่วนองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (Environmental Protection Agency) หรือ EPA กำหนดไว้ว่าปริมาณสารตะกั่วที่บริโภคเข้าสู่ร่างกายได้โดยไม่เกิดโทษต่อร่างกาย (Reference Dose) ควรมีค่าไม่เกิน 0.00014 มิลลิกรัม ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ต่อวัน และค่ามาตรฐานโลหะหนักในน้ำดื่ม ควรมีค่าไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร (พรพรรณ พนาปวุฒิกุล, 2549) เนื่องจากตะกั่วเป็นโลหะที่ก่อให้เกิดพิษต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตแม้ได้รับในปริมาณต่ำ ซึ่งเข้าสู่ร่างกายได้ทางปากโดยการรับประทานอาหาร และน้ำดื่มที่ปนเปื้อนตะกั่ว ทางการหายใจ โดยเฉพาะจากไอเสียรถยนต์ การดูดซึมทางผิวหนัง ส่วนมากเกิดกับบุคคลที่ทำงานเกี่ยวข้องกับตะกั่วเป็นส่วนใหญ่ ตะกั่วอินทรีย์จะดูดซึมเข้าสู่ผิวหนังได้ดี เคยมีการสำรวจดินและฝุ่นละอองบริเวณชุมชนหนาแน่น พบว่ามีปริมาณตะกั่วสูงถึง 7,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถือเป็นปริมาณที่สูงมากเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของดินผิวดินโลก ซึ่งพบปริมาณตะกั่วเพียง 5-25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พิษเรื้อรังของตะกั่วจะค่อย ๆ แสดงอาการออกมาหลังจากได้รับสารตะกั่วที่ละลายเข้าสู่ของเหลวในร่างกาย และค่อย ๆ สะสมในร่างกายจนถึงระยะเวลาหนึ่ง อาจนานนับปีจึงแสดงอาการ เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าทางใด จะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิต ไปจับกับเม็ดเลือดแดงแทนที่เหล็ก (Fe^{2+}) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็นในการสร้างเม็ดเลือดแดงทำให้เกิดอาการ โลหิตจาง และมีผลทำให้ปริมาณเหล็กในน้ำเหลืองเพิ่มขึ้นผิดปกติ ตะกั่วบางส่วนไปสะสมในกระดูกโดยเข้าไปแทนที่แคลเซียม (Ca^{2+}) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็นในการสร้างกระดูกและฟัน ทำให้เกิดอาการปวดตามข้อ กระดูกผุ และหักง่าย ถ้าสะสมที่รากฟันจะสังเกตเห็นเป็นสีม่วงหรือสีดำบริเวณเหงือก บางครั้งเรียกว่าเส้นตะกั่ว (Lead line) ทำให้ฟันโยกและหลุดได้ง่าย มีผู้วิจัยพบว่า ตะกั่วสามารถเกาะกับกระดูกในร่างกายได้นานถึง 32 ปี และยังสามารถสะสมในระบบประสาท สมอง ระบบน้ำเหลือง ตับ และไต (สิทธิชัย ดันธนะสฤยต์, 2549)

กรณีโรงแต่งแร่ตะกั่วปล่อยน้ำปนเปื้อนสารตะกั่วลงสู่ลำห้วยคลิตี้เป็นเวลาหลายสิบปี ทำให้ชาวบ้านกะเหรี่ยงหมู่บ้านคลิตี้ล่าง อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี กว่า 200 คน ซึ่งใช้น้ำจากลำห้วยคลิตี้ในการอุปโภคบริโภคได้รับความเดือดร้อน (ฝ่ายวิชาการมูลนิธิสืบ นาคะเสถียร ศูนย์ศึกษากะเหรี่ยงและพัฒนา, ม.ป.ป) ซึ่งค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ให้มีตะกั่วไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดเริ่มต้นที่ทำการตรวจวัดของหมู่บ้านคลิตี้ล่าง พบปริมาณตะกั่วปนเปื้อนในน้ำสูงถึง 0.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานกำหนด 11 เท่า

ส่วนตัวอย่างสัตว์น้ำในลำห้วย เช่นปลาเวียน มีปริมาณตะกั่ว 13-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กุ้งมีปริมาณตะกั่ว 320-1,470 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นูมีปริมาณตะกั่ว 48-128 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ. 2529 กำหนดให้ค่ามาตรฐานของอาหารควรมีสารปนเปื้อนไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจากการตรวจเลือดของชาวบ้านจำนวน 119 คนในเดือน กุมภาพันธ์ 2542 พบว่า เด็กอายุต่ำกว่า 6 ปี มีตะกั่วในเลือดเฉลี่ย 23.56 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร อายุ 7 - 15 ปี มีตะกั่วในเลือดเฉลี่ย 28.33 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร ผู้ใหญ่อายุ 16 ปีขึ้นไป มีตะกั่วในเลือดเฉลี่ย 26.31 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร ถือว่าเกินค่ามาตรฐานของตะกั่วในเลือดโดยเฉลี่ยของคนไทยซึ่งมีเพียง 4.92 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร (เกื้อเมธา ฤกษ์พรพิพัฒน์, 2550) ซึ่งอภิชัย ชวเจริญพันธ์ (2550) พบสารตะกั่วในส่วนที่เป็นตะกอนดินในลุ่มแม่น้ำแม่กลอง ปริมาณที่พบสูงมาก โดยเฉพาะบริเวณที่มีกิจกรรมเหมือง ซึ่งถือเป็นปัจจัยเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ จึงเกิดการสะสมของตะกั่วในหอยที่ประชาชนนำมาบริโภคมีปริมาณตะกั่วสูงขึ้นด้วย จากการตรวจสอบปริมาณสารตะกั่วในเลือดของเด็กอายุต่ำกว่า 15 ปี พบว่าร้อยละ 44 ของเด็กที่เจาะเลือดทั้งหมดมีปริมาณตะกั่วสูงกว่าระดับมาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 25 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร ประสงค์ โรจน์เลิศจรรยา (2531) หากมีปริมาณสารตะกั่วในเลือดมากกว่า 0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะเกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน เช่น ปวดท้องอย่างรุนแรง อูจาระมีสีดำ สุขุมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2540) เกิดอาการช็อค ตื่นเต้นง่าย ความจำเสื่อม และเป็นอันตรายต่อไต

พฤติกรรมของตะกั่วเมื่อลงสู่แหล่งน้ำ จะมีการแตกตัว มีประจุ +2 และ +4 ตะกั่วในรูป +4 จะเปลี่ยนรูปได้ง่ายกว่า ส่วน +2 เช่น ตะกั่วไนเตรท มักจะมีความคงที่ภายใต้สภาพแวดล้อม โดยทั่วไปเนื่องจากอะตอมของสารยึดเหนี่ยวกันแน่น ดังภาพที่ 2-3 การกระจายตัวในแหล่งน้ำขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมี (Chemical Form) ลักษณะทางภูมิศาสตร์ คุณสมบัติของน้ำ เช่น pH ความกระด้าง อุณหภูมิ และความเค็มของน้ำ ตะกั่วมีครึ่งชีวิตที่สั้น มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงโดยการดูดซับ (Adsorption) การปลดปล่อย (Desorption) การตกตะกอน (Precipitation) การละลาย (Dissolve) รวมทั้งปฏิกิริยารีดักชันโดยสิ่งมีชีวิตที่สามารถลดความเข้มข้นของตะกั่วในแหล่งน้ำลงได้



ภาพที่ 2-3 แสดงโครงสร้างของตะกั่วไนเตรท อะตอมของตะกั่ว (*) กลุ่มไนเตรท (o o)

([http://en.wikipedia.org/wiki/Lead\(II\)_nitrate](http://en.wikipedia.org/wiki/Lead(II)_nitrate), 2009)

เนื่องจากตะกั่วสามารถละลายได้ในไขมัน สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ จึงมีการสะสมในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ (สุวัจน์ ธีธรรส, 2549) ส่วน ธิดาพร ฉวีภักดิ์, อรุณี มานะกล้า, วิสุทธิ ยุติมิตร และทศรยา คชศักดิ์ (2543) ได้ศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดิน หอยแครง (*Anadara* sp.) และหอยนางรมปากจีบ (*Saccostrea* sp.) จากแหล่งเลี้ยงในแม่น้ำจันทบุรี และคลองขลุง จังหวัดจันทบุรี ระหว่างเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2541 ถึงเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2542 เก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง แบ่งเป็นสถานีเก็บตัวอย่าง 7 สถานี ปริมาณโลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ สังกะสี, ตะกั่ว, ทองแดง, และแคดเมียม ในน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.33, 1.24, 1.98, และ 0.12 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 37.48, 16.84, 10.77, และ 0.06 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักในหอยแครง (*Anadara* sp.) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.83, 4.05, 12.76, และ 0.61 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักในหอยนางรมปากจีบ (*Saccostrea* sp.) มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 872.51, 6.95, 69.23, และ 0.62 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักในน้ำ และตะกอนดิน จากแหล่งเลี้ยงหอยซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน อภิรดี เมืองเดช (2545) วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี แคดเมียม โปรทและตะกั่วในหอยแครงบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84.90, 0.427, 0.312 และ 0.222 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยไม่พบความแตกต่างของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดระหว่างหอยแครงเลี้ยงกับหอยแครงจับได้ตามธรรมชาติ แต่ความแตกต่างระหว่างฤดู มีผลต่อการสะสมของโลหะหนักอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 สรุปได้ว่าปริมาณโลหะหนัก ตะกั่ว สังกะสี และปรอทในหอยแครงบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงยังอยู่ในเกณฑ์ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529) ในกรณีการสะสมของแคดเมียมพบว่ายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสากล 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

Sripaoraya, Montree, Ramchuen, Puasun, Pavitranon, Jitsurong, Kangchanarat, Athichomrang, Kitporka, Sandprasert, Chantakam, Pengpara, and Rodchawang (1998) สำรวจพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำปัดตานีในจังหวัดปัดตานี และยะลา เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของตะกั่ว แคลเซียม สารหนู และโลหะอื่น ๆ รวมทั้งประเมินสถานการณ์ ความเป็นพิษของโลหะหนักในลุ่มน้ำปัดตานี โดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจากบ่อจำนวน 87 บ่อ น้ำผิวดินในสิ่งแวดล้อม 18 ตัวอย่าง และเลือดช้างแม่จากสายสะดือเด็กแรกเกิด จำนวน 382 คน พบว่าการปนเปื้อนของตะกั่ว สารหนู ในน้ำบาดาลทั้ง 87 บ่อ ยังไม่เกินค่ามาตรฐานคือ 50 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำผิวดินตรวจพบสารหนูปริมาณสูง บริเวณชุมชนเมืองที่อำเภอบันนังสตา จังหวัดยะลา ตรวจพบระดับตะกั่วในเลือดช้างแม่จากสายสะดือเด็กแรกเกิด อยู่ในช่วง 3.0-10.2 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ค่ากลาง 3.7 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร และค่าเฉลี่ย 4.1 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ซึ่งเป็นค่าต่ำกว่าค่าขีดที่เห็นการเกิดพิษที่ 10 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

พรทิพย์ เทียนทองดี และสายใจ พินิจเวชการ (2548) ได้ศึกษาพิษของตะกั่วในนิคมอุตสาหกรรมพื้นที่เขตจังหวัดอุบลราชธานี และปทุมธานี โดยเน้นอุตสาหกรรมที่ใช้ตะกั่วซึ่งได้แก่ โรงงานผลิตแผงวงจรไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ผลิตประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าประกอบเครื่องรับโทรทัศน์สี ผลิตเครื่องรับโทรทัศน์สี ผลิตและประกอบเครื่องเล่นแถบภาพ จำนวน 13 แห่ง ในทั้ง 2 จังหวัด ทำการวิเคราะห์ข้อมูลผลและตรวจหาความเข้มข้นของสารตะกั่วในสภาพการทำงาน และความเข้มข้นของสารตะกั่วในเลือดของคณงานจาก 13 แห่ง พบว่า จากคณงาน 1,399 คน มี 2 คนที่ระดับความเข้มข้นของตะกั่วในเลือดเกินกว่า 40 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร เกินค่ามาตรฐานของประกาศกระทรวงมหาดไทย เนื่องจากเป็นคณงานที่สัมผัสกับตะกั่วโดยตรง

นอกจากตะกั่วจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์ และสัตว์แล้ว ยังส่งผลกระทบต่อพืชโดย ตะกั่วในดินที่ความเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชได้ เนื่องจากอิทธิพลของธาตุอาหารในรูปไนเตรทที่เป็นองค์ประกอบ (Clark, Frid, & Attrill, 1997) ในขณะที่ เกษม จันทร์แก้ว (2544) ศึกษาพิษของตะกั่วซึ่งยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อพืชและการออกซิไดส์ซัลฟิเนตในกระบวนการหายใจที่ไม่โตคอนเดรีย ส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ยับยั้งการเจริญเติบโตของรากและใบ และยืดเวลาการงอกของเมล็ด Pendias (2001) หากตะกั่วสะสมในพืช จะเข้าไปรบกวนปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตให้เป็นน้ำตาลซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ และกระบวนการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้พิษของตะกั่วยังมีผลต่ออัตราการงอกของเมล็ดข้าวโพด ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วในดินแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4}

และ 10^{-1} โมล พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 10^{-1} โมล รากของข้าวโพดไม่มีการเจริญเติบโต และรากมีลักษณะกุดสั้น ซึ่งแสดงถึงความเป็นพิษของตะกั่วซึ่งมีผลต่อการงอก และการเจริญเติบโตของรากพืช (Obrocheva, Bystrova, & Sergin, 2000)

การใช้ประโยชน์จากทานตะวัน

จากพิษของตะกั่วข้างต้น ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืช สัตว์ และมนุษย์ ทำให้เกิดงานวิจัยต่าง ๆ มากมายที่เกี่ยวข้องกับการกำจัด และบำบัดตะกั่วในสิ่งแวดล้อมให้มีปริมาณที่ลดลง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อทุกฝ่าย การใช้พืชเพื่อบำบัดตะกั่วในสิ่งแวดล้อมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่หลายหน่วยงานให้ความสนใจ Brown (1995) พืชสามารถดูดซับธาตุ โลหะหนัก และสารพิษที่ตกค้างอยู่ในดิน และน้ำ ไปสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ของต้น สามารถลดมลพิษในสิ่งแวดล้อม โลหะหนัก และสารพิษในดิน และน้ำที่พืชได้รับจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในต้นพืช ทำให้เกิดความทนทานต่อสารนั้น ๆ โดยมีอินทรีย์วัตถุกระตุ้น ให้แสดงออกเมื่อได้รับธาตุ โลหะหนัก ทำให้สังเคราะห์สารบางชนิดขึ้นมาจับกับ ไอออนของโลหะหนัก แล้วเก็บสะสมไว้ (Phytoextraction) หรือย่อยสลายสารพิษ (Phytodegradation) หรือเปลี่ยนสภาพและลดความเป็นพิษ (Phytostabilization) หรือเปลี่ยนสภาพเป็นสารระเหยสู่อากาศ (Phytovolatilization)

มาลินี สุขแสงพนมรุ่ง (2544) การบำบัดโดยใช้พืชมีวิธีการหลายแบบ ซึ่งต่างเป็นวิธีที่อธิบายถึงบทบาท และหน้าที่ของเอนไซม์ในการเปลี่ยนรูปสารเคมีในพืช จึงควรทำการศึกษาชนิดของพันธุ์พืช และเลือกให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ รวมถึงกระบวนการ และวิธีเพาะปลูก โดย มัลลิกา ธีระกุล, อติศรา เรืองแสง และวันเพ็ญ วิโรจนกัญ (2547) ศึกษาการบำบัดสารคาร์โบฟูรานในดินโดยใช้พืชหลายชนิด ความสามารถของพืชในการบำบัดสารคาร์โบฟูรานที่ตกค้างในดินจากนาข้าว โดยทำการปลูกพืชลงในดินจากนาข้าวที่ผสมสารคาร์โบฟูรานที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ในกระถางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ทดลองปลูกพืช 12 ชนิด โดยเลือกพืชที่มีวงจรชีวิตสั้น เพื่อหาว่าพืชชนิดใดมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการบำบัดสารหลังฤดูกาลเก็บเกี่ยวข้าว จากนั้นนำตัวอย่างดินที่ผ่านการบำบัดด้วยพืชมาทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารคาร์โบฟูรานที่ถูกย่อยสลายไป พบว่า คาร์โบฟูรานสามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วในดินที่มีการปลูกพืช ส่วนพืชที่สามารถบำบัดดินได้เป็นที่น่าพอใจที่สุดคือ ทานตะวัน (*Helianthus annuus* Linn.) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทานตะวันมีความสามารถในการเร่งการย่อยสลายคาร์โบฟูรานที่ตกค้างในดินได้เร็วที่สุด นอกจากนั้นยังแสดงว่าสารคาร์โบฟูรานไม่คงทนในสิ่งแวดล้อม

มัลลิกา ธีระกุล และอติศรา เรืองแสง (2548) ได้เลือกใช้ทานตะวันเพื่อฟื้นฟูดินจากนาข้าวที่มีคาร์โบฟูรานตกค้างรวมถึงศึกษาการเจริญเติบโต การลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ ปริมาณคาร์โบฟูราน

ที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้น โดยปลูกทานตะวันในกระถางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ในดินที่ผสมด้วยคาร์โบฟูรานในอัตรา 5 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ระยะเวลาเพาะปลูก 120 วันทำการเก็บเกี่ยวส่วนของ ราก, ลำต้นและใบ, เมล็ด นำไปวิเคราะห์สารคาร์โบฟูรานที่ตกค้าง พบว่า ทานตะวัน ซึ่งเป็นพืชในกลุ่มพืชไร่ สามารถสะสมปริมาณของสารคาร์โบฟูรานในส่วนของใบและลำต้น ได้สูงที่สุดถึง 93.4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือราก ส่วนของเมล็ดไม่พบสารคาร์โบฟูรานตกค้าง ทำให้มั่นใจว่าการบริโภคเมล็ดทานตะวัน ไม่เป็นอันตราย ลักษณะทางกายภาพ (ความสูง และเส้นรอบวง) ไม่แตกต่างกับทานตะวันที่ปลูกในดินโดยไม่ผสมคาร์โบฟูราน

สรัดนา เสนาะ (2548) ศึกษาความสามารถในการสะสมโลหะตะกั่วในดิน โดยใช้ทานตะวันให้ผลเป็นที่น่าพอใจ วางแผนการทดลองแบบ CRD และวิเคราะห์ผลการสะสมตะกั่วเป็นส่วนๆ ได้แก่ ราก, ลำต้นและใบรวมกัน, ดอก พบว่า ส่วนที่สะสมตะกั่วมากที่สุดคือ ราก ลำต้น และใบรวมกัน, ดอก ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Jinxing, Wusheng, and Donghua (2003) ศึกษาความสามารถของทานตะวันในการสะสมโลหะทองแดงในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ราก, ลำต้นได้ใบเลี้ยง, ใบ และยอดอ่อน โดยกำหนดระดับความเข้มข้นของทองแดงเป็น 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าทองแดงที่จับบริเวณผิวรากทำให้ทานตะวันมีการดูดน้ำลดลง การเจริญเติบโตช้าลง ที่ความเข้มข้น 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นอ่อนของทานตะวันจะโตช้ากว่า ที่ความเข้มข้นของทองแดงแตกต่างกันมีผลต่อการสะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้นต่างกัน โดยที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบปริมาณการสะสมทองแดงมากที่สุดที่ราก คิดเป็น 73 % ส่วนที่เหลืออีก 27 % สะสมอยู่ที่ ลำต้น ยอด และใบ ตามลำดับ

จากงานวิจัยข้างต้นมีนักวิจัยหลายท่านได้เลือกใช้ต้นทานตะวันเพื่อบำบัดโลหะหนัก และสารพิษอื่น ๆ เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนต่อสภาพแวดล้อม ลำต้นตั้งตรง วงจรชีวิตสั้น ระบบรากแผ่กระจาย น้ำหนักของต้นเพียงพอหากต้องการวิเคราะห์ หาความเข้มข้นของสารที่สะสมในเนื้อเยื่อ ซึ่งทานตะวันมีชื่อวิทยาศาสตร์ ว่า *Helianthus annuus* Linn. (วิรัติ ศรีอ่อน, 2542) ซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ลำต้นตรง สูง 1-2 เมตร มีชื่อเรียกแตกต่างกันคือ ภาคใต้เรียก บัวทอง ภาคเหนือเรียก ดอกตะวัน ภาคกลางเรียก ทานตะวัน มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกา เส้นใบสานกันเป็นร่างแห แดกกิ่งเป็นมุมแหลม ปลายกิ่งตั้ง การกระจายของกิ่งค่อนข้างไปทางส่วนปลายของลำต้น เปลือกของลำต้นชั้นนอกมีสีเขียว ผิวขรุขระไม่หลุดลอก ใบเดี่ยวคล้ายรูปหัวใจ ปลายใบเรียวแหลม ผิวใบมีขนเล็ก ๆ ปกคลุม ด้านล่างเส้นใบนูนเด่น เป็นพืชดอกเดี่ยว ลักษณะดอกสมบูรณ์เพศ ดอกเกิดปลายกิ่ง กลีบดอกมีสีเหลือง เมล็ดมีลักษณะกลมรีสีน้ำตาล เปลือกหุ้มเมล็ดบาง ผิวเรียบ เมล็ดจะอยู่รวมกันคล้ายรังผึ้ง ขยายพันธุ์ ด้วยการเพาะเมล็ด ชอบแสงแดดจัด น้ำและความชื้นปานกลาง ดินร่วนปนทราย สามารถแบ่งทานตะวันตามลักษณะการใช้ประโยชน์ได้ 2 ชนิดคือ 1) ชนิดที่ปลูกเพื่อสกัดน้ำมัน

(Oil Type) ที่เน้นการใช้ประโยชน์จากเมล็ดเพื่อนำมาสกัดน้ำมันและ 2) ชนิดที่ไม่ได้ใช้สกัดน้ำมัน (Non-Oil Type) นิยมปลูกเป็นไม้ประดับเพราะต้นเตี้ย ขึ้นอยู่กับพันธุ์ นอกจากการใช้ประโยชน์จากดอกแล้วยังสามารถนำลำต้นมาผลิตกระดาษได้ (อุดม โกสยสุก, 2538)

ทานตะวันจัดเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ต้นอ่อนมีใบเลี้ยง 2 ใบ ท่อน้ำ ท่ออาหารอยู่รวมกันเป็นกลุ่มจากสรีระของต้นที่เอื้อต่อการลำเลียงน้ำ และแร่ธาตุ ทำให้เป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดี โดยที่น้ำจะเข้าสู่รากโดยวิธี ออสโมซิส ส่วนแร่ธาตุเข้าสู่รากโดยกระบวนการ แอกทีฟทรานสปอร์ต เมื่อพืชสังเคราะห์ด้วยแสงที่บริเวณใบจะได้ น้ำตาล น้ำ และแก๊สออกซิเจน น้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง จะสะสมไว้ที่เซลล์สีเขียวในรูปของแป้งซึ่งเป็นอาหารของพืช และจะมีการลำเลียงอาหารโดยการเปลี่ยนแปลงให้เป็นน้ำตาลแล้วส่งผ่านไปตามกลุ่มเซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียงอาหาร พืชจะมีการคายน้ำเพื่อสร้างความสมดุลให้กับต้น โดยมีปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการคายน้ำของพืช คือ แสงสว่าง อุณหภูมิ ความชื้น และลม (มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2545) พืชคายน้ำในรูปของไอน้ำได้ 3 ลักษณะคือ ทางปากใบ ทางผิวใบ และทางเลนติเซล การคายน้ำในรูปหยดน้ำทางรูเปิดเล็ก ๆ ตามปลายเส้นใบซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออากาศมีความชื้นมาก ๆ อุณหภูมิต่ำ และลมสงบ (นันทญา เรื่องประเสริฐ, 2544)

Goksoy, Demir, Turan, and Dagustu (2004) ศึกษาความต้องการปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อกรเจริญเติบโตของต้นทานตะวัน การศึกษาครั้งนี้ ทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างการให้ผลผลิต กับปริมาณการให้น้ำ ที่ส่งผลในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต โดยกำหนดเป็นช่วงต่าง ๆ ซึ่งมีการควบคุมการให้น้ำโดยแบ่งเป็น 13 ช่วง คือ H, F, M, HF, HM, FM, HFM, H₆₀FM, H₄₀FM, HF₆₀M, HF₄₀M, HFM₆₀ และ HFM₄₀ ใช้ ทานตะวันลูกผสม Sunbro (Novartis Seed Company) ซึ่งเป็นบริษัทจำหน่ายเมล็ดพันธุ์พืช เพาะปลูกในดินทราย จากการทดลองการให้น้ำช่วง HFM ได้ผลผลิตที่สูงสุด โดยทานตะวันให้ผลผลิตสูงถึง 0.4056 กิโลกรัมน้ำหนักเมล็ด ต่อตารางเมตร ผลผลิตของน้ำมัน 0.1841 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงที่ควบคุม และช่วงอื่น ๆ ผลผลิตของเมล็ดและน้ำมันเพิ่มมากขึ้น สรุปได้ว่า การให้น้ำในระยะ HFM (วันที่ 43-49 เริ่มสร้างเมล็ด) เป็นช่วงที่ดีที่สุดที่ทำให้ทานตะวันเจริญเติบโต และให้ผลผลิตดี ควรหลีกเลี่ยงการให้น้ำในปริมาณมากระยะที่สร้างดอก เพราะมีผลทำให้การสร้างดอกช้าลง และการมีแร่ธาตุบางชนิดสูงเกินอาจส่งผลกระทบต่อพืชได้ เพราะน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืช เป็นตัวทำละลายที่ดี ช่วยละลายแร่ธาตุในดิน และเป็นตัวกลางในการลำเลียงแร่ธาตุ สารละลายต่าง ๆ ตลอดจนอาหารที่พืชนำไปใช้ โดยจะดูดซับน้ำและแร่ธาตุเข้าทางราก พืชจะเจริญเติบโต และพัฒนาได้อย่างสมบูรณ์จะต้องมีโภชนาการอย่างถูกต้อง และเพียงพอ (สมบุญ เศษะภิญญาวัฒน์, 2538) สอดคล้องกับ

สุรพล มนัสเสรี (2531) ได้แก่ อาหารจำพวกอินทรีย์ หรือน้ำตาล ตลอดจนอาหารอื่น ๆ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ อาหารจำพวกอนินทรีย์ หรืออาหารธาตุต่าง ๆ และน้ำ

การดูดซับ และลำเลียงสารละลายในพืช

สารละลายสามารถเข้าสู่รากได้โดยอาศัยความแตกต่างของค่าสารละลายในราก กับสารละลายในดิน โดยทั่วไปค่า ของสารละลายในดินจะมีค่าสูงกว่าภายในราก

กระบวนการเข้าสู่รากของสารละลาย มีขั้นตอนดังนี้

Epidermis + Root Hair → Cortex → Endodermis → Stele (Pericycle + Vascular Tissue)

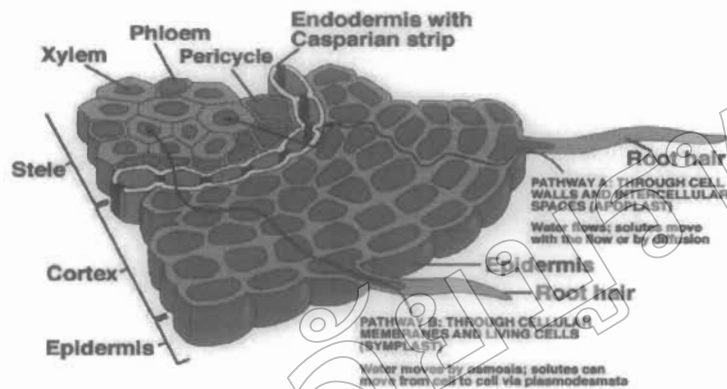
น้ำที่ปรากฏอยู่ในพืชนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนนี้จะไหลไปด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน และในบางกรณีไหลคนละทิศทางกัน ได้แก่

1. น้ำที่อยู่ระหว่างช่องภายในผนังเซลล์ และช่องว่างรอบ ๆ ผนังเซลล์ ซึ่งส่วนนี้เรียกว่า อะโพพลาสต์ (Apoplast) โดยน้ำจะไหลผ่านเซลล์ที่ไม่มีชีวิตของพืช เช่น เวสเซล (Vessel) และ เทรคีด (Tracheid) และภายในไซเล็ม (Xylem) ดังนั้นการไหลของน้ำในลำต้นพืชส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่เป็น อะโพพลาสต์ (Apoplast) ซึ่งเป็นผลจากความแตกต่างของสารในสารละลาย (Water Potential) เกิดขึ้นในอัตราที่สูง เพื่อทดแทนน้ำที่สูญเสียไปจากการคายน้ำ

2. น้ำในโพรโทพลาสต์ (Protoplast) ของเซลล์ ซึ่งจะไหลผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ทาง Plasmodesmata (พลาสโมเดสมาทะ) ซึ่งเป็นการไหลผ่านส่วนที่มีชีวิตของพืช เรียกว่า ซิมพลาสต์ (Symplast) น้ำภายในท่อลำเลียงอาหาร (Sieve tube) ของ โฟลเอ็ม (Phloem) จัดเป็นน้ำในส่วนนี้ด้วย

3. น้ำที่อยู่ใน แวกิวโอล (Vacuole) ของเซลล์ที่มีชีวิต น้ำจะมีการเคลื่อนที่เข้าสู่รากผ่าน อะโพพลาสต์ (Apoplast) จากขนราก ไปยัง คอร์เทกซ์ (cortex) ซึ่งมี เนื้อเยื่อชั้นในสุดของคอร์เทกซ์ (Endodermis) กั้นอยู่ น้ำจะไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปในช่องระหว่าง ผนังเซลล์ เนื่องจากถูกกั้นด้วย แถบคาสพาเรียน (Casparian strip) ซึ่งมี ซูเบอร์ิน (Suberin) กั้นไม่ให้ผ่าน น้ำจึงต้องเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนเข้าไปในโพรโทพลาสต์ (Protoplast) ทาง ซิมพลาสต์ (Symplast) ซึ่งเกิดขึ้นในอัตราที่ช้ามาก หลังจากผ่านเนื้อเยื่อชั้นในสุดของคอร์เทกซ์แล้ว น้ำจะเคลื่อนที่ไปทาง อะโพพลาสต์ (Apoplast) เข้าสู่ ชั้น สเตล (Stele) ซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดของราก (Pericycle) และแอสคิวลา ทิชชู (Vascular tissues) ต่อไป (ดัดแปลงจาก อัครสิทธิ์ บุญส่งแท้, 2547) ดังภาพที่ 2-4 รากของพืชมีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ionic exchange) ซึ่งเกิดขึ้นโดยตรงระหว่างไอออนของ

แร่ธาตุในสารละลาย กับบริเวณผิวของราก เรียกรวมการโคจรของไอออนที่ผิวรากว่า Oscillation volume



ภาพที่ 2-4 แสดงส่วนประกอบของรากที่ทำหน้าที่การดูดและลำเลียงสารละลายในพืช
(อัครสิทธิ์ บุญสงฆ์, 2547)

การปลูกพืชไฮโดรโพนิกส์

โสระยา ร่วมรังษี (2544) การปลูกพืชทุกชนิดใช้น้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมนุษย์คิดค้นวิธีการปลูกพืชโดยให้น้ำละลายธาตุอาหารต่าง ๆ และ ไม่ต้องใช้ดิน ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีว่า ไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics) ซึ่งถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1929 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันชื่อ Prof. Dr. William F. Gericke แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย ซึ่งเป็นผู้ที่พัฒนาเทคโนโลยีการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน เดิมทีทำเฉพาะในห้องทดลอง และต่อมามีนักวิทยาศาสตร์อีกหลายท่าน ได้คิดสูตรสารละลายธาตุอาหาร โดยเฉพาะ Hoagland & Arnon ทำให้สหรัฐอเมริกาเริ่มมีผู้สนใจปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารเพื่อเป็นการค้าและได้รับความนิยมในเวลาต่อมา บริษัทโสภณภัส เอ็นจิเนียริง (2005) การปลูกพืช ไฮโดรโพนิกส์ควรมีการวัดค่า EC (Electric conductivity) หมายถึง ค่าการนำไฟฟ้าของเกลือ (ในไฮโดรโพนิกส์จะหมายถึงเกลือของธาตุอาหาร) ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยปกติแล้วน้ำบริสุทธิ์จะมีค่าการนำไฟฟ้าเป็นศูนย์ แต่เมื่อนำธาตุอาหารละลายในน้ำ เกลือของธาตุอาหารเหล่านี้จะแตกตัวเป็นประจุบวก และประจุลบ ซึ่งจะเป็นตัวนำไฟฟ้า ทำให้มีค่าการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity) ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับปริมาณเกลือของธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำ ดังนั้น เราจึงใช้การวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (ค่า EC) เพื่อเป็นตัวบอกรวมปริมาณเกลือธาตุอาหารที่ละลายในน้ำ

อำนาจ คັນ โช (2548) จำแนกตามการหมุนเวียน สารละลายธาตุอาหารออกเป็น 2 ระบบ คือ

1. การหมุนเวียนระบบเปิด (Open System) หมายถึง การปลูกพืชโดยสารละลายธาตุอาหารจากถังเก็บ ไปรดต้นพืช แล้วปล่อยให้สารละลายส่วนเกินไหลทิ้งไปโดยไม่นำกลับมาใช้ใหม่

2. การหมุนเวียนระบบปิด (Close System) หมายถึง การปลูกพืชโดยสารละลายธาตุอาหารจากถังเก็บ ไปยังภาชนะปลูก แล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

ยงยุทธ โอสดสภา (2543) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าธาตุอาหารที่พืชได้รับจากดินนั้น สามารถทดแทนได้ด้วยการให้อาหารในรูปสารละลาย โดยทดลองปลูกพืชในสารละลายที่เตรียมขึ้น พบว่าพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี และในยุคต่อมาได้มีนักวิทยาศาสตร์อีกหลายคนทำการทดลองคล้าย ๆ กัน โดยใช้สูตรอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 สูตรสารละลายธาตุอาหารของพืชไฮโดร โพนิกส์ (ยงยุทธ โอสดสภา, 2543)

สารเคมี	ความเข้มข้น
KNO ₃	1.0 กรัมต่อลิตร
NaCl	0.5 กรัมต่อลิตร
CaSO ₄	0.5 กรัมต่อลิตร
MgSO ₄ 7H ₂ O	0.5 กรัมต่อลิตร
CaHPO ₄	0.5 กรัมต่อลิตร
สารละลาย FeCl ₃ หรือ FeSO ₄	2 - 3 หยด

การปลูกพืชในระบบไฮโดร โพนิกส์ สามารถทำได้กับพืชหลากหลายชนิด เป็นวิธีการปลูกพืชที่นักวิจัยใช้ เนื่องจากลดอัตราการปนเปื้อน และลดปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อ การทดลอง สามารถควบคุมระบบในห้องปฏิบัติการได้ ดังเช่น Li and Du (2003) ศึกษาการดูดตะกั่ว โดยหญ้า 4 ชนิด ปลูกในระบบไฮโดร โพนิกส์ ได้แก่ *F. arundinacea* Schreb, *S. patens*, *E. ophiuroides* และ *B. dactyloides* ที่ระดับความเข้มข้น 0-450 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า pH อยู่ใน ช่วง 4.5-5.5 ในเวลา 4-8 วัน พบว่า ปริมาณของตะกั่วในแคตท Pb(NO₃)₂ ที่เติมลงไป ที่ติดกับ ภาชนะ และที่รากของหญ้า มีค่าแตกต่างกัน โดยปริมาณที่พบมากที่สุดอยู่ที่รากของหญ้าทั้ง 4 ชนิด หญ้า *Fescuta arundinacea* Schreb และ *Spartina patens* มีความทนทานต่อตะกั่วได้ถึง 450 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วน *Eremochloa ophiuroides* และ *Buchloe dactyloides* ใบเหี่ยวเฉา รากเน่า

แสดงให้เห็นว่าผู้ชนิดต่าง ๆ มีความทนทานต่อตะกั่วได้ต่างกัน เช่นเดียวกับ Bovet, Kammer, Meylan-Bettex, Guadagnuolo, and Matera (2005) ศึกษาความสามารถของพืช *Arabis alpina* ต่อการสะสมแคดเมียม โดยปลูกในระบบไฮโดร โพนิกส์ เช่นกัน *Arabis alpina* แต่ละพื้นที่มีวงจรชีวิตใกล้เคียงกันซึ่งเก็บตัวอย่างจาก 3 พื้นที่ในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ได้แก่ Pichoux, Chasseral และ Schilthorn เพาะปลูกในห้องปฏิบัติการนาน 2 สัปดาห์ จากนั้นวัดความยาวของราก และย้ายลงปลูกแปลงละ 11 จุดในวัสดุเพาะปลูก เติมสารละลายอาหาร เลี้ยงต่อไปเป็นเวลานาน 3 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงเติม แคดเมียม $10 \mu\text{M}$ ทั้งระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้พืชบำบัด พบว่า พืชจากสถานี Pichoux มีความสามารถบำบัดแคดเมียมได้สูงสุด รองลงมาคือ Chasseral และ Schilthorn ตามลำดับ

Jinxing et al. (2003) ปลูกทานตะวันในระบบไฮโดร โพนิกส์ ที่อุณหภูมิ 24-26 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ในสารละลายไฮดรอลิก ใช้ต้นกล้าทานตะวันกลุ่มละ 12 ต้น เพาะเมล็ดลงในถาดขนาด $20 \times 30 \times 4$ เซนติเมตร เติมสารละลายธาตุอาหารลงในถาด 2 ลิตร ใน 4 วันแรกเพาะเมล็ดในที่มืด หลังจากนั้นให้ได้รับแสงอ่อน ๆ 14 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 10 วัน จึงนำมาเพาะปลูกต่อในน้ำที่ปราศจากออกซิเจน โดยเติมทองแดงในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับถาดควบคุมจะไม่เติมทองแดง มีการเติมอากาศทุกถาด เปลี่ยนสารละลายและวัดค่าการเจริญเติบโตทุก 3 วัน จากนั้นเก็บเกี่ยวต้นกล้าจำนวน 10 ต้น ในแต่ละความเข้มข้นโดยเลือกเก็บต้นที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (10 ต้นคือ 1 ตัวอย่าง) หลังจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 คือ วันที่ 6 จะสังเกตเห็นออกซิเจนของทองแดงจับตัวอยู่ที่ผิวราก หลังจากการเก็บเกี่ยว ล้างรากทานตะวันด้วยน้ำปราศจากออกซิเจน ซึ่งน้ำหนักสดของทานตะวัน อบตัวอย่างที่ 40 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง อบอีกครั้ง ที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง และอบให้เป็นเถ้าที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และ 600 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมง ปรับปริมาตรและวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) จากการทดลอง และ Tandy, Schulin and Bernd (2006) ได้คัดเลือกชนิดของพืชเพื่อบำบัดโลหะ 3 ชนิด คือ ทองแดง สังกะสี และตะกั่ว โดยใช้วิธีการปลูกพืชแบบไฮโดร โพนิกส์ จากการคัดเลือกพันธุ์พืชพบว่า ความสามารถของพืชแต่ละชนิดในการบำบัดหรือสะสมโลหะหนักมีขีดจำกัด ขั้นตอนการดูดซับในส่วนต่าง ๆ ของพืชมีความซับซ้อนและ การเคลื่อนที่ของโลหะจากสารละลายเข้าสู่รากพบมากในบริเวณผิวหน้าของราก ซึ่งมีอิทธิพลมาจากแรงดันภายในลำต้น สารละลายธาตุอาหาร รวมถึงสภาพแวดล้อม ในระหว่างการทดลองมีการเติม (S,S)-N,N'- ethylenediamine disuccinic acid (SS-EDDS) เป็นสารที่ช่วยเร่งการดูดซับ ทำให้พืชมีการดูดซับสารละลายได้ดีขึ้น ปริมาณของโลหะที่ดูดซับขึ้นไปจึงมากตามไปด้วย และพืชที่ให้ผลการทดลองน่าพอใจที่สุดคือทานตะวัน เมื่อนำตัวอย่างทานตะวัน

ไปวิเคราะห์หาปริมาณ EDDS ที่สะสมในดิน พบปริมาณหลงเหลืออยู่น้อยมาก นอกจากทานตะวัน จะสามารถสะสมโลหะหนักได้แล้ว ยังสามารถสะสมสารกัมมันตรังสีได้ด้วย

Lee, Hossner, Attrep, and Kung (2004) ศึกษาการดูดซับ และการสะสมของพลูโตเนียม (Pu) ใน พืชตระกูลถั่ว และทานตะวัน ในระบบไฮโดร โพนิกส์ โดยเติมพลูโตเนียมในเครท และ พลูโตเนียม-ซีเครท ในปริมาณ 18.50 และ 37.00 Bq ml⁻¹ ลงในสารละลายที่ทำการเพาะปลูก 18.50 Bq ml⁻¹ พบว่าลำต้น ใบรวมกัน และราก ของพืชตระกูลถั่ว สามารถดูดซับพลูโตเนียม-ในเครท ได้ ดีกว่าพลูโตเนียม-ซีเครท แม้ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม ที่ความเข้มข้น 37.00 Bq ml⁻¹ ลำต้นและใบรวมกัน และรากของทานตะวัน จะดูดซับพลูโตเนียมซีเครทได้ดีกว่า ส่วน Soudek, Tykvr, Vancova, and Vanek (2005) ใช้ทานตะวันดูดซับ ¹³⁷Cs ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสี โดย เพาะปลูกในห้องปฏิบัติการ ในระบบไฮโดร โพนิกส์ (14 MBq l⁻¹; 0.5 mM CsCl) ในระหว่างการ เพาะปลูก สารกัมมันตรังสีจะเกิดการสูญหายไป จึงมีการวัดปริมาณของสาร ในวันที่ 2, 4, 8, 16 และ 32 ของการเพาะปลูก ตรวจสอบการแพร่กระจายของสาร ในดินพืชโดยการ ใช้ภาพเอ็กซ์เรย์ จะ สังเกตเห็นความแตกต่างของการดูดซับสารกัมมันตรังสี และไอโซโทปของ ¹³⁷Cs ซึ่งไม่มีการ เปลี่ยนแปลง โพแทสเซียม และแอมโมเนียมไอออนในระบบไฮโดร โพนิกส์ มีผลต่อการดูดซับของ ¹³⁷Cs ทานตะวันสามารถดูดซับ ¹³⁷Cs ได้ดี และพืชต่างชนิดกัน ความสามารถในการดูดซับ ¹³⁷Cs แตกต่างกัน ต่อมา Soudek, Valenova, Vavrikova, and Vanek (2006) ใช้ทานตะวันดูดซับ ¹³⁷Cs และ ⁹⁰Sr ซึ่งศึกษาการเคลื่อนที่ของสารกัมมันตรังสีตามส่วนต่าง ๆ ของทานตะวันโดยเฉพาะ ปลูกในระบบไฮโดร โพนิกส์ และวัดปริมาณสารภายหลังการเพาะปลูกวันที่ 2, 4, 8, 16 และ 32 จากการทดลอง พบการสะสมของ ¹³⁷Cs คิดเป็น 12 เเปอร์เซ็นต์ และ ⁹⁰Sr คิดเป็น 20 เเปอร์เซ็นต์ สารกัมมันตรังสีจะแพร่กระจายเข้าสู่ดินทานตะวัน ตรวจสอบได้โดยใช้การฉายเอ็กซ์เรย์ ¹³⁷Cs จะ ปรากฏอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของดิน เช่น เส้นใบ และใบอ่อน ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นลงที่ ส่วน ⁹⁰Sr มีการเคลื่อนที่ไปตามส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะบริเวณเส้นใบ ลำต้น ราก รวมไปถึงที่ปากใบ และค่า ความเข้มข้นลดลง

Quintero, Fournier, and Benloch (2005) ศึกษาปริมาณโซเดียม ที่สะสมในดินทานตะวัน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียม โดยเฉพาะปลูกทานตะวันในสารละลายธาตุอาหารระบบ ไฮโดร โพนิกส์ โดยให้ปริมาณโพแทสเซียมที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าปริมาณ โซเดียม ที่สะสมในดินทานตะวัน ส่งผลต่อการดูดซับของโพแทสเซียมที่นำไปใช้ในการเจริญเติบโต ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโซเดียมอยู่ในช่วง 25-50 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจาก ย้ายทานตะวันลงในสารละลายธาตุอาหาร 9 ชั่วโมง เป็นระยะที่ทานตะวันสามารถดูดโพแทสเซียม ไปใช้ได้ดี ปริมาณโซเดียมที่สะสมจะมีมากบริเวณราก รองลงมาคือลำต้น การสะสมโซเดียมบริเวณ

ราก ส่งผลให้มีการดูดซับโพแทสเซียมลดลง ซึ่งหากแหล่งเพาะปลูกใดที่มีปริมาณโซเดียมสูงอาจทำให้ทานตะวันหรือพืชชนิดอื่นขาดโพแทสเซียมได้

การเก็บตัวอย่างพืชและการวิเคราะห์

อัตราการเจริญเติบโตของพืชทางลำต้นและใบสามารถวัดได้หลายแบบ เช่น น้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ หรือต้น จำนวนต้น ใบ กิ่งหรือหน่อต่อพื้นที่หรือต้น และความสูงของพืช (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2540)

สรัตนา เสนาะ (2548) เก็บเกี่ยวทานตะวันในระยะ 75 วัน หลังการเพาะปลูก เรียกว่า ระยะสร้างเมล็ด เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของตะกั่วที่สะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ โดยแบ่งต้นทานตะวัน ที่เก็บเกี่ยวมาทั้งต้น ออกเป็นส่วน ๆ ได้แก่ ดอก ลำต้นและใบรวมกัน และราก ถ้างด้วยน้ำประปา ตามด้วยน้ำกลั่น นำส่วนต่าง ๆ ของทานตะวันอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน ซึ่ง น้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน บดให้เป็นผงละเอียด ย่อยโดยใช้กรดไนตริกเข้มข้นต่อกรดเปอร์คลอริก ในอัตราส่วน 2:1 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน (AAS) เช่นเดียวกับ วรรณภา กาญจนมยุร, ศักดิ์สิทธิ์, นงศ์พรมา และเกษญา เวียงพล (2542) ได้วิเคราะห์หาปริมาณโลหะบางชนิด ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม สังกะสี ทองแดง และเหล็ก ในใบชา 13 ตัวอย่าง จาก 3 ชนิดคือ ใบชาฝรั่ง ใบชาจีน และใบชาเขียว โดยการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายแบบแห้ง และเติมกรดไนตริกเข้มข้น ตามด้วยกรดไฮโดรคลอริก วิเคราะห์หาปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่า ใบชาทั้ง 13 ตัวอย่าง มีปริมาณของ แคลเซียม, แมกนีเซียม, โพแทสเซียม, สังกะสี, ทองแดง และเหล็ก อยู่ในช่วง 3.17-4.48, 1.55-2.18 และ 14.11-18.28 มิลลิกรัมต่อกรัม 50.12-86.39, 12.66-29.05 และ 113.60-199.75 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อต้นชามีความสามารถในการดูดซับโลหะ ไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้น ดังนั้นการคั้นน้ำชาทำให้ได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกาย

สุภาพร พงศ์รพคุณ และเสวียน เปรมประสิทธิ์ (2548) ศึกษาการสะสมตะกั่วและแคดเมียมในพืชผักที่ปลูกในดินที่ได้รับการสะสมตะกั่วและแคดเมียมที่ระดับต่าง ๆ โดยใช้ผักบุ้ง ผักกาดเขียว ผักกาดหัว หอมแดง แดงกวา มะเขือเทศ และข้าวโพดฝักอ่อน โดยทำการทดลองในโรงเรือนระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2544-กุมภาพันธ์ 2545 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) แบ่งเป็น 2 การทดลอง คือการทดลองที่ 1 ปลูกผักในดินที่เติมตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 0, 10, 100, 500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การทดลองที่ 2 ทำการปลูกผักในดินที่เติมแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0, 2, 5, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยเก็บตัวอย่างพืชผักเมื่อครบอายุเก็บเกี่ยว แยกเป็นส่วนราก ลำต้น ใบ และผล นำมาหาปริมาณตะกั่ว

และแคดเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอร์ฟชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลการทดลองพบว่าการสะสมตะกั่วในพืชผักแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และพบว่าผักกาดมีการสะสมตะกั่วมากกว่าพืชชนิดอื่น โดยการสะสมในรากอยู่ในช่วง 41.541- 139.307 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในใบอยู่ในช่วง 5.518- 22.870 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

วีรยา การพานิช, เวณิกา เบ็ญจพงษ์, ทรงศักดิ์ ศรีอนุชาต, เนตรนภิส ธนนิเวศน์กุล และปราณี พัฒนกุลอนันต์ (2548) ศึกษาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในผักคะน้าที่มีการเพาะปลูก 3 รูปแบบ ได้แก่ ผักคะน้าอินทรีย์, ผักคะน้าปลอดภัยจากสารพิษ และผักคะน้าทั่วไป (เคมี) จากพื้นที่เพาะปลูกต่างกัน และพื้นที่เพาะปลูกเดียวกัน เก็บตัวอย่างผัก และสัมภาษณ์ข้อมูลการเพาะปลูกสิ่งแวดล้อมของแปลงผักใน 3 ฤดูกาลเพาะปลูก เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกค้างของตะกั่วและแคดเมียมในผัก วิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว และแคดเมียมโดย Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry นำข้อมูลไปใช้ประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับตะกั่ว และแคดเมียมจากการบริโภคผักคะน้า พบว่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในผักปลอดภัยจากสารพิษ (ค่ามัธยฐานเท่ากับ 10.38 และ 52.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีค่าสูงกว่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในผักอินทรีย์ (ค่ามัธยฐานเท่ากับ 2.09 และ 19.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และผักทั่วไป (เคมี) (ค่ามัธยฐานเท่ากับ 6.79 และ 20.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้อมูลที่ได้ใช้ประเมินความเสี่ยงในกลุ่มคนที่บริโภคผักปริมาณสูง เช่น คนมังสวิรัต พบว่าถ้าบริโภคผักคะน้าจากแปลงที่มีระดับตะกั่ว และแคดเมียมสูง (ในระดับ 95 เปอร์เซ็นต์ไทล์) จะมีความเสี่ยงต่อการได้รับตะกั่ว และแคดเมียมสูงกว่า ดังนั้นในคนที่บริโภคผักทุกวันในปริมาณมากควรระมัดระวัง และควรเลือกซื้อผักจากแหล่งเพาะปลูกที่มีมาตรฐาน

วิรัช เรื่องศรีตระกูล, รัชยาพร อโนราช และประดิษฐ์ เพียรรักษา (2548) ศึกษาและแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในยาแผนไทยโดยวิธีอะตอมมิกแอปซอร์ฟชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการตรวจวัดปริมาณ ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม ทองแดงและสังกะสี มีค่า 283.3, 193.7, 228.7, 324.7 และ 213.9 นาโนเมตร ตามลำดับ ภายใต้สภาวะทดลองที่เหมาะสม ได้สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับโลหะแต่ละตัวในช่วงความเข้มข้น 0.1-5.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และได้เก็บตัวอย่างยาแผนไทยจำนวน 63 ตัวอย่าง จากเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ 3.0 กรัม หรือ 20.0 มิลลิลิตร วิธีการย่อยตัวอย่าง ใช้กรดไนตริกเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรโดยปริมาตร ให้ความร้อนโดยเตาความร้อนนาน 3 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบปริมาณ ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในตัวอย่างยาแผนไทยเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง 0.11-11.19, 0.01- 0.23, 0.01-3.05, 0.01-

54.12 และ 0.02- 99.37 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การสะสมของโลหะหนักนอกจากส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตแล้ว ยังส่งผลโดยตรงต่อพืชเช่นกัน

พิพัฒน์ นพคุณ, จินตนา กิจเจริญวงศ์ และสุรชาติพิทย์ วิทยาลัยวไลยวงศ์ (2541) ได้ใช้วิธีของ Perkin-Elmer Atomic แบบ dry ashing โดยชั่งตัวอย่างที่บดละเอียด ลงในถ้วยกระเบื้องทนความร้อน ใส่สารละลายแมกนีเซียมไนเตรทผสมให้เข้ากัน นำไประเหยจนแห้งบนอ่างน้ำร้อน แล้วนำไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง ละลายเถ้าด้วยสารละลายกรดไนตริก กรอง และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น นำไปสกัดสารรบกวน โดยเขย่าสารละลายตัวอย่างกับสารละลาย Ammonium pyrrolidinedithiocarbamate (APDC) และ di-Ammonium hydrogen citrate (DHC) แล้วสกัดด้วยคลอโรฟอร์ม จากนั้นสกัดคลอโรฟอร์มด้วยสารละลายกรดไนตริก นำชั้นของสารละลายกรดไปวัดปริมาณแคดเมียม ด้วยเครื่อง อะตอมมิคแอบซอร์บชัน ซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างซับซ้อน

Ciesliński and Mercik (2005) ศึกษาการดูดซับตะกั่วโดยสตรอเบอร์รี่ ที่ระดับความเข้มข้น 12.2-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบปริมาณตะกั่วสะสมสูงสุดที่ราก ส่วนผลของสตรอเบอร์รี่พบปริมาณตะกั่วสะสมอยู่น้อย จากการวิเคราะห์ได้ใช้วิธีการย่อยตัวอย่างคือ กรดไนตริกและเปอร์คลอริก ผสมกัน โดยหันตัวอย่างพืชให้ละเอียดอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน เติมกรดไนตริก 50 เปอร์เซ็นต์ 40 มิลลิลิตร ใช้ตัวอย่างพืช 1-2 กรัม น้ำหนักแห้ง ให้ความร้อน 95 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เติมกรดไนตริกเข้มข้นอีก 5 มิลลิลิตร ระหว่างย่อยสลาย สารจะระเหยไปปริมาตรจึงลดลง ให้เติมน้ำกลั่นอีก 2 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดเปอร์คลอริก 30% 3 มิลลิลิตร ให้ความร้อนต่อไปจนกระทั่งเกิดฟองและตกตะกอน เติมกรดเปอร์คลอริกอย่างต่อเนื่องครั้งละ 1 มิลลิลิตร ให้ความร้อนต่อจนสารเหลือปริมาตร 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งให้เย็น ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน กรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman No.1) ปรับปริมาตรอีกครั้งให้ครบ 100 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์ต่อไป