

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas หรือ GHG)

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas หรือ GHG) คือ ก๊าซที่เป็นองค์ประกอบของบรรยากาศโลก ห่อหุ้มโลกไว้เสมือนเรือนกระจก ที่ดูดซับและปลดปล่อยรังสีภายในช่วงความถี่ (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) อินฟราเรดร้อน (Thermal Infrared Range) ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนบางส่วนออกสู่อวกาศ ภายนอกและปลดปล่อยความร้อนกลับสู่พื้นผิวโลก ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และสารซีเอฟซี เป็นต้น ขบวนการนี้จึงเป็นสาเหตุพื้นฐานของการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect)

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2561)

1) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide: CO₂) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเกิดโดยธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในโรงงาน ภาคการขนส่ง หรือเพื่อนำมาผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้การตัดไม้ทำลายป่ายังเป็นตัวการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ เนื่องจากต้นไม้และป่าไม่สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ และกลายเป็นเนื้อไม้

2) ก๊าซมีเทน (Methane: CH₄) แหล่งกำเนิดของก๊าซมีเทนมีอยู่มากมายในธรรมชาติและที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การทำนาข้าว ปศุสัตว์ การย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิต ขยะอินทรีย์ที่กำลังย่อยสลาย (ในธรรมชาติและในที่ทิ้งขยะ) การเผาไหม้มูลสัตว์ และ การเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน น้ำมัน และ ก๊าซธรรมชาติ โดยเฉพาะการเผาไหม้ที่เกิดจากธรรมชาติและการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ สามารถทำให้เกิดก๊าซมีเทนในบรรยากาศสูงถึงร้อยละ 20 ของก๊าซมีเทนในชั้นบรรยากาศทั้งหมด และก๊าซมีเทนยังมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 เท่า

3) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide: N₂O) ปกติมีอยู่ในธรรมชาติจากมหาสมุทรและการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตในดินโดยแบคทีเรีย แต่ที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบันเนื่องมาจากเกษตรกรรม (จากการใส่ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ) และอุตสาหกรรมที่ใช้กรดไนตริกในกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมผลิตเส้นใยไนลอน อุตสาหกรรมเคมีและพลาสติกบางชนิด นอกจากนี้ยังเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลและวัสดุอินทรีย์อื่นๆ ไนตรัสออกไซด์ยังถูกนำไปใช้โดยตรง ได้แก่ ใช้เป็นตัวเร่งละอองของเหลว (Aerosol) และยานำสลบ (Tranquilizer) ซึ่งเมื่อก๊าซไนตรัสออกไซด์ลอยขึ้นสู่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์จะทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซน ทำให้เกราะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของโลกลดน้อยลง และไนตรัสออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 298 เท่า และคงอยู่ในบรรยากาศเป็นเวลา 114 ปี

4) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (Hydrofluorocarbon: HFC) ถูกนำมาใช้ประโยชน์สำหรับเป็นตัวทำความเย็นสำหรับเครื่องปรับอากาศ (ในบ้าน รถ สำนักงาน ฯลฯ) นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารขยายตัวของโฟม ตัวทำละลาย สารสำหรับการดับเพลิง และตัวเร่งละอองของเหลว (Aerosol) มีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดถึง 14,800 เท่า ขึ้นอยู่กับประเภทและมีอายุคงอยู่ในบรรยากาศสูงสุดถึง 270 ปี

5) ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (Perfluorocarbon: PFC) เป็นก๊าซสังเคราะห์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท โดยกลุ่มก๊าซฟลูออรีนสามารถนำมาใช้แทนก๊าซคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon: CFCs) ซึ่งเป็นสารที่ใช้อยู่ในปรับอากาศ ตู้เย็น สเปร์ย และน้ำยาดับเพลิง

6) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (Sulfur Hexafluoride: SF₆) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุดจากการประเมินของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) และมีอายุในบรรยากาศ 3,200 ปี ก๊าซนี้ถูกนำไปใช้ในด้านต่างๆ เช่น ยางรถยนต์ ฉนวนไฟฟ้า การผลิตสารกึ่งตัวนำไฟฟ้า อุตสาหกรรมแมกนีเซียม เป็นต้น

7) ก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF₃) ก๊าซไนโตรเจนไม่ได้เกิดขึ้นตามธรรมชาติ แต่ภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ใช้ในกระบวนการผลิต โดยใช้ทำความสะอาดห้อง (Chamber) ที่ใช้สำหรับการให้อิสรเคมีเกาะติดบนแก้วหรือซิลิคอนเวฟเฟอร์ และก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ยังมีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 17,200 เท่า

ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2562 ของ ClimateWatch (2022) รายงานว่าประเทศไทยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 437.18 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (MtCO₂e) โดยภาคพลังงานมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดที่ 265.30 MtCO₂e รองลงมาคือภาคอุตสาหกรรม 78.49 MtCO₂e ภาคเกษตร 65.51 MtCO₂e ภาคป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดิน 15.10 MtCO₂e และภาคของเสีย 12.79 MtCO₂e ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ความเข้มข้นของ CO₂ ในชั้นบรรยากาศโลกเพิ่มขึ้น เนื่องจากธรรมชาติสามารถดูดซับ CO₂ ที่ถูกปล่อยออกมาได้เพียง 60% ของปริมาณการปล่อย CO₂ ทั้งหมด ทำให้ปรากฏการณ์เรือนกระจกมีความรุนแรงขึ้นก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนที่สูงขึ้นและสภาพภูมิอากาศของโลกมีการเปลี่ยนแปลง โดยในภาคการเกษตร สาเหตุที่สำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติและกิจกรรมทางการเกษตรตั้งแต่การเตรียมพื้นที่ปลูกจนเก็บเกี่ยวผลผลิตซึ่งเป็นกิจกรรมที่กระตุ้นให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไนตรัสออกไซด์ ไปสู่ชั้นบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามภาคการเกษตรยังมีบทบาทที่สำคัญในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตร เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับดินโดยตรง ประกอบกับดินเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีมากกว่าถึง 2 เท่า ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดินเพียงเล็กน้อยส่งผลต่อการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาพรวม ด้วยเหตุนี้พื้นที่เกษตรจึงเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกได้ (วิชิตา, 2564)

2.2 วงจรของคาร์บอน (carbon cycle)

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องการธาตุคาร์บอน (C) เพราะเป็นองค์ประกอบหลักในสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิด คาร์บอนหมุนเวียนระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ซึ่งมีอยู่ประมาณ 0.04 เปอร์เซ็นต์ และในน้ำซึ่งอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อิสระหรือรูปของ ไบคาร์บอเนต ในระบบนิเวศพืช และจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์มาเก็บสะสม ในรูปสารประกอบอินทรีย์โดยกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งจะถูกถ่ายทอดไปยังสัตว์โดยการกินในที่สุด ทั้งพืชและสัตว์จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศด้วยการหายใจ และบางส่วนที่ยังคงอยู่ใน รูปของเนื้อเยื่อพืชและสัตว์จะมีการหมุนเวียนกลับสู่บรรยากาศใหม่หลังจากพืชและสัตว์ตาย และมีการย่อย สลายเกิดขึ้น นอกจากนี้บางส่วนที่ไม่ย่อยสลายก็ทับถมกันเป็นเวลานานกลายเป็นถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซ เมื่อมนุษย์นำมาใช้เกิดการเผาไหม้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คืนสู่บรรยากาศ ดังนั้น ธาตุคาร์บอนจึงหมุนเวียนอยู่ในระบบนิเวศอย่างสมดุล (Sarmiento and Gruber, 2002)

2.3 สมดุลคาร์บอนในดิน

สมดุลคาร์บอน หมายถึงสภาวะที่คาร์บอนในระบบมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารขาเข้า (Carbon input) และสารขาออก (Carbon output) ในปริมาณคงที่ หรืออยู่ในระดับที่ไม่ทำให้สมดุลเดิมของคาร์บอนในระบบเปลี่ยนแปลง แหล่งที่มาของคาร์บอนในดินส่วนใหญ่มาจากเศษซากพืชและสัตว์รวมถึงการหมุนเวียนของรากพืช สารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมาทางราก (Root exudation) และเซลล์ของจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงสมดุลคาร์บอนในระบบเกี่ยวข้องกับ 2 กระบวนการหลักที่สำคัญ คือ การสังเคราะห์แสง และการหายใจ เริ่มจากการที่พืชดูดใช้คาร์บอนในรูปของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ ในรูป ของน้ำตาล แป้ง และสารประกอบอื่นที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อพืชถูกสัตว์กินเป็นอาหาร คาร์บอนในส่วนของต้นพืชจะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ ทั้งพืชและสัตว์ก็จะมีการปลดปล่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา โดยผ่านกระบวนการหายใจภายในเซลล์ที่มีการสลายน้ำตาลเพื่อสร้าง พลังงาน เมื่อพืชหรือสัตว์นั้นตายลงและถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะกลับสู่ บรรยากาศอีกครั้งและถูกดูดใช้โดยพืชอื่นอีกเป็นวัฏจักรไปเรื่อย ๆ (Houghton and Hackler, 2001)

2.4 การกักเก็บคาร์บอนในดิน (Soil carbon sequestration)

ดินเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนขนาดใหญ่ และมีบทบาทสำคัญต่อการหมุนเวียนและกักเก็บคาร์บอน โดยทำหน้าที่เป็นทั้งแหล่งให้ (sources) และแหล่งรับ (sinks) ของคาร์บอนที่เชื่อมกับบรรยากาศ คาร์บอนในดินอยู่ในรูปสารอินทรีย์ (soil organic carbon, SOC) และอนินทรีย์ (soil inorganic carbon, SIC) ความสมดุลระหว่างการใส่สารอินทรีย์หรือวัสดุอินทรีย์ลงสู่ดิน และการสูญเสียอินทรีย์คาร์บอนจากดินในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลต่อการสะสมคาร์บอนในดิน เมื่อมีการใส่สารอินทรีย์สู่ระบบดิน หลังจากนั้นสิ่งมีชีวิตและจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดินจะเข้าย่อยสลาย (decomposition) เกิดเป็นอินทรีย์คาร์บอนทั้งส่วนที่เป็นชิ้น (particulate organic carbon) ฮิวมัส (humus) และส่วนที่ต้านทานการสลายตัว (resistant organic carbon) กระบวนการย่อยสลายเป็นการเปลี่ยนรูปจากอินทรีย์เป็นอนินทรีย์ เรียกว่า กระบวนการมิเนอรัลไลเซชัน (mineralization) ทำให้ธาตุอาหารปลดปล่อยสู่ดินและเกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ ในทางกลับกันธาตุอาหารในรูปอนินทรีย์ในดินถูกดูดใช้โดยจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการสร้างมวลชีวภาพ เรียกว่า กระบวนการอิมโมบิไลเซชัน (immobilization) กระบวนการดังกล่าว ส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารในดิน อีกทั้งขึ้นอยู่กับ การสูญเสียโดยการชะล้าง (leaching) และการดูดใช้ของพืชเพื่อเพิ่มมวลชีวภาพของพืชและร่วมสู่ระบบดินอีกครั้ง

ซึ่งการกักเก็บคาร์บอนในดินเป็นวิธีการที่มีศักยภาพสูงในการลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกและฟื้นฟูคุณภาพดิน อย่างไรก็ตาม ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในดินเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งเกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดินและการจัดการดิน (Zhang *et al.*, 2012) Grant *et al.* (2001) พบว่าการใช้วิธีการจัดการดินผสมผสานหลายวิธีร่วมกัน เช่น การลดการไถพรวน การปลูกพืชหมุนเวียน การใส่วัสดุอินทรีย์และการปลูกพืชคลุมดิน มีประสิทธิภาพต่อการเก็บสะสมคาร์บอนในดินมากกว่าการจัดการดินด้วยวิธีใดเพียงวิธีเดียว

ข้อมูลการสำรวจและจัดทำแผนที่ปริมาณคาร์บอนในดินที่ผ่านมา ประเทศไทยมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 0.25-17.26% (ยุทธศาสตร์ และคณะ, 2556) พื้นที่ภาคเหนือส่วนใหญ่มีระดับการกักเก็บคาร์บอนสูง (12-16 ตันต่อไร่) คิดเป็นพื้นที่ 40.02 ล้านไร่ การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลักที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พบว่าพื้นที่ปลูกข้าวมีการจัดการพื้นที่นาตามวิถีเกษตรกรปฏิบัติ มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน 2-4 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีการจัดการพื้นที่

โดยไถพรวนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี มีการกักเก็บคาร์บอนในดิน 0.16-8.22 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี พื้นที่ปลูกอ้อยที่จัดการตามวิธีเกษตรกร มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน 1.5-5.93 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี ส่วนพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง มีการกักเก็บคาร์บอนในดิน 1.18-6.7 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี พื้นที่ปลูกยางพารา มีปริมาณคาร์บอนในดิน 0.35-7.75 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี และพื้นที่เพาะปลูกพืชผัก มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน 0.30-1.25 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี หากมีการจัดการเพิ่มอินทรีย์วัตถุสามารถเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ 4.61-10.5 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี

วิจิตา (2564) ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดินที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในระบบเกษตรอินทรีย์ ในชุดดินบางเขน ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ในระยะเวลา 4 ปี ในปี พ.ศ. 2558 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บลงสู่ดินเฉลี่ย 635.2 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ และในปี พ.ศ. 2561 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บลงสู่ดินเฉลี่ย 848 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่

ณิชาภัทร (2562) ศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อสมบัติและการกักเก็บคาร์บอนในดินบนพื้นที่สูง อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพในอัตราตั้งแต่ 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง ในขณะที่ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน การนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการนำถ่านชีวภาพมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินเป็นแนวทางหนึ่งที่จะเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและยังสามารถเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้มากกว่าการไถกลบตอซึ่ง ซึ่งสามารถเก็บกักคาร์บอนในดินได้ถึง 45 เปอร์เซ็นต์

พุทธรักษ์ และคณะ (2562) ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดินในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแตกต่างกัน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนในดิน พบว่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินเฉลี่ยของทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินมีค่าสูงสุดที่ชั้นดินบน 0-10 เซนติเมตร และลดลงตามความลึกของดิน โดยปริมาณคาร์บอนสะสมในดินมีค่าสูงสุดในพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสอง ($128.17 \text{ tC ha}^{-1}$) รองลงมา คือ พื้นที่ป่าพื้นที่ด้วยไม้สัก (86.17 tC ha^{-1}) พื้นที่ยางพาราทั้งร้าง (79.36 tC ha^{-1}) และพื้นที่ยางพารา (48.42 tC ha^{-1}) และพบว่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดินและความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่นรวมของดิน

สุนิสา และธวัชชัย (2561) ศึกษาผลของการไถพรวนที่มีต่อปริมาณคาร์บอนที่เก็บสะสมในดินและผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หวานลูกผสม โดยใช้รูปแบบการไถพรวนที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณคาร์บอนที่เก็บสะสมในดินที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตรของการไม่ไถพรวน มีค่าสูงสุด 3.86 ตันต่อไร่ รองลงมา คือ การไถแปรครั้งเดียว การพรวนซ้ำ 1 ครั้ง และพรวนซ้ำ 2 ครั้ง เท่ากับ 3.70, 3.47 และ 3.14 ตันต่อไร่ ตามลำดับ อินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอน ที่ไม่ไถพรวน มีค่าสูงสุด เท่ากับ 1.48% และ 0.860% ตามลำดับ

วสันต์ และคณะ (2563) ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในสังคมพืชป่าไม้ชนิดต่างๆ โดยปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตรมากกว่าความลึก 15-30 เซนติเมตร ซึ่งป่าเบญจพรรณมีการกักเก็บคาร์บอนในดินมากที่สุด 50.50 ตันต่อเฮกตาร์ ป่าดิบแล้ง 45.34 ตันต่อเฮกตาร์ ส่วนป่าเต็งรังและสวนป่ายูคาลิปตัส มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินรวมเท่ากับ 35.51 และ 29.28 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ

บรรเจิดลักษณ์ และ รติกร (2561) ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพ เพื่อเพิ่มคาร์บอนในดินและเพิ่มผลผลิตพืชผักอินทรีย์ในดินที่เป็นกรด ซึ่งการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ ทำให้ปริมาณคาร์บอนในดินสูงที่สุด เท่ากับ 1.87 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่การใช้ถ่านชีวภาพ 2, 1 ตันต่อไร่ และ 500 ตันต่อไร่ ตามลำดับ มีปริมาณคาร์บอนในดินเท่ากับ 1.4, 1.24 และ 1.12 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน

ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในดินเกิดจากความสมดุลระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ใส่ลงสู่ดิน และที่สูญเสียไป ความสมดุลของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินถูกควบคุมโดย ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ สมบัติดิน และการจัดการดินและการใช้ที่ดิน ดังนี้

1) ภูมิอากาศ สภาพภูมิอากาศในรูปของอุณหภูมิและความชื้นมีอิทธิพลต่อสมดุลของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินทั้งในส่วนของ การเพิ่มเติมและสูญเสียของอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยอุณหภูมิและความชื้นส่งผลต่ออัตราการหายใจของจุลินทรีย์ในดินหรือการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาพที่อุณหภูมิสูงทำให้มีอัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์สูง โดยคาร์บอนในส่วนที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายจะสูญหายไปในรูปแบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ทำให้มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมในดินต่ำ (Canadell *et al.*, 2007) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชจะส่งผลให้พืชมีมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ในเขตอบอุ่นและชื้นจะส่งเสริมกิจกรรมจุลินทรีย์ต่อการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ทำให้มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนหลงเหลือในดินต่ำ ในขณะที่ดินที่อยู่ในสภาพอากาศเย็นทำให้อัตราการสลายตัวเกิดขึ้นได้ช้า ส่งผลให้มีส่วนของอินทรีย์คาร์บอน สะสมในดินสูงกว่าเมื่อเทียบกับดินในเขตอบอุ่น

2) ลักษณะและสมบัติดิน

(1) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน มีบทบาทต่อการควบคุมประสิทธิภาพของกิจกรรมจุลินทรีย์ในดิน โดยการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุในดินจะเกิดขึ้นได้ดีและรวดเร็วในสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เท่ากับ 6.7 โดยความสมดุลของทั้งประจุไฮดรอกซิล และไฮโดรเจนเป็นตัวที่ควบคุมการหายใจของจุลินทรีย์ในดิน (Xiao, 2015) ที่มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียคาร์บอนในรูปแบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดินที่อยู่ภายใต้สภาพเป็นกรดหรือมีการเพิ่มปุ๋ยจำพวกแอมโมเนียจะเร่งการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ในดินส่งผลต่อปริมาณการสะสมคาร์บอนในดิน นอกจากนี้ การเพิ่มวัสดุอินทรีย์ที่มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ควบคู่กับการทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดส่งผลให้ดินมีปริมาณการสะสมคาร์บอนเพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพดินที่เป็นกรดทำให้จุลินทรีย์ในดินดำเนินกิจกรรมการเข้าย่อยสลายสารอินทรีย์ได้น้อยลงจึงทำให้วัสดุอินทรีย์หลงเหลืออยู่ในดิน (Dalal and Chan, 2001)

(2) อันดับดิน ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินมีความผันแปรไปตามความลึกและประเภทของดิน โดยทั่วไปปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินมีค่าลดลงเมื่อดินมีความลึกเพิ่มขึ้นตลอดหน้าตัดดิน แต่อย่างไรก็ตาม จากผลงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมา พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินมีปริมาณ การสะสมคาร์บอนสูงชันที่มีความลึกมากกว่า 50 เซนติเมตร จากผิวดิน โดยเฉพาะกลุ่มอันดับ เวอร์ทิซอลส์ที่มีลักษณะดินที่ยึดหดตัวได้ดี (Baldock and Skjemstad, 1999) จะเห็นว่า ความลึกดิน ไม่ได้เป็นเพียงปัจจัยเดียวที่ประเมินถึงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน แต่ยังขึ้นอยู่กับประเภทของดินซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามปัจจัยการกำเนิดดิน Moncharoen *et al.* (2002) ศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมในดินตามอันดับต่างๆในประเทศไทย พบว่า ดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมในดินตามอันดับต่างๆในประเทศไทย พบว่า มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมสูงสุดในอันดับฮิสโทซอลส์ รองลงมาเป็นเอ็นทิซอลส์ และอันดับอินเซปติซอลส์ ส่วนอันดับออกซิซอลส์ มีแนวโน้มของการสะสมอินทรีย์คาร์บอนต่ำสุด

(3) เนื้อดิน เนื้อดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์หรืออินทรีย์วัตถุในดินทรายเกิดขึ้นเร็วกว่าดินเหนียว ในเนื้อดินเหนียวมีปริมาณอนุภาคนาโนดินเหนียวสูงมีความสามารถในการรักษาคาร์บอนได้ดีกว่าเนื้อดินทรายที่มีปริมาณอนุภาคนาโนดินเหนียวต่ำ โดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมในดินเพิ่มขึ้นตามปริมาณของอนุภาคนาโนดินเหนียวที่เพิ่มขึ้น (Follett *et al.*, 2012)

(4) ความหนาแน่นรวมของดิน มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของน้ำและออกซิเจนในดินซึ่งส่งผลต่อการย่อยสลายของอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยการหายใจของจุลินทรีย์ดินหรือการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นได้สูงสุดในดินที่มีสภาพความชื้นประมาณร้อยละ 50-75 ของช่องว่างในดิน และค่าดังกล่าวบ่งชี้ถึงสภาพของน้ำในดิน ซึ่งถูกควบคุมด้วยปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุในดิน ความหนาแน่นรวมเท่ากับ 1.0 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นค่าที่ส่งเสริมให้สภาพการระบายอากาศในดินนั้นดีเกินไป ซึ่งไม่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ทำให้เกิดการสลายตัวได้ช้าส่งผลให้ดินมีปริมาณคาร์บอนในวัสดินอินทรีย์ที่หลงเหลือและสะสมในดินเพิ่มขึ้น ในขณะที่ดินมีความหนาแน่นรวมของดิน 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งเป็นค่าที่คาดว่าจะมีความเหมาะสมต่อการเกิดกิจกรรมจุลินทรีย์ในการเข้าย่อยสลายตัวทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์วัตถุในดินได้ง่ายส่งผลให้ปริมาณบางส่วนโดยเฉพาะคาร์บอนในส่วนที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายสูญหายไปและมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมในดินลดลง

(5) องค์ประกอบของแร่ในดิน มีความสำคัญที่บ่งชี้ถึงปริมาณของคาร์บอนที่กักเก็บในดิน แร่ดินเหนียวเป็นองค์ประกอบของดินที่มีบทบาทสำคัญในการรักษาเสถียรภาพของคาร์บอนในดิน ดินที่มีแร่ดินเหนียวที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะและประจุไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบอยู่สูงจะส่งเสริมให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินสูง (Zeraatpishe and Khormali, 2012)

3) การจัดการดินและการใช้ที่ดิน จากอดีตจนถึงปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์ทางดินได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับศักยภาพของระบบทางการเกษตรต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน โดยประเภทหรือความหลากหลายและการจัดการดินในระบบการเกษตรมีผลทั้งทางตรง และทางอ้อมต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินมีความสัมพันธ์และแตกต่างกันไป

(1) การตัดไม้ทำลายป่า และการกร่อนดิน ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ไม่ได้ทำการเกษตรหรือดินป่าไม้ มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อทำการเกษตร เนื่องจากการตัดไม้ทำลายป่าทำให้มีปริมาณมวลชีวภาพของเศษซากพืชถูกทำลายหรือกลับสู่ระบบดินน้อย ประกอบกับเกิดการสลายตัวสารอินทรีย์และอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นในระบบการปลูกพืช ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในระบบการปลูกพืชมีปริมาณต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบการปลูกพืชตามธรรมชาติ นอกจากนี้ การกร่อนดินเป็นสาเหตุหลักของกระบวนการของความเสื่อมโทรมของที่ดิน ซึ่งพิจารณาจากการสูญเสียอินทรีย์คาร์บอนไปจากระบบดิน โดยกระบวนการกร่อนดินส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยเฉพาะบริเวณผิวดินลดลงอย่างมาก

(2) การไถพรวน เป็นกิจกรรมที่รบกวนดินส่งผลทำให้เกิดกระบวนการสูญเสียอินทรีย์คาร์บอนไปจากดินได้ง่ายผ่านกิจกรรมการเข้าย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดิน การจัดการดินทางการเกษตรแบบไม่ไถสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยดินที่ไม่ได้ถูกรบกวนนั้นเกิดโครงสร้างดินหรือเม็ดดินที่ดีและมีบทบาทต่อการป้องกันคาร์บอนไว้ ระบบการเกษตรที่ไม่มีการไถพรวนส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยเฉพาะบริเวณผิวดิน การเพิ่มคาร์บอนในดินดังกล่าวนี้สัมพันธ์กับการเกิดเม็ดดิน ดังนั้น เพื่อให้มีการสะสมคาร์บอนไว้ในดินอย่างต่อเนื่องควรมีการจัดการดินแบบไม่ไถพรวนหรือมีการไถน้อยที่สุด หรือการไถแบบเชิงอนุรักษ์ ซึ่งรูปแบบการไถต่างๆ ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในดิน การจัดการดินโดยการไถพรวนส่งเสริมต่อการเร่งอัตราการสลายตัวของอินทรีย์คาร์บอนในดินเนื่องจากจุลินทรีย์ในดินสามารถเข้าย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้เพิ่มมากขึ้น การลดการไถพรวนหรือไม่มีการไถพรวนควบคู่กับการเพิ่มเศษซากพืชสู่ดินทำให้ดินมีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินเพิ่มสูงกว่าการไถพรวน นอกจากนี้ การจัดการดิน เช่น การใส่ปุ๋ย การจัดการชลประทาน และการใช้วัสดุอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก และมูลสัตว์) ทำให้ดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้น

(3) การปลูกพืชคลุมดิน และพืชหมุนเวียน การทำการเกษตรที่มีระบบการปลูกพืชคลุมดิน และพืชหมุนเวียนเป็นระบบการปลูกที่มีพืชหลากหลายส่งผลให้ดินมีปริมาณการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินได้สูง

กว่าดินที่มีระบบการปลูกพืชเชิงเดี่ยว โดยการทำการเกษตรแบบระบบการปลูกพืชหมุนเวียน และพืชคลุมดิน ทำให้เพิ่มมวลชีวภาพสู่ดิน ป้องกันการกร่อนดิน สร้างความเสถียรภาพของเม็ดดินส่งผลให้มีปริมาณการสะสมคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น และระบบดังกล่าวสามารถที่จะกักเก็บคาร์บอนในดินได้ประมาณ 0.7 - 1.5 และ 1.7 - 2.4 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ต่อปี

(4) การใช้วัสดุปรับปรุงดิน การเพิ่มคาร์บอนให้กับดินจากแหล่งคาร์บอนภายนอกได้แก่ มูลสัตว์ ปุ๋ยหมักและวัสดุอินทรีย์ต่างๆ ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนให้กับดิน

(5) การใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ในอัตราที่เหมาะสมและตรงตามความต้องการของพืชปลูกส่งผลทำให้เพิ่มมวลชีวภาพของพืช การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในดินส่งผลให้มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.5 แต่ในขณะเดียวกัน หากมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่มากเกินไปโดยเฉพาะในช่วงที่มีการใส่เศษซากพืชหรือวัสดุอินทรีย์ ส่งผลให้ดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลง

2.5 โลหะหนัก

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน เนื่องจากมีกิจกรรมหลายประเภทที่เป็นแหล่งกำเนิดและนำโลหะหนักมาใช้กันมาก เช่น ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม ส่วนใหญ่โลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน เช่น สารหนู (As) โคบอลต์ (Co) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu)ปรอท (Hg) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) (กรมวิชาการเกษตรและสหกรณ์, 2548) โลหะหนักสามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิต โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหารแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม เมื่อมนุษย์ได้รับจะเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อ ทำให้เกิดอันตรายอาจพิการหรือเสียชีวิตได้ ด้วยเหตุนี้ จึงมีการศึกษาเพื่อหาวิธีที่ถูกต้องในการจัดการโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินมีหลายวิธี เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) การเผาไหม้ (incineration) การระเหย (volatilization) การดูดซับโดยใช้ความร้อน (thermal adsorption) และการใช้วิธีทางชีวภาพ (biological techniques) แต่วิธีดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยาก ซับซ้อน และค่าใช้จ่ายสูง จึงได้มีการศึกษาการบำบัดโลหะหนักโดยใช้พืชซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การดูดซับและการสะสมของตะกั่วในพืช 26 สายพันธุ์ มีพืชสายพันธุ์ต่างๆ ที่สามารถสะสมสารตะกั่วไว้ได้โดยไม่ได้รับอันตรายและพืชที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดโลหะหนัก ได้แก่ พืชจำพวกข้าวโอ๊ต ข้าวบาเลย์ ทานตะวัน หญ้า และอื่นๆ (ดวงกมล และชมพูช, 2556) นอกจากนี้ยังพบว่า หญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพดินที่มีโลหะหนัก จึงมีการนำหญ้าแฝกมาปลูกเพื่อใช้บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทและดูดซับโลหะหนักจากดิน ได้แก่ การปลูกหญ้าแฝกรอบขอบบ่อบำบัดน้ำทิ้งเพื่อให้หญ้าแฝกช่วยดูดซับโลหะหนักบางชนิด การปลูกหญ้าแฝกเพื่อดูดซับโลหะหนักจากดิน การปลูกหญ้าแฝกแล้วให้น้ำทิ้งไหลผ่านในอัตราที่ไหลที่เหมาะสม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

Zarcinas *et al.* (2004) ศึกษาปริมาณของโลหะหนักในดินของประเทศไทย พบปริมาณสารหนูเฉลี่ย 7.5 mg/kg โดยพบอยู่ในช่วง 0.08-124 mg/kg ซึ่งร้อยละ 95 ของตัวอย่างดิน มีสารหนูต่ำกว่า 29 mg/kg นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารหนูในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณเหล็กและอลูมิเนียม แสดงว่าสารหนูในดินส่วนหนึ่งมาจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีเหล็กและอลูมิเนียมอยู่ด้วย ยุพา และอรรธรณ (2561) รายงานว่ามีการปนเปื้อนของอาสินิกในดินที่ใช้ทำการเกษตรในเขตภาคเหนือของประเทศไทยอย่างแพร่หลายมากกว่าโลหะหนักชนิดอื่น ดังนั้นจึงมีความเสี่ยงสูงที่จะปนเปื้อนในห่วงโซ่อาหารและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน จากรายงานการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในดินของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง 39 ศูนย์ โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง ในระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 จำนวน 710 ตัวอย่าง พบว่า ร้อยละ 71 ของตัวอย่างดิน มีปริมาณอาสินิกสูงกว่าค่ามาตรฐาน (3.9 mg/kg) ในดินที่มีการปลูกพืชเชิงพาณิชย์ของเกษตรกรบนพื้นที่สูง โดยบางพื้นที่ตรวจพบความเข้มข้นของอาสินิกในดินสูงสุด 783 mg/kg

การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนสารมลพิษ เช่น โลหะหนัก ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ลักษณะหรือสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ปนเปื้อน สมบัติหรือลักษณะของดินที่ปนเปื้อน เช่น พีเอชหรือสภาพรีดอกซ์ ชนิดหรือปริมาณของสารมลพิษในดินหรือตะกอน แนวทางหลักสำหรับการบำบัดสามารถแบ่งเป็น 2 วิธี คือ การบำบัดภายในพื้นที่ (in situ) และการบำบัดภายนอกพื้นที่ (ex situ) (Peng *et al.*, 2009) จุดประสงค์หลักของการบำบัดในพื้นที่ส่วนใหญ่มักเป็นการเพิ่มความคงสภาพของสารมลพิษหรืออาจเป็นการเคลื่อนย้ายสิ่งปนเปื้อนโดยการใช้พืชบำบัด (phytoremediation) ข้อดี คือ กระบวนการไม่ยุ่งยากและต้นทุนค่อนข้างต่ำแต่การบำบัดด้วยวิธีนี้ก็ยังมีข้อเสียอยู่เนื่องจากเป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงสภาพการละลายของสิ่งปนเปื้อนให้อยู่ในรูปที่มีการละลายต่ำและไม่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม จึงไม่ได้เป็นการกำจัดสารมลพิษที่แท้จริงและอาจมีการปลดปล่อยสู่สภาพแวดล้อมอีกครั้งเมื่อสภาพแวดล้อมที่ถูกบำบัดถูกเปลี่ยนแปลงไป ส่วนการบำบัดภายนอกพื้นที่มักเป็นการสกัดหรือแยกสารมลพิษออกจากตัวตะกอนหรือวัสดุด้วยวิธีทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพ ข้อดี คือ สามารถกำจัดโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายออกเกือบทั้งหมดแต่มีข้อเสีย คือ ต้นทุนในการบำบัดที่มีค่าใช้จ่ายที่สูง ซึ่งไม่เหมาะสมกับพื้นที่ปนเปื้อนที่มีพื้นที่กว้าง

ชูชาติ และคณะ (2559) ได้ศึกษาและทดสอบเทคโนโลยีการลดปริมาณโลหะหนักในดินบนพื้นที่สูงประกอบด้วย (1) การคัดเลือกชนิดพืชที่มีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักอาซีนิก ดำเนินการในแปลงปลูกพืชที่ตรวจพบปริมาณอาซีนิกสูงเกินค่ามาตรฐาน พบว่า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เลี้ยงสัตว์สามารถดูดอาซีนิกออกจากดินสูงสุด 2.66 กรัมต่อไร่ รองลงมาคือ ทานตะวัน 2.12 กรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่ทำให้ความเข้มข้นของอาซีนิกลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ได้ปลูกพืชดูดซับ (2) การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียเปรียบเทียบกับ 3 ไอโซเลทต่อความสามารถในการลดความเป็นพิษของอาซีนิกในดิน โดยทดสอบร่วมกับวิธีการใส่ปูนและไม่ใส่ปูน เพื่อปรับค่า pH ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย พบว่า การใช้แบคทีเรียไอโซเลท Ars. 29 ร่วมกับการใส่ปูนทำให้ปริมาณอาซีนิกลดลงสูงสุด 12.69% (3) การศึกษาและทดสอบวิธีการใช้พืชดูดซับสาร (ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เลี้ยงสัตว์) ร่วมกับการใช้จุลินทรีย์เพื่อลดอาซีนิกในดิน พบว่าทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันแต่การใช้แบคทีเรียไอโซเลท Ars. 29 คลุกดินก่อนปลูกผักกาดขาวปลี ช่วยลดการดูดอาซีนิกเข้าไปในส่วนลำต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (4) การศึกษาและทดสอบวิธีการกำจัดพืชดูดซับอาซีนิกด้วยการนำต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เลี้ยงสัตว์ที่ดูดซับอาซีนิกในดินแล้วมาทำให้แห้ง จากนั้นบดอัดและปั้นเป็นรูปเม็ดซีเมนต์ โดยผสมพืชและผงซีเมนต์สัดส่วน 1:3 สรุปได้ว่าวิธีการนี้สามารถกักเก็บอาซีนิกในพืชดูดซับได้

ธัญพร และพิสิษฐ์ (2557) ศึกษาการดูดซับสารหนูในดินที่ปนเปื้อนโดยหญ้ากีนีสีม่วง พบว่าหญ้างา กีนีสีม่วงสามารถมีชีวิตได้ตลอด 90 วันที่ความเข้มข้นของสารหนูต่ำกว่า 50 mg/kg มีการสะสมสารหนูในส่วนรากสูงกว่าในต้นและใบ มีค่า 13.88-66.87 mg/kg ในส่วนลำต้นและใบ เท่ากับ 5.36-15.85 mg/kg และนำไปทดลองปลูกในดินท่ายเหมืองซึ่งมีสารหนูในดินเท่ากับ 153.02 mg/kg พบว่าสามารถเจริญเติบโตได้ดี มีการสะสมในส่วนราก เท่ากับ 10.574-28.78 mg/kg และในส่วนลำต้น เท่ากับ 1.28-6.21 mg/kg

เบญจกรณ์ และจิรวีรุ (2559) ใช้แบคทีเรียต้านทานแคดเมียมร่วมกับต้นยี่ห่วยในการฟื้นฟูปื้นที่ปนเปื้อน โดยพบว่า แพลงทดลองที่มีการเติม *Arthrobacter* sp TM6 ช่วยส่งเสริมให้ยี่ห่วยมีการสะสมแคดเมียมได้เพิ่มขึ้นทั้งในส่วนรากและส่วนยอดเปรียบเทียบกับแปลงควบคุม ซึ่งผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ *Arthrobacter* sp TM6 ร่วมกับพืชเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการฟื้นฟูปื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียม

Xiu *et al.*, (2012) ได้ศึกษาการสะสมของแคดเมียมและสังกะสีในต้นทานตะวันที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมและสังกะสี โดยใช้สารปรับปรุงดินที่แตกต่างกัน ได้แก่ มูลสุกร กรดซาลิไซลิก และโปรแตสเซียมคลอไรด์ ผลการทดลองพบว่า การใช้สารปรับปรุงดินทั้ง 3 ชนิดทำให้ความสูงของทานตะวันเพิ่มขึ้น เส้นผ่านศูนย์กลาง

ของดอก และน้ำหนักเพิ่มขึ้น และการใช้มูลสุกรช่วยให้การสะสมของแคดเมียมและสังกะสีในต้นทานตะวันลดลง และค่าความสามารถของพืชในการดึงดูดโลหะหนักจากดินสู่พืชลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามการใช้โปรแตสเซียมคลอไรด์เป็นสารปรับปรุงดินจะลดปริมาณแคดเมียมต่อสังกะสีในดอกทานตะวัน

Hongzhi et al. (2017) ศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพที่ทำจากหญ้าเนเปียร์ใช้ในการบำบัดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินปลูกผักกวางตุ้ง พบว่าการเติมถ่านชีวภาพสามารถทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง และการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และปริมาณแคดเมียมที่ดึงดูดด้วยพืชลดลง โดยลดลงมากที่สุด 66 เปอร์เซ็นต์จากการเติมถ่านชีวภาพ 5 เปอร์เซ็นต์ที่เตรียมในอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่าถ่านชีวภาพที่ทำจากหญ้าเนเปียร์มีศักยภาพในการแก้ไขปัญหาดินปนเปื้อนแคดเมียมได้ โดยสามารถยับยั้งการเคลื่อนที่ของแคดเมียมในพืชจากส่วนใต้ดินไปยังส่วนเหนือดินได้

ดารารกร และคณะ (2562) ได้ทดสอบวิธีการลดการปนเปื้อนโลหะหนักอาซีนิกในดิน โดยใช้แบคทีเรียไอโซเลท Ars 29 และ FeSO_4 เป็นสารตรึงโลหะหนักในดิน พบว่า ดินปลูกมะเขือเทศ พบอาซีนิกในรูปอาซีนิกทั้งหมด รองลงมาในรูปที่เสถียรจับกันอย่างแข็งแรง ส่วนอาซีนิกที่ละลายน้ำได้ดีและอาซีนิกที่จับตัวกันอย่างหลวมๆ พบปริมาณเพียงเล็กน้อย ในส่วนของพืชพบอาซีนิกในส่วนของรากมากที่สุด 3.19 mg/kg และลำต้นเพียง 0.1 mg/kg ส่วนผลผลิตมะเขือเทศไม่พบปริมาณอาซีนิก ในดินปลูกกะหล่ำปลี พบอาซีนิกในรูปอาซีนิกทั้งหมด รองลงมาในรูปที่เสถียรจับกันอย่างแข็งแรงมากที่สุด ส่วนอาซีนิกที่ละลายน้ำได้ดีและอาซีนิกที่ละลายน้ำได้จับตัวกันอย่างหลวมๆ พบปริมาณเพียงเล็กน้อย ในส่วนของพืช พบว่า อาซีนิกในรูปอาซีนิกทั้งหมดในส่วนของรากและหัวกะหล่ำปลี ลดลง มีค่า 0.60 mg/kg และ 0.32 mg/kg ตามลำดับ

ดารารกร และคณะ (2563) ได้ศึกษาและทดสอบชนิดพืชผักที่มีความเสี่ยงในการดูดซับอาซีนิกและแคดเมียมในดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักบนพื้นที่สูงจากการเก็บตัวอย่างพืชผัก จำนวน 21 ชนิด (ผักใบ ผักผล ผักกินหัว) พบว่าการปนเปื้อนอาซีนิกในพืช ไม่เกินค่ามาตรฐานการปนเปื้อนโลหะหนักในพืช ส่วนใหญ่จะพบการสะสมในส่วนของรากทั้งในผักใบ ผักผล และผักกินหัว มีเพียงรากต้นมะเขือเทศโหม้สและรากกวางตุ้งเท่านั้นที่เกินค่ามาตรฐาน ส่วนการปนเปื้อนแคดเมียมในพืชไม่เกินค่ามาตรฐาน พบการสะสมในรากและลำต้นของผักผล และพืชที่มีแนวโน้มในการดูดซับอาซีนิกและแคดเมียม ได้แก่ ผักกาดหวาน ผักกวางตุ้ง และเบบี่ฮ่องเต้

ตารางที่ 1 มาตรฐานของโลหะหนักในดิน

โลหะหนัก	มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ^{1/}	ระดับเกณฑ์พื้นฐานโลหะหนักในดิน ^{2/}	ระดับเกณฑ์พื้นฐานโลหะหนักในดิน ^{3/}
		(มก./กก.)	
1. สารหนู	3.9	-	30
2. แคดเมียม	37	3	0.15
3. ปรอท	23	1	0.1
4. ตะกั่ว	400	100	55
5. นิกเกิล	1,600	50	45
6. โครเมียม	300	100	80
7. ทองแดง	-	100	45
8. สังกะสี	-	300	70
9. โคบอลต์	-	100	20

ที่มา: ^{1/} กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

^{2/} มาตรฐานของโลหะหนักในดิน กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป

^{3/} เอกสารวิชาการ “ระดับเกณฑ์พื้นฐาน” ของการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินประเทศไทย กรมวิชาการเกษตร, 2545

ตารางที่ 2 มาตรฐานและระดับเกณฑ์โลหะหนักในพืชและอาหารของ Codex (2010)

Heavy metal	Product	Level mg/kg	Notes/Remarks for Codex Alimentarius
ARSENIC	-	-	
CADMIUM	Brassica vegetables, Bulb vegetables, Fruiting vegetables, cucurbits	0.05	
	Fruiting vegetables, other than cucurbits	0.05	Excluding tomatoes and edible fungi.
	Leafy vegetables	0.2	
	Legume vegetables	0.1	
	Root and tuber vegetables, Stalk and stem vegetables	0.1	Excluding potato and celeriac
Lead	Brassica vegetables	0.3	Excluding kale
	Bulb vegetables, Fruiting vegetables, Cucurbits, Fruiting vegetables, other than Cucurbits	0.1	
	Leafy vegetables	0.3	Including Brassica leafy vegetables but excluding spinach
	Legume vegetables	0.2	
MERCURY	-	-	

ตารางที่ 3 มาตรฐานอาหารที่มีสารอาหารปนเปื้อน

โลหะหนัก	ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีในอาหาร (มก./กก.)
1. สารหนู	2
2. แคดเมียม	-
3. พรอท	0.5
4. ตะกั่ว	1
5. นิกเกิล	-
6. โครเมียม	-
7. ทองแดง	20
8. สังกะสี	100
9. โคบอลต์	-

ที่มา : ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529)

ตารางที่ 4 มาตรฐานและระดับเกณฑ์โลหะหนักในพืชและอาหารของจีน

Heavy metal	Product	Level (mg/kg)
ARSENIC	ผักสดและผลไม้	0.5
CADMIUM	ผักสดและธัญพืช	0.05
	ผักใบ เห็ด	0.2
	กิ่งรากของผักสด	0.1
Lead	ผักสด ผลไม้	0.1
MERCURY	ผักสด ผลไม้	0.1
CHROMIUM	ผักสด ผลไม้	0.5

ที่มา : ฐานข้อมูลสถาบันอาหาร, สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม