

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ความอุดมสมบูรณ์ของดินบนพื้นที่สูง

เนื่องจากปัญหาการชะล้างพังทลายของผิวดิน การขาดปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืช หากสามารถจัดระบบการปลูกพืชที่เหมาะสม ซึ่งมีทั้งพืชไร่และพืชตระกูลถั่วปลูกหมุนเวียนในระบบ และสามารถให้เศษเหลือของซากพืชกลับลงสู่ดินในปริมาณที่มากพอ ก็จะช่วยรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้ได้ (สนั่น, 2552)

พืชตระกูลถั่วจะช่วยบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ขึ้น เมื่อใบและลำต้นแห้งที่ร่วงหล่นสู่ดินจะทำให้หน้าดินในการคลุมดิน รักษาความชื้นในดิน ป้องกันดินและผิวดินไม่ให้ได้รับผลกระทบที่รุนแรงจากน้ำฝนและแสงแดด พืชตระกูลถั่วมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ปลูกง่าย โตเร็ว ลำต้นมีใบจำนวนมาก สับกลบแล้วเน่าเปื่อยสลายตัวเร็ว ที่สำคัญที่สุดมีรากที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในปมของราก เมื่อพืชตระกูลถั่วสลายตัวจะปลดปล่อยไนโตรเจนที่สะสมไว้ลงสู่ดิน ทำให้ดินได้รับธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แกดิน เป็นประโยชน์กับพืชหลักชนิดอื่นที่ปลูกร่วมหรือปลูกตามหลัง หากมีปริมาณเศษซากพืชมากพอจะช่วยให้พืชที่ปลูกในพื้นที่ดังกล่าวมีการเจริญเติบโตงอกงามและให้ผลผลิตสูงขึ้น พืชตระกูลถั่วนอกจากจะช่วยในปรับปรุงบำรุงดินและอนุรักษ์ดินและน้ำแล้วประโยชน์ที่สำคัญคือใช้เป็นพืชอาหารของมนุษย์ที่ให้โปรตีนสูง การใช้พืชตระกูลถั่วปลูกร่วมกับพืชหลักจะเป็นประโยชน์ทำให้ผลผลิตต่อพื้นที่มากขึ้น เพิ่มรายได้แก่เกษตรกรและลดปัญหาวัชพืช การปลูกข้าวโพดร่วมกับพืชตระกูลถั่วในพื้นที่อาศัยน้ำฝนทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ ชนิดและพันธุ์พืช วิธีการจัดระบบการปลูกพืชและความต้องการของเกษตรกร

การปรับปรุงพื้นที่ปลูกสภาพดินไร่เป็นนาขั้นบันไดในพื้นที่ลาดชัน เป็นหนึ่งในระบบการปลูกข้าวที่ใช้เป็นทางเลือกเพื่อสร้างความยั่งยืนบนพื้นที่ภูเขาสูงของภาคเหนือตอนบน เพราะนอกจากช่วยลดความเสี่ยงของผลผลิตข้าวจากการแปรปรวนของภูมิอากาศแล้ว ยังคงให้ผลผลิตสูงขึ้นร้อยละ 74, 115 และ 149 จากการผลิตในฤดูนาปี พ.ศ. 2551 2552 และ 2553 ตามลำดับ ขณะที่การปลูกข้าวไร่ระบบเดิมมีแนวโน้มให้ผลผลิตลดลงทุกปี หากมีการปรับปรุงบำรุงดินในนาขั้นบันไดโดยการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย งานวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าการปลูกปอเทืองก่อนทำนาขั้นบันได ช่วยให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 ปอเทืองจึงเป็นพืชทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นปุ๋ยพืชสดสำหรับการทำนาบนพื้นที่สูง เพราะนอกจากปอเทืองเป็นพืชอายุสั้นและเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงแล้ว เกษตรกรยังสามารถผลิตเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้เองได้ ในปี พ.ศ. 2551-2553 ผลจากการใช้ปอเทืองเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้นเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ (อภิวัฒน์, 2552) นอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้การปลูกข้าวแบบนาขั้นบันไดให้ผลผลิตต่ำ เนื่องจากสมบัติของดินมีปริมาณแร่ดินเหนียวอยู่น้อย ความหนาแน่นรวมของดินต่ำ ดินเป็นกรด และธาตุอาหารพืชบางชนิดมีไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าว การปลูกพืชหมุนเวียนช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณโพแทสเซียมในดิน โดยระบบการปลูกข้าว-ถั่วแปะยังให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นสูงสุด 13% ทั้งนี้ควรปลูกอย่างต่อเนื่องในพื้นที่เดิม และมีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวโดยการไถกลบหรือนำวัสดุเหลือใช้ในแปลงให้เกิดประโยชน์เพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวนาขั้นบันไดให้ยั่งยืน (สุทธกานต์ และคณะ, 2557)

การปลูกพืชหมุนเวียนในพื้นที่ปลูกข้าวไร่ที่ปรับเปลี่ยนเป็นนาขั้นบันได โดยการปลูกข้าวแล้วตามด้วยถั่วเปะยี ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น ร้อยละ 47 เมื่อเทียบกับการปลูกข้าวอย่างเดียว ซึ่งเกษตรกรสามารถขยายและเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ปลูกและบริโภคได้ ส่วนลำต้นไถกลบเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน (อภิวัฒน์, 2552)

สรตนา และคณะ (2558) ศึกษาการป้องกันการสูญหายของธาตุอาหารในพื้นที่ลาดชัน ได้ดำเนินการทดลองที่แปลงทดลองเขาสวนกวาง ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร อ.เมือง จ.ขอนแก่น พบว่า การปลูกหญ้าแฝกตามแนว Contour ปลูกหญ้าแฝกตามแนว Contour+ปลูกถั่วพรีาคคลุมดิน และปลูกถั่วพรีาคคลุมดินอย่างเดียว ช่วยลดปริมาณน้ำสูญหายและปริมาณดินสูญหายได้มากที่สุด การปลูกหญ้าแฝกตามแนว Contour ทำให้มีนํ้าป่าหลังมีการเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตมากที่สุด 2,949-3,029 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนเปอร์เซ็นต์แบ่งของนํ้าป่าหลังเฉลี่ย 14.63-21.60%

วิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มผลผลิตนํ้าป่าหลังในชุดดินปากช่อง คือ การไถกลบถั่วพรีาคคลุมดินด้วยถั่วพรีาคและใช้นํ้าหมักชีวภาพให้ผลผลิตนํ้าป่าหลัง โดยเฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ 5,209.18 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ เฉลี่ย 3 ปี 2,765.53 บาท รองลงมา คือ การไถกลบปอเทือง คลุมดินด้วยถั่วพรีาคและใช้นํ้าหมักชีวภาพ ให้ผลผลิตนํ้าป่าหลังโดยเฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ 5,194.96 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ เฉลี่ย 3 ปี 2,721.48 บาท (กมลภา, 2552)

ดารากร และคณะ (2563) ได้ทดสอบเทคโนโลยีในการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินต่อเนื่อง ดังนี้ ในส่วนของข้าวไร่การไม่เผาแล้วปลูกข้าวไร่ร่วมกับถั่วลันเตาและจัดทำระบบอนุรักษ์ดินและนํ้า ซึ่งให้ผลผลิตข้าว เฉลี่ย 733 กิโลกรัม/ไร่ และดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ไม่เผาเตรียมพื้นที่และปลูกข้าวโพดเหลืองด้วยถั่วดำ ให้ผลผลิตข้าวโพดสูงสุด 810 กิโลกรัมต่อไร่ ดินมีค่า pH อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ยกเว้นโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง พื้นที่ปลูกนํ้าป่าหลัง โดยการปลูกถั่วระหว่างร่องนํ้าป่าหลัง พบว่าแปลงที่มีการปลูกถั่ว (ถั่วลิสง ถั่วพรีาค ถั่วดำ) ระหว่างแถวนํ้าป่าหลังให้ผลผลิตนํ้าป่าหลังสูงกว่าแปลงที่ปลูกนํ้าป่าหลังอย่างเดียว และเกษตรกรสนใจปลูกถั่วลิสงเนื่องจากช่วยบำรุงดินและเป็นรายได้เสริมให้เกษตรกร พื้นที่ที่ปลูกหอมญี่ปุ่นติดต่อกันแบบเข้มข้น พบว่า การปลูกถั่วดำบำรุงดินรวมกับการจัดการธาตุอาหารพืช ให้ผลผลิตหอมญี่ปุ่น เพิ่มขึ้น 15% จาก 3.2 กิโลกรัมต่อตร.ม. เป็น 3.7 กิโลกรัมต่อตร.ม.

2.2 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas หรือ GHG)

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

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2561)

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

2) ก๊าซมีเทน (Methane: CH_4) แหล่งกำเนิดของก๊าซมีเทนมีอยู่มากมายในธรรมชาติและที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การทำนาข้าว ปศุสัตว์ การย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิต ขยะอินทรีย์ที่กำลังย่อยสลาย (ใน ธรรมชาติและในที่ทิ้งขยะ) การเผาไหม้มวลชีวภาพ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน น้ำมัน และ ก๊าซธรรมชาติ โดยเฉพาะการเผาไหม้ที่เกิดจากธรรมชาติและจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ สามารถทำให้เกิด ก๊าซมีเทนในบรรยากาศสูงถึงร้อยละ 20 ของก๊าซมีเทนในชั้นบรรยากาศทั้งหมด และก๊าซมีเทนยังมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 เท่า

3) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide: N_2O) ปกติมีอยู่ในธรรมชาติจากมหาสมุทรและจากการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตในดินโดยแบคทีเรีย แต่ที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบันเนื่องมาจากเกษตรกรรม (จากการใส่ ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ) และอุตสาหกรรมที่ใช้กรดไนตริกในกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรม ผลิตเส้นใยไนลอน อุตสาหกรรมเคมีและพลาสติกบางชนิด นอกจากนี้ยังเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ฟอสซิลและวัสดุอินทรีย์อื่นๆ ไนตรัสออกไซด์ยังถูกนำไปใช้โดยตรง ได้แก่ ใช้เป็นตัวเร่งละอองของเหลว (Aerosol) และยานำสลบ (Tranquilizer) ซึ่งเมื่อก๊าซไนตรัสออกไซด์ลอยขึ้นสู่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์จะ ทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซน ทำให้เกราะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของโลกลดน้อยลง และไนตรัสออกไซด์เป็น ก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 298 เท่า และคงอยู่ใน บรรยากาศเป็นเวลา 114 ปี

4) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (Hydrofluorocarbon: HFC) ถูกนำมาใช้ประโยชน์สำหรับเป็นตัว ทำความเย็นสำหรับเครื่องปรับอากาศ (ในบ้าน รถ สำนักงาน ฯลฯ) นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารขยายตัวของโฟม ตัวทำละลาย สารสำหรับการดับเพลิง และตัวเร่งละอองของเหลว (Aerosol) มีค่าศักยภาพในการทำให้เกิด ภาวะโลกร้อนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดถึง 14,800 เท่า ขึ้นอยู่กับประเภทและมีอายุคงอยู่ใน บรรยากาศสูงสุดถึง 270 ปี

5) ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (Perfluorocarbon: PFC) เป็นก๊าซสังเคราะห์ที่เกิดจากกระบวนการ ผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท โดยกลุ่มก๊าซฟลูออรีเนตสามารถนำมาใช้แทนก๊าซคลอโรฟลูออโร คาร์บอน (Chlorofluorocarbon : CFCs) ซึ่งเป็นสารที่ใช้อยู่ในปรับอากาศ ตู้เย็น สเปรย์ และน้ำยาดับเพลิง

6) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (Sulfur Hexafluoride: SF_6) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีค่าศักยภาพ ในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุดจากการประเมินของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) และมีอายุในบรรยากาศ 3,200 ปี ก๊าซนี้ถูกนำไปใช้ในด้านต่างๆ เช่น ยางรถยนต์ ฉนวนไฟฟ้า การผลิตสารกึ่งตัวนำไฟฟ้า อุตสาหกรรมแมกนีเซียม เป็นต้น

7) ก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) ก๊าซไนโตรเจนไม่ได้เกิดขึ้นตามธรรมชาติ แต่ ภาควิทยาศาสตร์อิเล็กทรอนิกส์ใช้ในกระบวนการผลิต โดยใช้ทำความสะอาดห้อง (Chamber) ที่ใช้สำหรับการ ให้ไอสารเคมีเกาะติดบนแก้วหรือซิลิคอนเวฟเฟอร์ และก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ยังมีค่าศักยภาพในการ ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 17,200 เท่า

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ความเข้มข้นของ CO_2 ในชั้นบรรยากาศโลก เพิ่มขึ้น ในปี พ.ศ. 2562 มี CO_2 409.8 ppm เนื่องจากธรรมชาติสามารถดูดซับ CO_2 ที่ถูกปล่อยออกมาได้ เพียง 60% ของปริมาณการปล่อย CO_2 ทั้งหมด ทำให้ปรากฏการณ์เรือนกระจกมีความรุนแรงขึ้น ก่อให้เกิด ภาวะโลกร้อนที่สูงขึ้นและสภาพภูมิอากาศของโลกมีการเปลี่ยนแปลง

2.3 การกักเก็บคาร์บอนในดิน

การกักเก็บคาร์บอนในดิน เป็นอีกแนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (global warming)

ข้อมูลการสำรวจและจัดทำแผนที่ปริมาณคาร์บอนในดินที่ผ่านมา ประเทศไทยมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 0.25-17.26% (ยุทธศาสตร์ และคณะ, 2556) พื้นที่ภาคเหนือส่วนใหญ่มีระดับการกักเก็บคาร์บอนสูง (12-16 ตันต่อไร่) คิดเป็นพื้นที่ 40.02 ล้านไร่ การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลักที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พบว่าพื้นที่ปลูกข้าวมีการจัดการพื้นที่นาตามวิธีเกษตรกรรมปฏิบัติ มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน 2-4 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี พื้นที่ปลูกข้าวโพดที่มีการจัดการพื้นที่ โดยไถพรวนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี มีการกักเก็บคาร์บอนในดิน 0.16-8.22 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี พื้นที่ปลูกอ้อยที่จัดการตามวิธีเกษตรกรรม 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

วิชิตา (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

สุนิสา และธวัชชัย (2561) ศึกษาผลของการไถพรวนที่มีต่อปริมาณคาร์บอนที่เก็บสะสมในดินและผลผลิตข้าวโพดหวานลูกผสม 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

พุทธิรักษ์ และคณะ (2562) ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดินในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแตกต่างกัน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินลาด จังหวัดระยอง เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนในดิน พบว่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินเฉลี่ยของทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินมีค่าสูงสุดที่ชั้นดินบน 0-10 เซนติเมตร และลดลงตามความลึกของดิน โดยปริมาณคาร์บอนสะสมในดินมีค่าสูงสุดในพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสอง (128.17 tC ha⁻¹) รองลงมา คือ พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก (86.17 tC ha⁻¹) พื้นที่ยางพาราที่ร้าง (79.36 tC ha⁻¹) และพื้นที่ยางพารา (48.42 tC ha⁻¹) และพบว่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดิน และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่นรวมของดิน

2.4 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 เมื่อ

มนุษย์ได้รับจะเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อ 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 ที่สามารถสะสมสารตะกั่วไว้ได้โดยไม่ได้รับอันตรายและพืชที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการบำบัดโลหะหนัก 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 แสดงว่าสารหนูในดินส่วนหนึ่งมาจากวัตถุดิบกำเนิดดินที่มีเหล็กและอลูมิเนียมอยู่ด้วย 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 สามารถกำจัดโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายออกเกือบทั้งหมด แต่มีข้อเสีย คือ ต้นทุนในการบำบัดที่มีค่าใช้จ่ายที่สูง ซึ่งไม่เหมาะสมกับพื้นที่ปนเปื้อนที่มีพื้นที่กว้าง

ชูชาติ และคณะ (2559) ได้ศึกษาและทดสอบเทคโนโลยีการลดปริมาณโลหะหนักในดินบนพื้นที่สูงประกอบด้วย (1) การคัดเลือกชนิดพืชที่มีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักอาสินิก ดำเนินการในแปลงปลูกพืชที่ตรวจพบปริมาณอาสินิกสูงเกินค่ามาตรฐาน พบว่า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สามารถดูดอาสินิกออกจากดินสูงสุด 2.66 กรัมต่อไร่ รองลงมา คือ ทานตะวัน 2.12 กรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่ทำให้ความเข้มข้นของอาสินิก

ดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ได้ปลูกพืชดูดซับ (2) การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียเปรียบเทียบกับ 3 ไอโซเลทต่อความสามารถในการลดความเป็นพิษของอาซินิกในดิน โดยทดสอบร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ยเพื่อปรับค่า pH ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย พบว่า การใช้แบคทีเรียไอโซเลท Ars 29 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยทำให้ปริมาณอาซินิกลดลงสูงสุด 12.69% (3) การศึกษาและทดสอบวิธีการใช้พืชดูดซับสาร (ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์) ร่วมกับการใช้จุลินทรีย์เพื่อลดอาซินิกในดิน พบว่าทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันแต่การใช้แบคทีเรียไอโซเลท Ars 29 คลุกดินก่อนปลูกผักกาดขาวปลี ช่วยลดการดูดซับอาซินิกเข้าไปในส่วนลำต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (4) การศึกษาและทดสอบวิธีการกำจัดพืชดูดซับอาซินิกด้วยการนำต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ดูดซับอาซินิกในดินแล้วมาทำให้แห้ง จากนั้นบดอัด และปั้นเป็นรูปเม็ดซีเมนต์ โดยผสมพืชและผงซีเมนต์สัดส่วน 1:3 สรุปได้ว่าวิธีการนี้สามารถกักเก็บอาซินิกในพืชดูดซับได้

ธัญพร และพิสิฐ (2557) ศึกษาการดูดซับสารหนูในดินที่ปนเปื้อนโดยหญ้ากีนีสีม่วง พบว่าหญ้ากีนีสีม่วงสามารถมีชีวิตได้ตลอด 90 วันที่ความเข้มข้นของสารหนูต่ำกว่า 50 mg/kg มีการสะสมสารหนูในส่วนรากสูงกว่าในต้นและใบ มีค่า 13.883-66.877 mg/kg ในส่วนลำต้นและใบ เท่ากับ 5.367-15.858 mg/kg และนำไปทดลองปลูกในดินท้ายเหมืองซึ่งมีสารหนูในดินเท่ากับ 153.02 mg/kg พบว่าสามารถเจริญเติบโตได้ดี มีการสะสมในส่วนราก เท่ากับ 10.574-28.780 mg/kg และในส่วนลำต้น เท่ากับ 1.282-6.214 mg/kg

เบญจภรณ์ และจิรวิทย์ (2559) ใช้แบคทีเรียต้านทานแคดเมียมร่วมกับต้นยี่ห่วยในการฟื้นฟูปื้นที่ปนเปื้อน โดยพบว่า แพลงทดลองที่มีการเติม *Arthrobacter* sp TM6 ช่วยส่งเสริมให้ยี่ห่วยมีการสะสมแคดเมียมได้เพิ่มขึ้นทั้งในส่วนรากและส่วนยอดเปรียบเทียบกับแปลงควบคุม ซึ่งผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ *Arthrobacter* sp TM6 ร่วมกับพืชเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการฟื้นฟูปื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียม

ดารารกร และคณะ (2562) ได้ทดสอบวิธีการลดการปนเปื้อนโลหะหนักอาซินิกในดิน โดยใช้แบคทีเรียไอโซเลท Ars 29 และ FeSO_4 เป็นสารตรึงโลหะหนักในดิน พบว่า ดินปลูกมะเขือเทศ พบอาซินิกในรูปอาซินิกทั้งหมด รองลงมาในรูปที่เสถียรจับกันอย่างแข็งแรง ส่วนอาซินิกที่ละลายน้ำได้ดีและอาซินิกที่จับตัวกันอย่างหลวมๆ พบปริมาณเพียงเล็กน้อย ในส่วนของพืชพบอาซินิกในส่วนของรากมากที่สุด 3.19 mg/kg และลำต้นเพียง 0.1 mg/kg ส่วนผลผลิตมะเขือเทศไม่พบปริมาณอาซินิก ในดินปลูกกะหล่ำปลี พบอาซินิกในรูปอาซินิกทั้งหมด รองลงมาในรูปที่เสถียรจับกันอย่างแข็งแรงมากที่สุด ส่วนอาซินิกที่ละลายน้ำได้ดีและอาซินิกที่ละลายน้ำได้จับตัวกันอย่างหลวมๆ พบปริมาณเพียงเล็กน้อย ในส่วนของพืช พบว่า อาซินิกในรูปอาซินิกทั้งหมดในส่วนของรากและหัวกะหล่ำปลี ลดลง มีค่า 0.60 mg/kg และ 0.32 mg/kg ตามลำดับ

ดารารกร และคณะ (2563) ได้ศึกษาและทดสอบชนิดพืชผักที่มีความเสี่ยงในการดูดซับอาซินิกและแคดเมียมในดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักบนพื้นที่สูงจากการเก็บตัวอย่างพืชผัก จำนวน 21 ชนิด (ผักใบ ผักผล ผักกินหัว) พบว่าการปนเปื้อนอาซินิกในพืช ไม่เกินค่ามาตรฐานการปนเปื้อนโลหะหนักในพืช ส่วนใหญ่จะพบการสะสมในส่วนของรากทั้งในผักใบ ผักผล และผักกินหัว มีเพียงรากต้นมะเขือเทศโหม้สและรากกวาดั่งเท่านั้นที่เกินค่ามาตรฐาน ส่วนการปนเปื้อนแคดเมียมในพืชไม่เกินค่ามาตรฐาน พบการสะสมในรากและลำต้นของผักผล และพืชที่มีแนวโน้มในการดูดซับอาซินิกและแคดเมียม ได้แก่ ผักกาดหวาน ผักกวาดั่ง และเบบี้ฮ่องเต้

ตารางที่ 1 มาตรฐานของโลหะหนักในดิน

โลหะหนัก	มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย และเกษตรกรรม ^{1/}	ระดับเกณฑ์พื้นฐานโลหะ หนักในดิน ^{2/}	ระดับเกณฑ์พื้นฐานโลหะหนักใน ดิน ^{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	

Heavy metal	Product	Level mg/kg	Notes/Remarks for Codex Alimentarius
	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