บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลำไย

ลำไย ชื่อวิทยาศาสร์ DimocarpuslonganLour. (ชื่อพ้องวิทยาศาสตร์ Euphoria longan (Lour.)Steud.)จัดอยู่ในวงศ์เงาะ)

ผลไม้เพื่อสุขภาพชนิดนี้เป็นที่นิยมรับประทานอย่างมากในบ้านเรา โดยจังหวัดที่ปลูกมากที่สุดคือ จังหวัดลำพูน สำหรับประเทศที่ปลูกมากที่สุดเห็นจะเป็นประเทศจีนที่มีการปลูกลำไยมาถึง 26 สายพันธุ์ แต่ที่นิยมปลูกในบ้านเราจะแบ่งออกเป็น 5 พวก ชนิดแรกคือ ลำไยกะโหลก ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีผลใหญ่ เนื้อหวานอร่อย ซึ่งก็จะแบ่งแยกย่อยไปอีกหลายสายพันธุ์ เช่น สีชมพู อีดอ อีแดง อีดำ เป็นต้น ส่วนจำพวกที่ 2-5 ก็คือ ลำไยกระดูก ลำไยสายน้ำผึ้ง ลำไยเถา ลำไยขาว และลำไยธรรมดา

ลำไยประกอบด้วยวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ธาตุแคลเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโซเดียม ธาตุโพแทสเซียม ธาตุทองแดง ธาตุเหล็ก วิตามินซี วิตามินบี 12 เป็นต้น ส่วนในด้านสรรพคุณ ลำไยใช้เป็นยารักษาโรคได้แก่ เป็นยาแก้ท้องร่วง รักษาโรคมาลาเรีย บรรเทาอาการริดสีดวงทวาร เป็นต้น

2.2 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะหนักที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัม ตัวอย่างเช่น ปรอท ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม โคบอลต์ เป็นต้น ความเป็นพิษของโลหะหนัก เกิดจากร่างกายได้รับสารโลหะหนัก ซึ่งสารโลหะ หนักนั้นจะไปรบกวนการทำงานของเอ็นไซม์ของเซลล์และยึดกับเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้การควบคุมการลำเลียงของ สารต่างๆ ของเยื่อหุ้มเซลล์ผิดปกติไป ความเป็นพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีของสารประกอบ ของโลหะหนักแต่ละชนิด และเส้นทางที่ร่างกายได้รับเข้าไป เช่น ทางระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร ผิวหนัง เป็นต้น ซึ่งสารพิษเหล่านี้เมื่อสะสมอยู่ในร่างกายจนถึงระดับหนึ่งก็จะแสดงอาการออกมาให้เห็น ซึ่ง ผลของความเป็นพิษของโลหะหนักต่อกลไกระดับเซลล์มี 5 แบบคือ

1. ทำให้เซลล์ตาย

2. เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์

3. เป็นตัวการทำให้เกิดมะเร็ง

4. เป็นตัวการทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม

5. ทำความเสียหายต่อโครโมโซม ซึ่งเป็นปัจจัยทางพันธุกรรม โลหะหนักมีหลายชนิดแต่ชนิดที่ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานอาหารส่วนใหญ่จะมี 3 ชนิด ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว และแคดเมียม

สารหนู (Arsenic : As)

สารหนู หรือ อาร์ซีนิก (As) ในธรรมชาติเกิดเป็นออกไซด์ (As0) ซึ่งมักจะรวมอยู่กับแร่ธาตุอื่นๆกลายเป็นรูปสารประกอบทั้งในน้ำและดินมักพบในการทำเหมืองดีบุก สารหนู สารประกอบสารหนูที่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์จะมีความเป็นพิษมากกว่าสารประกอบอนินทรีย์

สารหนูใช้ในอุตสาหกรรมด้านการเกษตร อุตสาหกรรมย้อมผ้า เมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายโดย

1. ทางเดินหายใจ ทำให้ระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อเมื่อสูดหายใจเข้าไปบ่อยๆนานๆ ทำให้เยื่อบุกั้นจมูกทะลุและอาจเกิดมะเร็งที่ปอดได้

2. ทางผิวหนัง ทำให้เกิดระคายเคือง ถ้าเกิดการอักเสบบวมแดงเป็นตุ่มแข็งใสพองเป็นอาการเรื้อรังจะทำให้เป็นมะเร็งที่ผิวหนังได้

3. ทางตา จะเกิดอาการตาแดง อักเสบ แต่ถ้าสารหนูเข้าทำลายระบบประสาทอาจทำให้เกิดอาการแขนขาชาและอาจเป็นอัมพาตได้

4. ทางอาหาร ถ้าได้รับปริมาณมากอาจทำให้เกิดการทำลายระบบสมอง และทำลายตับเกิดอาการตับอักเสบได้ ในบางรายมีโปรตีนขับออกมาทางปัสสาวะ

พิษของสารหนูเป็นที่รู้จักกันอย่างมากในปลายปี 2530 ที่อำเภอร่อนพิบูล จังหวันครศรีธรรมราช ชาวบ้านหลายครัวเรือนขุดน้ำใต้ดินมาใช้ทำให้เกิดโรคที่เรียกว่า ไข้ดำ ซึ่งผิวของคนเป็นโรคนี้จะมีผิวดำคล้ำ โรคผิวหนังเป็นผื่นแดงและคันบางรายมีอาการผิวหนังเป็นสะเก็ดอาการโดยทั่วไปจะมีอาการอ่อนเพลียมือและเท้าชา ในบางรายที่เป็นมากจะแสดงอาการคล้ายโรคมะเร็งผิวหนังมีเซลล์ผิวหนังมีการเปลี่ยนแปลงชัดเจน นอกจากนี้ยังสลายเม็ดเลือดแดงทำให้มีอาการของโรคโลหิตจางอีกด้วย

ตะกั่ว (Lead : Pb)

แต่ละวันคนเรามีโอกาสได้รับสารตะกั่ว โดยตรงจากการกินอาหาร น้ำดื่ม หรือหายใจเอาสารตะกั่ว เจือปนเข้าไปกลุ่มผู้เสี่ยงต่อการเกิดโรคพิษตะกั่ว ได้แก่ คนงานที่ทำเหมืองตะกั่ว โรงงานผลิตแบตเตอรี่ โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ และคนที่อาศัยอยู่ใกล้บริเวณโรงงานหลอมตะกั่วหรือใกล้

โรงงานที่มีการใช้สารตะกั่วเป็นวัตถุดิบ ทำให้มีผลต่อระบบทางเดินอาหาร และระบบประสาท สำหรับอันตรายโดยทั่วไปนั้นทำให้เม็ดเลือดแดงอายุสั้นลง ทำให้เป็นโรคเลือดจาง และเป็นอันตรายต่อระบบประสาท ไต

ทางเดินอาหาร ตับ และหัวใจ อาการโรคพิษตะกั่วเกิดได้กับหลายระบบของร่างกาย คือ 1. ระบบประสาทส่วนกลางและสมอง อาการสำคัญที่พบ คือ สมองเสื่อมจากพิษตะกั่ว พบในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่ มีอาการหงุดหงิดง่าย กระวน กระวาย ซึม เวียนศีรษะ รายที่เป็นรุนแรงอาจมีอาการสั่นเวลาเคลื่อนไหว ชัก หมดสติ และเสียชีวิตได้ 2. ระบบประสาทส่วนปลายและกล้ามเนื้อ พบมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อและข้อต่างๆ กล้ามเนื้อที่ใช้บ่อยมีอาการอ่อนแรง หรืออัมพาต 3. ระบบทางเดินอาหาร เป็นอาการที่พบได้บ่อยที่สุด ผู้ป่วยมีอาการเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียนโดยเริ่มแรกมักมีอาการท้องผูก แต่ บางรายอาจมีอาการท้องเดิน น้ำหนักลด กล้ามเนื้อหน้าท้องบีบเกร็งและกดเจ็บ ทำให้มีอาการปวดท้องมาก

สังกะสี (Zinc : Zn)

ที่พบในอากาศส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ ZnO, ZnSและ $ZnSO_4$ จากอุตสาหกรรมทำเหมืองแร่ เช่น การบดย่อยแร่ ส่วนประกอบรั้วบ้านหลังคา หรือวัสดุอื่นที่ใช้สังกะสีเป็นโลหะผสม นอกจากนี้ยังเกิดจากสารประกอบของสังกะสีที่นำมาทำยาฆ่าเชื้อรา เช่น zinc dimethyl dithiocarbamateผลที่เกิดต่อมนุษย์ ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ และอาการท้องร่วง ถ้าได้รับไอฝุ่นของ Zn เข้าร่างกายมาก ๆ จะเกิดอาการไข้ที่เรียกว่า Zinc chills ซึ่งมีอาการจับไข้ หนาวสั่น ปวดกล้ามเนื้อ อาเจียน

แคดเมียม (Cadmium : Cd)

แคดเมียม (Cd) ที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารอาจทำให้เกิดพิษต่อตับ ไต ปอด หัวใจ และ หลอดเลือด นอกจากนี้ยังผลเสียต่อระบบภูมิคุ้มกันและระบบสืบพันธุ์ แคดเมียมจัดเป็นสารก่อ มะเร็งและเป็นตัวบ่งชี้ (biomarker) ในการเกิดมะเร็ง cadmium-selenium (CdSe) จัดเป็นวัตถุที่ มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร (nano-material) ซึ่งเกิดจากการนำแคดเมียมมาผสมกับซีลีเนียม (Se) ใช้เป็นสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ในคอมพิวเตอร์และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ทั้งนี้ เนื่องจากอนุภาคนาโนมีขนาดเล็กมากจึงสามารถเข้าสู่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้ง่ายทำให้มีความ เสี่ยงสูงในการเกิดพิษต่ออวัยวะที่ได้รับโลหะหนักเหล่านี้ โดยแคดเมียมจะชักนำให้เซลล์ถูก ทำลายโดยอนุมูลอิสระ เกิดการทำลายดีเอ็นเอ และส่งผลให้เกิดมะเร็ง

ทองแดง (Cupper : Cu)

ส่วนมากพบทั้งในรูปไอ และเกลือของทองแดง เนื่องจากการหลอมโลหะทองแดง ทองเหลือง การเชื่อมและบัดกรีโลหะโดยใช้โลหะผสมของทองแดง ซึ่งโทษ ทำให้เกิดการระคายเคืองและอักเสบที่ตา ระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหารและประสาทรสสัมผัสเสีย ถ้าร่างกายได้รับไอทองแดงมาก ๆ จะทำให้เกิด การคลื่นไส้ อาเจียน เป็นไข้ (metal fume fever) อาจทำให้ผิวหนังและผมเปลี่ยน สีได้ ถ้าได้รับในปริมาณมาก ทำให้เนื้อเยื่อจมูกอักเสบ และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง

ตารางที่2.1 ค่ามาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในผลไม้ (หน่วย mg/kg)

มาตรฐานของ	As	Cd	Cu	Zn	Pb
ประเทศไทย	0.5	0.05	10	20	0.1

ประเทศไทยค่าจากสถาบันอาหารปี 2003

2.3เครื่องAtomic absorption

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณโลหะชนิดต่างๆ ที่อยู่ในรูปสารละลายไอออน เช่น Al^{3+}, Ca^{2+}, Cd^{2+}, Cr^{2+}, Cu^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Na^{+}, Ni^{2+}, Pb^{2+} และ Zn^{2+} เป็นต้น

หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ เริ่มจากสารละลายตัวอย่างถูกส่งผ่านเข้าสู่เปลวไฟ (Flame) เพื่อทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว โดยไอออนของโลหะจะแตกตัวอยู่ในรูปของออกไซด์ หรืออะตอมเสรีของธาตุ โดยปรากฏการณ์นี้จะทำให้อิเล็กตรอนของธาตุเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากสภาวะพื้น (Ground stage) ไปสู่สภาวะกระตุ้น (Excited stage) โดยอาศัยการดูดกลืนแสง (Absorption) ที่ความยาวคลื่นที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ เมื่อนำค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของแสง (Io) มาคำนวนผลกับค่าความเข้มข้นสุดท้ายหลังจากถูกดูดกลืนแสง (I1) จะได้ **“ค่าการดูดกลืน (Absorbance, A)”** ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุที่อยู่ในสารละลายตัวอย่าง

สำหรับการวัดตัวอย่างการดูดกลืนแสงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุที่มีอยู่ในสารละลายตัวอย่าง ซึ่งความเข้มข้นของธาตุในสารละลายตัวอย่าง จะหาได้โดยการวัดเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

จากกระบวนการที่สารประกอบแตกตัวเป็นอะตอมแล้วกลายเป็นไอ หรือเกิดการกระตุ้น หรือแม้แต่เกิดแตกตัวเป็นไอออนด้วยพลังงานความร้อน เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะของ Thermal equilibrium จำนวนอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น (Nj) ที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคกับจำนวนอะตอมที่อยู่ที่สถานะพื้นต่อหน่วยปริมาตร (No) ดังนั้น (No) ก็เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย Boltzmann ได้แสดง ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของ (Nj) กับ (No) ดังแสดงในสมการ

$$(Nj)/(No) = (gj / go)\, e^{-\Delta E / KT}\, (Nj)$$

และ(No) = จำนวนอะตอมธาตุที่อยู่ในสภาวะกระตุ้นและสถานะพื้น

gjและ go = statistical weight ของสถานะกระตุ้นและสถานะพื้น ซึ่งบอกถึงจำนวน สถานะอิเล็กตรอนที่มีพลังงานเท่ากันของแต่ละระดับควอนตัม

ΔE = hv = Ej – EO = ระดับพลังงานที่ต่างกันระหว่างสถานะกระตุ้นกับสถานะพื้น

K = Boltzmann constant = 1.38 x 10-16 erg/deg.

T = อุณหภูมิในหน่วยขององศาสมบูรณ์

ดังนั้น จะเห็นว่า (Nj) /(No) จะมีค่ามากเมื่อT สูงขึ้น และ ΔE น้อย

และ (Nj) /(No) จะมีค่าน้อยเมื่อ T ต่ำ และ ΔE มาก

ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในสารละลายตัวอย่างทำได้โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน 3-5 ความเข้มข้น และนำมาวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ระหว่างค่าการดูดกลืนและค่าความเข้มข้นของสารละลายที่ทราบความเข้มข้น (Standard solution) ซึ่งเมื่อนำค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับสมการที่ได้จากกราฟของสารละลายมาตรฐาน ก็จะสามารถวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในสารละลายตัวอย่างได้

ภาพที่ 1 เครื่อง Atomic Absorption Spectrometry

เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุนั้นสามารถทำได้หลายวิธี คือ

2.3.1 ใช้Flame Atomization Technique เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (flame) ที่เหมาะสม

2.3.2 ใช้Flameless Technique หรือ Non-flame Atomization Technique เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่ างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (electro-thermal atomizer หรือ graphite furnace) โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผามีค่าต่างๆ กัน และใช้เวลาต่าง ๆ กันได้

2.3.3 ใช้Hydride Generation Technique เนื่องจากมีธาตุบางชนิดจะเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิค 2.3.1 และ 2.3.2 ไม่ได้จำเป็นต้องใช้วิธีที่ ทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อ ป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นไอได้ง่ายๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์ แล้วให้ไฮไดรด์นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน ความร้อนจากเปลวไฟไฮโดรเจนทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Se, Te, Ge, Bi, Sb

2.3.4 ใช้Cold Vapor Generation Technique สำหรับเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่ายๆ ซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อยโดยเฉพาะ

2.4งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรพิน เกิดชูชื่นและ คณะฯ ,2548ได้ศึกษาการสะสมโลหะหนัก 5 ชนิด คือ โครเมียม แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และนิกเกิลในผักกาดหอมที่ปลูกโดย วิธีไฮโดรโปนิคชนิดสารละลายไม่หมุนเวียน ใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายราชบุรี 5 ระดับ คือร้อยละ 0 (น้ำประปา) 25 50 75 และ 100 พบว่าผักกาดหอมที่ปลูกในน้ำทิ้งร้อยละ 100 มีการสะสมโลหะหนัก 3 ชนิด คือ โครเมียม แคดเมียม และตะกั่ว มากกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในน้ำทิ้งผสมน้ำประปา ส่วนโลหะหนักอีก 2 ชนิด คือทองแดงและนิกเกิล มีปริมาณการสะสมใน ผักกาดหอมที่ปลูกในน้ำประปามากที่สุด นอกจากนี้ผักกาดหอมที่ปลูกในไฮโดรโปนิคมีโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Ni) น้อย กว่าในผักกาดหอมที่ปลูกในดิน ดังนั้นถ้าจะนำน้ำทิ้งมาใช้ในการปลูกพืชที่รับประทานใบควรกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งออกก่อน รวมทั้งกำจัดทองแดงและนิเกิลที่ปนเปื้อนใน น้ำประปาด้วย และหรืออาจนำ น้ำทิ้งมาใช้ในการปลูกพืชที่ไม่ได้นำมาบริโภค เช่น ไม้ดอก

วรรณา วิมลวัฒนาภัณฑ์และ คณะฯ 2550 ได้วิเคราะห์ปริมาณโลหะในเส้นด้ายไหมโดยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้อาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีในปริมาณมาก (major components) ได้แก่ Fe, K และ Zn โดยมีค่าเฉลี่ย 261, 123 และ 51มิลลิกรัม/กิโลกรัม (หรือ ppm) ตามลำดับ ส่วนโลหะอื่นจะอยู่ในกลุ่มที่มีในปริมาณน้อย (trace metals) โดยมีค่าน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทั้งนี้สังเกตได้ว่าเส้นไหมสีเหลือง (ไหมธรรมชาติ) มีปริมาณโลหะต่าง ๆค่อนข้างสูงเทียบกับไหมสีอื่น ๆ

โดยเฉพาะ Ag, As และ Zn ส่วนเส้นไหมสีน้ำเงินพบว่ามีปริมาณโลหะ Au และ Hg สูงที่สุด แต่มีปริมาณ Sb ต่ำกว่าไหมสีอื่น ๆ อย่างเด่นชัด เส้นไหมสีทองมีปริมาณโลหะมีค่า คือ Au ต่ำกว่าไหมสีอื่น ๆ อย่างมาก แต่มี Fe ในปริมาณมากที่สุดส่วนเส้นไหมสีน้ำตาลมี Cr สูงสุด ในขณะที่เส้นไหมสีแดงมี K สูงถึงประมาณ 2 เท่าของไหมสีอื่นๆและของค่าเฉลี่ย

2.5 กรอบความคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้มีสมมติฐานและกรอบงานวิจัยดังนี้

สมมติฐานการวิจัย

ลำไยอบแห้งแต่ละแหล่งผลิตจะพบมีชนิดและปริมาณของโลหะหนักที่ใกล้เคียงกัน