บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา

ชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของแม่แตง ห่างจากอำเภอเมืองไปทางทิศเหนือตามทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 107 ระยะทางประมาณ 48 กิโลเมตร และห่างจากที่ว่าการอำเภอแม่แตงเป็นระยะทางประมาณ 8 กิโลเมตร มีเขตการปกครองครอบคลุม 2 ตำบล คือตำบลช่อแล 6 หมู่บ้าน และตำบลอินทขิล 10 หมู่บ้าน ตั้งแต่หมู่ที่ 1 - หมู่ที่ 11 (ยกเว้นหมู่ที่ 9) จำนวนพื้นที่รับผิดชอบทั้งหมด 24 ตารางกิโลเมตร จำนวนประชากรตามสถิติทะเบียนราษฎร์ ณ พฤษภาคม 2550 มีประชากรทั้งหมด 13,703 คน แบ่งเป็น ชาย 6,644 คน และหญิง 7,059 คน ความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ ประมาณ 571 คน/ตารางกิโลเมตร จำนวนครัวเรือน 5,084 ครัวเรือน (ที่มา : ฝ่ายทะเบียนราษฎร์เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา) จากการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลใน เดือน พฤศจิกายน ปี 2557 พบว่า ชาวชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนามีความสนใจในการทำเกษตรอินทรีย์ แต่ยังประสบปัญหาหลายประการเช่น มีการปนเปื้อนของสารเคมีจากพื้นที่ข้างเคียง การตกค้างของสารเคมีเดิมที่เคยใช้ในอดีต และปัญหาที่สำคัญอีกประการคือ การปลูกทำเกษตรอินทรีย์ยังได้ผลผลิตไม่เท่ากับการใช้สารเคมี (ที่มา : การสัมภาษณ์ชาวชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา)

2.2 สารเคมีที่ใช้ในการเกษตร

สารเคมีที่ใช้ในการเกษตรแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ สารเคมีปราบควบคุมแมลงศัตรูพืช และสารเคมีปราบควบคุมวัชพืช ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มย่อยดังนี้

2.2.1 สารเคมีปราบควบคุมแมลงศัตรูพืช (Porto *et. al.* 2011) เช่น

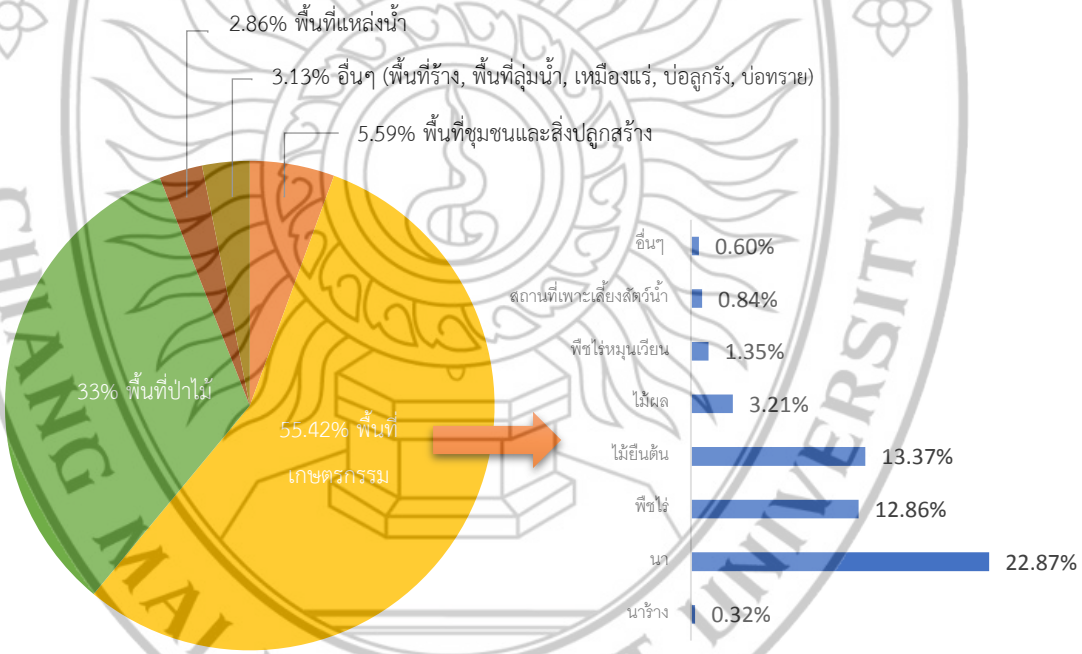
2.2.1.1 Organochorine เป็นกลุ่มยาฆ่าแมลงที่สามารถตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้นาน ยกตัวอย่างเช่น dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT), dichlorodiphenyl dichloroethylene (DDE), dichlorodiphenyldichloroethane (DDD) และ methoxychlor, หรือ hexachlorobenzene (HCB) เป็นต้น

2.2.1.2 Organophosphate เป็นกลุ่มยาฆ่าแมลงที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด โดยสารกลุ่มนี้มีส่วนแบ่งการตลาดถึง 36% ของส่วนแบ่งตลาดย่าฆ่าแมลงทั้งหมด ยกตัวอย่างสารกลุ่มนี้ เช่น Chlorpyrifos, Glyphosphate, Parathion หรือ Diazinon เป็นต้น

2.2.1.3 Carbamates เป็นยาปราบศัตรูพืชที่ใช้งานมาตั้งแต่ในทศวรรษที่ 1950 และยังคงใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถใช้ได้ทั้งกำจัดแมลง กำจัดเชื้อรา และกำจัดวัชพืช

2.2.2 สารเคมีปราบควบคุมวัชพืช ที่เป็นที่นิยม เช่น clodinafop propargyl (CF), 2,4 dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), atrazine, metolachlor, diuron,glyphosate, imazapyr, pendimethalin และ paraquat เป็นต้น (Singh and Singh, 2014)

จากรายงานการใช้ที่ดินของประเทศไทย ปี พ.ศ.2558/2559 โดย กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่า ประเทศไทยมีการใช้ที่ดินเป็นพื้นที่เกษตรกรรมมากที่สุด โดยร้อยละ 55.42 ของพื้นที่ทั้งหมด (ภาพ 1) และจากรายงานปริมาณและมูลค่าสินค้ามาตรฐานที่ส่งออกนอกราชอาณาจักร ปี พ.ศ. 2560 และ ระหว่างเดือนมกราคม ถึง เดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2561 โดยกรมการค้าต่างประเทศ พบว่า สินค้ามาตรฐานส่งออกของประเทศไทยเป็นผลผลิตทางการเกษตร เช่น ข้าวหอมมะลิ มันสำปะหลัง ถั่วเขียว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง เป็นต้น (ตาราง 1) เนื่องจากมีผลต่อเศรษฐกิจของประเทศ จึงทำให้ทำให้การทำเกษตรกรรมส่วนใหญ่ เป็นการปลูกพืชเชิงเดี่ยว ซึ่งเน้นการเพิ่มปริมาณผลผลิตเป็นหลัก



ภาพ 2-1 การใช้ที่ดินของประเทศไทยปี พ.ศ. 2558/2559 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2559)

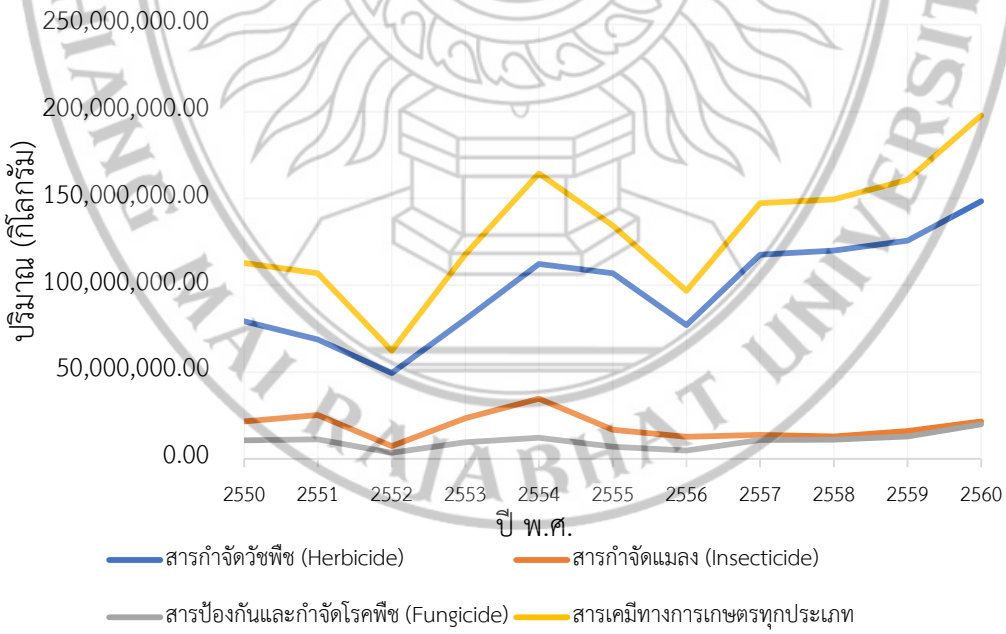
ตาราง 2-1 รายงานปริมาณและมูลค่าสินค้ามาตรฐานที่ส่งออกนอกราชอาณาจักร กรมการค้าต่างประเทศ ปี พ.ศ. 2560 และ ระหว่างเดือนมกราคม ถึง เดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2561 (กรมการค้าต่างประเทศ, 2561)

สินค้าส่งออกมาตรฐาน	**ปริมาณ(ตัน)**	**มูลค่า(ล้านบาท)**
ข้าวหอมมะลิไทย	3,182,459.533	76,867.67
มันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง	14,812,018.58516	122,983.74
ข้าวโพด	66,8937.483	5,824.93
ปุยนุ่น	44.944	3.89
ข้าวฟ่าง	23,137.3	19.76
ถั่วเขียวผิวมัน	8,096.003	232.41
ปลาป่น	138,086.376	5,509.40
ถั่วเขียวผิวดำ	4,809.193	131.28
รวม	**18,837,589.42**	**211,573.095**

จากข้อมูลข้างต้น พบว่า สินค้ามาตรฐานส่งออกของประเทศเป็นสินค้าทางการเกษตรโดยส่วนใหญ่ ทำให้ภาคการเกษตรกรรม เปลี่ยนแปลงระบบให้เป็นแบบกึ่งอุตสาหกรรม นั่นก็คือการปลูกพืชเชิงเดี่ยว เพื่อผลิตพืชผลให้ได้มาก และเพียงพอต่อความต้องการของตลาด จึงมีการปรับปรุงวิธีการปลูก ขยายพื้นที่เพาะปลูก ทำให้จำเป็นต้องพึ่งพาสารเคมีเข้ามาใช้ในการดูแลและควบคุมพื้นที่เพาะปลูก โดยเฉพาะการกำจัดวัชพืช การใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชเป็นการลดต้นทุนค่าจ้างแรงงาน ประหยัดเวลา และควบคุมวัชพืชได้ทันท่วงที (ทศพล, 2545) จากรายงานการนำเข้าสารเคมีทางการเกษตรตั้งแต่ปี พ.ศ.2554 ถึง 2560 พบว่า ประเทศไทยมีการนำเข้าสารเคมีกำจัดวัชพืช (herbicide) มีการนำเข้าปริมาณมากและมูลค่ามากที่สุด (ตาราง 2-1) และตั้งแต่ปี พ.ศ.2550 ถึง 2560 พบว่า ประเทศไทยมีการนำเข้าสารเคมีกำจัดวัชพืช (herbicide) มีการนำเข้าปริมาณมากมากที่สุด (ภาพ 2-1)

ตาราง 2-2 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร ปี 2554 -2560 (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการการเกษตร, 2560)

ปี	สารเคมี									
	สารกำจัดวัชพืช (Herbicide)		สารกำจัดแมลง (Insecticide)		สารป้องกันและกำจัดโรคพืช (Fungicide)		อื่นๆ		รวม	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2554	112,177	11,480	34,672	5,938	12,179	3,875	5,511	777	164,538	22,070
2555	106,860	11,294	16,797	3,686	6,972	3,883	3,748	494	134,480	19,378
2556	137,049	14,873	21,485	4,201	10,350	4,828	3,942	514	172,826	24,416
2557	117,645	13,435	13,910	4,013	10,988	4,708	4,832	656	147,375	22,812
2558	119,971	11,016	12,927	3,684	11,088	3,839	5,560	787	149,546	19,326
2559	125,596	9,688	16,056	3,899	12,915	4,503	6,120	2,487	160,824	20,618
2560	148,979	13,686	21,601	6,166	19,923	6,974	7,814	1,096	198,317	27,92



ภาพ 2-2 ปริมาณการนำเข้าประเภทสารเคมีทางการเกษตรของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ.2550 ถึง 2560 (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการการเกษตร, 2560)

สารเคมีกำจัดวัชพืช (herbicide)

พาราควอต (Paraquat)

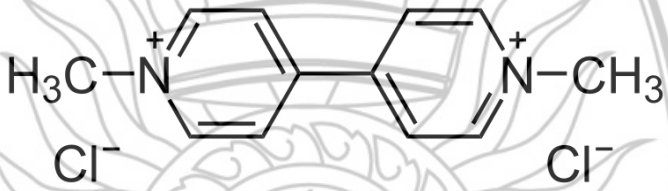
ชื่อสามัญ : Paraquat

ชื่อทางเคมี : 1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium dichloride

สูตรโมเลกุล : $C_3H_8NO_5P$ or $HOOCCH_2NHCH_2PO(OH)_2$ (ภาพ 4)

น้ำหนักโมเลกุล : 257.16 g/mol

ลักษณะทางกายภาพ : ผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น



ภาพ 2-3 โครงสร้างโมเลกุลของพาราควอต (National Center for Biotechnology Information, 2004)

ไกลโฟเสท (Glyphosate)

ชื่อสามัญ : glyphosate

ชื่อทางเคมี : N-(phosphonomethyl)glycine

สูตรโมเลกุล : $C_{12}H_{14}Cl_2N_2$ or $HOOCCH_2NHCH_2PO(OH)_2$ (ภาพ 4)

น้ำหนักโมเลกุล : 169.073 g/mol

ลักษณะทางกายภาพ : ผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น

ภาพ 2-4 โครงสร้างโมเลกุลของไกลโฟเสท (National Center for Biotechnology Information, 2004)

การสะสมพาราควอตในดินและแหล่งน้ำ

พฤติกรรมของพาราควอตในดิน พาราควอตสามารถถูกดูดยึดไว้กับอนุภาคดินอย่างและสามารถเสื่อมฤทธิ์ได้ (inactivated) (WHO/IPCS, 1984) ซึ่งความสามารถในการดูดยึดพาราควอตโดยอนุภาคดินขึ้นอยู่กับชนิดดิน เช่น Montmorillonite (2:1 type clay) สามารถดูดยึดพาราควอตได้ มากกว่า Kaolinite (1:1 type clay) หรืออินทรีย์วัตถุในดิน มีการใช้พาราควอตที่ 1 กิโลกรัมไอออน/เฮกตาร์ หรือ 160 กรัมไอออน/ไร่ พบว่า ถ้าใช้ 1 ครั้ง/ปี จะต้องใช้ เวลา 30-1,440 ปี จึงทำให้ดินระดับลึก 15 ซม. อิ่มตัว (WHO/IPCS, 1984) ในขณะที่อัตราการใช้โดยทั่วไปอยู่ที่ 80 กรัมไอออน/ไร่ ซึ่งพาราควอตทที่สะสมอยู่ในดินจะมีการสลายตัวด้วยจุลินทรีย์ทำให้อัตราสะสมกับอัตราที่สลายตัวคงที่ (Willis, 1990) นอกจากนี้พาราควอตยังสามารถสลายตัวได้ตามธรรมชาติ ด้วยแสงสว่างและจุลินทรีย์ในดิน เช่น *Lipomyces starkeyi, Corynebacterium fascians* และ *Clostridium pasteurianum* แต่เมื่อใช้นานเข้า พาราควอทจะเกาะติดกับอนุภาคของดินเหนียว ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยาก การสลายตัวของพาราควอตในประเทศไทย พบว่า (Amondham *et al* 2006) ค่าการสลายตัว 50% ของพาราควอตในดินDT50 36-46 วัน (1-1.5เดือน) ค่าการสลายตัว 90% ของพาราควอตในดิน DT90 119-152 วัน (4-5 เดือน) ซึ่งจากการศึกษาในต่างประเทศค่าการสลายตัว 50% ของพาราควอตในดิน DT50 มีค่า1,000วัน

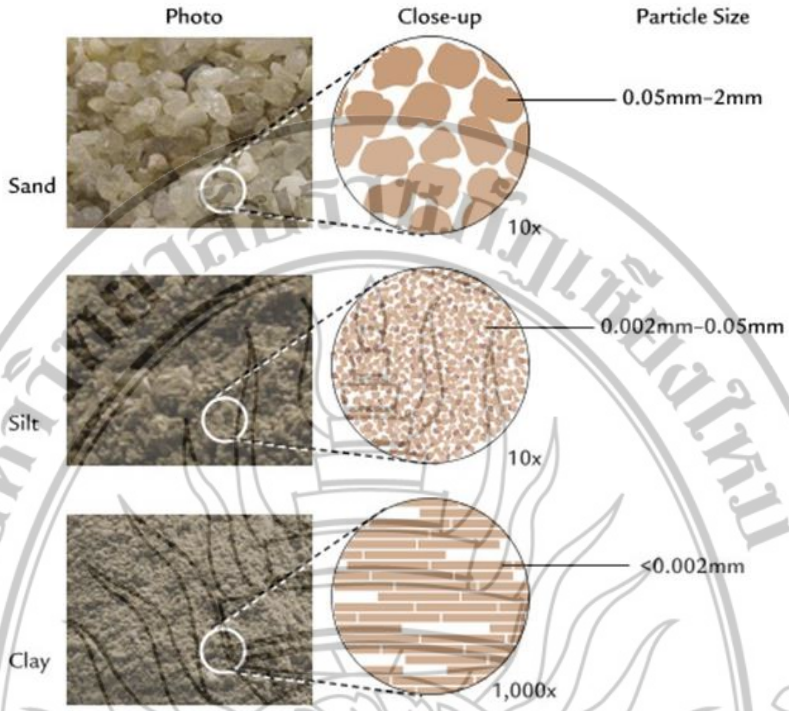
การสะสมไกลโฟเสทในดินและแหล่งน้ำ

โดยส่วนใหญ่การใช้สารเคมีฉีดพ่นพื้นที่เพาะปลูก จะมีเพียง 0.1% เท่านั้นที่จะเข้าทำลายวัชพืช แต่อีก 99.9% ตกค้างในดิน โดยไกลโฟเสทมีหมู่ฟอสเฟตมีประจุเป็นลบ สามารถยึดเกาะกับประจุ Al^{3+} และ Fe^{2+} บนผิวอนุภาคดินได้ดี จึงทำให้มีการเคลื่อนย้ายได้น้อย ชนิดของอนุภาคดิน (ภาพ 6) มีผลต่อการยึดเกาะของไกลโฟเสทอีกด้วย โดยไกลโฟเสทสามารถยึดเกาะกับอนุภาคดินเหนียว (clay) ได้ดีที่สุด และยึดเกาะกับอนุภาคดินทราย (sand) ได้น้อยที่สุด ทำให้มีโอกาสถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำได้ง่าย ส่งผลให้ไกลโฟเสทสามารถปนเปื้อนลงสู่น้ำใต้ดิน และน้ำผิวดินที่อยู่บริเวณข้างเคียงได้ง่าย (ภัทรารัตน์, 2557) จากการศึกษาการปนเปื้อนของไกลโฟเสทในประเทศอาร์เจนตินา พบการตกค้างของไกลโฟเสทในดินและตะกอนดิน 0.5-5.0 mg/kg และปนเปื้อนในแหล่งน้ำ 0.10-0.70 mg/L (Peruzzo *et al*., 2008) โดยทั่วไปไกลโฟเสทมีค่าครึ่งชีวิต 47 วัน (Tu *et al*., 2001; Mercurio *et al*., 2014) มีค่าครึ่งชีวิตในดิน 12-180 วัน และมีค่าครึ่งชีวิตในน้ำได้มากกว่า 60 วัน (Mercurio *et al*., 2014) จากการศึกษาปนเปื้อนของไกลโฟเสทในน้ำทะเล พบว่า ใน

บริเวณที่มีแสงต่ำ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไกลโฟเสทมีค่าครึ่งชีวิต 47 วัน ในบริเวณมืดจะมีค่าครึ่งชีวิต 267 วัน ที่อุณหภูมิ 25 ℃ และมีค่าครึ่งชีวิต 315 วัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เป็น 31 ℃ (Mercurio *et al*., 2014)

พาราควอตและไกลโฟเซตเมื่อพ่นลงดินแล้วไม่ได้เสื่อมฤทธิ์ในทันที แม้ว่าสารพาราควอตและไกลโฟเซตมีการดูดซับได้ดีในดิน แต่เมื่อมีการใช้สารเคมีต่อเนื่องซ้ำๆ หลายปี หรือมีการใช้ในปริมาณมาก จะทำให้สารเคมีสะสมจนเกินสภาวะอิ่มตัวที่สารอินทรีย์ในดินจะดูดซับได้ จะเกิดการคายซับเกิดขึ้น ทำให้สารเคมีถูกชะล้างออกจากดินไปสู่น้ำใต้ดินและแหล่งน้ำ ส่งผลให้พืชดูดซับสารเคมีเหล่านี้ไปสะสมในลำต้นได้ และเกิดการสะสมของสารเคมีเหล่านี้ในสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศวิทยา

“สารกำจัดวัชพืชเข้าสู่รากพืชด้วยการแพร่ (passive diffusion) ตามกลไก carrier-mediated system เป็นการดูดซึมสารเคมีเข้าสู่พืชในรูปแบบของ active absorption ผ่านเยื่อเมมเบรน โดยมีโปรตีนกรดอะมิโน เป็นสารนำพาทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายพาราควอตและไกลโฟเซตจากรากไปเซลล์ต่างๆ ของพืช สำหรับสารพาราควอตที่ผ่านเข้าสู่พืชด้วยกลไกนี้ฆ่าพืชไม่ตายแต่ทำให้เกิดการสะสมในพืช ซึ่งผู้บริโภคไม่สามารถขจัดสารตกค้างที่ดูดซึมออกได้ด้วยการล้าง และในต่างประเทศยังพบพาราควอตตกค้างในอาหาร เช่น แป้ง เบียร์ และอาหารเด็ก อีกด้วย (Danezis et al., 2016)



ภาพ 2-5 ชนิดของอนุภาคดิน: อนุภาคดินเหนียว (clay), อนุภาคดินตะกอน (silt) และอนุภาคดินทราย (sand) ที่มา: https://support.rainmachine.com/hc/en-us/articles/228001248-Soil-Types

2.3 การย่อยสารเคมีที่ใช้ในการเกษตรด้วยจุลินทรีย์

จากการใช้สารเคมีในการกำจัดควบคุมแมลงและวัชพืชจำนวนมากอย่างต่อเนื่องในทุกภาคส่วนของโลกทำให้ประสบปัญหาการปนเปื้อนของสารเคมีดังกล่าวในสิ่งแวดล้อม และสารเคมีเหล่านี้สามารถทำอันตรายให้แก่สิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม รวมถึงมนุษย์ได้แม้ในปริมาณที่น้อย (Singh and Singh, 2014) ดังนั้นจึงมีความพยายามในการใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดความเป็นพิษจากสารเคมีเหล่านี้ ซึ่งจะเป็นวิธีที่เป็นไปได้และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Singh and Walker, 2006) ตัวอย่างการใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร เช่น

2.3.1 การใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสารเคมีปราบควบคุมแมลงศัตรูพืช ตัวอย่างเช่น *Aerobacter aerogenes, Trichoderma viridae, Pseudomonas* sp., *Micrococcus* sp., *Arthrobacter* sp. และ *Bacillus* sp. สามารถกำจัด DDT นอกจากนี้ *Pseudomonas* sp., *Flavobacterium* sp., *Achromobacterium* sp., *Sphingomonas* sp. และ *Arthrobacter* sp. ยังสามารถกำจัด carbofuran ซึ่งเป็นสารกลุ่ม carbamate ได้ (Porto *et. al.* 2011) Singh and Walker (2006) ได้ทำการรวบรวมจุลินทรีย์ที่สามารถย่อย organophosphorus โดยพบว่าแบคทีเรียและเชื้อราหลายชนิดสามารถย่อยได้ เช่น

Pseudomonas spp. และ *Flavobacterium* spp. สำมำรถย่อยได้ทั้ง chlorpyrifos, parathion, methyl parathion และ glyphosate

2.3.2 การใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสารเคมีปราบควบคุมวัชพืช ตัวอย่างเช่น *Pseudomonas, Alcaligenes, Ralstonia, Delftia, Arthrobacter* และ *Burkholderia* สามารถย่อย 2, 4-D ในขณะที่แบคทีเรียหรือเชื้อราหลายชนิด เช่น *Corynebacterium fascians*, *Lipomyces starkeyi, Aspergillus niger, Penicillium frequentans, Fusarium* sp. และ *Pseudomonas* sp. สามารถย่อย paraquat ได้ (Singh and Singh, 2014)

2.3.3 การศึกษาย่อยสารเคมีที่ใช้ในการเกษตรด้วยจุลินทรีย์ในประเทศไทย

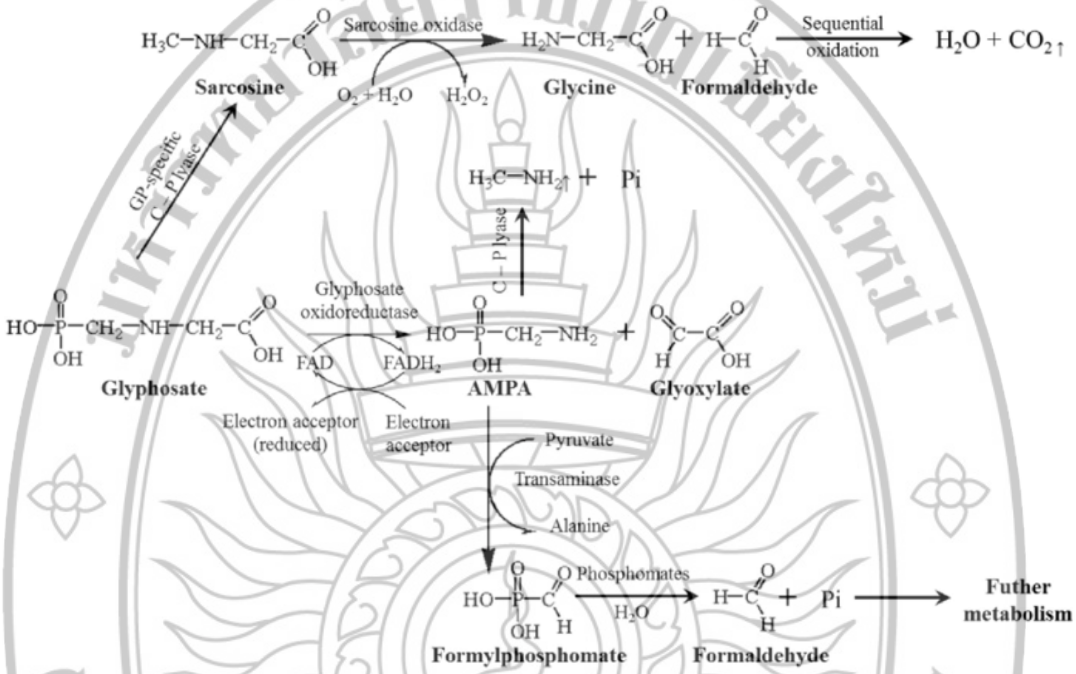
ในประเทศไทยเองมีการศึกษาจุลินทรีย์ที่สามารถกำจัดสารเคมีที่ใช้ในการเกษตรบางชนิด ยกตัวอย่างเช่น Visoottiviseth *et al.* (1995) ทำการคัดแยกแบคทีเรียจากท่าเรือ บริเวณจังหวัดสมุทรปราการ พบแบคทีเรีย *Pseudomonas putida* no. C. สามารถย่อยยาฆ่าแมลง triphenyltin hydroxide ได้ใน 24 ชม. ในปี 2008 มีการแยกแบคทีเรีย *Staphylococcus haemolyticus* จากพื้นที่การเกษตรจังหวัดสงขลานครินทร์ และพบว่าสามารถย่อย p,p′-DDT ได้ 30.5% ภายใน 10 วัน และในประเทศไทยยังพบแบคทีเรียในจีนัส *Burkholderia* หลายชนิดที่สามารถย่อยสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร เช่น *Burkholderia cepacia*สามารถย่อย methyl parathion ได้ดี (Keprasertsup *et al.,* 1995) ในขณะที่ *Burkholderia* sp. (isolate PCL3) สามารถย่อย carbofuran ได้ดี (Plangklanga and Reungsang, 2012)

2.3.4 การศึกษาคุณสมบัติส่งเสริมการเจริญของพืชจากจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร

ถึงแม้ว่าในอดีตจะมีการศึกษาจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสารเคมีที่ใช้ในการเกษตรจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่มุ่งเน้นแต่การย่อยหรือการบำบัดความเป็นพิษ ซึ่งแท้จริงแล้วจุลินทรีย์ในธรรมชาติไม่เพียงแต่ย่อยสลายสารพิษ แต่บางชนิดยังสามารถส่งเสริมการเจริญของพืชได้อีกด้วย เมื่อไม่นานมานี้มีการค้นพบแบคทีเรีย *Acinetobacter calcoaceticus* MCm5, *Brevibacillus parabrevis* FCm9, และ *Sphingomonas* sp. RCm6 ที่สามารถย่อยสลายยาฆ่าแมลง cypermethrin และสารกลุ่ม pyrethroid ชนิดอื่นได้ดี นอกจากนี้แบคทีเรียเหล่านี้ยังมีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของพืช จากความสามารถในการละลายฟอสเฟต การผลิต Indole acetic acid (IAA) และการผลิตแอมโมเนีย ซึ่งความสามารถในการย่อยสลายยาฆ่าแมลงและการส่งเสริมการเจริญของพืชดังกล่าวจะช่วยสนับสนุนการบำบัดสารเคมีตกค้างโดยวิธีการทางชีวภาพ (Akbar *et al.,* 2015)

2.4 แบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายไกลโฟเสทและพาราควอต

แบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายไกลโฟเสทได้ โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ C-P lyase ย่อยสลายไกลโฟเสท ได้เป็น sarcosine และ glycine และอาศัยเอนไซม์ glyphosate oxidoreductase ย่อยไกลโฟเสทได้เป็น aminomethylphosphonic acid (AMPA) และ glyoxylate ทั้งนี้สารที่ได้จากการย่อยไกลโฟเสทนี้จะเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรีย (ภัทรารัตน์, 2557)



ภาพ 2-6 Glyphosate metabolism pathways ของแบคทีเรีย (Huang *et al*., 2017)

การศึกษาย่อยไกลโฟเสทด้วยแบคทีเรีย

จากการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสารไกลโฟเสทจากดินในพื้นที่เพาะปลูกของจังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในอาหาร Tryptic Soy Broth (TSB) ที่มีสารไกลโฟเสทความเข้มข้น 20 ppm พบว่า แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้เท่ากับ 95.9 เปอร์เซ็นต์ที่ ระยะเวลา10 วัน (จุไรรัตน์, 2555)

จากรายงานของ Benslama and Boulahrouf ในปี 2013 มีการทดสอบอัตราการเจริญของแบคทีเรียจากดินที่คัดแยกจากทะเลทรายซาฮารา นำมาเลี้ยงในอาหารที่มีสารไกลโฟเสท วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 nm พบว่า *Pseudomonas putida* มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุดและถูกเลือกต่อเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม พบว่ามันสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 9 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที ใช้เวลา 168 ชั่วโมง และสามารถเจริญเติบโตในอาหารที่มีสารไกลโฟเสท

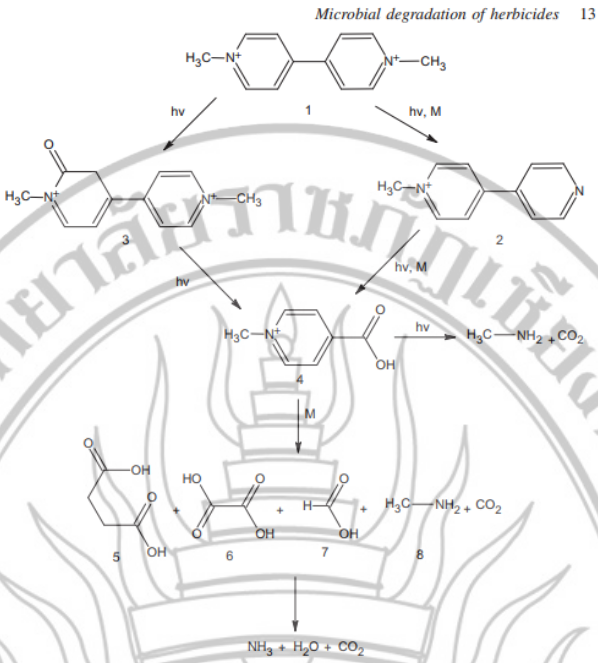
Bacillus cereus สามารถเจริญเติบโตได้ที่ pH 6 อุณหภูมิ 35 องศา และสามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีไกลโฟเสท และศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นสูงสุด 6 g/L เป็นเวลา 5

วัน พบว่า *Bacillus cereus* มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสาร ไกลโฟเสท 94.47 % และสามารถย่อยไกลโฟเสทได้ที่ความเข้มข้นสูงสุด 12 g/L (Fan *et al*., 2012)

Pseudomonas fluorescens และ *Acetobacter* sp. เป็นแบคทีเรียที่สามารถในการใช้ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ใน ไกลโฟเสทเป็นแหล่งอาหารและเจริญได้ดีที่สุด รองลงมาคือ *Azotobacte*r sp. *Alcaligenes* sp. และ *Escherichia* sp. โดยความเข้มข้นของไกลโฟเสทสูงสุดคือ 250 mg/ml (Moneke, 2010) และมีรายงานพบว่า*Pseudomonas putida*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Acetobacter faecalis* สามารถย่อยสลายสารไกลโฟเสทที่ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในเวลา 72 ชม. (Olawale, 2011)

แบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายพาราควอต

แบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายพาราควอตได้



ภาพ 2-7 การย่อยสลายของพาราควอตด้วยแบคทีเรีย *L. starkeyi, Corynebacterium fascians, Lipomyces starkeyi, Aspergillus niger, Penicillium frequentans, Fusarium* sp. *และ Pseudomonas* sp.

การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพาราควอดด้วยจุลินทรีย์ เช่น *Rhizoctonia solani, Lipomyces starkeyi, Pseudomonas putida, Achromobacter* sp., *Agrobacterium tumefaciens*, *Clostridium pasteureanum, Pseudomonas fluorescens* (Rodriguez-kabana, *et al*., 1966; Carr, et al., 1985; Hata, *et al*., 1986; Kopytko, *et al*., 2002) นอกจากนี้พารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิความเป็นกรด – ด่างและสารอาหารสามารถส่งผลต่อระดับความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชได้ สารอาหารมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยตรง การกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ในดินและช่วยในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Pal, *et al*.,2005) สารอาหารจะช่วยให้จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ที่จำเป็นซึ่งจะทำให้สารปนเปื้อนลดลง แหล่งคาร์บอนเป็นสารอาหารที่จำเป็นที่สุด ตามด้วยไนโตรเจน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และฟอสฟอรัส (Shahgholi, 2014) ความสามารถในการย่อยสลายจะเพิ่มขึนหรือลดลง ตามสภาวะแวดล้อมที่มีความเหมาะสม (Walker, *et al*., 2001)

2.5 การส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแบคทีเรีย

แบคทีเรียบางชนิดมีบทบาทสำคัญในสร้าวงสารอาหารให้แก่พืชและลดความต้องการของปุ๋ยเคมี (Cakmakci *et al*., 2006) มีความสามารถในการผลิตสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สามารถช่วยในการดูดซึมฟอสฟอรัส ซึ่งมีแบคทีเรียหลายชนิด เช่น *Pseudomonas, Bacillus, Rhizobium, Burkholderia, Achromobacter, Agrobacterium, Microccocus, Aereobacter, Flavobacterium* และ *Erwinia* เป็นที่รู้จักว่าสามารถผลิตสารช่วยละลายฟอสเฟตที่มีประสิทธิภาพ (Esitken *et al*., 2003) การสลายฟอสเฟตอนินทรีย์ และIndole-3-acetic acid (IAA) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพมากที่สุด (Muhammad, 1991) นอกจากนี้พบว่า *Pantoeaa ananatis, Pseudomonas putida, Brevibacillus agri, Bacillus subtilis* และ *Bacillus megaterium* เป็นตัวกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและสามารถใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพได้อีกด้วย (Andriani et al., 2017)