

## ความเป็นพิษของไกลโฟเสทและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ Glyphosate Toxicity and Microbial Degradation

ภัทรรัตน์ เทียมเก่า<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

ไกลโฟเสทเป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย และเป็นสารกำจัดศัตรูพืชที่มีการนำเข้าเป็นอันดับต้นๆ กลไกการออกฤทธิ์ของไกลโฟเสทเกิดจากการยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้าง aromatic amino acid ที่จำเป็นบางชนิดของพืช เป็นเหตุให้พืชเป้าหมายตาย ในการใช้สารกำจัดวัชพืชนั้นบางครั้งสารเคมีสามารถปนเปื้อนออกสู่แหล่งน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำผิวดินในบริเวณที่อยู่ไกลออกไปได้ ไกลโฟเสทนั้นเชื่อว่าจะมีความปลอดภัยเนื่องจากสามารถจับกับอนุภาคดินได้ดี โดยการจับกับ  $Al^{3+}$  และ  $Fe^{3+}$  บนผิวของอนุภาคดิน ทำให้การปนเปื้อนจากดินลงสู่แหล่งน้ำเป็นไปได้ได้น้อย แต่อย่างไรก็ตามจากหลายการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการปนเปื้อนออกสู่แหล่งน้ำของไกลโฟเสทสามารถเกิดขึ้นได้ ส่งผลกระทบต่อด้านลบต่อมนุษย์ สัตว์ และพืชที่ไม่ใช่พืชเป้าหมายด้วย ผลกระทบต่อมนุษย์มักเกิดจากการไม่ระมัดระวังหรือขาดการป้องกันในขณะที่ใช้สารนี้ฉีดพ่นเพื่อกำจัดวัชพืช หรือการรับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนของสารชนิดนี้ โดยไกลโฟเสทก่อให้เกิดความเสียหายของดีเอ็นเอ เป็นสาเหตุของการกลายพันธุ์ เพิ่มอัตราเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง และเป็นอันตรายต่อเซลล์สืบพันธุ์และการพัฒนาของตัวอ่อน ไกลโฟเสททำให้ความหลากหลายของสัตว์ลดลงส่งผลให้สมดุลในธรรมชาติสูญเสียไป ทางด้านพืชต่อพืชที่ไม่ใช่พืชเป้าหมายนั้นพบว่า ไกลโฟเสทสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งยังมีผลลดการงอกและน้ำหนักของเมล็ดด้วย แต่อย่างไรก็ตามไกลโฟเสทนั้นสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ด้วยสองกลไก คือ กระบวนการหนึ่งจะสร้าง sarcosine และ glycine เป็นสารอนุพันธ์จากการย่อยสลายไกลโฟเสทโดยเอนไซม์ C-P lyase และอีกกระบวนการหนึ่งจะใช้เอนไซม์ glyphosate oxidoreductase ย่อยไกลโฟเสทได้เป็น aminomethylphosphonic acid (AMPA) และ glyoxylate สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทที่ถูกย่อยสลายแล้วนั้นจะเป็นแหล่งของฟอสฟอรัส คาร์บอน และไนโตรเจนให้กับจุลินทรีย์ การย่อยสลายของไกลโฟเสทโดยจุลินทรีย์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของไกลโฟเสทได้

**คำสำคัญ :** ไกลโฟเสท การปนเปื้อน ความเป็นพิษ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์

### Abstract

Glyphosate is one of the most widely use herbicides in Thailand. It is in the earliest lists of imported pesticides. Glyphosate's mode of action is to inhibit an enzyme involved in the synthesis of the essential aromatic amino acids which the cause of death in plant. Under some conditions, certain herbicides can be transported via leaching or surface runoff to contaminate groundwater or distant surface water sources. In case of glyphosate, much of the belief about its environmental safety is based on the expectation that residues will be immobile in soil because it is strongly adsorbed to  $Al^{3+}$  and  $Fe^{3+}$  on surface of soil particles and therefore little chemical is leached from applied area. However, many researches showed the potential of glyphosate to contaminate aquatic environment which may pose a risk to human health,

<sup>1</sup>คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

animals, and non-target plants. Their effects on human can often cause by the careless spraying herbicide and consuming of contaminated products. Glyphosate cause DNA damage, genetic mutation or increase cancer risk, and interfere with human reproduction or fetal development. Glyphosate use directly impacts a variety of animals which result in biodynamic reduction. The negative effects on non-target plants comprise inhibition of plant growth, reduced of seed germination and weight of seeds. However, glyphosate readily degraded by microorganisms using two pathways. The first degradation pathway, sarcosine and glycine are intermediate in glyphosate degradation by C-P lyase. The second, glyphosate oxidoreductase cleaves glyphosate molecule yielding aminomethylphosphonic acid (AMPA) and glyoxylate. The herbicide glyphosate can serve as source of phosphorus, carbon, and nitrogen for microorganisms. The biodegradation by microorganisms can be applied as remediation method to remediate glyphosate contaminated areas.

**Keywords :** glyphosate, contamination, toxicity, microbial degradation

### คำนำ

ในปัจจุบันนี้ความต้องการอาหารที่มากขึ้นทำให้กระบวนการผลิตทางการเกษตรเน้นการผลิตที่ให้ปริมาณผลผลิตสูงสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เพื่อให้การจัดการกับกระบวนการผลิตสะดวกเร็วสำหรับประเทศไทยนั้นสารกำจัดวัชพืชเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันผลผลิต เพื่อการเพิ่มปริมาณคุณภาพ และรูปร่างหน้าตาของผลผลิต (HSRI, 2005) ประมาณการว่าผลผลิตประมาณ 50 % เสียหายเนื่องจากศัตรูพืชในแปลงปลูกพืชที่ไม่มีกรป้องกัน (Oerke and Dehne, 2004) การใช้สารกำจัดวัชพืชสำหรับประเทศไทยนั้นนับว่าจำเป็นและมีความสำคัญเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรรายงานว่าการใช้สารกำจัดวัชพืชเพิ่มขึ้น 4 เท่าในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา และมีการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชสู่ประเทศไทยมากกว่า 1 แสนตัน (OAE, 2010; OAR, 2011) สารกำจัดวัชพืช (herbicides) มีการนำเข้ามากที่สุด (Figure 1) รองลงมา คือ สารกำจัดแมลง (insecticides) สารกำจัดรา (fungicides) สารควบคุมการเจริญของพืช (plant growth regulators) และสารกำจัดศัตรูพืชอื่นๆ (Panuwet *et al.*, 2012)

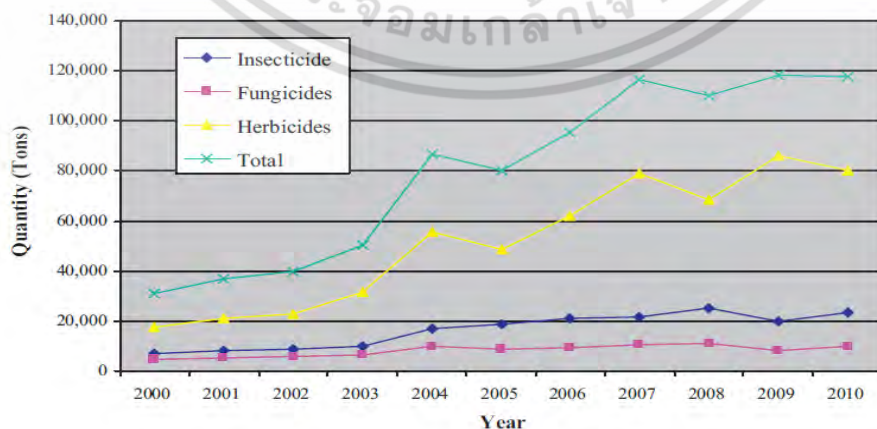


Figure 1 Amount of pesticides imported to Thailand. (source: Panuwet *et al.*, 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ไกลโฟเสท

ไกลโฟเสท (glyphosate) เป็นสารเคมีที่ประเทศไทยได้มีการนำเข้าสูงเป็นอันดับต้นๆ ในบรรดาสารซึ่งนำมาใช้ในการกำจัดวัชพืช (Table 1) สารชนิดนี้ถูกควบคุมการนำเข้าแล้วในหลายๆ ประเทศยกเว้นในประเทศไทย (Praneetvatakul *et al.*, 2013) สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทมีชื่อการค้าหลายชื่อ และนับว่าเป็นสารกำจัดวัชพืชที่ใช้กันมากที่สุดในโลก (แฉล้ม, 2552)

ไกลโฟเสทมีชื่อทางเคมีว่า N-(phosphonomethyl) glycine เป็นสารอนุพันธ์ของ phosphonomethyl ของกรดอะมิโนไกลซีน (glycine) ไกลโฟเสทบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่อะมิโน 1 หมู่ และเป็นกรดที่แตกตัวได้ 3 หมู่ ไกลโฟเสทถูกสังเคราะห์ขึ้นในปี ค.ศ. 1950 โดย Dr. Henri Martin (นักเคมีชาวสวิส) ซึ่งในขณะนั้นยังไม่ทราบถึงฤทธิ์ในการกำจัดวัชพืช สารเคมีนี้ถูกนำไปพัฒนาต่อโดยนักวิทยาศาสตร์ของบริษัท Monsanto และใช้เป็นสารกำจัดวัชพืชในเวลาต่อมา (Dill *et al.*, 2010) ไกลโฟเสทมีคุณสมบัติเป็นกรด แต่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของเกลือ โดยเฉพาะรูปของเกลือ isopropylamine เนื่องจากไกลโฟเสทเป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีฤทธิ์กว้าง ทำให้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ไกลโฟเสทที่ใช้โดยทั่วไปในการกำจัดวัชพืชจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองอ่อนถึงสีน้ำตาล ละลายน้ำได้ดี ชื่อทางการค้าที่รู้จักกันดี คือ ราวด์อัฟ (Roundup®)

Table 1 Top ten's pesticides imported to Thailand during January - March 2011. (source: OAR, 2011)

No.	Pesticides	Quantity (tons)
1	Paraquat dichloride	7,857.84
2	Glyphosate isopropyl ammonium	6,253.04
3	Carbofuran	1,981.08
4	Atrazine	1,650.83
5	2,4-D dimethyl ammonium	1,443.65
6	Ametryn	1,381.23
7	2,4-D sodium salt	1,156.6
8	Butachlor	1,085.44
9	Abamectin	876.07
10	Glyphosate	788.11
	Total	24,474.61

## 2. กลไกการออกฤทธิ์

กลไกการทำงานของไกลโฟเสทในการกำจัดวัชพืช เกิดจากการยับยั้งการสังเคราะห์ aromatic amino acids (phenylalanine, tyrosine, และ tryptophan) กรดอะมิโนเหล่านี้ใช้สำหรับการสังเคราะห์โปรตีนและสารอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของพืช ไกลโฟเสทจะไปแย่งจับกับตำแหน่งจับของ phosphoenolpyruvate (PEP) บนเอนไซม์ 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) กระบวนการนี้เรียกว่า การยับยั้งแบบแข่งขัน (competitive inhibitor) เนื่องจาก PEP นี้เป็น precursors สำหรับการสร้าง aromatic amino acid เมื่อ PEP นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่สามารถเข้าจับกับเอนไซม์ EPSPS ได้ จึงส่งผลให้ไม่เกิดการสร้างกรดอะมิโน (Tu *et al.*, 2001) นอกจากนี้ไกลโคไฟเฟสยังอาจยับยั้งเอนไซม์อื่นๆอีก 2 ชนิด คือ chlorismatemutase และ prephrenatehydratase ซึ่งเกี่ยวข้องกับขั้นตอนอื่นๆในกระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนชนิดเดียวกัน เอนไซม์เหล่านี้อยู่ในกระบวนการที่เรียกว่า shikimic acid pathway ซึ่งพบในพืชชั้นสูง และจุลินทรีย์ แต่กระบวนการนี้ไม่พบในสัตว์ (Gilchrist and Kosuge, 1980) นอกจากนี้ shikimate biosynthetic pathway จะเป็น pathway ที่จำเป็นสำหรับการสร้าง aromatic amino acids แล้ว ยังเกี่ยวข้องกับการสร้าง auxin, phytoalexins, folic acid, lignin, plastoquinones และ secondary products อื่นๆอีกหลายชนิด เนื่องจากเป็นที่เข้าใจถึงกระบวนการในการออกฤทธิ์ของไกลโคไฟเฟสเป็นอย่างดีว่าเกี่ยวข้องกับ shikimate pathway เท่านั้น จึงเชื่อว่าสารกำจัดวัชพืชที่มีพิษต่อสัตว์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในระดับต่ำ (Giesy *et al.*, 2000; WHO, 1996)

### 3. ความเป็นพิษของไกลโคไฟเฟส

#### 3.1 พิษต่อมนุษย์

การศึกษาด้านพิษวิทยาแสดงให้เห็นว่าสารกำจัดวัชพืชที่มีไกลโคไฟเฟสเป็นองค์ประกอบหลักสามารถทำลายดีเอ็นเอ เป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็ง การกลายพันธุ์ และเป็นอันตรายต่อเซลล์สืบพันธุ์ (Paganelli *et al.*, 2010) ข้อมูลจากการศึกษาเกษตรกรที่เมืองออนตารีโอ ประเทศแคนาดา ชี้ให้เห็นว่าการสัมผัสกับสารกำจัดวัชพืชที่มีไกลโคไฟเฟสเป็นส่วนประกอบหลักจะเสี่ยงต่อการแท้งลูกเพิ่มขึ้นเกือบสองเท่า การสัมผัสสารไกลโคไฟเฟสที่ความเข้มข้นต่ำเป็นเวลา 18 ชั่วโมงจะทำให้เซลล์รกจำนวนมากเริ่มตาย ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการคลอดลูกก่อนกำหนดและการแท้งลูก (Savitz *et al.*, 1997) ไกลโคไฟเฟสความเข้มข้นที่ใช้ในการเกษตร (21- 42 mM) เป็นพิษกับตัวอ่อนมนุษย์ รวมถึงเซลล์รก (Benachour *et al.*, 2007; Richard *et al.*, 2005) ไกลโคไฟเฟสที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 1 g/L สามารถยับยั้งการทำงานของต่อมไร้ท่อ ทำให้ปริมาณ testosterone ลดลง 35 % และยังรบกวนการทำงานของยีนที่ควบคุมการสร้างเอสโตรเจน ซึ่งมีผลต่อการเกิดมะเร็งเต้านมชนิดที่สัมพันธ์กับฮอร์โมนเอสโตรเจน (Hokanson *et al.*, 2007; Thongprakaisang *et al.*, 2013)

สำหรับประเทศไทยนั้นจำนวนผู้ป่วยที่ได้รับพิษจากสารเคมีทางการเกษตรมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (Figure 2) นอกจากนี้เด็กที่มีผู้ปกครองเป็นเกษตรกร จะพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในปัสสาวะสูงกว่าเด็กที่มีผู้ปกครองประกอบอาชีพอื่นๆ (Panuwet *et al.*, 2009)

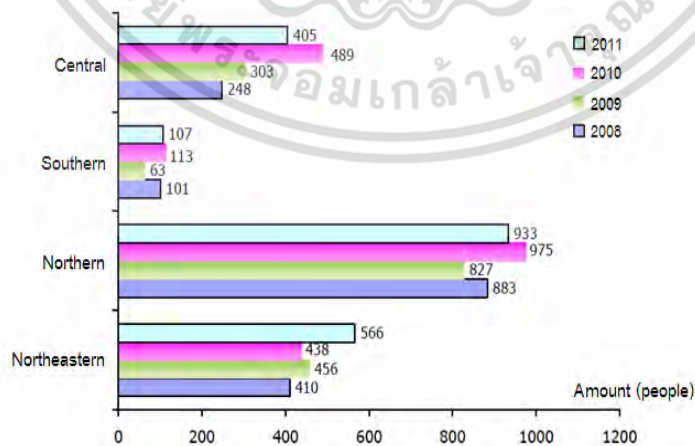


Figure 2 Number of patients caused from toxicity of agricultural chemicals during year 2008-2011, classified by regions. (source: OAR, 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 พิษต่อสัตว์

ไกลโฟเสทนั้นพบว่าได้ทำลายแมลงที่เป็นประโยชน์มากมาย (Hassan *et al.*, 2009) การลดปริมาณของแมลงมีผลเสียต่อกันและสัตว์กินแมลงขนาดเล็ก (Santillo *et al.*, 1989) ไกลโฟเสทสามารถทำให้สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกตายได้ ส่งผลให้ความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำลดลง 70 % และทำให้จำนวนลูกอ๊อดลดลง 86 % จนทำให้กบบางชนิดใกล้สูญพันธุ์ (Reylea, 2005) ผลกระทบต่อมาคือผลกระทบต่อปลา โดยจะมีผลต่อการว่ายน้ำ การเสียหายของเหงือก และโครงสร้างของตับที่เปลี่ยนไป (Liong *et al.*, 1988; Neskovic *et al.*, 1996) สารกำจัดวัชพืชที่มีไกลโฟเสทเป็นส่วนประกอบหลักสามารถรบกวนกระบวนการสังเคราะห์ฮอร์โมนใน cell line ของหนูได้ (Benachour *et al.*, 2007) สารกำจัดวัชพืชที่มีไกลโฟเสทเป็นสารประกอบสำคัญยังมีสารเคมีอื่น ๆ ผสมอยู่ด้วย เช่น สารลดแรงตึงผิว (surfactant) (Edginton *et al.*, 2004; Moore *et al.*, 2012) โดยสารเสริมเหล่านี้จะเพิ่มความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืชให้มากกว่าสารไกลโฟเสทเดี่ยวๆ (Séralini *et al.*, 2012) ไกลโฟเสทในรูปการค้ำนั้นมีพิษสูงกว่าสารไกลโฟเสทเดี่ยวๆ 20-70 เท่า (Folmar *et al.*, 1979)

### 3.3 พิษต่อพืช

ไกลโฟเสทนอกจากจะมีผลในการกำจัดวัชพืชแล้วยังมีผลกระทบต่อพืชที่ไม่ใช่พืชเป้าหมายด้วย ไกลโฟเสทที่ความเข้มข้นต่ำๆจะมีผลลดการงอกและน้ำหนักของเมล็ด (Locke *et al.*, 1995) การศึกษาในอ้อยนั้นพบว่าไกลโฟเสทจะไปลดกิจกรรมของเอนไซม์ acid invertase ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของน้ำตาล กลไกการลดลงนี้เกี่ยวข้องกับฮอร์โมนพืชออกซิน (Su *et al.*, 1992) ไกลโฟเสทที่ตกค้างในหญ้าขนซึ่งนำมาใช้ทำปุ๋ยพืชสดส่งผลลดการเจริญของแตงกวาในระยะต้นกล้า (วารสาร คชช. และคณะ, 2555) นอกจากนี้ยังมีผลต่อความสามารถของแบคทีเรียที่อยู่ในปมรากพืชในการตรึงไนโตรเจนซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการเปลี่ยนไนโตรเจนจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์เป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ มีการศึกษาที่พบว่าไกลโฟเสทในระดับความเข้มข้นที่ใช้กันทั่วไปลดการตรึงไนโตรเจนได้ถึง 70 % (Eberback and Douglas, 1983)

## 4. การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

การนำสารเคมีกำจัดศัตรูพืชมาใช้นั้นมีเพียงส่วนน้อยที่มีผลโดยตรงกับศัตรูพืช สารส่วนมากจะกระจายไปสู่สิ่งแวดล้อมตกค้างในดิน ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน รวมถึงกระจายลงสู่แหล่งน้ำต่างๆด้วย มีรายงานว่าสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้กันนั้นมีแค่ 0.1 % เท่านั้นที่เข้าไปทำลายสิ่งมีชีวิตเป้าหมาย ส่วนที่เหลืออีก 99.9 % นั้นจะปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ในแหล่งน้ำ ดิน และอากาศ (Pimentel, 1995) ไกลโฟเสทสามารถจับกับอนุภาคดินได้ดีจึงเชื่อว่าการปนเปื้อนออกสู่แหล่งน้ำต่างๆนั้นเป็นไปได้น้อย เนื่องจาก ไกลโฟเสทมีหมู่ฟังก์ชันแบบมีขั้ว 3 หมู่ ซึ่งจะจับกันได้ดีกับแร่ดิน ไกลโฟเสทที่อยู่ในดินส่วนใหญ่ (ดินที่ pH 4-8) จะอยู่ในรูป monovalent และ divalent anions ซึ่งจะจับกันได้ดีกับ  $Al^{3+}$  และ  $Fe^{3+}$  บนผิวของอนุภาคดิน (Borggaard and Gimsing, 2008) จากการศึกษาพบว่าความสามารถในการจับกับอนุภาคดินของไกลโฟเสทนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินด้วย ไกลโฟเสทสามารถจับกับอนุภาคดินเหนียวได้ดี แต่มีความสามารถในการจับกับอนุภาคดินทรายได้ต่ำ ซึ่งจะทำให้เสี่ยงต่อการปนเปื้อนไปสู่ น้ำใต้ดิน และแหล่งน้ำผิวดิน (Borggaard and Gimsing, 2008) นอกจากนี้ไกลโฟเสทสามารถจับกับไอออนของโลหะได้หลายชนิด ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของสารอาหารในดินลดลง ส่วนการปนเปื้อนในอากาศนั้นพบได้น้อยมาก เนื่องจากไกลโฟเสทนั้นระเหยได้ต่ำ

จากคุณสมบัติโมเลกุลมีขั้วและละลายน้ำได้ดี ทำให้ไกลโฟเสทจับกับสารอื่นได้ง่าย จับได้แน่นกับอนุภาคดิน ส่งผลให้มีความคงทนในดินถึง 170 วัน จากปกติที่มีค่าครึ่งชีวิต (half-life) ประมาณ 45-60 วัน (Peruzzo *et al.*, 2008) การศึกษาการปนเปื้อนของไกลโฟเสทในบริเวณรอบพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองในประเทศอาร์เจนตินา ซึ่งมีการใช้ไกลโฟเสทที่อัตรา 1.0-1.5 kg/ha พบการปนเปื้อนของไกลโฟเสทในแหล่งน้ำ 0.10-0.70 mg/L ปนเปื้อนในดินและ

ตะกอนดิน 0.5-5.0 mg/kg ระดับการปนเปื้อนจะขึ้นอยู่กับปริมาณไกลโฟเสทที่ใช้ และปริมาณน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ โดยน้ำฝนช่วยลดความเข้มข้นของไกลโฟเสทในดิน โดยการชะล้างไกลโฟเสทจากดินลงสู่แหล่งน้ำ (Peruzzo *et al.*, 2008) ปริมาณแสงและอุณหภูมิมีผลต่อความคงทนของไกลโฟเสทในสิ่งแวดล้อม ไกลโฟเสทที่ปนเปื้อนลงสู่ทะเล ในบริเวณที่มีแสงปริมาณต่ำ พบว่าที่อุณหภูมิ 25 °C ไกลโฟเสทมีค่าครึ่งชีวิต 47 วัน ในบริเวณมืดจะมีค่าครึ่งชีวิต 267 วัน ที่อุณหภูมิ 25 °C และมีค่าครึ่งชีวิต 315 วัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 31 °C (Mercurio *et al.*, 2014)

### 5. กลไกการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์

จุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายไกลโฟเสทที่ตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม มีการตั้งสมมติฐานว่า การย่อยสลายของไกลโฟเสทที่รวดเร็วกว่าเกิดขึ้นกับโมเลกุลของไกลโฟเสทอิสระ ส่วนไกลโฟเสทที่โมเลกุลจับกับอนุภาคดินหรือดินตะกอนจะมีการย่อยสลายด้วยอัตราที่ช้ากว่า ไกลโฟเสทที่อยู่ในพืชนั้นจะถูกย่อยสลายได้ช้ามาก และการจับกับอนุภาคดินเป็นการลดการดูดไปใช้โดยรากของพืชด้วย การเติมฟอสเฟตเข้าไปในดินจะเป็นการเพิ่มไกลโฟเสทในรูปอิสระ เนื่องจากฟอสเฟตนี้จะเข้าไปจับกับอนุภาคดิน ทำให้ไกลโฟเสทหลุดออกมาและอยู่ในเป็นรูปที่จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายได้ง่ายขึ้น

ไกลโฟเสทนั้นนับว่าอยู่ในระดับที่ย่อยสลายได้ปานกลางโดยจุลินทรีย์ ไกลโฟเสทถูกจัดอยู่ในกลุ่มของ phosphonic acids ซึ่งในโมเลกุลประกอบด้วยพันธะระหว่างคาร์บอนกับฟอสฟอรัส แม้ว่าพันธะนี้จะเสถียรมาก แต่แบคทีเรียหลายชนิดสามารถทำลายพันธะนี้ได้แล้วนำอนินทรีย์ฟอสเฟตมาใช้ประโยชน์ได้ การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของไกลโฟเสทเกือบทั้งหมด พบว่าไกลโฟเสทเป็นแหล่งของฟอสฟอรัส คาร์บอน และไนโตรเจนสำหรับจุลินทรีย์

กระบวนการย่อยสลายของไกลโฟเสทโดยจุลินทรีย์นั้นมี 2 วิธีการ คือ กระบวนการแรกเป็นกระบวนการที่สร้าง sarcosine และ glycine เป็นสารอนุพันธ์ โดยกระบวนการนี้จะพบในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของไกลโฟเสทในปริมาณสูง (Dick and Quinn, 1995) ขั้นตอนแรกของกระบวนการจะเป็นการแตกพันธะระหว่างคาร์บอนกับฟอสฟอรัส (C-P) โดยเอนไซม์ C-P lyase ได้ phosphate และ sarcosine เป็นผลผลิตของปฏิกิริยา ซึ่ง sarcosine นี้จะถูกย่อยต่อเป็น glycine และ formaldehyde glycine นั้นจะถูกย่อยต่อไปจนได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และแอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) ส่วน formaldehyde นั้นจะเข้าสู่ tetrahydrofolate pathway และถูกย่อยสลายต่อไป

กระบวนการย่อยสลายของไกลโฟเสทกระบวนการที่ 2 เป็นกระบวนการที่สร้าง aminomethylphosphonic acid (AMPA) เป็นสารอนุพันธ์ โดยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่พบในจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติก่อนที่จะมีการปนเปื้อนของไกลโฟเสท ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการย่อยสลายไกลโฟเสทนั้นมีอยู่แล้วในธรรมชาติ (Kertesz *et al.*, 1994) ในกระบวนการนี้ ขั้นตอนแรกจะเป็นการแยกพันธะระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C-N) ด้วยเอนไซม์ glyphosate oxidoreductase ได้ผลผลิตของปฏิกิริยาเป็น AMPA และ glyoxylate ซึ่ง glyoxylate จะเข้าสู่ glyoxylate cycle และถูกย่อยสลายต่อไป ส่วน AMPA จะถูกย่อยสลายต่อไปได้เป็นอนินทรีย์ฟอสเฟต และ methylamine methylamine นี้จะถูก mineralize ต่อไปเป็น CO<sub>2</sub> และ NH<sub>3</sub> (Borggaard and Gimsing, 2008) กระบวนการย่อยสลายของไกลโฟเสททั้งสองกระบวนการแสดงใน Figure 3

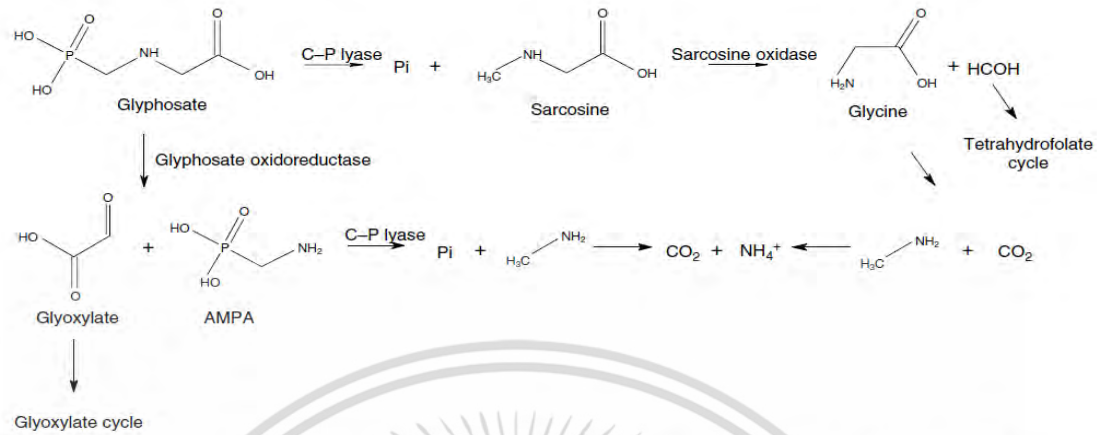


Figure 3 Mechanisms of glyphosate degradation by microorganisms. (source: Borggaard and Gimsing, 2008)

### สรุป

ไกลโฟเสตนั้นเป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย ประเทศไทยมีการนำเข้าไกลโฟเสทในปริมาณมาก และเป็นสารเคมีที่อยู่ในอันดับต้นๆของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่มีการนำเข้ามาใช้ ไกลโฟเสตนั้นแม้ว่าทางผู้ผลิตจะอ้างว่าถูกดูดซับด้วยอนุภาคของดินได้ดี ส่งผลให้การปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นไปได้น้อยมาก แต่จากหลายๆการศึกษาพบว่าดินแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับไกลโฟเสทได้แตกต่างกัน และการปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมบริเวณต่างๆนั้นเกิดขึ้นได้ ไกลโฟเสทเป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช มนุษย์จะได้รับไกลโฟเสทจากการใช้อย่างไม่ถูกวิธีหรือไม่ระมัดระวังในขณะที่ใช้สารเคมีฉีดพ่นเพื่อกำจัดวัชพืช โดยพิษต่อมนุษย์นั้นสามารถก่อให้เกิดความผิดปกติได้หลายอย่าง โดยเฉพาะก่อให้เกิดความผิดปกติของเซลล์สืบพันธุ์และการพัฒนาของตัวอ่อน ไกลโฟเสทที่ปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมจะไปทำลายสมดุลของสัตว์ในธรรมชาติ นอกจากนี้พืชอื่นที่ไม่ใช่พืชเป้าหมายหากได้รับไกลโฟเสทจะทำให้การเจริญเติบโตลดลง รวมถึงการออกและน้ำหนักเมล็ดลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามไกลโฟเสทที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมนั้นสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ โดย 2 กระบวนการกระบวนการแรกเป็นกระบวนการที่เอนไซม์ C-P lyase ย่อยสลายไกลโฟเสทและได้ phosphate และ sarcosine เป็นสารอนุพันธ์ กระบวนการที่สอง เป็นกระบวนการที่เอนไซม์ย่อยไกลโฟเสทและได้ AMPA และ glyoxylate เป็นสารอนุพันธ์ ไกลโฟเสทที่ถูกย่อยสลายจะกลายเป็นแหล่งของฟอสฟอรัส คาร์บอน และไนโตรเจนสำหรับจุลินทรีย์ ซึ่งความสามารถของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายไกลโฟเสทนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของไกลโฟเสทได้

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนการจัดทำบทความวิชาการในครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

แฉล้ม มาศวรรณ. 2552. พิษภัยของสารกำจัดวัชพืช. หน้า 52-66. ใน น.ส.พ.กสิกรปีที่ 82 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม. วารสารนี้ อยุ่ฉาย, นันทพร ธรรมทูล และ ชนิษฐา สมตระกูล. 2555. ความเป็นพิษของไกลโฟเซตที่ตกค้างในดินและซากพืชต่อการเจริญระยะต้นกล้าของแตงกวา.

Journal of Agriculture Research & Extension 32-25 :(1)30.

Benachour, N., S. Moslemi, H. Sipahutar and G. E. Séralini. 2007. Cytotoxic effects and aromatase inhibition by xenobiotic endocrine disrupter alone and in combination. *Toxicology and Applied Pharmacology* 222(2): 129-140.

Borggaard, O. K. and A. L. Gimsing. 2008. Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. *Pest Management Science* 64: 441-456.

Dick, R. E. and J. P. Quinn. 1995. Glyphosate-degrading isolates from environmental samples: occurrence and pathways of degradation. *Applied Microbiology and Biotechnology* 43(3): 545-550.

Dill, G. M., R. D. Sammons, P. C. C. Feng, F. Kohn, K. Kretzmer, A. Mehrsheikh, M. Bleeke, J. L. Honegger, D. Farmer, D. Wright and E. A. Hauptfear.

2010. Glyphosate: Discovery, Development, Applications, and Properties. in V.K. Nandula (Ed). *Glyphosate Resistance in Crops and Weeds: History, Development, and Management*. (pp.1-34) .John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Eberback, P. L. and L. A. Douglas. 1983. Persistence of glyphosate in a sandy loam. *Soil Biology and Biochemistry* 15(4): 485-487.

Edginton, A. N., P. M. Sheridan, G. R. Stephenson, D. G. Thompson and H. J. Boermans. 2004. Comparative effects of pH and vision herbicide on two life stages of four anuran amphibian species. *Environmental Toxicology and Chemistry* 23: 815-822.

Folmar, L. C., H. O. Sanders and A. M. Julin. 1979. Toxicity of the herbicide glyphosate and several of its formulations to fish and aquatic invertebrates. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 33: 355-361.

Giesy, J. P., S. Dobson and K. R. Solomon. 2000. Ecotoxicological risk assessment for roundup herbicide. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 167: 35-120.

Gilchrist, D. G. and T. Kosuge. 1980. Aromatic amino acid biosynthesis and its regulation. pp. 507-513. In Mifflin, B.J. (ed.) *The biochemistry of plants*. New York: Academic Press, New York. m

Hassan, S. A. F. Bigler, H. Bogenschütz, E. Boller, J. Brun, P. Chiverton, P. Edwards, F. Mansour, E. Naton, P. A. Oomen, W. P. J. Overmeer, L. Polgar, W. Rieckmann, L. Samsøe-Petersen, A. Stäubli, G. Sterk, K. Tavares, J. J. Tuset, G. Viggiani and A. G. Vivas. 2009. Results of the fourth joint pesticide testing programme carried out by the IOBC/WPRS working group "Pesticides and Beneficial Organisms". *Journal of Applied Entomology* 105: 321-329.

Health System Research Institute (HSRI). 2005. Knowledge needed for effective decision of pesticide policy in Thailand Ministry of Public Health, Nonthaburi, Thailand.

Hokanson, R., R. Fudge, R. Chowdhary and D. Busbee. 2007. Alteration of estrogen-regulated gene expression in human cells induced by the agricultural and horticultural herbicide glyphosate. *Human and Experimental Toxicology* 26(9): 747-752.

Kertesz, M. A., A. M. Cook and T. Leisinger. 1994. Microbial metabolism of sulfur- and phosphorus-containing xenobiotics. *FEMS Microbiology Review* 15(2-3): 195-215.

Liong, P. C., W. P. Hamzah and V. Murugan. 1988. Toxicity of some pesticides towards freshwater fishes. *Malaysian Agriculture Journal* 54(3): 147-156.

Locke, D., J. A. Landivar and D. Moseley. 1995. The effects of rate and timing of glyphosate applications on defoliation efficiency, regrowth inhibition, lint yield, fiber quality and seed quality. *National Cotton Council of America*: 1088-1090.

Mercurio, P., F. Flores, J. F. Mueller, S. Carter and A. P. Negri. 2014. Glyphosate persistence in seawater. [Marine Pollution Bulletin](#). (in press)

Moore, L. J., L. Fuentes, J. H. Rodgers, W. W. Bowerman, G. K. Yarrow, W. Y. Chao and W. C. Bridges. 2012. Relative toxicity of the components of the original formulation of Roundup to five North American anurans. *Ecotoxicology and*

- Environment Safety 78: 128-133.
- Neskovic, N. K., V. Poleksic, I. Elezovic, V. Karan and M. Budimir. 1996. Biochemical and histopathological effects of glyphosate on carp, *Cyprinus carpio* L. Bulletin of Environmental Toxicology and Chemistry 56: 295-302.
- Office of Agricultural Economics (OAE). 2010. Summary of imported pesticides. [online] Available at: <http://www.oae.go.th> [Cited 20 December 2012].
- Office of Agriculture Regulation (OAR). 2011. Public access database. [online] Available at: <http://m.doa.go.th/ard/> [Cited 20 December 2012].
- Oerke, E. C. and H. W. Dehne. 2004. Safe guarding production-losses in major crops and the role of crop protection. Crop Protection 23(4): 275-285.
- Paganelli, A., V. Gnazzo, H. Acosta, S. L. López and A. E. Carrasco. 2010. Glyphosate based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signaling. Chemical Research in Toxicology 23: 1586-1595.
- Panuwet, P., T. Prapamontol, S. Chantara and D. B. Barr. 2009. Urinary pesticide metabolites in school students from northern Thailand. International Journal of Hygiene and Environmental Health 297-288 :212.
- Panuwet, P., W. Siritwong, T. Prapamontol, P. B. Ryan, N. Fiedler, M. G. Robson and D. B. Barr. 2012. Agricultural pesticide management in Thailand: status and population health risk. Environmental Science and Policy 17: 72-81.
- Peruzzo, P. J., A. A. Porta and A. E. Ronco. 2008. Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina. Environmental Pollution 156(1): 6166-.
- Pimentel, D. 1995. Amounts of pesticides reaching target pests: environmental impacts and ethics. Journal of Agricultural and Environmental Ethics 8: 17-29.
- Praneetvatakul, S., P. Schreinemachers, P. Pananurak and P. Tipraqsa. 2013. Pesticides, external costs and policy options for Thai agriculture. Environmental Science and Policy 27: 103-113.
- Relyea, R. A. 2005. The lethal impact of Roundup on aquatic and terrestrial amphibians. Ecological Applications 15(4): 1118-1124.
- Richard, S., S. Moslemi, H. Sipahutar, N. Benachour and G. E. Seralini. 2005. Differential Effects of Glyphosate and Roundup on Human Placental Cells and Aromatase effects of glyphosate and roundup on human placental cells and aromatase. Environmental Health Perspectives 113(6): 716-720.
- Santillo, D. J., D. M. Leslie and P. W. Brown. 1989. Responses of small mammals and habitat to glyphosate application. The Journal of Wildlife Management 53(1): 164-172.
- Savitz, D. A., T. Arbuckle, D. Kaczor and K. M. Curtis. 1997. Male pesticide exposure and pregnancy outcome. American Journal of Epidemiology 146: 1025-1036.
- Séralini, G. E., E. Clair, R. Mesnage, S. Gress, N. N. Defarge, M. Malatesta, D. Hennequin and J. S. de Vendôme. 2012. Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. Food and Chemical Toxicology 50(11): 4221-4231.
- Su, L. Y., A. D. Cruz, P. H. Moore and A. Maretzki. 1992. The relationship of glyphosate treatment to sugar metabolism in sugarcane: new physiological insights. Journal of Plant Physiology 140:168-173.
- Thongprakaisang, S., A. Thiantanawat, N. Rangkadilok, T. Suriyo and J. Satayavivad. 2013. Glyphosate induces human breast cancer cells growth via estrogen receptors. Food and Chemical Toxicology 59: 129-136.
- Tu, M., C. Hurd and J. M. Randall. 2001. Weed Control Methods Handbook: Tools and Techniques for Use in Natural Areas. The Nature Conservancy, California.
- World Health Organization (WHO). 1996. Data sheets on pesticides: glyphosate. International Programme on Chemical Safety, Food and Agriculture Organization, Geneva, Switzerland. Differential Effects of Glyphosate and Roundup on Human Placental Cells and Aromatase