

บทที่ 2

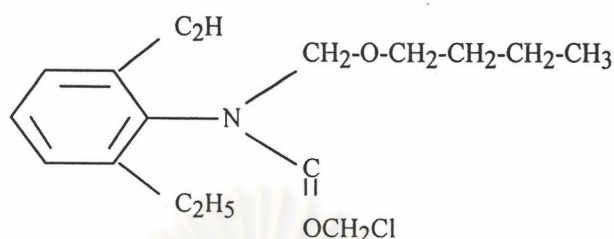
การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของบิวตาคลอร์

บิวตาคลอร์ (Butachlor) $C_{17}H_{26}ClNO_2$ (Tomlin,1994) มีชื่อทางเคมีว่า N-(Butoxymethyl)-2-chloro-N-(2,6-diethylphenyl) acetamide มีชื่อเรียกทางการค้าหลายชื่อ (พรัชย์, 2540) เช่น เอ็คโก้ (Ekko) มาเช็ตเต้ 5 จี (Machete 5 G) มาเช็ตเต้ 600 อีซี (Machete 600 EC) และ โนรัมเอ็กซ์ (Noram X) บิวตาคลอร์จัดเป็นสารกำจัดวัชพืช (herbicide) ในกลุ่ม chloracetamides ใช้ในการกำจัดวัชพืชรากก่อนงอก (pre-emergence) ที่มีฤทธิ์ในการควบคุมวัชพืชกลุ่มไบแคบไบกว้าง และกษนิคต่างๆในนาข้าว เช่น หญ้าข้าวเนก ผักปอดนา ขาเขียด และกษนิคาก เป็นต้น การใช้สารกำจัดวัชพืช บิวตาคลอร์นั้นมีทั้งชนิดที่ใส่พ่น (60 % มวลต่อปริมาตร) และชนิดเม็ดที่ใช้หว่าน (5 % granules) อัตราการใช้ของชนิดพ่น คือ 200-250 มิลลิลิตรต่อไร่ โดยผสมน้ำ 60-80 ลิตร พ่นให้ทั่วแปลงนาหลังปักดำ 4-7 วันหรือก่อนหว่านข้าววงอก 4 วัน หรือหลังหว่านข้าววงอกได้ 7 วัน สำหรับนาดำควรกักน้ำไว้สูงประมาณ 5-10 เซนติเมตรหลังการพ่นแล้ว และรักษาระดับน้ำประมาณ 2 สัปดาห์ ส่วนข้าวนาหว่านน้ำตามควรไขน้ำเข้านาเมื่อพ่นสารเคมีไปแล้ว 3 วัน และไม่ให้น้ำท่วมขังนาน ส่วนบิวตาคลอร์ชนิดหว่านใช้อัตรา 3.2 กิโลกรัมต่อไร่ (160 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่) โดยหว่านหลังจากปักดำหรือข้าววงอกแล้ว 7 วัน หลังหว่านแล้วควรกักน้ำให้อยู่ในแปลงนาข้าวอย่างน้อย 3 วัน (กองพฤกษศาสตร์และวัชพืช, 2531 อ้างถึงใน พนิตา, 2540) บิวตาคลอร์เป็นสารกำจัดวัชพืชชนิดเลือกทำลาย (selective herbicide) จะดูดซึมเข้าทางยอดอ่อนที่อยู่ใต้ดินและราก มีการเคลื่อนย้ายแบบอะโปพลาสต์ (apoplast) คือ เคลื่อนที่ผ่านช่องทางที่ไม่มีชีวิตที่ประกอบด้วยผนังเซลล์ของเซลล์ผิวและคอร์เท็กซ์ (cortex) ไปสู่ท่อไซเลม (xylem) เข้าไปยังการสังเคราะห์โปรตีนในรากและยอดอ่อนใต้ดิน บิวตาคลอร์เป็นสารกำจัดวัชพืชที่ใช้หว่านทางดิน (soil applied herbicide) สำหรับควบคุมการงอกของเมล็ดพืช ซึ่งพืชปลูกและวัชพืชที่งอกจากเมล็ดในดินมีโอกาสได้รับสารเคมีเท่าๆกัน แต่มีเฉพาะพืชปลูกบางชนิดเท่านั้นที่ไม่เป็นอันตราย เป็นสารที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของยอด ใบตอนปลาย และเยื่อเจริญ

บิวตาคลอร์เป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน มีจุดหลอมเหลวน้อยกว่า -5 องศาเซลเซียส มีจุดเดือด 156 องศาเซลเซียส ที่ความดันไอ 0.5 มิลลิเมตรปรอท ละลายน้ำได้ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่ 20 องศาเซลเซียส ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซีโตน เฮกเซน อะซีโตนไไตรด์ เป็นต้น สูตรโครงสร้างของบิวตาคลอร์ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์
ที่มา : Budavari และคณะ (1989)

องค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) ได้จัดบิวตาคลอร์เป็นสารที่มีอันตรายน้อย (slightly hazardous substance) ส่วนองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency; EPA) จัดความเป็นพิษไว้ที่ความเป็นพิษน้อย (slight toxicity) อยู่ใน class III ค่าความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมของบิวตาคลอร์ มีค่า LD_{50} ต่อหนูและกระต่ายมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวสัตว์ทดลอง 1 กิโลกรัม (Lethal Dose 50 หมายถึง ปริมาณสารพิษที่ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50 เปอร์เซ็นต์) ค่าความเป็นพิษของบิวตาคลอร์ต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ (Tomlin, 1994) มีค่า LD_{50} ต่อนก bobwhite quail และ mallard ducks มากกว่า 4640 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวสัตว์ 1 กิโลกรัม เมื่อไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ มีค่า LC_{50} (96 h) ต่อปลาเทราท์ 0.52 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาแสงอาทิตย์ 0.44 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาคาร์พ 0.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาดุก 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร (Lethal Concentration 50 หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50 เปอร์เซ็นต์)

การสลายตัวของบิวตาคลอร์ในสัตว์และพืช เมื่อบิวตาคลอร์เข้าสู่ร่างกายสัตว์ จะเกิดเมตาบอไลส์เป็นรูปที่ละลายน้ำได้แล้วถูกขับออกจากร่างกาย ซึ่งแตกต่างไปจากพืชที่จะมีการเมตาบอไลส์บิวตาคลอร์ที่ดูดซึมเข้าไปอย่างรวดเร็วให้อยู่ในรูปแร่ธาตุที่ละลายน้ำได้

2.2 การสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ในนาข้าว

สารกำจัดวัชพืชในนาข้าวซึ่งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำท่วมขังจะเกิดขบวนการต่าง ๆ ที่ทำให้ความเข้มข้นของสารลดลง (Klingman and Ashton, 1975) ได้แก่ การสลายตัวโดยแสง (photodecomposition) การสลายตัวโดยจุลินทรีย์ (microbial decomposition) การดูดซับดินดูดซับ (soil adsorption-desorption) รวมทั้งขบวนการย่อยสลายทางชีวเคมีของสารกำจัดวัชพืชในดินและน้ำ ซึ่งขบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสมบัติของสาร สมบัติของดินและสภาพแวดล้อมในขณะนั้น รายละเอียดเพิ่มเติมของขบวนการการสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ในนาข้าวมีดังต่อไปนี้

2.2.1 การสลายตัวโดยแสง (Photodecomposition)

การสลายตัวโดยแสงเป็นปัจจัยสำคัญของการสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชในนาข้าว เมื่อใส่สารกำจัดวัชพืชลงในนาข้าว สารจะละลายหรือแขวนลอยอยู่ในชั้นน้ำ ขณะเดียวกันบางส่วนจะถูกดูดซับโดยอนุภาคดิน สารที่อยู่ในชั้นน้ำจะเกิดการสลายตัวโดยแสงได้ บิวตาคลอร์ดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร (Ross และ Crosby, 1985 อ้างถึงใน เทียนชัย, 2527) จึงมีการดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 290 นาโนเมตรได้น้อย แต่รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ ซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วง 4-400 นาโนเมตร เฉพาะที่มีความยาวมากกว่า 285 นาโนเมตรเท่านั้นที่ถึงโลก ที่สั้นกว่านั้นถูกดูดซับไว้โดยชั้นโอโซนในบรรยากาศ ดังนั้นการสลายตัวจึงเกิดจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ยาวเกิน 285 นาโนเมตรเท่านั้น โดยปกติแล้วเป็นการยากที่แยกการสลายตัวโดยแสงออกจากกระบวนการอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในไร่และนาข้าว เช่น การระเหย การสลายตัวโดยวิธีเคมี การสลายตัวโดยจุลินทรีย์ และการถูกชะละลาย ยกเว้นแต่จะทำในห้องปฏิบัติการ ซึ่งพบว่าบิวตาคลอร์สลายตัวโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้เร็วมาก มีค่าครึ่งชีวิตเพียง 1.5 ชั่วโมงเท่านั้นเมื่อเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ บนกระจก (Chen และ Nakayama, 1986 อ้างถึงใน ธวัชชัย, 2540)

2.2.2 การสลายตัวโดยจุลินทรีย์ (microbial decomposition)

การถูกสลายโดยจุลินทรีย์ในดินนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะจุลินทรีย์สามารถที่จะย่อยสารกำจัดวัชพืชอย่างรวดเร็วไปเป็นองค์ประกอบที่ไม่มีพิษ และในบางกรณียังแยกสลายได้อย่างสมบูรณ์จนถึงธาตุ เช่น 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ และคลอรีน บิวตาคลอร์ (Chen and Nakayama, 1986 อ้างถึงใน ธวัชชัย, 2540) เป็นสารกำจัดวัชพืชที่สลายตัวไปในดินโดยกระบวนการนี้ โดยจุลินทรีย์ทั้ง microflora และ microfauna ได้แก่ เชื้อรา แอคติโนไมซีต และแบคทีเรีย ปัจจัยที่จะทำให้บทบาทของจุลินทรีย์มีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

ปริมาณของสารกำจัดวัชพืช ปริมาณและกลุ่มของจุลินทรีย์หรือระบบเอนไซม์ที่สามารถสลายสารกำจัดวัชพืชได้ บทบาทดังกล่าวของจุลินทรีย์ได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณออกซิเจน การสลายโดยจุลินทรีย์อาจมีผลต่อปริมาณและการใช้สารกำจัดวัชพืชได้ ซึ่งหมายความว่า หากการสลายมากก็อาจต้องเพิ่มอัตราการใช้สารกำจัดวัชพืช เพื่อส่วนที่คงเหลือสามารถทำงานได้ การใช้บิวตาคลอร์ที่เป็นแบบควบคุมการปลดปล่อย (controlled release formulation) เป็นวิธีหนึ่งเพื่อลดปัญหานี้ และยืดอายุสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ให้สามารถครอบคลุมระยะที่ต้องการควบคุมวัชพืช

2.2.3 การถูกดูดซับโดยดิน (soil adsorption-desorption)

การถูกดินดูดซับ หมายถึง การที่สารกำจัดวัชพืชเคลื่อนที่ออกจากน้ำหรืออากาศในดิน แล้วถูกแรงของอนุภาคดินดึงไปสะสมที่ผิวประจัญระหว่างหน้าของดิน/น้ำ หรือ ดิน/อากาศ ด้วยเหตุนี้กระบวนการดูดซับโดยดินจึงมีความสำคัญต่อสารกำจัดวัชพืชโดยตรง และกระทบโดยอ้อมต่อกระบวนการย่อยสลายอื่น เช่น ลดโอกาสการถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ลดการถูกชะละลาย แต่ไปเพิ่มโอกาสการถูกย่อยสลายโดยแสงและการระเหยให้สูงขึ้น จากการจัดกลุ่มสารกำจัดวัชพืชตามสมบัติของไอออน (Ashton and Monaco, 1991 อ้างถึงใน ธวัชชัย, 2540) บิวตาคลอร์จัดอยู่ในกลุ่มที่ไม่ได้อยู่ในรูปของไอออน (non-ionic) ยกเว้นที่ pH เป็นกรดจะเกิด protonate จึงทำให้ถูกดูดซับโดยดินได้ด้วยวิธีทางกายภาพที่ไม่แรงนัก

2.3 ความคงสภาพของสารกำจัดวัชพืชในดิน

Khan (1980 อ้างถึงในพนิดา, 2540) ได้นิยาม การคงสภาพของสารกำจัดวัชพืชในดินว่า หมายถึง ระยะเวลาที่สารตกค้างยังคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมดินนั้นๆ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของสารเคมี คุณสมบัติของดินและสิ่งแวดล้อม ซึ่งการคงสภาพจะมีความสำคัญมากน้อยเพียงใด ขึ้นกับความชื้นและความเป็นประโยชน์ของสารตกค้างต่อสิ่งมีชีวิตในดิน

ค่าความคงสภาพ ได้มาจากการศึกษาค่าครึ่งชีวิต (half life) ของสารกำจัดวัชพืชในดิน ซึ่งหมายถึง ระยะเวลาในการสลายตัวได้ครึ่งหนึ่งของสารหรือร้อยละ 50 จากความเข้มข้นเริ่มต้น แต่ความหมายของครึ่งชีวิตนั้นเป็นความหมายเฉพาะ มีลักษณะที่สำคัญต่างๆ ได้แก่ (1) ครึ่งชีวิต ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสาร (2) มีค่าสัดส่วนของเปอร์เซ็นต์การสลายตัวต่อเวลาคงที่ (3) มีค่าคงที่ของ $1/\text{rate constant}$ ดังนั้นระยะเวลาที่สารมีการสลายตัว 25, 50 หรือ 90 เปอร์เซ็นต์ ล้วนเป็นค่าคงที่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสาร เพื่อป้องกันความสับสนในการกล่าวถึงการคงสภาพของสารที่มีการนำ

ความเข้มข้นของสารเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จึงมีการใช้ DT (disappearance time) กล่าวถึง ระยะเวลาในการหายไปของสาร เช่น DT_{50} หมายถึง ระยะเวลาที่สารหายไป 50 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้นนั้น ซึ่งในการกล่าวถึงการคงสภาพมักพูดถึง DT_{50} ของสารเป็นส่วนใหญ่ (Hamaker, 1972 อ้างถึงใน พนิตา, 2540)

ตัวอย่างของการแบ่งประเภทการคงสภาพของสารกำจัดวัชพืชชนิดต่างๆในดิน โดยดูจาก ระยะเวลาที่สารเคมีสูญหายไปจากดิน 50 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาสภาพในไร่และนาข้าวในอิตาลี ที่ใช้ตามปกติช่วงฤดูร้อนของเขตอบอุ่น (Ashton and Monaco, 1991 อ้างถึงใน ธวัชชัย, 2540) มีดังนี้

สารที่ไม่คงสภาพ (non-persistent herbicides) ได้แก่ acrolein, 2,4-D, dalapon และ glyphosate เป็นต้น มีระยะเวลาสูญหายไปจากดินภายใน 1 เดือนหรือน้อยกว่า

สารที่มีการคงสภาพเล็กน้อย (slightly persistent herbicides) ได้แก่ bifenox, linuron, propachlor และ thiobencarb เป็นต้น มีระยะเวลาสูญหายไปจากดินภายใน 1 ถึง 3 เดือน

สารที่มีการคงสภาพปานกลาง (moderately persistent herbicides) ได้แก่ atrazine, clomazine, dicamba และ metribuzin เป็นต้น มีระยะเวลาสูญหายไปจากดินภายใน 3 ถึง 12 เดือน

ส่วนสารที่มีการคงสภาพได้ดี มีระยะเวลาการสูญหายไปจากดินนานเกิน 12 เดือน ได้แก่ borate, chlorates, chlosulfuron และ picloram เป็นต้น

สำหรับบิวตาคลอร์จัดอยู่ในสารกลุ่ม chloracetamides ซึ่งจะถูกลดสลายโดยจุลินทรีย์ในดินได้ดี ดังนั้นความคงสภาพในดินทุกชนิดจะอยู่ในช่วง 1 ถึง 3 เดือน (Tomlin, 1994) สารจะสลายตัวได้ง่ายโดยจุลินทรีย์และเมื่อใช้ซ้ำ ๆ ในพื้นที่เดิมจะเกิดการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารกลุ่มนี้มากขึ้น ซึ่งระยะเวลาการคงสภาพของบิวตาคลอร์ในดินที่ใช้ในอิตาลีตามคำแนะนำปกติ (WSSA, 1983 อ้างถึงใน ธวัชชัย, 2540) อยู่ในช่วง 6 ถึง 10 สัปดาห์

2.4 การปลูกข้าวและการใช้สารกำจัดวัชพืชในนาข้าว

2.4.1 การปลูกข้าว (สถาบันวิจัยข้าว, 2529 อ้างถึงใน พนิตา, 2540)

ข้าวเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีในเขตร้อนหรือกึ่งเขตร้อน แต่ในประเทศเขตอบอุ่นก็สามารถให้ผลผลิตได้ดี เช่น อิตาลี ญี่ปุ่น เกาหลี และออสเตรเลีย ข้าวเจริญเติบโตได้ในดินทรายจนถึงดินเหนียวที่มีค่า pH 3 ถึง 10 มี organic matter ตั้งแต่ 0 จนถึงประมาณ 1

เปอร์เซ็นต์ ข้าวเป็นพืชที่ต้องการน้ำมาก การเตรียมพื้นที่ปลูกจะเป็นที่น้ำท่วมขังเป็นส่วนใหญ่ อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวตลอดฤดูปลูกจะอยู่ในช่วง 21 ถึง 35 องศาเซลเซียส ซึ่งหากมี อุณหภูมิตลอดฤดูปลูกต่ำกว่า 21 องศาเซลเซียส ข้าวจะให้ผลผลิตไม่ดี สภาพที่อุณหภูมิต่ำข้าวจะ ได้รับความเสียหายจากความหนาวเย็น เช่น เติบโตช้า การออกดอกผิดปกติ เมล็ดผิดปกติและเป็น หมัน เป็นต้น แสงแดดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อผลผลิตข้าว เนื่องจากแสงแดดมีความ จำเป็นในช่วงสร้างดอกอ่อนจนถึง 10 วันก่อนเมล็ดแก่ และพบว่าผลผลิตข้าวในฤดูแล้งจะสูงกว่าใน ฤดูฝน เนื่องจากในฤดูฝนมีเมฆหมอกมากทำให้ความเข้มของแสงลดลงกว่าในฤดูแล้ง นอกจากนี้ ความยาวของช่วงกลางวันยังมีผลต่อผลผลิตข้าว ข้าวที่มีความไวแสงนิยมปลูกกันทั่วไปและปลูกได้ เฉพาะฤดูนาปีเท่านั้นเพราะมีช่วงกลางวันสั้น ซึ่งความยาวของช่วงกลางวันจะมีผลต่อการเกิดช่อดอก ดังนั้นหากนำข้าวไวแสงไปปลูกในช่วงฤดูนาปรังซึ่งมีช่วงกลางวันยาว ข้าวจะไม่ออกดอกหรือออก ดอกช้าทำให้ได้ผลผลิตน้อย แต่มีข้าวอีกประเภทหนึ่งที่ไม่มีความไวต่อแสง ทำให้สามารถปลูกและ ให้ผลผลิตดีทั้งนาปีและนาปรัง

การเพาะปลูกข้าวในประเทศไทย (พรชัย, 2540) มีหลายแบบ ได้แก่ การปลูกข้าวในที่ลุ่ม ที่มีการชลประทาน และการปลูกข้าวในที่ดอนแบบข้าวไร่ การปลูกข้าวในที่ลุ่มนั้นอาจแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การปลูกข้าวแบบนาดำ และการปลูกข้าวแบบนาหว่านน้ำตม ซึ่งไม่ว่าจะเป็นการปลูก ข้าวในที่ดอนหรือที่ลุ่ม จะประสบกับปัญหาการแก่งแย่งแข่งขันของวัชพืชที่แตกต่างกัน จึงมีการใช้ สารเคมีที่แตกต่างกันไป

2.4.1.1 ข้าวนาดำ

การเพาะปลูกข้าวนาดำเป็นวิธีการที่เกษตรกรปฏิบัติกันมาช้านาน โดยมีขั้นตอนที่ สำคัญก็คือ การตกกล้าและการย้ายปักดำในแปลง วัชพืชที่ขึ้นแก่งแย่งแข่งขันในข้าวนาดำ จะเกิดขึ้น ได้ตั้งแต่ระยะตกกล้าในแปลงตกกล้าจนกระทั่งในแปลงปักดำ การจัดการวัชพืชด้วยสารเคมีในแปลง ตกกล้ากระทำไต่ยากและอาจมีความจำเป็นน้อย ดังนั้นเกษตรกรจึงมักใช้วิธีการอื่น เช่น การเตรียม ดินที่ดีและพืชรัดดิน ส่วนในแปลงปักดำนั้นอาจมีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ลงไป

การเตรียมแปลงปักดำนั้น เกษตรกรจะทำการเตรียมดินโดยการไถพรวนอย่างน้อย 2 ครั้งขึ้นไป ต่อจากนั้นจะมีการขังน้ำเพื่อให้ดินเหมาะแก่การปักดำ อีกทั้งยังเป็นการทำลายวัชพืชบาง ชนิดลงไปในตัว ส่วนวัชพืชบางชนิดจะสามารถงอกและขึ้นแก่งแย่งแข่งขันต่อมาได้ โดยเฉพาะวัช พืชที่ทนต่อสภาพการขังน้ำเป็นเวลานาน ๆ ซึ่งมีทั้งวัชพืชใบแคบตระกูลหญ้า วัชพืชใบกว้างและวัช พืชตระกูลกก

2.4.1.2 ข้าวนาหว่านน้ำตม

การปลูกข้าวแบบนาหว่านน้ำตม เป็นการทำนาโดยไม่มีการเพาะต้นกล้าในแปลงและปักดำเหมือนข้าวนาดำ การปฏิบัติทำได้โดยการนำเมล็ดพันธุ์ข้าวมาแช่ในน้ำ แล้วนำมาหว่านลงในแปลงปลูกข้าวโดยตรง ดังนั้นในสภาพดินที่พร้อมจะทำการหว่าน จะต้องมีเตรียมดินที่ดีและระดับน้ำพอเหมาะ ไม่ท่วม วัชพืชที่ขึ้นแก่แย่งแข่งขันจะมีมากมายหลายชนิดกว่าในนาดำ โดยเฉพาะวัชพืชประเภทใบแคบตระกูลหญ้าและวัชพืชประเภทใบกว้าง

2.4.2 การใช้สารกำจัดวัชพืชในนาข้าว

สารกำจัดวัชพืชกำลังมีบทบาทในการทำการเกษตรเพิ่มขึ้น จะเห็นได้จากการนำเข้าสารกำจัดวัชพืชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2530 ปริมาณการนำเข้าทั้งหมดของประเทศไทย มีปริมาณ 3,967 ตัน มูลค่า 570 ล้านบาทและเพิ่มขึ้นทุกปี จนในปี พ.ศ. 2537 มีปริมาณ 9,554 ตัน มูลค่า 1,705 ล้านบาท และในปี พ.ศ. 2538 ปริมาณนำเข้า 11,934 ตัน มูลค่า 2,044 ล้านบาท (ฝ่ายวัตถุดิบพืช กรมวิชาการเกษตร, 2538 อ้างถึงใน วิฑูรย์, 2542) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 เป็นต้นมา สารกำจัดวัชพืชมีปริมาณนำเข้าสูงที่สุด ชนิดที่มีมูลค่าการนำเข้าสูงที่สุด ได้แก่ glyphosate, 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), diuron, atrazine, ametryn, alachlor, paraquat, butachlor, และ bromacil ตามลำดับการนำเข้า รองลงมาได้แก่ สารกำจัดแมลงและเชื้อรา (กองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2538 และ 2539 อ้างถึงใน พนิตา, 2540)

การใช้สารกำจัดวัชพืชในนาข้าวจะมีความแตกต่างกันตามวิธีการปลูกข้าว สภาพพื้นที่และความชื้นในดิน ซึ่งข้าวไร่จะมีปัญหาเกี่ยวกับวัชพืชมากเพราะขาดการเตรียมแปลงปลูกที่ดีเท่าที่ควร เพราะเกษตรกรจำเป็นต้องทำการปลูกแข่งขันกับฤดูกาลที่ไม่แน่นอน สภาพพื้นที่เป็นที่ดอนและใช้น้ำฝนเป็นหลักทำให้ผลผลิตต่ำ วัชพืชที่พบในข้าวไร่จะคล้ายคลึงกับชนิดที่พบในในสภาพไร่ทั่วไป สำหรับการปลูกข้าวขึ้นน้ำจะปลูกโดยการหว่านข้าวแห้ง ซึ่งมีการไถพรวนดินกลบเมล็ดข้าวและปล่อยทิ้งไว้รอฝน จึงมีปัญหาวัชพืชที่งอกขึ้นมาพร้อมกับต้นข้าวทำให้ผลผลิตน้อยลง แต่มีความรุนแรงน้อยกว่าข้าวไร่ เพราะในช่วงกลางของฤดูเพาะปลูกระดับน้ำที่ขึ้นสูงมากมีส่วนช่วยควบคุมวัชพืชได้บ้าง สำหรับการปลูกข้าวโดยวิธีปักดำมีปัญหาวัชพืชที่ไม่มากนัก เพราะมีการเตรียมแปลงปลูกที่ดีและมีการย้ายกล้าซึ่งมีอายุ 20 ถึง 30 วันมาปักดำ ต้นข้าวมีความสูง 20 ถึง 30 เซนติเมตร ทำให้ต้นข้าวมีโอกาสแข่งขันกับวัชพืชได้ ส่วนการทำนาหว่านน้ำตมมีปัญหาวัชพืชที่รุนแรงกว่านาดำ เนื่องจากในช่วงแรกของการปลูกมีการระบายน้ำออกจากรนาเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งวัชพืชก็จะเจริญเติบโตมาพร้อมกับต้นข้าว และต่อมามีการระบายน้ำเข้านาและใส่ปุ๋ย ซึ่งกระตุ้นการเจริญเติบโต

โตของวัชพืชมากขึ้นทำให้มีการแข่งขันกับต้นข้าว และผลผลิตลดลงหากไม่มีการกำจัดวัชพืชที่เหมาะสม (สถาบันวิจัยข้าว, 2529 อ้างถึงใน พนิกา, 2540)

การเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชในนาข้าว ต้องพิจารณาถึงชนิดและสมบัติของสาร ชนิดของวัชพืช รวมทั้งปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้สาร โดยทั่วไปการเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชจะต้องเหมาะสมกับชนิดของวัชพืชที่ต้องการกำจัด รวมทั้งต้องไม่ทำอันตรายต่อต้นข้าว สำหรับการเลือกสูตร (formulation) ของสารกำจัดวัชพืชที่ไม่ทำอันตรายต่อต้นข้าวก็เป็นสิ่งจำเป็น เช่น pentachlorophenol (PCP) ชนิดสารละลายที่ใช้พ่นเมื่อใช้กับนาข้าวจะไปทำอันตรายกับใบข้าวอย่างมาก แต่ถ้าใช้แบบเม็ดกลับได้ผลดีเพราะจะตกลงในน้ำและอยู่ที่ผิวหน้าของดิน ช่วยควบคุมวัชพืชที่ผิวหน้าของดินได้ดี การใช้สารกำจัดวัชพืชแบบเม็ดจะมีความเหมาะสมกับนาข้าวประเภทนาดำ เพราะมีความปลอดภัยต่อต้นข้าวสูงและไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือพ่นสาร สิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งสำหรับการใช้สารกำจัดวัชพืชในนาข้าว คือ จำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะนาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง อาจมีการแพร่กระจายของสารไปยังพื้นที่หรือแหล่งน้ำใกล้เคียง และทำอันตรายต่อพืชอื่น ๆ ที่ปลูกอยู่ใกล้เคียงได้

2.5 สารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย

การนำเทคโนโลยีการควบคุมการปลดปล่อยเข้ามาใช้กับสารกำจัดวัชพืช (Cardarelli, 1976) เกิดขึ้นเพราะทั่วโลกมีความต้องการที่จะเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร แต่ไม่ต้องการให้ปริมาณการใช้สารกำจัดวัชพืชเพิ่มขึ้น จึงได้หาวิธีการลดการใช้สารเคมีและมีการคงสภาพของสารเคมีในธรรมชาติให้น้อยลง ถ้ากำจัดสารกำจัดวัชพืชออกไปจากตลาด ปริมาณอาหารที่ผลิตได้จะลดลง 25 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่า ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่เกินกว่ามนุษย์จะรับได้ เนื่องจากสถานการณ์ในปัจจุบันก็ใกล้เคียงกับวิกฤตการณ์ขาดแคลนอาหาร อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการใช้สารกำจัดวัชพืชที่มีการตกค้างในธรรมชาติเพิ่มขึ้น อาจทำให้เกิดความไม่สมดุลขึ้นในโลกสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อ การดำรงชีวิตของมนุษย์

เชื่อกันว่าการขนส่งสารกำจัดวัชพืชผ่านระบบควบคุมการปลดปล่อย จะตอบสนองความต้องการลดปริมาณการใช้สารเคมีและมีการคงสภาพของสารเคมีในธรรมชาติให้น้อยลงได้ Collins(1974 อ้างถึงใน Cardarelli, 1976) สรุปข้อสังเกตว่า การควบคุมการปลดปล่อยเสนอทางสายกลางระหว่างความต้องการทางเศรษฐศาสตร์ของเกษตรกรสำหรับการคงสภาพในธรรมชาติ และความกังวลที่มีเหตุผลของประชาชนเกี่ยวกับการสลายตัวมากที่สุดของสารเคมีออกฤทธิ์ แนวความคิดของการคงสภาพ 2 ข้อ คือ คงสภาพเป็นระยะเวลาในบริเวณที่มีการใช้สารกำจัดวัชพืช และคงสภาพใน

ระยะสั้นเมื่อปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ในแง่ทฤษฎีสามารถแก้ไขได้โดยใช้สารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยอย่างระมัดระวัง

2.5.1 กลไกการควบคุมการปลดปล่อย (Controlled Release Mechanism) โดยการแพร่กระจาย (Diffusion)

ในสารละลายทั่วไป โมเลกุลของสารมีการเคลื่อนที่เสมอแม้ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ โมเลกุลก็ยังคงเคลื่อนที่จากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งจนเข้าสู่สภาพสมดุล จำนวนโมเลกุลที่เคลื่อนที่ในทิศทางต่าง ๆ จะเท่ากัน แต่ถ้าระบบไม่สมดุลจำนวนโมเลกุลของสารจะเคลื่อนที่ไปสู่ทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่น ๆ ซึ่ง net transfer ของสารเรียกว่า การแพร่กระจาย (diffusion) กลไกการควบคุมการปลดปล่อยโดยการแพร่กระจายมีอยู่ 3 กรณี คือ

1. Zero Order release เป็นกลไกที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมการปลดปล่อยสาร ในกรณีนี้อัตราการปลดปล่อยของสารจะคงที่และแปรผันตามเวลา ซึ่งก็คือปริมาณความเข้มข้นของสารที่ละลายออกมาจะคงที่ เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารที่หายไปกับเวลา จะได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.2

อัตราการละลายของสารใน zero order release เป็น mass-transfer controlled ซึ่งอัตราการปลดปล่อยของสาร ดังสมการที่ 2.1

$$\frac{dM_t}{dt} = K \quad (2.1)$$

M_t คือ ปริมาณของสารที่ละลายในสารละลายที่เวลา t

t คือ เวลา

K คือ ค่าคงที่การปลดปล่อย

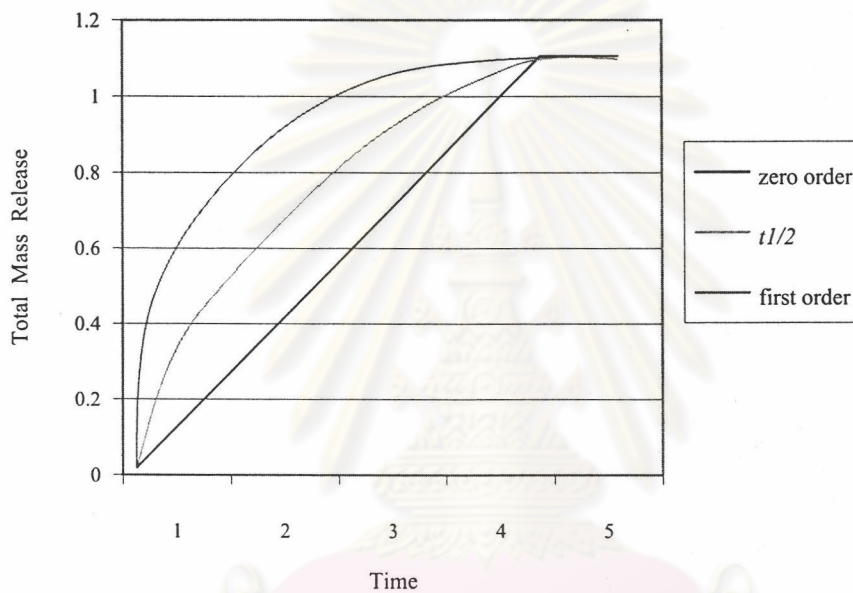
2. First order release ในกรณีนี้อัตราการละลายของสารจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาสั้น อัตราการปลดปล่อยสารจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณของสารเคมียังคงเหลือ เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า $\log(M_0 - M_t)$ กับเวลาจะได้กราฟเส้นตรง อัตราการละลายของสารใน first order release จะขึ้นอยู่กับอัตราการละลายของสารและ mass transfer ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.2

$$\frac{dM_t}{dt} = K(M_0 - M_t) \quad (2.2)$$

M_0 คือ ปริมาณของสารที่ใช้เริ่มต้น ที่เวลา $t = 0$

3. square root of time-release kinetics ในกรณีนี้อัตราการละลายของสารจะมากที่เวลาเริ่มต้นและค่อย ๆ ช้าลงไปเรื่อย ๆ และช้ากว่าสารบริสุทธิ์ที่ไม่ได้ควบคุมการปลดปล่อย อัตราการปลดปล่อยสารจะเป็นสัดส่วนกับเวลา เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่าปริมาณสารที่ถูกปลดปล่อยออกมาที่รากที่สองของเวลาจะได้กราฟเส้นตรง อัตราการปลดปล่อยสารจะขึ้นอยู่กับเวลา และสามารถหาได้จากสมการที่ 2.3

$$M_t = Kt^{1/2} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.2 แสดงปริมาณการปลดปล่อยสารด้วยกลไกต่าง ๆ กัน

2.6 ตัวดูดซับของแข็งที่ใช้ในการเตรียมสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย

2.6.1 กลุ่มแร่ดินเหนียว (Clay minerals) (เอิบ, 2542)

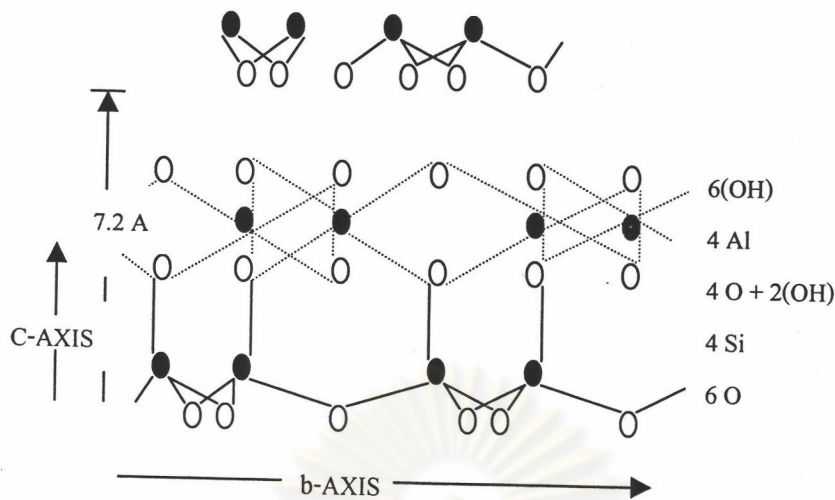
แร่ดินเหนียวเป็นแร่ที่มีขนาดของผลึกเล็กมาก คำว่า ดินเหนียว โดยทั่วไปหมายถึง ดินเนื้อละเอียดที่ไม่มีประกาย และเมื่อเปียกน้ำจะมีความอ่อนนุ่มบีบปั้นให้เป็นรูปร่าง ๆ และคงสภาพเช่นนั้นอยู่ได้ สมบัตินี้เรียกว่า plasticity แร่ดินเหนียวเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ และจะมีธาตุอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบ เช่น เหล็ก แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม แร่ที่มีอนุภาคละเอียดเหล่านี้บางที่ทำให้เกิดสารละลายคอลลอยด์ขึ้นได้ แร่ดินเหนียว

จัดเป็นพวกไฮโดรไลเซทส์ (hydrolysates) ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากการผุพังของหินอยู่กับที่และการตกตะกอน และอาจจะเกิดโดยน้ำร้อนภายใต้ผิวโลกได้

แร่ในกลุ่มนี้จัดอยู่ในกลุ่มแร่ซิลิเกตที่เป็นแผ่น (phyllosilicates) และแบ่งตามลักษณะออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ กลุ่มแร่ดินขาว (kaolinite) กลุ่มสเมกไทต์ (smectite group) กลุ่มแร่ไมกา (illite) และกลุ่มคลอไรต์ (chlorite) แร่ดินเหนียวมีลักษณะทางกายภาพโดยทั่วๆ ไปคล้ายกัน คือ จะเกิดในลักษณะจับกันเป็นก้อนแน่นทึบ นอกจากพวกแร่ดินขาว ซึ่งอาจจะแสดงลักษณะผลึกละเอียดให้เห็นได้บ้าง ให้ความแข็งแรงเป็นลักษณะในการจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวไม่ได้ เพราะทุกชนิดจะอ่อนหมด น้ำที่เป็นองค์ประกอบในแร่ดินเหนียวจะแปรผันไปตามความชื้นในบรรยากาศ และความถ่วงจำเพาะปรากฏ (apparent gravity) ก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย คือ จะลดลงเมื่อน้ำเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นมักจะไม่ใช่สมบัติทางกายภาพเป็นลักษณะวินิจฉัยแร่ดินเหนียว แต่จะใช้วิธีทางทัศนศาสตร์ วิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และการทดสอบทางเคมี แร่ดินเหนียวซิลิเกตมีลักษณะที่แตกต่างกันและจำแนก (โดยใช้จำนวนแผ่นซิลิกาและแผ่นอะลูมินาในโครงสร้างเป็นหลัก) เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม 1:1 (1:1 type) เช่น แร่เคโอลิไนต์และฮาลลอยไซต์ และกลุ่ม 2:1 (2:1 type) เช่น อิลไลต์ เวอร์มิคิวไลต์ แร่ในกลุ่มสเมกไทต์ (เช่น มอนต์มอริลโลไนต์) และคลอไรต์ รวมถึงแร่ดินเหนียวสอดชั้นของเวอร์มิคิวไลต์และ สเมกไทต์ด้วย

2.6.1.1 แร่เคโอลิไนต์หรือแร่ดินขาว (kaolinite)

มีสูตร $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ องค์ประกอบค่อนข้างแน่นอนตามสูตร โดยมีการแทนที่ของอะตอม (atomic substitution) น้อยมากหรือไม่มีเลย เนื่องจากแผ่นผลึกของเคโอลิไนต์ ซึ่งประกอบด้วยแผ่นของซิลิกาหนึ่งแผ่นประกบกับแผ่นของอะลูมินาอีกหนึ่งแผ่น โดยที่ซิลิกอนและอะลูมิเนียมจะร่วมเกาะออกซิเจนตัวเดียวกันในด้านที่ประกบเข้าหากัน เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น ทำให้ช่องระหว่างผลึก (inter layer) ที่เรียงซ้อนกันซึ่งมีความกว้าง 7 อังสตรอม (วัดจากขอบบนของผลึกด้านบนถึงขอบบนของแผ่นล่างถัดมา) นั้นแคบและขยายออกไม่ได้ จึงมีผลทำให้เคโอลิไนต์ไม่ขยายตัวและหดตัวเมื่อเปียกและแห้ง และมีการดูดยึดไอน้ำน้อย เนื่องจากมีแต่พื้นที่ผิวภายนอก (external surface) เท่านั้น ลักษณะเคโอลิไนต์ที่พบโดยทั่วไป มีสีขาว ขาวปนน้ำตาล สีผงสีขาว ดังรูปที่ 2.3

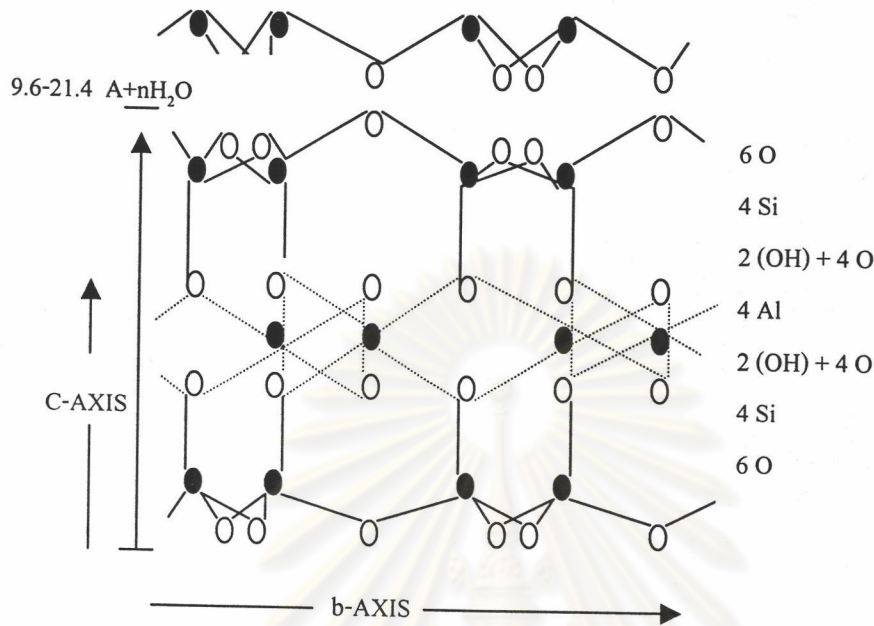


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของผลึกของเคโอลิไนต์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2530)

2.6.1.2 แร่มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite)

มีสูตร $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ และมีลักษณะแปรผันไปได้มาก เพราะองค์ประกอบแปรผันได้โดยเฉพาะน้ำ แม้แต่ค่าครรชนที่หักของแสงก็ยังเปลี่ยนแปลงได้ในพิสัย 1.50 ถึง 1.64 แร่ในกลุ่มนี้มีการแทนที่ของอะตอมมาก องค์ประกอบของแร่จะแปรผันออกไปจากสูตรเคมี โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ประกอบด้วย แผ่นซิลิกาสองแผ่นและแผ่นอะลูมินาหนึ่งแผ่นสอดอยู่ระหว่างกลางของแผ่นซิลิกาทั้งสอง ทั้งซิลิกอนและอะลูมิเนียมอะตอมในแผ่นเหล่านั้นต่างก็เกาะยึดออกซิเจนร่วมกัน ประกอบเป็นผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งผลึกนี้จะเชื่อมต่อกันไปในแนวระดับและจะซ้อนกันเป็นชั้นๆเช่นเดียวกับเคโอลิไนต์ ช่องระหว่างผลึกที่ซ้อนทับกันมีความกว้าง 9 ถึง 21 อังสตรอม ช่องนี้อาจขยายกว้างหรือแคบได้ เพราะไม่มีพันธะไฮโดรเจนยึดระหว่างแผ่นผลึกที่ซ้อนทับกัน เนื่องจากทั้งด้านบนและด้านล่างของช่องระหว่างผลึกต่างก็มีออกซิเจน ซึ่งเป็นของแผ่นซิลิกา ดังนั้นพันธะไฮโดรเจนจึงไม่เกิดขึ้น แต่จะเกิด oxygen-oxygen linkage ขึ้นแทน ซึ่งเป็นแรงเกาะกันที่เบาบางมากไม่สามารถจะยึดช่องว่างระหว่างผลึกให้มีระยะคงที่ได้ ดังนั้นโมเลกุลของน้ำและไอออนบวกต่างๆก็แทรกซึมเข้าไปดูดซับอยู่ที่ผิวภายในช่อง (internal surface) ได้โดยง่าย เมื่อมีการแทนที่อะลูมิเนียมโดยแมกนีเซียมและแทนที่ซิลิกอนโดยอะลูมิเนียม จะทำให้เกิดประจุลบบนชั้นโครงสร้าง ทำให้สามารถดูดซับไอออนบวก เช่น Ca^{2+} , Na^+ และ H_3O^+ ไว้ระหว่างชั้นในโครงสร้างได้ ทำให้แร่ชนิดนี้สามารถยึดตัวเมื่อถูกน้ำและแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange) ได้ ปกติมอนต์มอริลโลไนต์จะเป็นแร่ที่มีอะลูมิเนียมสูง ถ้าถูกน้ำแล้วจับจะลื่นมือเหมือนสบู่และจะทำให้เกิด

ลักษณะเหมือนวุ้นเมื่อแช่น้ำ มอนต์มอริลโลไนต์ที่พบโดยทั่วไปปกติจะเป็นสีเทา สีเทาปนเขียว แต่อาจมีสีขาว เหลือง เขียวปนเหลือง สีผงสีขาว ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์ (คณาจารย์ภาควิชาปิฐพีวิทยา, 2530)

2.6.1.3 ซีโอไลต์ (zeolite) (พงศธร, 2537)

เป็นแร่ในกลุ่มไฮดรอกไซด์อะลูมิโนซิลิเกต (hydrous aluminosilicates) ที่มีโซเดียม แคลเซียม หรือโพแทสเซียมเป็นส่วนประกอบ มีอัตราส่วน $Al+Si:O$ (ในโครงสร้างซิลิเกต) เท่ากับ 1:2 ซีโอไลต์มีโครงร่างของอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนออกไซด์เป็นแบบเตตราไฮดรอน (tetrahedral) การจับกันของอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนออกไซด์ทำให้เกิดโครงร่างฮีตราได้หลายรูปแบบ (polyhedra) โดยโครงร่างผลึกที่เกิดขึ้นเป็นโครงร่างแบบเปิด มีโมเลกุลของน้ำอยู่ภายในช่องว่างระหว่างผลึก คุณสมบัติที่สำคัญของซีโอไลต์อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประการ คือ

1. สมบัติในการดูดซับ (adsorption property) ในสภาพปกติช่องว่างภายในของผลึกซีโอไลต์จะมีโมเลกุลของน้ำรวมกันอยู่ โดยมีประจุบวกชนิดต่างๆ ที่พร้อมจะเกิดการแลกเปลี่ยนกระจายอยู่รอบๆ เมื่อได้รับความร้อน น้ำภายในช่องว่างจะระเหยออกไป ช่องว่างภายในมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกลาง ประจุหรือโมเลกุลของสารอื่นที่มีขนาดพอดีและผ่านเข้ามาในช่องว่างจะถูกจับไว้ การที่ซีโอไลต์มีคุณสมบัติในการจับประจุหรือโมเลกุลของสารที่มีขนาดเหมาะสมกับช่องว่างดังกล่าว จึงเรียกซีโอไลต์ว่าเป็น molecular sieves และเนื่องจากภายในผลึกของซีโอไลต์มีช่องว่างจำนวนมาก ทำให้ซีโอไลต์ 1 กรัม มีพื้นที่ผิวสามารถดูดซับได้หลายร้อยตารางเมตร

2. สมบัติการแลกเปลี่ยนประจุ (ion-exchange property) ในซีโอไลต์ประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ จะจับที่โครงสร้างเตตราไฮดรอนด้วยพันธะหลวม ๆ และถูกแทนที่ได้ง่ายด้วยการชะล้างด้วยสารละลายเข้มข้นของประจุชนิดอื่น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุขึ้นอยู่กับจำนวนอะลูมิเนียมที่เข้ามาทดแทนซิลิกอน ซึ่งทำให้เกิดประจุลบบนโครงสร้างขึ้น จึงต้องการประจุบวกเพื่อทำให้เกิดสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า โดยประจุบวกส่วนใหญ่มักเป็นธาตุหมู่ที่ 1 และหมู่ที่ 2 ในตารางธาตุ (alkali and alkali earth cations)

ซีโอไลต์มักพบอยู่ในโพรงหินบะซอลต์ โดยพบร่วมกับแคลไซต์ (calcite) ดาโทไลต์ (datolite) อะพอฟิลไลต์ (apophyllite) และพรีไนต์ (prenite) โดยทั่วไปซีโอไลต์มีสีขาว แต่อาจมีสีอื่นปนอยู่ด้วย เช่น ชมพู น้ำตาล และแดง

2.6.1.4 พัมมิช (pumice) (เอิบ, 2542)

หินพัมมิช (บางตำราเรียก ภูเขาไฟ) เป็นหินอัคนีชนิดแก้วภูเขาไฟและหินชิ้นภูเขาไฟ (volcanic glass and pyroclatics) เป็นแก้วภูเขาไฟที่มีรูพรุนมาก ลักษณะของเนื้อดูด้วยตาเปล่าและใช้กล้อง จะเห็นเป็นเนื้อแก้วปะปนอยู่ หินชนิดนี้เกิดในขณะที่มีการปลดปล่อยแรงดันในการเกิดภูเขาไฟ ซึ่งทำให้มีการขยายตัวของพวกก๊าซในส่วนบนของลาวาที่เป็นพวกออปซิเดียน (obsidian) ซึ่งทำให้ลาวาพองตัวและมีฟองอากาศมากมายก่อนที่จะมีการแข็งตัวเป็นหิน องค์ประกอบภายในพัมมิช (ดีพริ้อม, 2541) มีองค์ประกอบหลายอย่างรวมกันทั้งหินแก้ว ผลึกของซิลิเกตหลายชนิด พวกควออร์ทซ์ และเฟลด์สปาร์ แต่เป็นซิลิกาออกไซด์กว่า 65 เปอร์เซ็นต์ และมีรูปแบบส่วนหนึ่งเป็นซีโอไลต์และแคลไซต์ร่วมด้วย ในประเทศไทยพบพัมมิชเป็นหย่อมเล็กหย่อมน้อยแถบเขากระโดงจังหวัดบุรีรัมย์ กับเทือกเขาภูเขาไฟเก่า อายุ 22 ล้านปีที่จังหวัดลพบุรี หินพัมมิชที่พบโดยทั่วไปมีสีเทาจนหรือออกเหลือง แดง เป็นหินแรมีรูพรุนขนาดเล็กอย่างยิ่งภายใน หากเป็นหินก้อนใหญ่จะลอยน้ำได้ เวลานำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จะบดหินพัมมิชจนละเอียดเป็นผงแป้งเสียก่อนแล้วจึงนำมาใช้

2.7 โพลีไวนิลอะซิเตต (polyvinyl acetate) (Charles, 1961)

โพลีไวนิลอะซิเตตเป็นโพลีเมอร์จำพวกไวนิลเอสเทอร์ โพลีเมอร์นี้ไม่นิยมใช้เป็นพลาสติก แต่ใช้ในรูปของอิมัลชัน เช่น เป็นตัวยึด (binder) อยู่ในสีอิมัลชัน และเป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมโพลีเมอร์อีก 2 โพลีเมอร์ที่ไม่สามารถเตรียมโดยตรงจากโมโนเมอร์ของโพลีเมอร์ทั้งสองนั้น ได้

แก่ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์และโพลีไวนิลอะซีทาล์ โพลีไวนิลอะซีเตดเตรียมขึ้นในเชิงการค้าครั้งแรก ในประเทศแคนาดาในปี ค.ศ 1920

โพลีไวนิลอะซีเตดได้จากการโพลิเมอไรเซชันไวนิลอะซีเตดโมโนเมอร์ ซึ่งวิธีที่ใช้กันมากที่สุด ในอุตสาหกรรม คือ แบบอิมัลชัน โพลีไวนิลอะซีเตดที่ได้จากการเตรียมแบบนี้มีโครงสร้างแบบอะแทกติก (atactic) จึงไม่มีความเป็นผลึกเลยหรือมีโครงสร้างแบบอสัณฐาน มีอุณหภูมิกลาสรานติชันสูงกว่าอุณหภูมิห้องเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ($t_g = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$) จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้งานเป็นพลาสติก เพราะจะอ่อนตัวลงกลายเป็นวัตถุที่นิ่มและเหนียวเหมือนยาง เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องเพียงเล็กน้อย โพลีไวนิลอะซีเตดจะบวมตัวและอ่อนตัวลงถ้านำไปแช่ไว้ในน้ำเป็นเวลานานพอ และทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่ง ได้โพลีไวนิลแอลกอฮอล์เป็นผลิตภัณฑ์

2.8 ขี้ผึ้งพาราฟิน (paraffin wax)

ขี้ผึ้งพาราฟินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอัลเคนมีสูตรโดยทั่วไป C_nH_{2n+2} ได้จากปิโตรเลียม ขี้ผึ้งพาราฟินไม่มีสีหรือสีขาว ไม่มีกลิ่น เนื้อขี้ผึ้งให้ความรู้สึกเป็นมัน มีความหนาแน่นประมาณ 0.90 จุดหลอมเหลว 50-57 องศาเซลเซียส ไม่ละลายในน้ำหรือแอลกอฮอล์ ละลายในเบนซีน กลอโรฟอร์ม อีเธอร์ คาร์บอนไดซัลไฟด์ และน้ำมัน

ขี้ผึ้งพาราฟินใช้ในการเพิ่มจุดหลอมเหลวของยาขี้ผึ้ง (ointment) ในอุตสาหกรรมกระดาษไขและเทียนไข และสำหรับติดยุภาพ เป็นต้น

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wysong (1984) พบสารกำจัดวัชพืชแบบเม็ดควบคุมการปลดปล่อย ซึ่งประกอบด้วยสารเคมีออกฤทธิ์ 5 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก รวมเป็นเนื้อเดียวกับครอสลิงค์โพลีเมอร์ที่เตรียมจากโมโนเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำโดยเลือกจากสไตรีน อัลฟามะทิลสไตรีน และคาร์บอกไซคลิกเอซิดโมโนเมอร์ สารกำจัดวัชพืชที่ค้นพบมีข้อดีหลายข้อ เมื่อเทียบกับสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยแบบเดิม คือ ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาแล้วไม่ได้มาตรฐานตามต้องการก็สะดวกต่อการนำไปทำรีไซเคิล นอกจากนี้ ยังทำให้อยู่ในรูปแบบต่าง ๆ กันได้ เช่น ผงเปียกน้ำ (wettable powder) เม็ดแห้ง (granule) และเป็นแถบยาว (strip)

Thomas *et al.* (1978) พบวิธีเตรียมสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีสารเคมีออกฤทธิ์เป็นแบบน้ำชะละลายได้ ถูกดูดซับไว้ในรูพรุนของสารพาที่เป็นเอสเทอร์ของเซลลูโลส สารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่เตรียมได้นี้ ช่วยลดปัญหาสารกำจัดวัชพืชน้ำชะละลายมากเกินไปในขณะที่ใช้ควบคุมวัชพืชก่อนและหลังงอกออกจากเมล็ด และยังลดปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินที่เกิดจากสารกำจัดวัชพืชที่ถูกชะละลายลงไป

Cardarelli (1983) ได้รายงานการทำงานร่วมกันของตัวดูดซับของแข็งกับสารพลาสติกโพลีเมอร์ที่ใช้ห่อหุ้มทำให้เกิดการปลดปล่อยอย่างช้า ๆ ของสารกำจัดวัชพืช โดยพลาสติกที่ใช้เป็นสารโพลีเมอร์ที่เปลี่ยนรูปได้เมื่อได้รับความร้อน และเป็นสารโพลีเมอร์ที่ไม่เปลี่ยนรูปเมื่อได้รับความร้อน

Scheubel (1996) รายงานว่าได้พบวิธีการที่ได้ผลในการควบคุมและป้องกันการเจริญของรากวัชพืช โดยใช้ผ้าที่ทำจากใยสังเคราะห์และน้ำซึมผ่านได้มาห่อหุ้มด้วยสารยึดเกาะโพลีเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งภายในมีสารประกอบอินทรีย์คอปเปอร์ที่ไม่ละลายน้ำกระจายอยู่ในปริมาณที่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของรากวัชพืช สารยึดเกาะโพลีเมอร์ถูกทำให้ยึดติดกับผ้าเพื่อรักษาและกั้นสารประกอบคอปเปอร์ไม่ให้เข้าไปในผ้า

Lo (1998) รายงานวิธีการเตรียมภาชนะรูปทรงกลมขนาดเล็ก ๆ ที่ใช้บรรจุสารเคมีออกฤทธิ์ไว้ภายในแล้วปลดปล่อยออกมาด้วยอัตราที่ควบคุมการปลดปล่อย โดยเตรียมได้จากการระเหยตัวทำละลายของ oil in water emulsion ที่เกิดจากตัวทำละลายอินทรีย์ที่ประกอบด้วยสารโพลีเมอร์ และสารพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) กับสารละลายน้ำที่มีสารเสริมประสิทธิภาพอิมัลซิฟายเออร์ ภาชนะรูปทรงกลมที่เตรียมได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 3 ถึง 300 ไมครอน โครงสร้างมีรูพรุนและอ่อนนุ่ม ภาชนะรูปทรงกลมที่เตรียมได้สามารถบรรจุสารเคมีออกฤทธิ์ได้ในปริมาณสูงและปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ในอัตราต่ำ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น สารเคมีเกษตร ยา เครื่องสำอางค์ หรือน้ำหอม

Adamoli *et al.* (1999) รายงานการใช้ประโยชน์จากก้อนวัสดุเซลลูโลสที่ทำมาจากวัสดุเหลือทิ้งหรือวัสดุใช้แล้ว เช่น กระดาษใช้แล้ว เปลือกกล้วย เศษไม้ ฯลฯ โดยนำมาทำให้ชุ่มด้วยสารกำจัดวัชพืช แล้วนำไปฝังไว้ในบริเวณที่ต้องการควบคุมการเจริญของวัชพืช ลึกลงจากผิวดินลงไป

ประมาณ 1 ถึง 3 นิ้ว สารกำจัดวัชพืชจะค่อย ๆ ถูกปลดปล่อยออกมาจากก้อนวัสดุเซลลูโลสมากขึ้นตามระยะเวลาการสลายตัวของก้อนวัสดุเซลลูโลส

Allan (1991) ได้นำสารเคมีออกฤทธิ์กำจัดวัชพืชไปผสมกับสารประกอบที่มีไนโตรเจนในปริมาณสูง เช่น เมลามีน ให้เป็นเนื้อเดียวกันในรูปของของเหลวที่ใช้พ่นได้ แล้วนำไปพ่นในบริเวณที่ต้องการควบคุมการเจริญของวัชพืช พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดวัชพืชได้ดีขึ้น และระยะเวลาออกฤทธิ์นานขึ้น เมื่อเทียบกับการพ่นสารเคมีออกฤทธิ์กำจัดวัชพืชอย่างเดียว หรือสารเคมีออกฤทธิ์กำจัดวัชพืชที่ใช้ร่วมกันกับปุ๋ยไนโตรเจนละลายน้ำ เช่น ยูเรีย เนื่องจากค่อย ๆ ปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ออกสู่พื้นที่เป้าหมาย

Allan (1993) ได้เปิดเผยวิธีการเตรียมสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยและวิธีใช้สารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย โดยสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยได้ถูกเตรียมขึ้นจากการนำเอาสารพาซึ่งเป็นเยื่อเซลลูโลสมาทำให้เปื่อย เพื่อดูดซับเอาสารเคมีออกฤทธิ์เข้าไปเก็บไว้ในรูพรุน แล้วทำให้เยื่อเซลลูโลสแห้ง จากนั้นห่อหุ้มด้วยสารโพลีเมอร์ที่สลายตัวด้วยจุลินทรีย์ เมื่อสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยสัมผัสกับน้ำในขณะที่นำไปใช้ควบคุมวัชพืช สารเคมีออกฤทธิ์จะแพร่ออกมาจากรูพรุนของเยื่อเซลลูโลส ผ่านผนังโพลีเมอร์ในอัตราการปลดปล่อยแบบช้า ๆ

Burton *et al.* (1981) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ของสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย Triflurarin ที่มีสารโพลีเมอร์ต่างกัน 6 ชนิดห่อหุ้ม พบว่าสารโพลีเอทิลีนและสารโพลีโพรพิลีนเมื่อสัมผัสกับดิน มีอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ต่ำและมีอัตราการสลายตัวช้ากว่าสารโพลีเมอร์ชนิดอื่น นอกจากนี้แล้วยังราคาถูกอีกด้วย

Clyde (1999) ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติการปลดปล่อยแบบควบคุมของสารกำจัดวัชพืช alachlor และ metolachlor ซึ่งถูกไมโครเอนแคปซูลขึ้นในสารโพลีเมอร์หลายชนิด คือ cellulose acetate butyrate, ethyl cellulose, poly(methyl methacrylate) และ poly(α -methylstyrene) ด้วยสารอิมัลซิฟายเออร์ต่างชนิดกัน โดยทำการทดลองกับวัชพืชชนิดต่าง ๆ ในเรือนต้นไม้ พบว่าสารอิมัลซิฟายเออร์มีผลกระทบต่อกิจกรรมของสารกำจัดวัชพืชเพียงเล็กน้อย มีการเปลี่ยนแปลงของวัชพืชทุกชนิดน้อยมากเมื่อใช้สารกำจัดวัชพืชที่มีสารโพลีเมอร์เป็น poly (methyl

methacrylate) และ poly(α -methylstyrene) เปรียบเทียบกับที่มีสารโพลีเมอร์เป็น cellulose acetate butyrate, ethyl cellulose และสารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในทางการค้า สารกำจัดวัชพืช alachlor ที่มีสารโพลีเมอร์เป็น ethyl cellulose ได้แสดงถึงสมบัติการปลดปล่อยแบบควบคุม สำหรับผลที่เกิดกับสารกำจัดวัชพืช metolachlor ก็เช่นเดียวกับสารกำจัดวัชพืช alachlor ยกเว้นแต่ไม่มีสารกำจัดวัชพืช metolachlor สูตรไหนที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารกำจัดวัชพืชที่ใช้กันทั่วไปหรือมีสมบัติควบคุมการปลดปล่อย

Richard (1996) ทำการศึกษาอัตราการปลดปล่อยของสารเคมีออกฤทธิ์จากสารกำจัดวัชพืช fenamiphos, atrazine และ alachlor ชนิดเม็ดที่เตรียมโดยการพันทับ เปรียบเทียบระหว่างสารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในทางการค้ากับสารกำจัดวัชพืชที่เตรียมขึ้นมาแบบควบคุมการปลดปล่อย สารกำจัดวัชพืชชนิดเม็ดที่ได้จากการพันทับ ถูกนำมาผสมกับทรายเม็ดหยาบ (coarse sand) และทำให้แห้งถ้า จำเป็น นำของผสมไปใส่ในกระบอกตวงแสดงขนาด 5 มิลลิเมตร \times 35 มิลลิเมตร ซึ่งมีน้ำหนักไหลผ่านเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชที่ถูกระบายออกมาด้วยเทคนิค high performance liquid chromatography สารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในทางการค้า ไม่ว่าจะอยู่ในรูปของอิมัลชัน เม็ด และผง จะปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์มาหมดภายใน 5 ถึง 24 ชั่วโมง และในบางกรณีพบว่าการปลดปล่อยอนุภาคเข้าไปในน้ำที่สัมผัส สารกำจัดวัชพืชที่ถูกห่อหุ้มด้วยแป้งและมีการปลดปล่อยแบบควบคุม จะปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่าง 5 ถึง 94 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 24 ชั่วโมง สำหรับ clay/alginate และ clay/alginate/ linseed oil จะปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ 0.3 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ใน 24 ชั่วโมง ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการละลายในน้ำและไขมันของสารกำจัดวัชพืช เทคนิคง่าย ๆ นี้ได้สร้างความเข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับปริมาณและอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ของสารกำจัดวัชพืชเหล่านี้เมื่อสัมผัสกับน้ำที่ไหลผ่าน ผลเบื้องต้นชี้ให้เห็นว่าการทำให้อยู่ในรูปการควบคุมการปลดปล่อย มีผลต่อศักยภาพในการกลายเป็นสิ่งปนเปื้อนในแหล่งน้ำในสถานะฝนตกหนัก

Gerstl (1998) พบว่า alachlor ที่ถูกปลดปล่อยมาจากสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย ซึ่งหว่านลงบนดินร่วนปนทรายในสถานะอุณหภูมิและความชื้นคงที่ หลังจากผ่านไป 1 สัปดาห์ มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นที่ระดับ 0.2 ถึง 0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คงอยู่ในดินเป็นระยะเวลาอย่างน้อยที่สุด 8 สัปดาห์ และพบว่าสารกำจัดวัชพืช alachlor ที่ใช้กันทั่วไปเมื่อหว่านลงไปบนดินเพียง 3 ถึง 4 วัน เกิดการสูญเสียถึง 50 เปอร์เซ็นต์

สารเคมีออกฤทธิ์ alachlor ที่ถูกปลดปล่อยมาจากสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า มีความเข้มข้นในดินสูงกว่า (1.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) หลังจากผ่านไป 18 วัน ในการศึกษาการชะล้างของ alachlor, atrazine และ trifluralin จากสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยในคอลัมน์ชะล้าง พบว่ามีการลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับ alachlor, atrazine และ trifluralin ที่ใช้กันทั่วไป

Gerstl (1998) ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ alachlor และ atrazine ลงไปในน้ำจากสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย ซึ่งเตรียมจาก alginate และ pectin แบบใส่และไม่ใส่แร่ดินเหนียวลงไป อัตราการปลดปล่อยสารกำจัดวัชพืชที่เตรียมขึ้นได้จากสมบัติของสารกำจัดวัชพืชและองค์ประกอบของสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย อัตราการปลดปล่อยของสารกำจัดวัชพืชเกี่ยวข้องกับสมบัติในการละลายน้ำ เมื่อเป็นสารประกอบละลายได้มากขึ้นและปลดปล่อยจากสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยได้เร็วขึ้น อัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์จากสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่เตรียมจาก pectin มากกว่าสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่เตรียมจาก alginate-pectin ที่เป็นเช่นนี้ดูเหมือนว่าจะสัมพันธ์กับการมีหมู่ methoxy จำนวนมากใน pectin ซึ่งไปขัดขวางขบวนการ gelation และมีผลทำให้เกิดรูพรุนในตัวดูดซับมากกว่าในกรณีของ alginate การใส่ sodium montmorillonite ลงในสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย พบว่ามีผลไปยับยั้งการปลดปล่อย alachlor อย่างสิ้นเชิง แสดงให้เห็นถึงการดูดซับสารกำจัดวัชพืชของแร่ดินเหนียว ส่วนแร่ดินเหนียวชนิดอื่นมีผลต่ออัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์เล็กน้อยหรือไม่เลย และสังเกตว่ารัศมีของเม็ดสารกำจัดวัชพืชที่เตรียมได้มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยอย่างแน่นอน รัศมียิ่งเล็กยิ่งมีอัตราการปลดปล่อยสูง สำหรับกลไกการแพร่แบบควบคุมการปลดปล่อยจากโพลีเมอร์ที่มีรูพรุนซึ่งดูดซับสารเคมีออกฤทธิ์ไว้ในปริมาณมากเกินพอ มีอัตราการปลดปล่อยสอดคล้องกับสมการ Higuchi

Tocker (1993) พบวิธีเตรียมสารกำจัดวัชพืชแบบเม็ดควบคุมการปลดปล่อยสำหรับควบคุมวัชพืชในนาข้าว ซึ่งประกอบด้วยสารเคมีออกฤทธิ์กลุ่ม heterocyclic sulfonylurea herbicides หนึ่งชนิดหรือมากกว่าหนึ่งชนิด ซึ่มีพาราฟิน สารโพลีเมอร์ธรรมชาติ หรือสารโพลีเมอร์สังเคราะห์ และตัวดูดซับของแข็งในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ซึ่งสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่เตรียมได้อยู่ในรูปผงแห้งที่สามารถนำไปใช้โดยตรงหรือนำไปผสมกับสารประกอบอื่นแล้ว ผ่านการอัดเม็ดเพื่อให้อยู่ในรูปเม็ดแห้ง หรือนำไปทำให้อยู่ในรูปของเหลวก็ได้