

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ลีโอนาร์ไคท์

ลีโอนาร์ไคท์ (leonardite) เป็นถ่านหินอันดับต่ำที่เกิดมาจากพีชบก มีปริมาณอินทรีย์วัตถุจำนวนมากที่ถูกย่อยมานานนับพันล้านปีและเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช ประกอบไปด้วยสารฮิวมิกที่มีกรดฮิวมิกเป็นองค์ประกอบหลัก สารประกอบฮิวมิกส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล และคาร์บอนิล ขนาดใหญ่รวมทั้งสารประกอบทางเคมีอื่นๆ ที่มีความสามารถในการดูดซับประจุบวกได้สูง (Conxita *et al.*, 2005) ซึ่งลีโอนาร์ไคท์ยังเป็นชั้นดินปนถ่านหินที่ถูกออกซิไดซ์ตามธรรมชาติ มีลักษณะนุ่มไม่แข็งตัว มีสีน้ำตาลอ่อนถึงดำ ปกติพบอยู่ในแหล่งถ่านหินที่มีความลึกไม่มาก ประกอบด้วยกรดฮิวมิกและกรดอินทรีย์อื่น ๆ (Dailey, 1999) ดินปนถ่านหินนี้ เกิดจากการผุพังสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ด้วยกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ ซึ่งดินปนถ่านหินจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด ลีโอนาร์ไคท์ตั้งขึ้นเพื่อเป็นเกียรติแก่ Dr. A.G. Leonard นักธรณีวิทยาคนแรกที่เป็นผู้บุกเบิกในการศึกษาแหล่งถ่านหินของรัฐดาโกตาเหนือ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้ให้ความหมายว่า ลีโอนาร์ไคท์เกิดจากการผุพังตามธรรมชาติของถ่านหินชนิดลิกไนท์ โดยพบว่าส่วนใหญ่เป็นสารประกอบของฮิวมัส (humus) ซึ่งได้แก่ กรดฟุลวิก (fulvic acid) กรดฮิวมิก (humic acid) และ ฮิวมิน (humic) หรือเรียกรวมว่า สารฮิวมิก (humic substances) จากการรายงานของ วิวัฒน์และคณะ (2552) รายงานว่าการเกิดแร่ลีโอนาร์ไคท์ ตามธรรมชาติมีความเป็นไปได้ 2 ทฤษฎีคือ 1) เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเกิดถ่านหิน (coalification) โดยจะเกิดปะปนกับถ่านหินโดยเฉพาะในถ่านหินลิกไนท์ และมีกระบวนการ การย่อยสลายและออกซิเดชัน (decomposition and oxidation) เกิดร่วมด้วย โดยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับลิกไนท์ ลีโอนาร์ไคท์มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบถึง 30 – 35% ส่วนลิกไนท์มีเพียง 25 – 30% 2) เกิดจากการผุพังและออกซิเดชันตามธรรมชาติ (weathering and oxidation) ของถ่านหินพีท ลิกไนท์ และซับบิทูมินัส (sub-bituminous) ที่ถูกยกตัวขึ้นมาในระดับตื้นหรือโผล่เหนือผิวดินขึ้นมาแล้วถูกออกซิไดซ์โดยอากาศตามธรรมชาติ ต่อมาจึงเกิดการทับถมกันเป็นชั้นๆ ซึ่งธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของลีโอนาร์ไคท์ ได้ทำการศึกษาโดย Robert (1997) ที่สกัดลีโอนาร์ไคท์ด้วยสารละลายโซเดียมออกซาลेट พบว่าใน

สารละลายของลิโอนาร์ไคท์ที่สกัดได้ประกอบด้วยคาร์บอน (C) 48.60%, ไฮโดรเจน (H) 3.31%, ไนโตรเจน (N) 1.03%, กำมะถัน (S) 2.11%, ออกซิเจน (O) 23.73% และเถ้าถ่าน(Ash) 21.22% ส่วนธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบหลักของกากลิโอนาร์ไคท์ที่เหลือมีคาร์บอน (C) 40.46% ,ไฮโดรเจน (H) 3.90%, ไนโตรเจน (N) 0.60%, กำมะถัน (S) 0.64%, ออกซิเจน (O) 24.68% และเถ้าถ่าน(Ash) 29.71% โดยมีค่าใกล้เคียงกันกับงานทดลองของ Conxita *et al.* (2005) ที่ศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของลิโอนาร์ไคท์พบว่ามีการดิวมิค (HA) 79%, คาร์บอน (C) 55.2%, ไฮโดรเจน (H) 3.4%, ไนโตรเจน (N) 0.8%, กำมะถัน (S) 2.4%, ออกซิเจน (O) 38.1%, CEC 2.87 meq g⁻¹, -COOH groups 3.12 meq g⁻¹ และ -OH groups 2.07 meq g⁻¹ และจากการศึกษาของ Olivella *et al.* (2002) ที่ทำการศึกษาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุในสารดิวมิคประกอบด้วยคาร์บอน (C) 47.8%, ไฮโดรเจน (H) 3.0%, ไนโตรเจน (N) 0.8%, กำมะถัน (S) 2.4% และออกซิเจน (O) 38.1% และได้ทำการศึกษายาหารประกอบที่เป็นลักษณะเฉพาะของกรดดิวมิคในลิโอนาร์ไคท์ด้วยวิธี pyrolysis-methylation (TMAH) มีผลการทดลองดัง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สารประกอบของกรดดิวมิคในลิโอนาร์ไคท์ที่อ่านค่าด้วยวิธี pyrolysis-methylation

Number	Compound	Major (<i>m/z</i>) ^a	Abundance
1	3-methoxybenzenecarboxylic acid, methyl esterb	135, 166	++
2	4-methoxybenzenecarboxylic acid, methyl esterb	135, 166	++
3	1,2-benzenedicarboxylic acid, dimethyl esterb	194, 163	++
4	1,3-benzenedicarboxylic acid, dimethyl esterb	194, 163	+++
5	3,4-dimethoxybenzoic acid, methyl ester	165, 196	+
6	3-methoxybenzene-1,2-dicarboxylic acid, dimethyl esterb	193, 224	++
7	4-methoxybenzene-1,3-dicarboxylic acid, dimethyl esterb	193, 224	++
8	3,4,5-trimethoxybenzenemethanol, methyl ether	212, 181	+
9	1,2,4-benzenetricarboxylic acid, trimethyl esterb	221, 252	+
10	1,3,5-benzenetricarboxylic acid, trimethyl esterb	221, 252	+
11	3-(3,4-dimethoxyphenyl)-2-propenoic acid, methyl ester	191, 222	+
12	Benzenetricarboxylic acid, trimethyl ester	221, 252	++
13	5-methoxybenzene-1,3,5-tricarboxylic acid, trimethyl esterb	251, 282	+
14	1,2,3,4-benzenetetracarboxylic acid, tetramethyl esterb	279, 310	+
15	1,2,4,5-benzenetetracarboxylic acid, tetramethyl esterb	279, 310	+

a Major *m/z* means major fragment ions in 70 eV mass spectra. +, ++, +++ indicate low, medium and high relative abundances.

b The positional isomers were tentatively assigned according to the relative retention times given by Schnitzer and Skinner. (1974)

ที่มา : Olivella *et al.* (2002)

จากการรายงานของ Alfredo *et al.* (2005) ที่ทำการศึกษาธาตุโลหะหนักในลีโอโนอาร์ไคท์ พบว่า มีธาตุอาร์เซนิก (As) 34.9 mg kg^{-1} , แคดเมียม (Cd) 0.83 mg kg^{-1} และตะกั่ว (Pb) 22.0 mg kg^{-1} ซึ่งมีค่าน้อยมากและอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรที่กำหนดให้ มีธาตุอาร์เซนิก (As) ต้องไม่เกิน 50.0 mg kg^{-1} , แคดเมียม (Cd) ต้องไม่เกิน 5.0 mg kg^{-1} และตะกั่ว (Pb) ต้องไม่เกิน 500 mg kg^{-1} (กรมวิชาการเกษตร, 2548) เนื่องจากลีโอโนอาร์ไคท์เป็นวัสดุอินทรีย์ที่เป็นตัวให้กรดฮิวมิก จึงได้มีการนำไปใช้ในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตรกรรมและการฟื้นฟูพื้นที่ดินและใช้เป็นตัวเติมในของเหลวสำหรับงานเจาะ ได้มีการคาดการณ์ราคาที่ได้ปรับปรุงคุณภาพแล้วขายในรัฐอัลเบอร์ตา (Alberta) ประเทศแคนาดา ในราคาที่น้อยกว่า 62 เหรียญต่อตัน ซึ่งถูกกว่าครึ่งหนึ่งของราคาที่น่าจะลีโอโนอาร์ไคท์ในรูปแบบที่เป็นดินเหนียวที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยกรดฮิวมิกและกรดฟุลวิก แหล่งลีโอโนอาร์ไคท์ขนาดใหญ่พบในมลรัฐดาโกตาเหนือและไวโอมิง ประเทศสหรัฐอเมริกา รวมทั้ง บริติชโคลัมเบีย ประเทศแคนาดา สำหรับลีโอโนอาร์ไคท์ในประเทศไทยในขณะนี้ที่มีรายงานพบปะปนอยู่กับแอ่งถ่านหินลิกไนท์ แม่เมาะ ตั้งอยู่ที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีพื้นที่ประมาณ 38 ตารางกิโลเมตร มีส่วนกว้างสุด 4.0 กิโลเมตร และส่วนยาวสุด 9.5 กิโลเมตร ปริมาณถ่านหินลิกไนท์สำรองทางธรณีวิทยา มีประมาณ 1,139 ล้านตัน อยู่ในการดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สำหรับลีโอโนอาร์ไคท์ในแหล่งดังกล่าวมีการค้นพบและเผยแพร่ในปี พ.ศ. 2549 พบว่ามีปริมาณสำรองของมูลดินปนถ่านหินในบ่อเหมืองที่ศตะวันตกเฉียงใต้และทางทิศเหนือ มีปริมาณมูลดินปนถ่านหิน ประมาณ 1 – 2 ล้านตัน ส่วนในบ่อเหมืองที่ศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นพื้นที่ซึ่งไม่มีการขุดเจาะมีแผนเปิดหน้าเหมืองในอนาคต อยู่ระหว่างการประเมินปริมาณสำรองคาดว่าปริมาณสำรองรวมทั้งหมด (speculative reserves) 2 ล้านตัน (วิวัฒน์และคณะ, 2552)

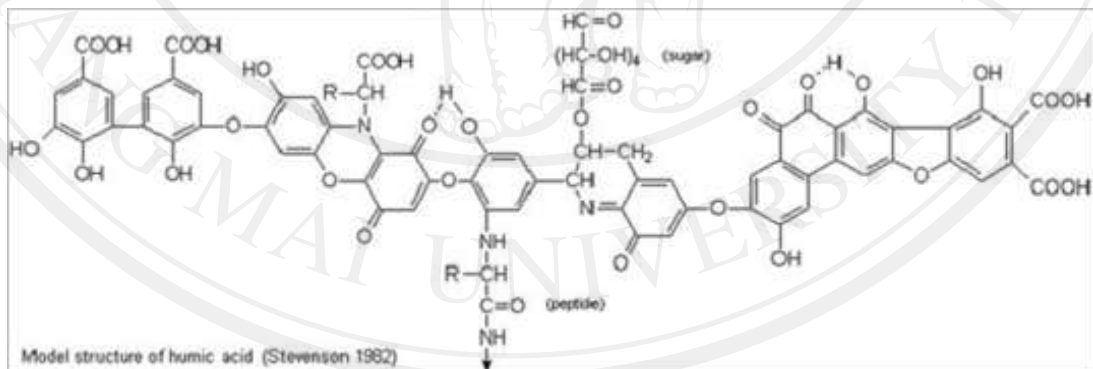
2.2 สารฮิวมิก

สารฮิวมิกประกอบด้วยกลุ่มของสารอินทรีย์ประเภทที่มีมวลโมเลกุลสูง หรือค่อนข้างสูง ทั้งนี้เกิดจากการแปรสภาพและสังเคราะห์รวมตัวกันขึ้นมาใหม่ของสารที่ไม่ใช่ฮิวมิก (non-humic substances) โครงสร้างโมเลกุลของสารฮิวมิกเป็นแบบอสัณฐาน ไม่มีรูปร่างที่แน่นอน มีหลายสี เช่น สีเหลือง สีน้ำตาล จนถึงน้ำตาลดำ แสดงสมบัติเป็นสารคอลลอยด์ โดยมีอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 – 10 นาโนเมตรและเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของอินทรีย์วัตถุที่สะสมตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งมีอิทธิพลสำคัญต่อสมบัติทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวเคมีของดิน สารฮิวมิกละลายน้ำได้น้อยมากแต่บางส่วนละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดและด่าง ถ้าอาศัยความสามารถในการละลายได้ในสารละลายดังกล่าวเป็นเกณฑ์ สารฮิวมิก แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) กรดฮิวมิก (humic Acid) ซึ่งละลายในสารละลายด่างเจือจาง และเมื่อนำสารละลายด่างที่สกัดได้นั้นมา

ตกตะกอนด้วยกรดจะได้ตะกอนของกรดฮิวมิก 2) กรดฟุลวิก (fulvic acid) สามารถละลายได้ทั้งในกรดและด่าง 3) ฮิวมิน (humins) คือ สารฮิวมิกซึ่งไม่สามารถสกัดได้ด้วยสารละลายต่างเจือจางและกรด มีสีคล้ำดำหรือน้ำตาลเข้ม สารประกอบทั้ง 3 ชนิดนี้ มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันในการควบคุมสมบัติของดิน เช่น สามารถดูดซับ และแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดี (ไพบูลย์, 2546)

2.2.1 กรดฮิวมิก

กรดฮิวมิกเป็นสารอินทรีย์สีดำ มีสภาพเป็นกรดได้จากการใช้ต่างสกัดดิน ถ่านหินชั้นคุณภาพต่ำ (leonardite) และซากพืชต่างๆ โดยที่กรดฮิวมิกนี้ไม่ละลายในกรดอินทรีย์และกรดอื่นๆ (มันชนิชย์, 2546) ซึ่งกรดฮิวมิกเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็น Polyphenol ที่เสถียรแต่สลับซับซ้อน (ภาพที่ 1) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ในดิน พบได้ในพีท ลิกไนท์ และแร่ลิโธนาไคท์ เป็นต้น กรดฮิวมิกมีส่วนประกอบของหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) หมู่ฟีนอล (phenolic group) หมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) หมู่แอลกอฮอล์ (alcoholic hydroxyl group) และหมู่ฟังก์ชันอื่นๆ มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่น้อยกว่า 1,000 จนถึง 100,000 กรดฮิวมิกสามารถละลายได้ในสารละลายต่างแต่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์กรดฮิวมิกมีองค์ประกอบของคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไฮโดรเจน (H) กำมะถัน (S) ไนโตรเจน (N) และธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย (ไพบูลย์, 2546)



ภาพที่ 1 แบบโครงสร้างจำลองของกรดฮิวมิก (Stevenson, 1994)

ในปัจจุบันพื้นที่ที่ใช้ในการเกษตรกรรมมีความสมบูรณ์น้อยลง เนื่องจากเกษตรกรใช้ปุ๋ยและปลูกพืชเพียงชนิดเดียวต่อเนื่องเป็นเวลายาวนาน และมีการใช้ปุ๋ยเคมีมากเกินไป ด้วยเหตุนี้เกษตรกรจึงจำเป็นต้องหาสารอื่นมาปรับปรุงคุณภาพดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ สามารถอุ้มน้ำได้ดีและมีระดับอินทรีย์วัตถุในปริมาณที่เหมาะสม ตลอดจนช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีให้น้อยลง เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น ทวีลักษณ์และกฤตย์ 2548 รายงานว่า กรดฮิวมิกจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพดินได้โดยทำให้โครงสร้างของดินอุ้มน้ำและระบายอากาศได้ดี ใน

ดินเหนียวซึ่งมีอนุภาคของดินเล็กและมีความละเอียดสูง จะมีประจุบวกและประจุลบอยู่อย่างหนาแน่น ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวสูง จึงส่งผลให้ดินมีความหนาแน่นมาก ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อระบบรากของพืชที่จะดูดซึมน้ำและธาตุอาหารกรดฮิวมิกสามารถปรับปรุงดินที่มีความเป็นดินเหนียวสูงเนื่องจากในโครงสร้างโมเลกุลของกรด ฮิวมิกมีหมู่คาร์บอกซิล ซึ่งจะไปสร้างพันธะกับอนุภาคประจุบวกในดินที่มีความเป็นดินเหนียวสูง และทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างประจุบวกและประจุลบออกจากกัน ซึ่งก็จะทำให้ชั้นดินมีความโปร่งขึ้น ส่งผลให้น้ำและอากาศหมุนเวียนถ่ายเทได้ดีขึ้น นอกจากนี้กรดฮิวมิกสามารถป้องกันไม่ให้น้ำระเหยไปจากดิน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญยิ่งสำหรับดินที่มีความเป็นดินเหนียวต่ำ ดินทราย และดินในพื้นที่แห้งแล้ง ที่ไม่สามารถจะดูดซับน้ำไว้ได้เมื่อดินที่มีลักษณะดังกล่าวมีน้ำผ่านเข้ามา ประจุบวกที่กรดฮิวมิกได้ดูดซับไว้จะสร้างพันธะกับประจุลบของน้ำคือออกซิเจน ส่วนประจุบวกที่เหลืออยู่ในน้ำคือไฮโดรเจนนั้นก็จะสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมของออกซิเจนในน้ำโมเลกุลอื่นๆต่อไป ทำให้น้ำระเหยออกจากดินน้อยลงหรือสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้นนั่นเอง ส่วนสมบัติทางเคมีของกรดฮิวมิกจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารเพื่อที่จะปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นให้แก่พืชเพื่อที่จะได้นำ สารเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ในด้านการเจริญเติบโต การออกดอกออกผล กล่าวคือกรดฮิวมิกสามารถยึดประจุบวกของจุลธาตุภายใต้ สภาวะหนึ่งและจะปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นเมื่อสภาวะเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้เมื่อกรดฮิวมิกเคลื่อนที่เข้าไปใกล้บริเวณรากของพืช ซึ่งระบบรากพืชจะมีประจุลบ พืชธาตุอาหารเสริมเหล่านั้นก็จะถูกปล่อยจากโมเลกุลของกรดฮิวมิกเข้าไปสู่ระบบรากพืช ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากรดฮิวมิกมีความสำคัญอย่างมากในการเป็นสื่อกลางการลำเลียงธาตุอาหารจากดินไปสู่รากพืช

2.3 วิธีการสกัดกรดฮิวมิก

การสกัดกรดฮิวมิกมีวิธีการสกัดโดยทั่วไปที่คล้ายคลึงกันคือ ใช้ตัวอย่างที่ต้องการสกัดละลายในสารละลายต่างและกรองเอาสารละลายที่สกัดได้ นำไปตกตะกอนในสภาพที่เป็นกรด ซึ่งแต่ละวิธีการแตกต่างกันเพียง ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายต่างที่ใช้สกัดและความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการทำให้ตกตะกอนเท่านั้น ซึ่งได้มีนักวิจัยหลายท่านที่ทำการศึกษาสกัดแยกกรดฮิวมิกจากถ่านหินเกรดต่ำ (ลีโอนาร์โด) ที่นำมาจากเหมืองลิกไนต์แม่เมาะจังหวัดลำปาง โดยใช้สารละลายต่าง (0.1 M NaOH, 0.1 M KOH, 0.25 M NaOH, และ 0.25 M KOH) หรือสารละลายที่มี $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (0.1 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ หรือ 0.25 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) พบว่าเมื่อใช้ 0.1 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ จะได้ปริมาณกรดฮิวมิกเฉลี่ยสูงสุด 17.60% และเมื่อใช้ 0.1 M KOH ได้ปริมาณกรดฮิวมิกเฉลี่ยต่ำสุด 5.06% (Arunya *et al.*, 2009)

Garcia *et al.* (1996) ได้สกัดกรดฮิวมิกจากแร่ลิโอนาร์ไคท์และลิกไนต์จากเมือง Teruel ประเทศสเปน โดยใช้สารละลายชนิดต่างๆ มาเป็นตัวสกัด อาทิเช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M (0.1 M NaOH) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M (0.1 M KOH) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.25 M (0.25 M KOH) และสารละลายโซเดียมไฟโรฟอสเฟต 0.1 M (0.1 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) โดยใช้เวลาในการเขย่าสารละลาย 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมา centrifuge ที่ 7,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที และนำสารละลายที่ได้มาตกตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ pH 2 พบว่าสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.25 M (0.25 M KOH) สกัดกรดฮิวมิกออกมาได้มากที่สุด 12.50%

Deborah and Burba (1999) ได้ทำการทดลองสกัดกรดฮิวมิกจากดิน Oxisol และ Mollisol จากตอนใต้ของประเทศบราซิล (South Brazil) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M (0.1 M NaOH) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M (0.5 M NaOH) สารละลายโซเดียมไฟโรฟอสเฟต 0.15 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (0.15 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M ร่วมกับสารละลายโซเดียมไฟโรฟอสเฟต 0.15 M (0.5 M NaOH/0.15 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) เขย่า 3 ชั่วโมง (Swift, 1996) จากนั้นนำมา centrifuge แยกสารละลายที่ได้ ตกตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1 M (0.1 M HCl) ที่ pH 2 ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงกรดฮิวมิกจะตกตะกอนแยกออกจากกรดฟุลวิก

Gemier and Harigenth (1999) ได้นำพีทจากเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย มาสกัดกรดฮิวมิกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N (0.1 N NaOH) และสารละลายโซเดียมไฟโรฟอสเฟต 0.1 N (0.1 N $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) จากนั้นนำสารละลายมาตกตะกอนด้วยกรดซัลฟูริกเจือจางที่ pH 1 จะได้ตะกอนของกรดฮิวมิกแยกออกจากกรดฟุลวิก

Fong and Seng (2007) ได้นำลิโอนาร์ไคท์จากเมือง Mukah รัฐ Sarawak ประเทศมาเลเซีย มาทดลองสกัดด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M (0.5 M KOH) ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำเอาสารละลายมาตกตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ pH 1 – 2 โดยมีการเติมสารละลายออกซิไดท์ ได้แก่ สารละลายกรดไนตริก 5 เปอร์เซ็นต์ (5% HNO_3) สารละลายกรดไนตริก 10 เปอร์เซ็นต์ (10% HNO_3) สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ (5% H_2O_2) สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 5 เปอร์เซ็นต์ (5% KMnO_4) และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 10 เปอร์เซ็นต์ (10% KMnO_4) ลงไปด้วยในขณะที่สกัด พบว่าสามารถสกัดกรดฮิวมิกได้ 35 – 67 เปอร์เซ็นต์

Ahmed *et al.* (2005) ได้สกัดกรดฮิวมิกจากปุ๋ยหมักสับประรด ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M (0.1 M NaOH) สกัดตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในหลอด polyethylene centrifuge ขนาด 50 ml. เขย่าที่ระยะเวลาแตกต่างกัน จากนั้นนำมา centrifuge ที่ 5,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา

15 นาที กรองแยกเอาตะกอนทิ้งไป เก็บสารละลายที่กรองได้มาปรับ pH ให้เป็น 1 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 6 M (6 M HCl) ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง กรดฮิวมิกจะตกตะกอน นำมา centrifuge ที่ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาทีอีกครั้ง กรดฮิวมิกจะตกตะกอนแยกออกจากกรดฟลูวิค อย่างชัดเจน นำตะกอนกรดฮิวมิกที่ได้มาอบที่ 55-60 °C จนกว่าจะแห้งสนิท พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดอยู่ในช่วง 17-19 ชั่วโมง ที่ทำให้กรดฮิวมิกละลายออกมาได้มากที่สุด 22.9%

ในประเทศไทยมีวิธีการสกัดกรดฮิวมิกจากกรมวิชาการเกษตร โดยใช้ 0.5 M NaOH 40 ml ละลายตัวอย่างปุ๋ยหมัก 2 กรัม ใน water bath ที่อุณหภูมิ 100 °C 1 ชั่วโมงโดยประมาณ กรองเอาส่วนที่ไม่ละลายออกเก็บส่วนที่ละลายไว้ นำส่วนที่ไม่ละลายเติม 0.5 M NaOH อีกครั้ง ทำเช่นเดิมเท่าใส่รวมกัน จากนั้นนำส่วนที่ละลายทั้งหมดมาเติมกรด HCl เข้มข้น 10 ml กรดฮิวมิกจะตกตะกอน กรองเอาตะกอนกรดฮิวมิกที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 65-70 °C ประมาณ 20 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นใน desicator (พวงผกา, 2541)

2.4 ปุ๋ยหมักและการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมัก

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2550 ได้ให้คำจำกัดความของปุ๋ยไว้ว่า “ปุ๋ย” หมายความว่า สารอินทรีย์ อินทรีย์สังเคราะห์ อนินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตามสำหรับใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช (พระราชบัญญัติปุ๋ย, 2550)

ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์จากพืช และสัตว์ทางการเกษตร และจากชุมชนมาผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ บด ร่อน และผ่านกรรมวิธีการหมักอย่างสมบูรณ์ จนแปรสภาพจากเดิม ซึ่งกระบวนการหมักเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์บางชนิดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งจะย่อยสลายสารอินทรีย์จนกลายเป็นปุ๋ยที่มีลักษณะนุ่มยุ่ยขาดออกจากกันได้ง่าย มีอุณหภูมิไม่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศซึ่งเหมาะสมที่จะใส่บำรุงดินเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ช่วยให้ดินร่วนซุย และอุ้มน้ำได้มากขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ถึงแม้ว่าปุ๋ยหมักจะมีทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ แต่ปริมาณธาตุอาหารหลักมีน้อย และใช้ระยะเวลาในการผลิตค่อนข้างนาน ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ และการผลิตปุ๋ยหมัก โดยการเพิ่มหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์และ/หรือธาตุอาหารพืชผสมในปุ๋ยหมัก

หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์หรือเรียกว่า ปุ๋ยชีวภาพ หรือปุ๋ยจุลินทรีย์ สามารถนำมาใช้ปรับปรุงดินทางชีวภาพ กายภาพ ชีวะเคมี และการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ตลอดจนการปลดปล่อยธาตุอาหารจากพืช จากอินทรีย์สารหรือจาก อนินทรีย์วัตถุ (ออมทรัพย์, 2542) เชื้อจุลินทรีย์ที่เป็น

ประโยชน์ที่สำคัญได้แก่ กลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยต้องอาศัยอยู่ร่วมกับพืช เช่น ไรโซเบียม และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน กลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้เอง เช่น อะซิโตแบคเตอร์ (*Azotobacter*) และ อะซิโตสปิริลลัม (*Azospirillum*) กลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยละลายธาตุอาหารฟอสฟอรัสให้กับพืช เช่น ไมโคไรซา (*Mycorrhiza*) กลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยละลายหินฟอสเฟต เช่น บาซิลลัส (*Bacillus*) และ ซูโดโมแนส (*Pseudomonas*) กลุ่มจุลินทรีย์ที่ละลายแร่โพแทสเซียม เช่น บาซิลลัส (*Bacillus*) แอสเปอร์จิลลัส (*Aspergillus*) เป็นต้น (พิชิต, 2542) เนื่องจากปุ๋ยหมักมีปริมาณธาตุอาหารหลักต่ำดังที่ได้กล่าวมาแล้ว การใช้จุลินทรีย์บางชนิดดังกล่าวสามารถนำมาเพิ่มคุณภาพปุ๋ยหมักได้โดยเพิ่มค่าการละลายธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมของหินแร่ฟอสเฟตและแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ที่ผสมเพิ่มลงในปุ๋ยหมัก สมศักดิ์ (2549) ได้ทำการทดลองเตรียมปุ๋ยหมักจากเปลือกข้าวผสมกับปุ๋ยคอกและหัวเชื้อจุลินทรีย์ตัวเร่ง (พด.1) ในอัตราส่วนของวัสดุ 1,000 กิโลกรัม : 200 กิโลกรัม : 200 กรัม ตามลำดับและเมื่อปุ๋ยหมักย่อยสลายจนสมบูรณ์แล้วนำปุ๋ยหมักจำนวน 1,000 กิโลกรัม มาผสมกับหินฟอสเฟต (16% Total P) จำนวน 200 กิโลกรัม และแร่เฟลด์สปาร์ (6.75% Total K) จำนวน 100 กิโลกรัม ร่วมด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ดังนี้ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Azotobacter* sp., *Azospirillum* sp., และ *Beijerinckia* sp., เชื้อราย่อยสลายฟอสเฟต 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Azotobacter* sp., และ *Penicillium* sp. และแบคทีเรียย่อยสลายโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ 1 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus* sp. โดยให้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นแบคทีเรีย 10^7 และเชื้อรา 10^6 เซลล์ต่อกรัมปุ๋ย ผลการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักที่ได้ทำการปรับปรุงมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของฝักคะน้าในอัตราที่ใส่ 2.0 ต้นต่อไร่ให้ผลผลิตสูงที่สุดและการใส่ปุ๋ยหมักที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพในอัตรา 2.5 ต้นต่อไร่ให้ผลผลิตถั้วฝักยาวและข้าวโพดหวานสูงที่สุด

อรรวรรณ (2554) ได้ทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวที่มีการย่อยสลายสมบูรณ์แล้วโดยการเติม โดโลไมท์ (Dolomite 5%) หินฟอสเฟต (5% Total P) แร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (2.5% Total K) และแชนแดง 0.83 % เติมแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Azotobacter* sp., *Azospirillum* sp., และ *Beijerinckia* sp., เชื้อราย่อยสลายฟอสเฟต 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Azotobacter* sp., และ *Penicillium* sp. และแบคทีเรียย่อยสลายโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ 1 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus* sp. ลงไปในปุ๋ยหมักแล้วหมักต่อเป็นระยะเวลาอีก 1 เดือนและนำไปทดลองกับการเพาะกล้าคะน้าฮ่องกง ผลการศึกษาพบว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์ลงไปปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวส่งผลให้น้ำหนักต้นสด น้ำหนักรากสด น้ำหนักต้นแห้งและน้ำหนักรากแห้งมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ลิโอเนาร์ไคท์กับโดโลไมท์และเติมหินฟอสเฟตกับโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ลงไปปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว

มะพร้าว ซึ่งส่งผลบวกต่อการเจริญเติบโตของกล้าจะนำร่องทั้งน้ำหนักต้นสดและน้ำหนักรากแห้งได้เพิ่มมากขึ้น

การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักโดยการเพิ่มแหล่งของธาตุอาหารและจุลินทรีย์ช่วยละลายธาตุอาหาร ดังงานวิจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วก็เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เพิ่มการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ดีขึ้นก่อนการปรับปรุง อีกแนวทางหนึ่งซึ่งเป็นแนวทางใหม่ในการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักคือ การเพิ่มสารฮิวมิก (humic substances) โดยใช้วัสดุอินทรีย์ที่มีกรดฮิวมิกสูงเป็นองค์ประกอบ เช่น ลิโอนาร์ไคท์ ซึ่งจากการตรวจเอกสารยังไม่พบการศึกษาวิจัย ที่ทำการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักด้วยการเพิ่มสารฮิวมิกโดยเฉพาะการผสมกับลิโอนาร์ไคท์ แต่ได้มีการศึกษาวิจัยหลายเรื่องที่ได้นำเอาเฉพาะลิโอนาร์ไคท์มาทดลองใช้กับพืช และการทดลองใช้ humic acid และ/หรือ fulvic acid มาทดสอบผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งการนำลิโอนาร์ไคท์ไปใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตพืชเป็นการศึกษาที่ค่อนข้างใหม่ ด้วยเหตุผลที่ว่า ลิโอนาร์ไคท์มีปริมาณกรดฮิวมิกอยู่ในปริมาณที่สูงมาก กรดฮิวมิกมีคุณสมบัติที่ช่วยให้ดินร่วนซุย อุ่นน้ำได้ดีขึ้น ดูดซับธาตุอาหารอาหารที่มีประจุบวกได้มากขึ้น ส่งผลต่อโครงสร้างทางกายภาพของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงมีงานวิจัยในต่างประเทศที่มีการนำลิโอนาร์ไคท์ไปใช้กับพืช โดยพบว่า ลิโอนาร์ไคท์มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการดูดใช้ธาตุอาหาร N, P และ K ในข้าวโพดที่ปลูกในดินร่วนปนทราย (loamy sand) แต่ไม่มีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นของข้าวโพดในดินเหนียว (Duplessis and Mackenzie, 1983) ซึ่งธาตุอาหารในลิโอนาร์ไคท์จากแหล่งต่างๆ ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชได้รวบรวมเปรียบเทียบไว้ใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชที่มีอยู่ในลิโอนาร์ไคท์
ในงานทดลองต่างๆ

Element	Halil <i>et al.</i> (2011)	Ali <i>et al.</i> (2007)	Alfredo <i>et al.</i> (2005)	John <i>et al.</i> (1998)
N (%)	1.12	0.73	1.17	0.0012
P (%)	0.09	0.00042	0.04	0.0013
K (%)	0.51	0.014	3.97	0.002
S (%)	0.11	NA	NA	0.03
Ca (mg kg ⁻¹)	14,000	NA	NA	8,878.00
Mg (mg kg ⁻¹)	2,400	NA	NA	585.00
Na (mg kg ⁻¹)	960	NA	NA	636.00
B (mg kg ⁻¹)	NA	NA	NA	2.02
Fe (mg kg ⁻¹)	6,800	NA	NA	296.88
Cu (mg kg ⁻¹)	255	NA	28.2	0.01
Zn (mg kg ⁻¹)	685	NA	64.5	0.18
Mn (mg kg ⁻¹)	120	NA	66.2	1.84

NA = ไม่มีผลการวิเคราะห์

มีรายงานสนับสนุนว่า การใส่ลิโอนาร์ไคท์มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของ sweet clover (Safaya and Wali, 1979) และการใส่ลิโอนาร์ไคท์ในการปลูกมะเขือเทศช่วยให้ผลผลิตมะเขือเทศเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวสาลี (Wallace and Wallace, 1986) โดยที่อัตราการใส่ ลิโอนาร์ไคท์ไม่มีผลต่อปริมาณการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวสาลีและพืชจำพวกถั่ว แต่มีผลต่อปริมาณการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของพืช canola เนื่องจาก ลิโอนาร์ไคท์สนับสนุนการดูดใช้ธาตุอาหาร N, P, K และ S ใน canola (Akinremi *et al.*, 2000) ส่วนการทดลองใช้ลิโอนาร์ไคท์กับถั่วแดงพันธุ์เลื้อย (*Phaseolus vulgaris* L.) พบว่าการใส่ลิโอนาร์ไคท์ในอัตรา 10 และ 20 Mg ha⁻¹ ร่วมกับปุ๋ย N และ P ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของฝักและความยาวของฝักถั่ว (Ali *et al.*, 2007) จาก การรายงานของ John *et al.*, (1998) ลิโอนาร์ไคท์ในรัฐเท็กซัส ไวโอมิ่ง นิวเม็กซิโก นอร์ทดาโกต้า ไอดาโฮ และฟลอริดาจะมีปริมาณกรดฮิวมิกที่มีอยู่ในช่วง 30-60% ซึ่งกรดฮิวมิกมีประโยชน์ในการช่วยให้รากถั่ว broad bean (*Vicia faba* L.) มีการเจริญเติบโตที่แผ่ขยายออกอย่างมากมากกว่า รากถั่วที่ไม่ได้รับกรดฮิวมิก (Akinci *et al.*, 2009) และกรดฮิวมิกยังส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร ต่างๆ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่สะสมอยู่ในใบและต้นของ avocado (Phanuphong and Gregory, 2003)

2.5 วัสดุเพาะกล้า

วัสดุเพาะกล้ามีความสำคัญในการเพิ่มคุณภาพในด้านความสม่ำเสมอและความแข็งแรงของต้นกล้า ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การรอดตายและคุณภาพผลผลิตของพืชชนิดนั้นสูงขึ้นเมื่อย้ายปลูกในพื้นที่จริง อีกทั้งยังเป็นการลดการสิ้นเปลืองเมล็ดพันธุ์กว่า 4-5 เท่า เมื่อเทียบกับการหว่านหรือการหยอดเมล็ดพันธุ์ในพื้นที่โดยตรง (ชัยสิทธิ์และคณะ, 2541) การเลือกใช้วัสดุเพาะกล้านับเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการที่จะช่วยส่งเสริมหรือไปยับยั้งการงอกของพืช เนื่องจากวัสดุเพาะกล้าแต่ละชนิดมีปัจจัยต่างๆ ที่มีความจำเป็นสำหรับการงอก ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ ออกซิเจน และแสงสว่าง แตกต่างกันไป (ประนอม, 2549) วัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการเพาะกล้าส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่น ทราย ทรายผสมแกลบ ดินร่วนปนทราย ดินผสมทราย ดินผสมแกลบเผา เนื่องจากมีราคาถูก และหาซื้อได้ง่าย แต่อาจมีปัญหาแน่นทึบเนื่องจากแรงกระทบของน้ำที่ให้กับต้นกล้า อันจะมีผลให้ค่าความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นอนุภาคของวัสดุเพาะสูงขึ้น ทำให้อัตราการระบายน้ำและอากาศลดลง ส่วนในขั้นตอนของการย้ายกล้าออกจากหลุมเพาะอาจทำได้ยากเนื่องจากน้ำหนักของวัสดุเพาะที่มาก มีผลให้ตุ้มรากแตกร่วนทำให้ระบบรากพืชกระทบกระเทือนได้ วัสดุเพาะกล้าที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดโดยทั่วไปมักเป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีสมบัติโปร่ง น้ำหนักเบา สามารถดึงออกจากหลุมเพาะได้ง่ายเมื่อย้ายปลูกแต่คุณภาพมักไม่ได้มาตรฐาน ส่วนวัสดุเพาะกล้าเกรดเอ (A) ที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีจำหน่ายในประเทศไทยนั้น มีราคาแพง ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงในปัจจุบันวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีปริมาณมากขึ้น หากมีการนำวัสดุที่เหลือใช้มาศึกษาและพัฒนาเป็นวัสดุเพาะกล้าให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงหรือดีกว่าวัสดุเพาะกล้าที่มีคุณภาพสูงและราคาแพง นอกจากจะเป็นการนำวัสดุเหลือมาใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมแล้วยังเป็นการลดการนำเข้าวัสดุเพาะกล้าจากต่างประเทศ อันเป็นทางเลือกใหม่ที่ยังประโยชน์ต่อเกษตรกรในการลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงอีกด้วย ชัยสิทธิ์และคณะ (2544) ทำการศึกษาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรในเขตภาคตะวันตกของประเทศไทย โดยนำวัสดุเหลือใช้จำนวน 15 ชนิดมาทำการศึกษาเพื่อผลิตเป็นวัสดุเพาะกล้า จากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุทั้ง 15 ชนิด ได้วัสดุเหลือใช้ที่เหมาะสมจำนวน 4 ชนิด คือ มูลสุกร ขุยมะพร้าว กากตะกอนอ้อยและจี้แฉ่าแกลบ นำวัสดุทั้ง 4 ชนิดมาผสมเป็นวัสดุเพาะกล้าจำนวน 14 สูตร และทำการทดสอบกับพืช 6 ชนิด ได้แก่ กระจับเขียว ดาวเรืองพันธุ์เกษตร มะเขือเทศ พริกชี้ฟ้า แคนตาลูป และ โหระพา โดยเปรียบเทียบกับวัสดุเพาะกล้านำเข้า peat moss ปรากฏว่าวัสดุเพาะกล้าสูตร ซึ่งมีขุยมะพร้าวเป็นส่วนประกอบ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการเจริญเติบโตของกล้าในด้านความสูง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อต้น ตลอดจนเปอร์เซ็นต์การรอดตายของกล้าใกล้เคียงกับ peat moss แต่เมื่อพิจารณาถึงราคาต่อหน่วยของ peat moss พบว่า

มีราคาสูงกว่าวัสดุเพาะกล้าจากวัสดุเหลือใช้ 6-8 เท่า นอกจากนี้วัสดุเพาะกล้าจากวัสดุเหลือใช้ยังมีปริมาณธาตุอาหารหลักมากกว่า peat moss อีกด้วย

จากผลงานการคัดเลือกวัสดุเพาะกล้าที่นำมาใช้ในงานทดลองในครั้งนี้ได้ดัดแปลงมาจากงานทดลองของฟ้าไพลิน (2555) ที่ทำการทดลองศึกษาการใช้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและธาตุอาหารของกล้าคะน้าฮ่องกงในวัสดุเพาะกล้า ซึ่งผลการทดลองพบว่า การใช้ปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิดคือ *Azospirillum* spp. (VAs 2), *Beijerinckia* spp. (VBe 75) และ Actinomycetes (VAc 077) ส่งผลบวกต่อการเจริญเติบโตของกล้าคะน้าฮ่องกงทั้งน้ำหนักต้นสดและน้ำหนักรากแห้งได้มากที่สุด

2.6 ค่าน้ำฮ่องกง (Kailaan)

ค่าน้ำฮ่องกง ชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica oleracea* var. *alboglabra* จัดเป็นคะน้ายอด ชนิดหนึ่งอยู่ในตระกูลกะหล่ำมีต้นกำเนิดจากประเทศจีน ลักษณะลำต้นและใบมีสีเขียวเข้ม ใบมีลักษณะเรียวกว้าง ไม่กลม ลำต้นมีขนาดเล็กกว่า ค่าน้ำยอดคอกคำ กรอบไม่เป็นเส้น ดอกมีสีขาวหรือสีเหลือง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ การปลูกค่าน้ำฮ่องกงควรทำการเพาะเมล็ดในถาดเพาะก่อนทำการย้ายปลูก ค่าน้ำฮ่องกงตอบสนองต่ออุณหภูมิมากกว่าคะน้าคอกคำ กล่าวคือ การเพาะกล้าในช่วงอุณหภูมิต่ำหากย้ายลงแปลงที่อุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย ต้นกล้าจะแทงช่อดอกในขณะที่ยังเล็ก ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงเพาะกล้าในที่มีอุณหภูมิต่ำ สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลูกและผลผลิตที่มีคุณภาพควรอยู่ในช่วง 15-28°C สำหรับดินที่เหมาะสมต่อการปลูกควรเป็นดินร่วน มีความอุดมสมบูรณ์สูง การระบายน้ำดี ก่อนปลูกควรใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกเพื่อปรับโครงสร้างดิน โดยทั่วไปค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสม ควรอยู่ระหว่าง 5.5-6.5 ดินมีความชื้นสม่ำเสมอ แต่ไม่ควรแฉะเกินไป และควรได้รับแสงอย่างพอเพียง สำหรับการปฏิบัติดูแลรักษาค่าน้ำฮ่องกง ในระยะต่างๆของการเจริญเติบโตมีดังนี้ การเตรียมกล้า มี 2 วิธี คือ การเพาะเมล็ดในกระบะที่มีส่วนผสมระหว่างทราย : ขุยมะพร้าว : ดิน อัตราส่วน 2:1:1 เมื่อดันกล้ามีอายุประมาณ 5 วัน ย้ายลงถาดหลุมที่ใส่วัสดุเพาะกล้า หลังจากต้นกล้ามีอายุประมาณ 18-21 วัน หรือมีใบจริงอย่างน้อย 2-3 ใบ จึงทำการย้ายปลูก ในส่วนของการเตรียมดินก่อนการย้ายต้นกล้าให้ทำการขุดดินลึกประมาณ 10-15 ซม. ตากแดดทิ้งไว้ประมาณ 7-10 วัน ขึ้นแปลงกว้าง 1-1.2 ม. หรือตามสภาพพื้นที่ ใส่ปุ๋ยรองพื้นปุ๋ยคอก (มูลไก่) หรือปุ๋ยหมัก อัตรา 3 กก./ตร.ม. และหว่านปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 120 กรัม/ตร.ม. ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน เนื่องจากค่าน้ำฮ่องกงเป็นผักกินใบในระยะแรกจึงต้องการปุ๋ยไนโตรเจนค่อนข้างสูง การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ควรใส่หลังจากย้ายปลูก 7-10 วัน คือใส่ปุ๋ย 46-0-0 หรือ 21-0-0 อัตรา 120 กรัม/ตร.ม. สำหรับการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ให้ทำหลังจากย้ายปลูก 14-20 วัน โดยใส่ปุ๋ย 46-0-0

หรือ 21-0-0 ผสมกับปุ๋ย 15-15-15 ในอัตรา 1:2 และใส่ในอัตรา 120 กรัม/ ตร.ม. คำน้าฮ่องกงสามารถทำการเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 35-45 วัน นับตั้งแต่เริ่มเพาะต้นกล้า สำหรับโรคแมลงศัตรูที่สำคัญของค่าน้ำฮ่องกง (Kailaan) ในระยะต่างๆ ของการเจริญเติบโตมีดังนี้ ระยะต้นกล้า 18-21 วัน โรคโคนเน่า, โรคราน้ำค้าง, ศีรษะหมัดผัก, เพลี้ยอ่อน ระยะย้ายปลูกลง-ตั้งตัว 21-28 วัน โรคโคนเน่า, โรคราน้ำค้าง, โรคใบจุด, ศีรษะหมัดผัก, หนอนใยผัก, เพลี้ยอ่อน, หนอนก๊ีบ, หนอนกระทู้ ระยะเจริญเติบโต 40-45 วัน โรคราน้ำค้าง, โรคใบจุด, โรคเน่าดำ, ศีรษะหมัดผัก, หนอนใยผัก, เพลี้ยอ่อน, หนอนก๊ีบ, หนอนกระทู้ ระยะโตเต็มที่ 45-50 วัน โรคราน้ำค้าง, โรคใบจุด, โรคเน่าดำ, ศีรษะหมัดผัก, หนอนใยผัก, เพลี้ยอ่อน, หนอนก๊ีบ, หนอนกระทู้ การบริโภคค่าน้ำฮ่องกง นิยมนำมาผัด หรือนำมาเป็นเครื่องเคียงกับอาหารประเภทยำ มีเบต้าแคโรทีนสูง ช่วยป้องกันโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังมีวิตามิน และแคลเซียมมาก ป้องกันหลอดเลือดหัวใจตีบและโรคกระดูกบาง (บทความเกษตร, 2555)

จากงานทดลองของสมศักดิ์ (2549) ที่ทดลองเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการเพิ่มผลผลิตค่าน้ำพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพในอัตรา 1.5-2.5 ตันต่อไร่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผลผลิตค่าน้ำที่ปลูกในฤดูฝนและฤดูหนาวได้สูงที่สุดและในงานทดลองของพิภพทอง (2553) ที่ทดลองเกี่ยวกับการปลูกค่าน้ำในแปลงทดลองพบว่า ค่าน้ำที่เพาะในวัสดุเพาะกล้าก่อนย้ายปลูกลงในแปลงทดลองสามารถช่วยให้มีอัตราการรอดตายที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าน้ำที่หว่านในแปลงทดลอง

จตุรงค์และคณะ (2549) ได้ทำการทดลองศึกษาการเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีในการผลิตค่าน้ำ ประกอบด้วยกรรมวิธีการใช้ปุ๋ย 4 ชนิด คือ 1) ปุ๋ยหมักในอัตรา 1,600 กก./ไร่⁻¹ 2) ปุ๋ยหมักผสมแหนแดง ในอัตรา 1,600 กก./ไร่⁻¹ 3) ปุ๋ยหมักร่วมกับการฉีดพ่นน้ำหมักชีวภาพจากผักผสมน้ำ ในอัตรา 1:1000 ฉีดพ่นทุกๆ 7 วัน 4) ปุ๋ยเคมี ใช้เกรด 16-16-16 อัตรา 22 กก./ไร่พร้อมกับเสริมด้วยปุ๋ยเกรด 46-0-0 อัตรา 8 กก./ไร่⁻¹ ผลการทดลอง พบว่า ในฤดูหนาว (ธ.ค.47-ม.ค.48) ชุดการทดลองปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตสูงสุด 1,410 กก./ไร่⁻¹ โดยที่ชุดการทดลองปุ๋ยหมักร่วมกับการฉีดพ่นน้ำหมักชีวภาพจากผักให้ผลผลิต 888 กก./ไร่⁻¹ ส่วนในฤดูฝน (มิ.ย.-ก.ค.48) ชุดการทดลองปุ๋ยหมักร่วมกับการฉีดพ่นน้ำหมักชีวภาพจากผักให้ผลผลิตสูงสุด 2,227 กก./ไร่⁻¹ และชุดการทดลองปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตต่ำที่สุด 1,688 กก./ไร่⁻¹ มีรายงานสนับสนุนโดยนิสสุดาและอิสริยา (2551) ที่ทำการทดลองศึกษาการศึกษาผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิต ผลการศึกษาพบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 50 กก./ไร่⁻¹ ร่วมกับปุ๋ยยูเรียให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 5,929 กก./ไร่⁻¹ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Aporn *et al.* (2002) ที่รายงานว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัดเม็ดในอัตรา 4 ตัน ไร่⁻¹ ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตรา 50 กก./ไร่⁻¹ และการใส่ปุ๋ยหมักอัดเม็ดในอัตรา 8 ตัน ไร่⁻¹ ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตรา 50 กก./ไร่⁻¹ ให้ผลผลิตของความยาวใบในต้นค่าน้ำสูงที่สุด