

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### 2.1 ปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีในประเทศไทย

ในแต่ละปีประเทศไทยต้องนำเข้าปุ๋ยเคมีในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทุกปี ดังเห็นได้จากตารางที่ 1 ปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีในปี 2541 มีปริมาณ 2,873,514 ตัน คิดเป็นเงิน 17,851.88 ล้านบาท ในปี 2545 มีปริมาณการนำเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 3,669,353 ตัน คิดเป็นเงิน 22,112.20 ล้านบาท ปุ๋ยที่มีการนำเข้าประกอบด้วยปุ๋ยสูตร 21-0-0, 46-0-0, 0-0-60, 16-20-0, 16-16-8, 15-15-15, 13-13-21 และอื่นๆ ดังตารางที่ 2 โดยส่วนหนึ่งนั้นเป็นปุ๋ยโพแทสเซียมที่มีมูลค่าจำนวนมาก ตารางที่ 1 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีรายเดือน

เดือน	ปี 2541		ปี 2542		ปี 2543	
	ปริมาณ (ล้านบาท)	มูลค่า (ตัน)	ปริมาณ (ล้านบาท)	มูลค่า (ตัน)	ปริมาณ (ล้านบาท)	มูลค่า (ตัน)
ม.ค.	132,418	1,150.68	276,295	1,433.74	141,876	936.40
ก.พ.	174,992	1,347.06	71,571	385.65	275,254	1,514.45
มี.ค.	99,237	474.60	186,786	852.98	244,917	910.81
เม.ย.	210,919	1,309.57	310,837	1,517.58	307,828	1,733.30
พ.ค.	162,020	1,357.36	534,980	1,965.88	304,370	1,843.58
มิ.ย.	380,228	2,520.53	491,468	2,305.40	447,042	2,473.92
ก.ค.	458,247	2,762.77	485,233	2,274.00	545,512	2,976.45
ส.ค.	372,390	2,237.83	527,137	2,912.61	341,533	1,943.40
ก.ย.	358,610	2,098.13	284,484	1,209.05	24,4118	1,714.56
ต.ค.	204,331	1,002.16	204,220	1,157.83	91,064	505.40
พ.ย.	156,564	1,030.74	73,080	478.11	78,595	583.34
ธ.ค.	163,558	560.46	115,802	697.12	176,181	1,094.36
รวม	2,872,514	17,851.88	3,561,593	17,189.93	3,198,290	18,229.97

ตารางที่ 1 ต่อ

เดือน	ปี 2544		ปี 2545		ปี 2546	
	ปริมาณ (ล้านบาท)	มูลค่า (ตัน)	ปริมาณ (ล้านบาท)	มูลค่า (ตัน)	ปริมาณ (ล้านบาท)	มูลค่า(ตัน)
ม.ค.	282,911	1,919.90	276,823	1,744.22	249,198	1,595.56
ก.พ.	199,758	1,261.25	187,404	1,201.39	216,185	1,220.76
มี.ค.	275,883	1,807.80	237,844	1,474.90		
เม.ย.	322,567	2,143.11	249,229	1,412.58		
พ.ค.	695,110	2,459.10	372,276	2,272.61		
มิ.ย.	300,569	1,711.53	313,444	1,949.03		
ก.ค.	453,094	2,706.89	691,669	3,937.39		
ส.ค.	453,327	2,793.00	488,765	2,778.77		
ก.ย.	273,969	1,442.57	253,547	1,628.72		
ต.ค.	170,749	1,020.05	285,458	1,753.35		
พ.ย.	168,449	1,198.11	171,692	1,083.76		
ธ.ค.	153,573	1,087.82	141,202	875.48		
รวม	3,449,686	21,551.13	3,669,353	22,112.20	465,383	2,816.32

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร

(<http://www.oae.go.th>)

ตารางที่ 2 ความเคลื่อนไหวของปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีที่สำคัญ

ชนิดปุ๋ย	ปี 2543										ปี 2544				
	มิ.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ก.ย.	ด.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.		
21-0-0	ปริมาณ 39,220.00	5,400.00	20,600.00	1,100.00	10,000.00	-	5,500.00	-	-	5,500.00	26,200.00	26,000.00	11,000.00		
	มูลค่า 103.88	14.14	59.06	3.15	28.04	-	15.15	-	-	15.74	91.68	81.88	32.82		
46-0-0	ปริมาณ 91,657.86	93,603.67	107,059.12	18,052.00	10,136.19	30,752.79	39,210.34	25,592.16	32,427.50	38,880.95	17,961.00	110,111.50	136,184.85		
	มูลค่า 469.95	783.41	649.53	108.77	57.29	185.16	238.66	149.57	206.15	259.45	119.98	674.85	741.48		
0-0-60	ปริมาณ 29,861.00	10,000.00	11,000.00	7,239.99	9,850.00	24.00	-	11,481.01	-	16,085.00	8,044.00	18,540.51	21,148.00		
	มูลค่า 155.44	53.64	57.84	39.81	57.03	0.24	-	67.38	-	92.98	46.88	112.66	127.39		
16-20-0	ปริมาณ 26,600.00	17,500.00	5,500.00	33,700.00	30,750.00	-	16,500.00	6,800.00	33,350.00	16,500.00	-	-	16,500.00		
	มูลค่า 167.36	90.30	28.38	175.75	163.04	-	95.80	38.62	192.53	92.43	-	-	96.06		
16-16-8	ปริมาณ 11,600.00	-	11,000.00	-	-	-	-	-	-	-	-	16,500.00	-		
	มูลค่า 100.18	-	61.10	-	-	-	-	-	-	-	-	102.70	-		
15-15-15	ปริมาณ 16,236.06	24,165.00	20,600.00	34,063.23	-	13,500.00	-	33,597.26	-	13,903.56	21,305.00	4,018.50	16,500.00		
	มูลค่า 105.70	173.34	130.25	227.55	-	-	-	237.48	-	92.42	154.97	29.83	117.20		
13-13-21	ปริมาณ 10,953.70	7,967.00	-	-	9,779.00	-	-	4,400.00	3,000.00	-	16,174.00	-	-		
	มูลค่า 72.66	66.73	-	-	69.09	-	-	39.88	26.69	-	122.83	-	-		

ตารางที่ 2 ต่อ

อื่น ๆ	ปริมาณ	11,357.98	56,216.52	41,178.00	37,562.63	2,087.92	5,291.60	6,543.70	21,160.36	38,521.77	32,436.27	22,330.28	4,937.92	65,651.00
	มูลค่า	82.86	387.36	306.96	308.19	29.91	46.91	50.96	214.55	314.50	282.92	162.29	62.90	525.27
รวม	ปริมาณ	237,486.60	214,852.19	216,937.12	131,717.88	72,603.11	49,568.39	67,754.04	103,030.79	107,299.27	123,305.78	112,014.28	180,108.43	266,983.85
	มูลค่า	1,102.59	1,515.28	1,235.28	823.41	347.37	232.07	400.57	747.48	739.87	835.94	698.63	1,064.82	1,640.22
หมายเหตุ	1 ปริมาณ : เมตริกตัน													
	2 มูลค่า : ล้านบาท													

## 2.2 ความสำคัญของโพแทสเซียม (ยงยุทธ, 2543)

### 2.2.1 บทบาทของโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของพืช

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชธาตุหนึ่งใน 16 ธาตุ แต่จะต่างจากธาตุอื่นๆ ตรงที่โพแทสเซียมในดินพืชไม่ได้เข้าไปเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์ เช่น โปรตีน ไขมัน หรือ เซลลูโลส แต่อยู่ในรูปสารละลายในเซลล์สอป (cell sap) หน้าที่ของโพแทสเซียมในพืชคล้ายเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช ดังต่อไปนี้

#### 2.2.1.1 กระบวนการสร้างน้ำตาลและแป้ง

พบว่าในพืชที่ขาดโพแทสเซียมจะมีปริมาณแป้งต่ำกว่าปกติ เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของ reducing sugar ต่อปริมาณแป้งทั้งหมดในพืชบางชนิดจะพบว่า มี reducing sugar เพิ่มขึ้นและ non-reducing sugar ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรากเมื่อดินมีโพแทสเซียมต่ำ จากการรายงานของ Malavolta (1994) อ้างโดย สมภพ และคณะ (2541) พบว่า โพแทสเซียมมีผลต่อคุณภาพความหวานของอ้อย เพราะในน้ำอ้อยมีปริมาณโพแทสเซียมถึง 80% และยังมีผลต่อการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลอีกด้วย โดยพบว่า ถ้าอ้อยมีโพแทสเซียมเพียงพอ มีอัตราการเคลื่อนย้ายน้ำตาลเท่ากับ 2.5 เซนติเมตรต่อนาทีก แต่ในอ้อยที่ขาดโพแทสเซียม อัตราการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจะลดลงไปมากคือ น้อยกว่า 1.25 เซนติเมตรต่อนาทีก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) และจากการทดลองของ สมภพ และคณะ (2541) พบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมมีแนวโน้มที่จะมีผลต่อคุณภาพความหวานของอ้อย โดยอ้อยที่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 24 กิโลกรัม  $K_2O$  ต่อไร่ มีเปอร์เซ็นต์ CCS, BRIX และ POL (CCS=ความหวานบริสุทธิ์ของอ้อย, BRIX=ความหวานมีสิ่งเจือปนของอ้อย และ POL=ปริมาณน้ำตาลซูโครส) เท่ากับ 13.1, 21.8 และ 17.6 ตามลำดับ ในขณะที่พืชไม่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมจะมีเปอร์เซ็นต์ CCS, BRIX และ POL เท่ากับ 11.4, 19.7 และ 16.1 ตามลำดับ

#### 2.2.1.2 กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ

โพแทสเซียมมีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง 3 ขั้นตอน คือ ควบคุมในการเปิดปากใบเมื่อมีแสงจึงช่วยให้คาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ใบได้สะดวก ส่งเสริมการสังเคราะห์ ATP ในกระบวนการโฟโตฟอสฟอริเลชัน (photophosphorylation) และมีบทบาทในการคงสภาพโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ และโพรพลาสต์ (proplastids) ที่เหมาะสมกับกิจกรรมการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์

ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง II ซึ่งมีการแตกตัวของน้ำจะมีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนไปตามสายลำเลียง (transport chain) ซึ่งอยู่ในเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ กิจกรรมที่เกิดควบคู่กัน คือ การขนถ่ายโปรตอนเข้าสู่ไทลาคอยด์ (thylakoid lumen) ทำให้ pH บริเวณนี้มีค่าเท่ากับ 5 ส่วนในสโตรมาจะใช้โปรตอนเพื่อการสังเคราะห์ NADPH ดังนั้น pH ของสโตรมาจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นเป็น

7.5-8.0 pH ที่แตกต่างกันนี้เป็นความต่างศักย์ทางเคมีไฟฟ้าซึ่งพอเหมาะสำหรับการเคลื่อนย้ายโปรตอนจากช่องภายในผ่านเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ออกมายังสโตรมาเพื่อการสังเคราะห์ ATP หรือเรียกว่า โฟโตฟอสฟอริเลชัน (photophosrelation) กิจกรรมส่วนนี้จะทำให้ pH ของสโตรมาลดลงเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงทำให้การไหลของโพแทสเซียมจากไซโทซอลเข้ามาปรับ pH ในสโตรมาให้คงระดับที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโฟโตฟอสฟอริเลชัน เมื่อพืชกระทบแล้งและขาดน้ำ (drought stress) การเคลื่อนย้าย  $K^+$  ผ่านเยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์จะกักทำให้กระบวนการโฟโตฟอสฟอริเลชันติดขัดรุนแรงในพืชที่ขาดโพแทสเซียม แต่มีผลกระทบน้อยกว่าพืชที่มีโพแทสเซียมมาก ดังนั้นพืชที่กระทบแล้งหรืออยู่ในดินเค็ม (salinity stress) จึงต้องการโพแทสเซียมสูงกว่าปกติ ทั้งนี้เพื่อนำมาปรับความเข้มข้นในไซโทซอลให้สูงเมื่ออยู่ในสภาวะวิกฤตดังกล่าว (Wu *et al.*, 1991 อ้างโดย ขงยุทธ, 2543)

อีกบทบาทหนึ่งของโพแทสเซียม คือ ส่งเสริมการตรึง  $CO_2$  ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อมีธาตุนี้เพียงพออัตราการตรึง  $CO_2$  จะสูงขึ้นประมาณ 3 เท่า ขณะเดียวกันการสังเคราะห์แสงและกิจกรรมของเอนไซม์ RuDP คาร์บอกซิเลสก็สูงขึ้นด้วย (ขงยุทธ, 2543)

### 2.2.1.3 การสังเคราะห์โปรตีน

โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนของพืชชั้นสูง อัตราการสังเคราะห์โปรตีนของไรโบโซมมีอัตราพอเหมาะเมื่อมีโพแทสเซียม 130 มิลลิโมลาร์ และแมกนีเซียมประมาณ 2 มิลลิโมลาร์ เชื่อว่าโพแทสเซียมมีบทบาทอยู่ในหลายขั้นตอนของกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเชื่อม mRNA เข้ากับไรโบโซม

ในใบพืชพวกซีสาม ( $C_3$ -plants) ประมาณครึ่งหนึ่งของโปรตีนและ RNA ของใบอยู่ในคลอโรพลาสต์และโปรตีนส่วนใหญ่ในคลอโรพลาสต์ คือ เอนไซม์ RuDP carboxylase เมื่อพืชขาดโพแทสเซียมการสังเคราะห์เอนไซม์นี้จะลดลงอย่างมาก แต่ถ้าได้รับธาตุนี้เพียงพอกิจกรรมของเอนไซม์จะกลับเข้าสู่ระดับปกติ (Peoples and Koch, 1979 อ้างโดย ขงยุทธ, 2543)

การศึกษายบทบาทของโพแทสเซียมต่อการสังเคราะห์โปรตีนอาจทำได้สองทาง คือ 1) ตรวจสอบการสะสมสารประกอบไนโตรเจนที่ละลายได้ เช่น กรดอะมิโน อะไมด์ และไนเตรดในพืชที่ขาดโพแทสเซียม 2) ตรวจสอบการเข้าร่วมของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ( $^{15}N$ ) กับโปรตีน โดยทดลองเปรียบเทียบระหว่างพืชที่ขาดโพแทสเซียมกับพืชที่ได้รับธาตุนี้เพียงพอ การทดลองในแนวทางที่สองพบว่า ภายในเวลา 5 ชั่วโมง ยาสูบซึ่งมีโพแทสเซียมพอเหมาะสามารถดึงไนโตรเจน ( $^{15}N$ ) เข้าร่วมกับโปรตีนถึง 32% ในขณะที่พืชขาดโพแทสเซียมให้ผลเพียง 11% เท่านั้น โพแทสเซียมอาจไม่ได้มีบทบาทเฉพาะการกระตุ้นเอนไซม์ไนเตรรีดักเตสเท่านั้น แต่อาจจำเป็นต่อการสังเคราะห์เอนไซม์นี้ด้วย (Fermamde *et al.*, 1990 อ้างโดย ขงยุทธ, 2543)

#### 2.2.1.4 โครงสร้างของเอนไซม์

มีเอนไซม์มากกว่า 40 ชนิดที่ต้องการแคทไอออนที่มีประจุบวก 1 ประจุ (monovalent cation หรือ univalent cation) ไปกระตุ้นให้ทำงานได้ดีขึ้น โดยโมเลกุลของ pyruvate kinase ซึ่งเปลี่ยนแปลงได้ตามชนิดของไอออนบวกที่อยู่รอบๆ เมื่อมี  $K^+$  หรือ monovalent cation อื่นๆ ที่สามารถไปเร่งปฏิกิริยาได้ active site ของเอนไซม์นี้ก็อยู่ในสภาพที่จะรวมกับ substrate ได้

จากการรายงานของ Robert *et al.* (1975) พบว่า มะเขือเทศที่มีอัตราการหายใจมากที่สุด ซึ่งอยู่ในระหว่างที่ผลเข้าสู่ระยะ climacteric และอัตราการหายใจจะสูงยิ่งขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพที่ขาดโพแทสเซียม กิจกรรมของเอนไซม์ glutamate oxaloacetate transaminase ใน mitochondria ของผลที่เริ่มเปลี่ยนสีจะเพิ่มขึ้น แต่ malate hydrogenase ลดลงในสภาพที่ขาดโพแทสเซียม

#### 2.2.1.5 การขยายขนาดของเซลล์

ก่อนที่เซลล์ขยายขนาดจะมีการสะสมโพแทสเซียมเพื่อควบคุมให้ pH ในไซโทพลาสซึม มีเสถียรภาพ และ ลดศักย์ออสโมซิสในแวคิวโอล นอกเหนือจากโพแทสเซียมที่สะสมอยู่แล้วพืชยังอาจสังเคราะห์กรดอินทรีย์ และ น้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) เข้ามาเสริมเพื่อลดศักย์ออสโมซิสให้เหมาะแก่การขยายตัวของเซลล์อีกด้วย การเคลื่อนย้ายโพแทสเซียมไอออนเข้าสู่เซลล์ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของ IAA กล่าวคือ IAA ส่งเสริมการไหลออกของ  $H^+$  โดยมีโพแทสเซียมเข้ามาแทนเพื่อให้เกิดสมดุล หากสารละลายภายนอกมีโพแทสเซียมต่ำ การใช้ IAA ก็ไม่ทำให้เซลล์ในโคลีโอปไทล์ (coleoptile) ของข้าวโอ๊ตขยายขนาด นอกจากนี้โพแทสเซียมและไซโทไคนิน (cytokinin) ยังมีอิทธิพลต่อการขยายขนาดใบเลี้ยงของแตงกวาอีกด้วย กล่าวคือ การให้โพแทสเซียมอย่างเพียงพอร่วมกับไซโทไคนินช่วยให้การขยายขนาดเซลล์มากกว่าเมื่อขาดธาตุนี้ถึงสี่เท่า การขยายขนาดของใบพืชจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมในใบ (ขงยุทธ, 2543)

#### 2.2.1.6 การเปิดและปิดปากใบ

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีบทบาทในการควบคุมการเปิดและปิดปากใบ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุนี้ในเซลล์คุม (guard cell) มีผลต่อความเต่งของเซลล์นั้นด้วย กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเซลล์คุมเพิ่มขึ้น น้ำจะเคลื่อนย้ายจากเซลล์ข้างเคียงเข้าไปในเซลล์คุมทำให้เซลล์คุมเต่งและปากใบเปิด การสะสมโพแทสเซียมไอออนในเซลล์คุมเกิดขึ้นจากการดึงโปรตอนออกของ ATPase ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้ pH ของอะโพลลาสต์ลดลง ก่อนที่ปากใบจะเปิด จากนั้นโพแทสเซียมก็ผ่านช่อง (channel) ในเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่เซลล์คุม ส่วนแอนไอออนที่มา สร้างสมดุลกับโพแทสเซียมส่วนใหญ่ คือ คลอไรด์ซึ่งถูกดูดเข้ามา หรือกับมาเลตที่สังเคราะห์ได้ภายในเซลล์นั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพืชหรือปริมาณคลอไรด์ที่มีอยู่รอบๆ

เซลล์คุม พืชบางอย่างมีคลอโรอิดในเซลล์ชั้นผิวของใบมาก ไอออนนี้ก็ถูกนำเข้ามาใช้ สำหรับการดูดคลอโรอิดเข้าสู่เซลล์คุมเป็นกลไกการขนส่งร่วมกับ  $\text{Cl}^-$  และ  $\text{H}^+$  ที่เยื่อหุ้มเซลล์

ในกรณีที่ใบพืชมีคลอโรอิดน้อยหรือเป็นพืชที่ไม่ใช้คลอโรอิดในการสร้างสมดุลกับโพแทสเซียมภายในเซลล์คุม การดูดโพแทสเซียมเข้ามามีผลไปกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีบทบาทในการสังเคราะห์มาเลต และมาเลตนี้เองที่ผ่านช่องในเยื่อหุ้มแควคิวโอดพร้อมกับโพแทสเซียม สำหรับมาเลตบางส่วนก็ใช้เพื่อการสังเคราะห์ ATP ในไมโทคอนเดรีย ดังนั้นการเปิดปากใบจึงเกิดขึ้นเมื่อ มีการไหลเข้าของโพแทสเซียมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์คุม และต่อไปยังแควคิวโอด และมีคลอโรอิดหรือมาเลตเป็นไอออนที่ใช้รักษาสมดุล ถ้าใช้มาเลตเพื่อการนี้เซลล์คุมต้องมีแป้งเพียงพอสำหรับการสังเคราะห์มาเลตด้วย (Edwards *et al.*, 1988 อ้างโดย ขงยุทธ, 2543)

ปัจจัยที่กระตุ้นให้ปากใบปิดมีสองอย่าง คือ ความมืด หรือกรดแอบไซซิก (abscisic acid, ABA) ทั้งสองอย่างนี้คือสาเหตุที่ทำให้เกิดการไหลออกของโพแทสเซียมและแอนไอออนจากเซลล์คุม สำหรับ ABA ที่ใช้เพื่อการนี้อาจเคลื่อนย้ายมาจากรากผ่านทางไซเลมหรืออยู่แล้วในเซลล์คุม โดยปกติในเซลล์คุมมี ABA สูงถึง 2.5 มิลลิโมลาร์ ในขณะที่เซลล์ชั้นผิวมีประมาณ 0.9 มิลลิโมลาร์เท่านั้น (Meinzer *et al.*, 1991 อ้างโดย ขงยุทธ, 2543)

เมื่อมีการไหลออกของโพแทสเซียมและแอนไอออนจากเซลล์คุมทำให้ความต่งลดลงและปากใบปิด ความเข้มข้นของไอออนทั้งสองชนิดนี้ในอะโพพลาสต์เมื่อปากใบปิดจึงสูงขึ้นอย่างมาก คือ มี  $\text{K}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  เท่ากับ 100 และ 33 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับขณะปากใบเปิดมีไอออนทั้งสองในอะโพพลาสต์เพียง 3 และ 4.8 มิลลิโมลาร์เท่านั้น ในกรณีที่ขาดโพแทสเซียมพืชอาจใช้น้ำตาลในการควบคุมการเปิดปากใบได้บ้าง แต่เนื่องจากมีน้ำตาลไม่ค้อยเพียงพอสำหรับกิจกรรมนี้ และการเคลื่อนย้ายน้ำตาลเข้าออกจากเซลล์คุมตอบสนองต่อแสง และความมืดค่อนข้างช้า ดังนั้นการควบคุมปากใบของพืชที่ขาดโพแทสเซียมจึงไม่ว่องไว (Poffenroth *et al.*, 1992 อ้างโดย ขงยุทธ, 2543)

### 2.2.1.7 ความต้านทานโรค

โรคต่างๆที่เกิดกับพืชหลายชนิดจะลดลงถ้าดินมีโพแทสเซียมเพียงพอหรือใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม ทั้งนี้เพราะว่าโพแทสเซียมจะทำให้ผนังเซลล์ของพืชหนาและมันคง ยากต่อการเข้าทำลายของโรค นอกจากนี้โพแทสเซียมยังเป็นตัวเร่งให้เซลล์ทำงานได้ดี

### 2.2.1.8 คุณภาพของผักและผลไม้

การขาดโพแทสเซียมจะทำให้คุณภาพของปริมาณผลผลิตของพืชต่ำลงคุณภาพของผลไม้ที่ลดลงนี้รวมถึง สี ขนาด ความเป็นกรด และคุณภาพในการเก็บรักษา



### 2.2.1.9 การขาดโพแทสเซียมของพืช

เมื่อพืชขาดโพแทสเซียมขอบใบจะมีสีเขียว (chlorosis) และกลายเป็นสีน้ำตาลและแห้งไปในที่สุด อาการเริ่มจากปลายใบสู่โคน ใบระหว่างเส้นใบอาจจะมีจุดสีน้ำตาลแห้ง โพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ (mobile) ในพืช เพราะฉะนั้นอาการขาดจึงเกิดที่ใบแก่ก่อนใบอ่อน อาการขาดมักเห็นได้ชัดเจนกับ ข้าวโพดและพืชตระกูลหญ้า พวกธัญพืชมักจะทำให้เมล็ดลีบและน้ำหนักเบาผิดปกติ พืชหัวจะมีแป้งน้อยแต่น้ำมาก ข้าวโพดจะให้ฝักที่เมล็ดไม่เต็มจนถึงปลายฝัก ฝักจะเล็กและ รูปร่างผิดปกติ ใบยาสูบจะมีคุณภาพในการคิกไฟต่ำ ผลไม้จะมีสีไม่สวย และเนื้อฟ้าม พืชที่ให้น้ำมันก็จะมีน้ำมันน้อย นอกจากนั้นการขาดโพแทสเซียมยังทำให้พืชหักล้ม (lodging) ได้ง่าย เพราะพืชที่ขาดโพแทสเซียมจะมีลำต้นอ่อน พืชพวกฝ้ายใบจะมีสีน้ำตาลปนแดง สมออาจไม่อ้าเต็มที่เมื่อแก่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544 และ Barminas *et al.*, 1999)

### 2.2.2 โพแทสเซียมในดินต่อความเป็นประโยชน์ของพืช

เกือบทั้งหมดของโพแทสเซียมในดินอยู่ในองค์ประกอบของแร่ orthocase ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), mica ( $\text{H}_2\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3$ ), แร่ดินเหนียว illite และ vermiculite แร่สองชนิดแรกปรากฏในดินกลุ่มขนาดทรายและทรายแป้ง (แร่ที่เห็นเป็นเกล็ดสีเงินวาวในดินร่วนและดินทรายเป็น mica) เมื่อแร่เหล่านี้สลายตัวผู้พังก็จะค่อยๆปลดปล่อยโพแทสเซียมให้ละลายน้ำเป็นประโยชน์ต่อพืช

อินทรีย์วัตถุในดินที่อยู่ในรูปขุขอินทรีย์ (humus) เป็นแหล่งที่มีความสำคัญต่อโพแทสเซียมในดินน้อยมากทั้งๆที่โดยปกติโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในพืชเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เพราะว่าโพแทสเซียมในพืชอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นโพแทสเซียมจึงสูญเสียไปจากเศษซากพืชอย่างรวดเร็วขณะที่เศษซากพืชกำลังเน่าสลาย (สมชาย, 2539) เมื่อพิจารณาตามความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดิน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังรูป



เหนียวถูกตรึงอยู่ในระหว่างหลีบของอนุภาคดินเหนียวพวก illite, vermiculite และ แร่ดินเหนียวพวก 2:1 อื่นๆ โปแทสเซียมในรูปที่ถูกตรึงไว้ในหลีบของอนุภาคดินเหนียวเป็น โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (non exchangeable K) การปลดปล่อยโปแทสเซียมจากรูปแลกเปลี่ยนไม่ได้นี้จะช้าหรือเร็วแค่ไหนขึ้นอยู่กับระบบความสมดุลที่มีกับส่วนของโปแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) และกับ potassium ion ( $K^+$ ) ที่อยู่ในสารละลายดินคั่งไคอะแกรมต่อไปนี้



### 2.3 ปุ๋ยโปแทสเซียม

วัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยโปแทสเซียมได้มาจากแร่โปแทสเซียมชนิดต่างๆซึ่งส่วนมากเป็นแร่ที่ละลายได้ในน้ำ แร่โปแทสเซียมที่สำคัญๆมีแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยโปแทสเซียม

ชนิดแร่ (Minerals)	สูตรเคมี	ปริมาณโปแทสเซียม (%K <sub>2</sub> O)
<b>แร่ที่ละลายน้ำได้ดี</b>		
Sylvite	KCl	63.1
Carnallite	KCl·MgSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	17.0
Kainite	KCl·MgCl <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O	18.9
Langbeinite	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·2MgSO <sub>4</sub>	22.6
Sylvinite	KCl·NaCl·mixture	20-30
<b>แร่ที่ละลายน้ำได้เล็กน้อย</b>		
Polyhalite	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·MgSO <sub>4</sub> ·2CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	15.5
<b>แร่ที่ไม่ละลายในน้ำ</b>		
Glauconite	KFeSiO <sub>6</sub> ·nH <sub>2</sub> O	2.3-8.5
Leucite	KAl(SiO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	21.4
Alunite	K <sub>2</sub> (Al(OH) <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	11.4
<b>แร่เฟลด์สปาร์ (feldspar)</b>		
Orthoclase	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	16.8

## ตารางที่ 3 ต่อ

Microcline	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	16.8
Anorthoclase	$(\text{Na,K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	2.4-12.0
<b>แร่ไมกา (mica)</b>		
Muscovite	$\text{H}_2\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3$	11.8
Biotite	$(\text{HK})_2(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	6.2-10.1
Phlogopite	$(\text{H,K,Mg,Fe})_3\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO})_3$	7.8-10.4
Lepidolite	$4\text{K}(\text{Li,Al})_4\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2$	10.7-12.3
Zinnwaldite	$\text{H}_2\text{K}_4\text{Li}_4\text{Fe}_3\text{Al}_8\text{F}_8\text{Si}_{14}\text{O}_{42}$	10.6
Roscoelite	$\text{H}_8\text{K}(\text{Mg,Fe})(\text{Al,V})_4(\text{SiO}_3)_{12}$	7.6-10.4

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544)

สินแร่เหล่านี้ปกติจะไม่อยู่ในรูปที่บริสุทธิ์ แต่มักจะมีเกลือชนิดอื่นๆเจือปนอยู่ไม่มากนัก นอกจากนั้นยังมีดินทรายและอินทรีย์สารอื่นๆเจือปนอยู่ด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าสินแร่ชนิดใดมีปริมาณโพแทสเซียมสูงพอสมควร ก็อาจขุดขึ้นมาคั้นให้ละเอียดแล้วนำไปใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง ส่วนสินแร่บางชนิดที่อาจมีเกลือ  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$  และเกลือของ Al อยู่มาก การนำแร่ชนิดนี้มาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงอาจเป็นอันตรายต่อพืชได้ เนื่องจากความเป็นพิษของเกลือชนิดดังกล่าวถ้ามีการสะสมอยู่ในดินเป็นปริมาณมาก ดังนั้นก่อนนำไปใช้ประโยชน์จึงต้องมีการแยกเอาเกลือ  $\text{KCl}$  ออกจากสินแร่และทำให้เกลือ  $\text{KCl}$  ที่แยกออกมามีความบริสุทธิ์มากขึ้นเสียก่อน

ปุ๋ยโพแทสเซียมที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมี 6 ชนิดดังต่อไปนี้

### 2.3.1 ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ ( $\text{KCl}$ )

ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์เป็นปุ๋ยที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ปุ๋ย  $\text{KCl}$  หรือ muriate of potash ปริมาณโพแทสเซ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) 60% ปุ๋ย  $\text{KCl}$  ผลิตได้โดยนำสินแร่โพแทชมาบดแล้วละลายในน้ำร้อนประมาณ 90 องศาเซลเซียส แล้วเติมเกลือ  $\text{NaCl}$  ลงไปให้เหลือเฟือ หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้สารละลายเย็นตัวลงโดยผ่านสารละลายไปยังถังเก็บต่างๆกัน  $\text{KCl}$  ก็จะตกผลึกแยกตัวออกมา กระบวนการทำ  $\text{KCl}$  ให้บริสุทธิ์เป็นวิธีการที่ไม่สิ้นเปลืองมากนัก จึงเป็นเหตุผลทำให้ปุ๋ย  $\text{KCl}$  มีราคาถูก

การเตรียมปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์อีกวิธีหนึ่งซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกันมากที่สุดก็โดยการทำให้เป็นเนื้อปุ๋ย  $\text{KCl}$  ลอยแยกออกจากเกลือชนิดอื่นๆที่ปะปนอยู่โดยกระบวนการลอยแร่ (froth flotation process) ด้วยการใส่สารที่ทำให้ลอยตัว (flotation agent) ลงไป สารชนิดนี้จะทำให้เกิด

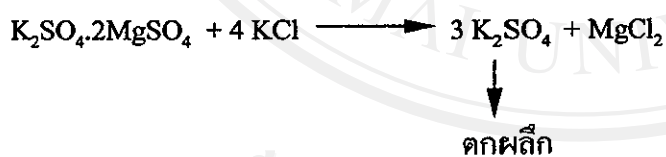
ฟองอากาศที่จะเกาะติดเม็ดโพแทสเซียมคลอไรด์และลอยขึ้นที่ผิวของสารละลาย เมื่ออนุภาคเหล่านั้นลอยขึ้นกับฟองอากาศแล้วก็ปาดแยกออกมาและทำให้แห้งในภายหลัง

ปุ๋ย KCl นอกจากจะทำให้ K แล้วยังให้ Cl ด้วย อย่างไรก็ตามพืชต้องการ Cl น้อยมาก ดังนั้น Cl ที่มีอยู่ในปุ๋ย KCl จึงมักจะเกินความต้องการของพืชเสมอ พืชส่วนมากมีความทนทานต่อพิษของ Cl ได้สูงพอสมควร แต่พืชบางชนิดทนไม่ได้ ดังนั้นการใช้ปุ๋ย KCl กับพืชบางชนิดจึงใช้ด้วยความระมัดระวังเป็นพิเศษ ยกตัวอย่าง เช่น ยาสูบ การได้รับ Cl มากเกินไปจะทำให้คุณภาพของใบย่ำแย่ เช่นคุณภาพของการติดไฟเลวลง การใช้ Cl กับมันฝรั่งมากเกินไป จะทำให้ปริมาณแป้งในหัวลดลง นอกจากนั้นการใช้ปุ๋ยที่มี Cl มากเกินไปกับพืชบางชนิด เช่น ถั่ว, ส้ม ก็อาจเกิดผลเสียต่อพืชได้ พืชพวกนี้การใช้ปุ๋ย  $K_2SO_4$  อาจจะให้ผลดีกว่าการใช้ปุ๋ย KCl

พืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ ผักกาดหัว เป็นพืชที่ชอบ Cl มาก ดังนั้นการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมกับพืชชนิดนี้อาจใช้ปุ๋ย KCl อย่างเดียวก็ได้ สำหรับในดินที่ขาด K รุนแรงและจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมเป็นปริมาณมาก ทางที่ปลอดภัยที่สุดถ้ากลัวว่าอาจจะเกิดพิษจากคลอไรด์ (Cl toxicity) ก็ควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทั้งในรูปปุ๋ย KCl และปุ๋ย  $K_2SO_4$  แทนที่จะใช้ปุ๋ย KCl อย่างเดียว

### 2.3.2 ปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต ( $K_2SO_4$ )

ปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟตมีสีขาว มีปริมาณ  $K_2O$  ระหว่าง 48 ถึง 50% ปุ๋ยชนิดนี้เตรียมได้จากสินแร่โพแทสเซียมเช่นเดียวกับปุ๋ย KCl แร่โพแทสเซียมที่นำมาทำปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟตส่วนมากได้จากแร่ langbeinite ( $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ ) โดยการนำมาละลายน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ที่เข้มข้นลงไป โพแทสเซียมซัลเฟตจะตกผลึกออกมาและสามารถแยกออกได้โดยวิธีแยกของเหลวทิ้งไป (decantation) ดังสมการ



ปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟตอาจเตรียมได้จากการใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันวิธีการนี้จะได้โพแทสเซียมซัลเฟตที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าวิธีการผลิตที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังสมการ



ตามปกติปุ๋ย  $K_2SO_4$  จะมีราคาในท้องตลาดสูงกว่าปุ๋ย KCl ทั้งนี้เพราะต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ยสูงกว่าการผลิตปุ๋ย KCl ค่อนข้างมาก

### 2.3.3 ปุ๋ย Sulfate of potash-magnesia

ปุ๋ยชนิดนี้มีปริมาณ  $K_2O$  ระหว่าง 22 ถึง 23 %,  $MgO$  18 ถึง 19% เตรียมได้จากการนำแร่ langbeinite ที่ละลายในน้ำเพื่อกำจัดสารที่เจือปนโดยเฉพาะเกลือแกง ( $NaCl$ ) ออกไป ในประเทศเยอรมัน การเตรียมปุ๋ยชนิดนี้เตรียมจากแร่ kieserite ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) โดยการนำมาละลายในน้ำร้อนแล้วเติมโพแทสเซียมคลอไรด์ลงไป ดังสมการ



ปุ๋ยชนิดนี้มีการใช้กันน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยโพแทสเซียมชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะปุ๋ย  $KCl$  อย่างไรก็ตาม sulfate of potash-magnesia หรือมีชื่อทางการค้าเรียกปุ๋ย K-Mag หรือ Sul-Po-Mag จัดได้ว่าเป็นปุ๋ยที่เหมาะสมมากสำหรับดินที่ขาดทั้งโพแทสเซียม กำมะถันและแมกนีเซียมพร้อมๆกัน

### 2.3.4 ปุ๋ย Manure salt

ปุ๋ยชนิดนี้มีองค์ประกอบคือ crude potassium salt ที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วย โพแทสเซียมคลอไรด์ที่มี  $K_2O$  ระหว่าง 25 ถึง 30% และมีเกลือแกง ( $NaCl$ ) ปะปนอยู่ในปริมาณมาก การผลิตปุ๋ยชนิดนี้อาจทำได้ง่ายๆ โดยการนำเอาเกลือโพแทสเซียมในรูปแบบ crude potassium salt มาบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงก่อนนำไปบรรจุใส่ถุงเพื่อจำหน่ายหรือใช้ประโยชน์ต่อไป

### 2.3.5 ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรด (Potassium nitrate)

ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรดเป็นปุ๋ยที่ให้ทั้งธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียม ในรูปปุ๋ยการค้ามีไนโตรเจน 13% และ  $K_2O$  46% ปุ๋ยชนิดนี้นิยมใช้เป็นปุ๋ยแต่งหน้า (top-dressing) สำหรับพืชหลายชนิดเช่น ยาสูบ ฝ้าย และพืชชนิดอื่นๆ ที่ต้องการไนโตรเจนน้อยแต่ต้องการโพแทสเซียมในปริมาณมาก

### 2.3.6 ปุ๋ยโพแทสเซียมเมตาฟอสเฟต (potassium metaphosphate)

ปุ๋ยโพแทสเซียมเมตาฟอสเฟตเป็นปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุอาหารพืชรวมสูงมาก กล่าวคือมี  $P_2O_5$  56% และ  $K_2O$  ระหว่าง 35-36% มีสมบัติละลายน้ำได้เล็กน้อย ปุ๋ยชนิดนี้เตรียมได้จากการเผาธาตุฟอสฟอรัสร่วมกับโพแทสเซียมคลอไรด์ในรูปผงละเอียด ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



คุณภาพของปุ๋ยชนิดนี้ใช้ได้ผลดีเทียบเท่ากับปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดธรรมดา และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการผลิตปุ๋ยชนิดนี้ยังมีต้นทุนการผลิตสูง การผลิตและการใช้เพื่อผลิตพืชในปัจจุบันจึงยังมีน้อยมาก

## 2.4 แร่เฟลด์สปาร์ (feldspar)

### 2.4.1 ชนิดของแร่เฟลด์สปาร์

แร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) เป็นแร่ประกอบหินที่อยู่ในกลุ่มแร่ซิลิเกต พวก primary mineral ที่เรียกว่า tectosilicates ( $\text{Si}_4\text{O}_8$ ) ซึ่งมีโครงสร้างสามมิติเป็น เตตระฮีดรอน (tetrahedron) ออกซิเจน ทั้งหมดถูกจับด้วยซิลิกอน แร่ในกลุ่ม tectosilicates ประกอบด้วย quartz, feldspar, feldspathoids และ zeolites (Loughnan, 1969) สำหรับแร่ feldspar นั้นสามารถแบ่งย่อยได้อีก 9 ชนิด คือ

#### 2.4.1.1 The plagioclase feldspar ประกอบด้วย

- 2.4.1.1.1 Albite ( Sodium aluminum silicate)
- 2.4.1.1.2 Oligoclase ( Sodium calcium aluminum silicate)
- 2.4.1.1.3 Andesine ( Sodium calcium aluminum silicate )
- 2.4.1.1.4 Labradorite (Calcium sodium aluminum silicate)
- 2.4.1.1.5 Bytownite ( Calcium sodium aluminum silicate)
- 2.4.1.1.6 Anorthite (Calcium aluminum silicate)

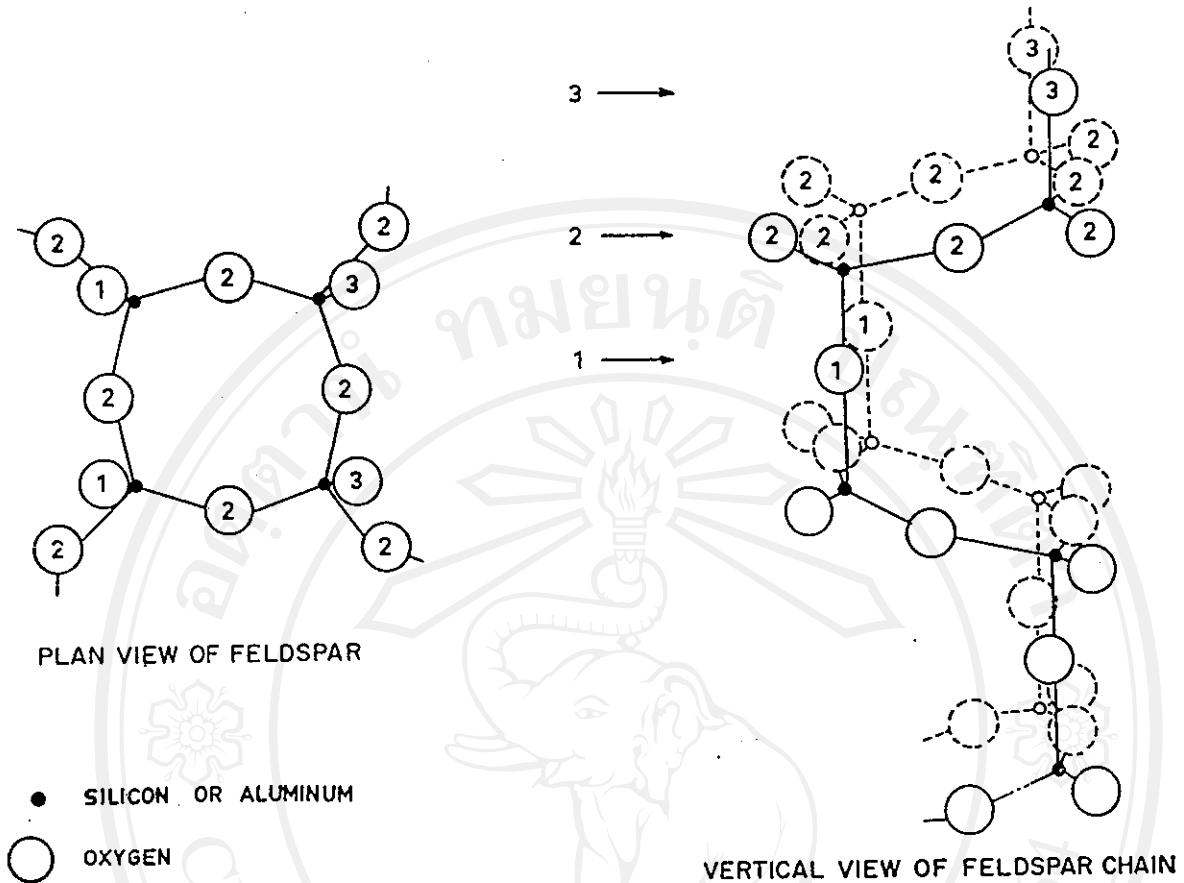
#### 2.4.1.2 The K-feldspar or Alkali feldspar ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )

- 2.4.1.2 .1 Microcline (Potassium aluminum silicate)
- 2.4.1.2 .2 Sanidine (Potassium sodium aluminum silicate)
- 2.4.1.2 .3 Orthoclase (Potassium aluminum silicate)

### 2.4.2 โครงสร้างของแร่เฟลด์สปาร์

ผลึกของแร่เฟลด์สปาร์อยู่ในระบบโมโนคลินิก (monoclinic)(2/m) และไตรคลินิก (triclinic; bar 1) มีรอยแยกแนวเรียบ 2 แนว เกือบจะตั้งฉากกัน ความแข็งประมาณ 6 ความถ่วงจำเพาะมีตั้งแต่ 2.55 -2.76 จึงทำให้มีแสงระยิบระยับเหมือนแก้ว มีสูตรเคมีทั่วไปคือ  $\text{XAl}_{(1-2)}\text{Si}_{(3-2)}\text{O}_8$  โดย X ในสูตรเคมีอาจเป็นบวกหนึ่ง เช่น โซเดียมหรือโพแทสเซียม และ อะลูมิเนียม ส่วนซิลิกอนจะเป็นบวกสาม พวกที่เป็นบวกสอง เช่น แคลเซียม หรืออาจจะเป็น อะลูมิเนียม หรือ ซิลิกอน การเปลี่ยนไปเปลี่ยนมาเช่นนี้เพื่อให้สูตรเกิดความสมดุลกันทางเคมี เพราะว่า อะลูมิเนียมอาจเปลี่ยนเป็นบวกสาม และซิลิกอนอาจเป็นบวกสี่

ตำแหน่งของซิลิกอนและอะลูมิเนียมอยู่ตรงกลางของ tetrahedrons ของ  $\text{SiO}_4$  และ  $\text{AlO}_4$  โดย tetrahedrons มีมุมติดกันเป็นรูปสามมิติ แคตไอออนของ X ในสูตรเคมีจะอยู่ในช่องว่างของโครงสร้าง tetrahedrons นี้ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างของแร่เฟลด์สปาร์  
ที่มา : Loughnan, 1969

แร่เฟลด์สปาร์แต่ละชนิดบางที่พบว่ามีส่วนทางเคมีเหมือนกันแต่มีลักษณะทางโครงสร้างต่างกัน เช่น albite และ anorthite ทั้งสองชนิดอยู่ในกลุ่มของ plagioclase feldspar เช่นเดียวกัน แต่ albite มีโซเดียม มากกว่า anorthite ซึ่งหลักในการจำแนกใช้เปอร์เซ็นต์ของโซเดียม หรือ แคลเซียม เป็นหลัก

แหล่งที่พบในประเทศไทยถ้าเป็น โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ พบที่ ราชบุรี, เชียงใหม่, แม่ฮ่องสอน, กาญจนบุรี, อุทัยธานี และ ดาก แร่ microcline พบที่ ราชบุรี (กรมทรัพยากรธรณี, 2520)

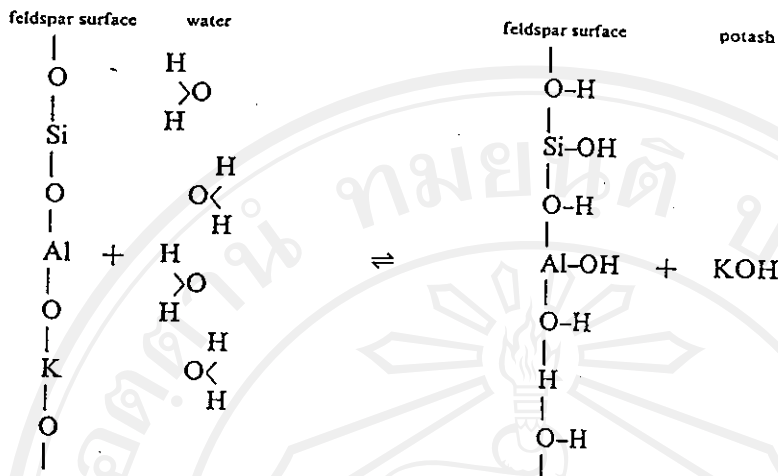
2.4.3 การผุพังสลายตัวทางเคมีของกลุ่มแร่ซิลิเกต

การผุพังสลายตัวของแร่พวกซิลิเกตเกิดจาก 3 กระบวนการพร้อมๆกันคือ

- 2.4.3.1 การหลุดออกของแคตไอออนและซิลิกากลายเป็น monomeric form หรือถูกกำจัดออกเป็นโมเลกุลใหญ่กลายเป็น polymerized form







รูปที่ 3 การเกิดกระบวนการ hydration ของแร่เฟลด์สปาร์

ที่มา : Loughman (1969)

จะเห็นว่าออกซิเจนของ hydroxyl group , โพแทสเซียม และ อะลูมิเนียม มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง จากเดิมมีลักษณะเป็น tetrahedral coordination คิวออกซิเจน กลายเป็น octahedral coordination

#### 2.4.4 การผุพังสลายตัวของแร่ซิลิเกต

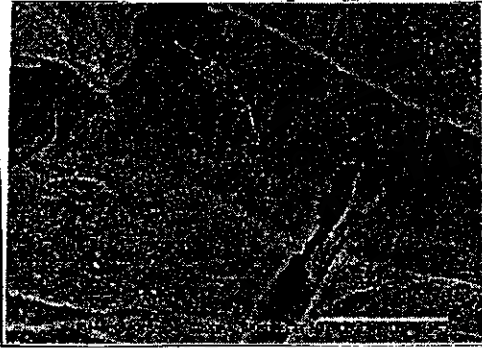
การผุพังสลายตัวของแร่ซิลิเกตเกิดจากจุลินทรีย์ในกลุ่ม silicate bacteria ซึ่งมีอยู่หลายชนิดด้วยกันและกลไกที่เข้าทำลายโครงสร้างของแร่ก็ต่างกัน กลไกหลักๆที่จุลินทรีย์ใช้ในการทำลายโครงสร้างของแร่คือ pH, ionic strength และ organic compound เช่น citrate, dihydroxy benzoate, tropolone ซึ่ง organic compounds นี้ จุลินทรีย์ผลิตขึ้นเพื่อสร้างคุณสมบัติ iron chelate จากการศึกษาบริเวณแหล่งน้ำที่มี organic compounds มาก เช่น น้ำบาดาล เป็นบริเวณที่เกิด reducing มากจาก iron reducing และ กระบวนการ methanogenesis เป็นกระบวนการพื้นฐานของกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยในการเกิด iron reducing นี้ ferrous iron จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ pH ลดลงจาก 7.8 เป็น 6.5 ปริมาณของ silicate เพิ่มขึ้นจาก 0.3 มิลลิโมล/ลิตร เป็น >1 มิลลิโมล/ลิตร การละลายของแร่จะเกิดขึ้นได้รวดเร็วมากใน quartz และ feldspar บริเวณที่แร่เกิดการผุพังสึกกร่อนนี้จะพบโคโลนีมากมายของจุลินทรีย์เจริญอยู่ซึ่งเป็นบริเวณ anaerobic zone เป็นบริเวณที่พบว่าแร่ feldspar เกิดการสึกกร่อนอย่างรวดเร็วและเป็นบริเวณกว้างมากที่สุด และจากการทดลองในห้องปฏิบัติการที่กระทำควบคู่กันไปพบว่า แร่ microcline และ albite จะผุพังสลายตัวอันเนื่องมาจากกิจกรรมที่เกิดจากความอิสระของ proton โดยจะมีการเปลี่ยนแปลง pH แต่เกิดขึ้นใน

แร่ microcline เท่านั้น คือเมื่อค่า pH เท่ากับ 3.0 อัตราการละลายจะเพิ่มขึ้น และอัตราการละลายจะลดลงเมื่อ ionic strength เพิ่มขึ้น(โดยใช้ LiCl เป็น anionic strength buffer) โดยเพิ่มขึ้นเป็น 50-75%  $I = 0.05$  โมลาร์ ผลกระทบที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นในขณะที่ภาวะอุณหภูมิต่ำ อัตราการละลายของแร่ albite และ microcline ลดลงเมื่อพลังงานลดลงจาก 50 กิโลจูล/โมล เป็น 32. กิโลจูล/โมล จากขบวนการผุพังสลายตัวของแร่อาจปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้ (Goldschmidt, 1998)

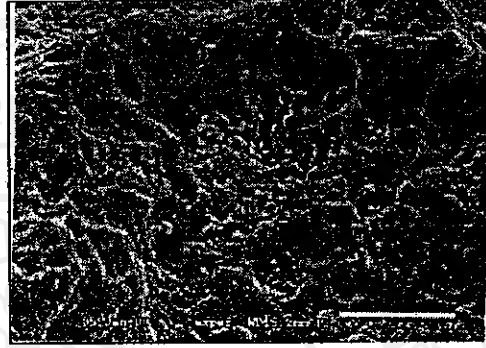
จากการทดลองของบุคคลต่างๆต่อไปนี้เป็นการศึกษาถึงกลไกที่บ่งบอกว่าเชื้อจุลินทรีย์ใช้กลไกใดในการทำให้องค์ประกอบของกลุ่มแร่ซิลิเกตเปลี่ยนไป ซึ่งในการหลุดออกของโพแทสเซียมก็น่าจะเกิดจากกลไกที่คล้ายกันกับการทดลองเหล่านี้ด้วยเช่นกัน

Mueller (1996) กล่าวว่าจุลินทรีย์ทำลายแร่ได้จากสารละลายเคมีที่ประกอบด้วย pH, อินทรีย์คาร์บอน และ ธาตุอาหาร จากการศึกษาพบว่า พฤติกรรมการทำลายแร่ซิลิเกตของ *Pseudomonas fluorescens* เกิดในช่วง pH ลดลงระหว่าง 5.5 – 7.0 และ ionic strength ก็ลดลงด้วยเช่นเดียวกัน จากการศึกษาสังเกตในภาคสนาม พบว่า จำนวนจุลินทรีย์พวกดำรงชีวิตอิสระ (free-living) เพิ่มขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของแร่ซิลิเกต และการละลายออกมาของธาตุอาหารขึ้นอยู่กับ P/Fe จะเห็นได้ว่าการผุพังสลายตัวของแร่เกิดขึ้นโดยตรงจากกระบวนการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์และใช้ฟอสฟอรัสเป็นส่วนสำคัญ และจะเกิดในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนของน้ำใต้ดิน (ground water) จากการใช้ SEM (scanning electron microscopy) สังเกตเห็นว่าลักษณะของแร่ plagioclase และ ontario microcline แตกต่างกัน โดยผิวหน้าของแร่ที่มีการเจริญของจุลินทรีย์อยู่จะถูกทำลายเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ สำหรับแร่ anorthoclase และ basalt การเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์บนผิวหน้าของแร่มีความสัมพันธ์กับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่มีอยู่เพียงเล็กน้อยและปริมาณเหล็กในตัวของแร่เอง เมื่อเปรียบเทียบ ชีวมวลพบว่า ชีวมวลของจุลินทรีย์พวกรีดิวซ์เหล็ก (dominated by iron reducing bacteria ; DIRB) มีมากกว่าจุลินทรีย์พวก methanogenesis และพวก fermenters (Jennifer, Nodate) เช่นเดียวกับการทดลองของ Styriakova และ Styriak (2000) ที่พบว่า *Bacillus* sp. ซึ่งคัดเลือกจากแบคทีเรียจำนวนมากที่สามารถเข้าทำลายโครงสร้างของแร่ kaolins สำหรับ strain ที่ใช้คือ *Bacillus cereus* เพราะ *Bacillus cereus* ไม่ก่อให้เกิดโรคเมื่อเปรียบเทียบกับ genus *Aspergillus* ที่ก่อให้เกิดโรทั้งในมนุษย์และสัตว์ ผลที่ได้พบว่า Fe หลุดออกมา 43% อย่างไม่มีรูปร่างในแบบของ oxyhydroxides และอีก 15% อยู่ในรูปของ Fe bound ในแร่ mica หลังจากที่ถูกปล่อยให้เกิด bioleaching 1 เดือน ในตัวอย่าง KS1 และ KS2 ซึ่งเป็นตัวอย่างแร่ kaolins ที่ได้จาก Homa Prievrana ใน Slovakia และ KS3 ซึ่งปล่อยให้เกิด bioleaching นานขึ้นเป็น 3 เดือน เมื่อตรวจดูโครงสร้างของแร่ด้วยเทคนิค SEM (scanning electron microscopy) ก่อน

และหลังเกิด bioleaching ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นว่าในรูปที่ 5 แร่ mica ถูกทำลายโครงสร้างแตกเป็นผลึกเล็กๆมากมายกลายเป็นแร่ illite ไปในที่สุด



รูปที่ 4 โครงสร้างของแร่ mica ที่ไม่ถูกทำลายโดยจุลินทรีย์



รูปที่ 5 โครงสร้างของแร่ mica ที่ถูกเชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลาย

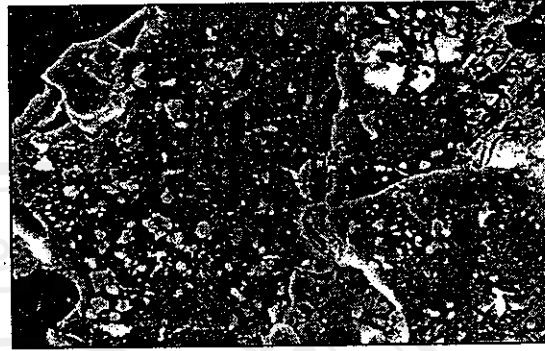
ในระหว่างการทดลองพบว่าในช่วงที่เชื้อจุลินทรีย์กำลังเจริญเติบโตค่า pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อ Bromfeild medium ลดลงจาก 7 เหลือประมาณ 4 ภายในเวลา 7 วัน ซึ่งในช่วง 7 วันนี้ จุลินทรีย์ก็จะดูดแร่ไปใช้ด้วย และมีการแลกเปลี่ยนกัลโคโรสในอาหาร Bromfeild medium เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน การเลี้ยง *Bacillus cereus* strain ในสภาพขาดออกซิเจนทำให้ไม่เกิด oxidation กับ Fe

จากกระบวนการ bioleaching ของ aluminosilicate โดยใช้ *Bacillus* spp. พบว่าแบคทีเรียนี้สามารถผลิตกรดอินทรีย์ออกมา ตัวอย่างเช่น acetic, butyric, pyruvic, lactic และ formic กรดพวก carboxylic acid ก็สามารรถละลายออกมาได้จากการละลายของแร่ซึ่งเกิดจึงทำให้ pH ของอาหาร Bromfeild medium ลดลงแต่ก็มีเอนไซม์บางชนิดที่เชื้อจุลินทรีย์ผลิตออกมา เช่น citinase และ cellulase ทำให้ความจำเพาะเจาะจงต่อ substrate ลดลง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า extracellular polysaccharide ของเชื้อจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยเอนไซม์ที่ทำหน้าที่คล้ายกับ chitinase และ cellulases คือ ทำหน้าที่ break down ขบวนการ metabolism ของ mineralase

จากการทดลองของ Van Cleave *et al.* (Nodate) พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ *Desulfovibrio desulfuricans* ซึ่งเป็น sulfate-reducing bacteria สามารถทำลายโครงสร้างของแร่ maskelynite ทำให้เกิดหลุมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 ไมโครเมตร รูปที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบกับ control ในรูปที่ 7 ซึ่งไม่มีการเจริญของเชื้อ *Desulfovibrio desulfuricans*



รูปที่ 6 โครงสร้างของแร่ maskelynite หลังจากถูกทำลายโดย *Desulfovibrio desulfuricans*



รูปที่ 7 โครงสร้างของ maskelynite ที่ไม่ถูกทำลายโดย *Desulfovibrio desulfuricans*

การเข้าทำลายของ *Desulfovibrio desulfuricans* นี้เกิดจากการรวมเอา Fe เข้ากับโปรตีน ตัวอย่างเช่น ferredoxins, cytochromes ของ C<sub>3</sub> group และ nitrogenase

Brantley *et al.* (Nodate) หลังจากทดลองใส่เชื้อ *Streptomyces sp.* และ *Arihoro bactor sp.* ให้เจริญบนผิวหน้าของอาหาร minimal medium โดยใส่ hornblende เป็นเวลาหลายวัน พบว่า จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดทำให้เกิดสภาพกรดใน biofilms และเมื่อภาวะ pH คงที่ เชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดสามารถลด Fe ออกมาจาก hornblende ได้โดยปริมาณของ Fe จะเพิ่มขึ้นมากกว่าสัปดาห์แรก 5 เท่า ถึง 10 เท่า และยังผลิต cate-chelate ออกมา

Ullman *et al.* (1996) พบว่า แบคทีเรียอาจมีความสามารถที่จะเพิ่มหรือยับยั้งการละลายของแร่ในธรรมชาติ โดยอาศัยกลไกต่างๆ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าขบวนการ metabolites ของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดสามารถเพิ่มอัตราการละลายแร่ โดยน่าจะเกิดจาก proton-promoted โดยการเพิ่มกลไก ligand-promoted ที่บริเวณ Al ตรงส่วนผิวหน้าของแร่ จากการสังเกตพบว่าแบคทีเรียผลิตกรดอินทรีย์ออกมาทำให้อัตราการละลายของแร่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกัน alginate และ polyaspartate จะยับยั้งการละลายของแร่ ซึ่งเกิดจาก reduction ในปฏิกิริยาที่ผิวหน้า surface reactivity หรือพื้นที่ผิวหน้าที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยา หรือทั้งสองอย่าง

จากการศึกษาของ Welch *et al.* (1994) พบว่า alginate เป็น polysaccharide ที่ประกอบด้วย 2-uronic acid จะสามารถยับยั้งการละลายของแร่ได้เมื่อมีมาก 80% และ polyaspartate ที่ยับยั้งการละลายของแร่ได้นั้นต้องเป็นชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก (26kD) ถึงจะเกิดปฏิกิริยา

Vandeyiere *et al.* (1994) ใช้แบคทีเรีย 17 isolates ทดสอบความสามารถในการละลายแร่ซิลิเกต พบว่า แบคทีเรียที่สามารถละลาย Si ออกมาจากแร่ซิลิเกตได้นั้นคือ isolate ที่ผลิต gluconate ออกมา และภาวะ pH อาหารเลี้ยงเชื้อเป็นกลาง ไม่ด่างเหมือนการทดลองอื่นๆ

การทดลองของ Paavilainen *et al.* (1995) ที่พบว่า *Bacillus circulans* var. *alkalophilus* เมื่อเลี้ยงในอาหารที่ประกอบด้วย glucose (55 มิลลิโมลต่อลิตร), acetic acid (65-75 มิลลิโมลต่อลิตร), formic acid (40-45 มิลลิโมลต่อลิตร) และ CO<sub>2</sub> (90-100 มิลลิโมลต่อลิตร) เมื่อเชื้อเจริญเติบโตทำให้เกิดภาวะกรด เนื่องจากโมลของกรดเหล่านี้ช่วยทำให้ pH ของอาหารต่ำลง และในระหว่างที่เชื้อกำลังเจริญเติบโต ออกซิเจนลดลงจนไม่มี เกิดเป็นกระบวนการหมักโดยสมบูรณ์ น้ำตาลไม่สามารถ metabolized ผ่านกระบวนการ tricarboxylic acid cycle ได้ แต่ reduction potential ที่เกิดจาก dehydrogenation ของน้ำตาลเป็นแรงขับทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายไฮโดรเจนอะตอม ส่วนโปรตอนไม่มีผลต่อโมเลกุลของออกซิเจนต่อแอนไอออนของออกซิเจน มีผลทำให้ pH เพิ่มขึ้น เพื่อปรับสมดุลของ redox state ไว้ให้สมดุลกัน

#### 2.4.5 ตัวอย่างของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุโพแทสเซียมเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช

Alekcahegopol and Zak (1996) อ้างโดย Hebei Academy of Science (1996) พบว่า *Bacillus circulans* ซึ่งเป็นพวก silicate bacteria ชนิดหนึ่งมีความสามารถในการย่อยสลายแร่ pegmatolite ให้โพแทสเซียมออกมาในรูป K<sub>2</sub>O ได้ 72% และย่อยแร่ mica ให้ K<sub>2</sub>O 31.3% จากประสิทธิภาพดังกล่าวจึงทำให้ประเทศจีนผลิตเชื้อนี้ในรูปของหัวเชื้อปุ๋ยชีวภาพ ทดลองใช้กับพืชปลูกหลายชนิด พบว่า สามารถเพิ่มผลผลิตให้กับพืชต่างๆ ดังนี้ ข้าวสาลี ผลผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 11-16%, ข้าวโพด เพิ่มขึ้น 10-13%, ข้าว 10-15%, ถั่วลิสง 22-26% ผักและผลไม้ 23-38% นอกจากนี้ให้โพแทสเซียมแล้วยังสามารถตรึงไนโตรเจนได้ด้วย (Berge *et al.*, 1991) โดยพบว่า เกิด acetylene-reducing activity (3100 nmol ethylene/day/plant) ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์นี้เจริญอยู่บริเวณรากข้าว

แบคทีเรียในสกุลของ *Bacillus* นอกจาก *Bacillus circulans* แล้วยังมีชนิดอื่นๆอีกที่สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาจากร่างพวกซิลิเกต ตัวอย่างเช่น *Bacillus siliceous* เมื่อใส่ลงไปในดินที่ฆ่าเชื้อแล้ว ทำให้ผลผลิตของข้าวสาลีและข้าวโพดเพิ่มขึ้น (Martin, 1961) *Bacillus mecilanosus* ก็สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมได้เช่นเดียวกัน และยังสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาได้อีกด้วย จากการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพโดยการคลุกเชื้อร่วมกันระหว่าง *Azotobacter chroococum*, *Bijerinkia fluminensis* สำหรับการตรึงไนโตรเจน และ *Bacillus mecilagenosus* เปรียบเทียบกับ control ปลูกใน demo-podzolic soil ใส่มูลวัว-ควาย 25 g/pot และปุ๋ยเคมี N, P, K พบว่า การคลุกเชื้อทำให้น้ำหนักสด (6.661 g/1 plant) และน้ำหนักแห้ง (0.432 g/1 plant) ของผักสลัด "Berlin" มากกว่า ทริทเมนตอื่นๆ (น้ำหนักสด 6.661 > 0.4120 > 1.761 > 2.021

g/1 plant, น้ำหนักแห้ง 0.432>0.037>0.204>0.201 g/1 plant ตามลำดับ) (Agroecological biotechnology “PIKSA”, Nodate)

นอกจากสกุลของ *Bacillus* แล้วยังมีอื่นๆอีก เช่น *A. tumescens* ที่ถูกเชื้อลงในดิน mile silt ผสมกับดินทราย แล้วปลูกข้าวบาร์เลย์ (60 วัน) และถั่วเหลือง (70 วัน) นำดินปลูกมาวิเคราะห์ทางเคมีและจุลชีว พบว่า  $\text{NH}_4$ -acetate และ K เพิ่มขึ้น Si หลุดออกมามากขึ้นใน sand silt ในส่วนเหนือดินของพืช พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์, N, P, K และ คาร์โบไฮเดรต เพิ่มขึ้น (Shady *et al.*, 1984)

Martin (1961) พบว่า *Aspergillus niger* และ *Clostridium pasteurianum* สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาจากรูขี้เหล็กได้เนื่องจากสามารถผลิต organic acid ออกมาได้ ซึ่งการหลุดออกของโพแทสเซียมเกิดจากกรด กรดที่สำคัญคือ carbonic, nitric, sulfuric และ organic acid อื่นๆอีกมากมายโดย carbonic acid เกิดขึ้นได้จากการผลิต  $\text{CO}_2$  ของเชื้อจุลินทรีย์พวก heterotrophic หรือการหลุดออกของโพแทสเซียมใน clay minerals โดยจุลินทรีย์เคลื่อนย้าย cation มาจาก solution เพื่อให้สมดุลกันระหว่าง soluble และ insoluble forms ดังสมการข้างล่างนี้

K in protoplasm  $\longleftarrow$  soluble-K  $\rightleftharpoons$  mineral-K

cation นี้จะเป็นอิสระเมื่อเซลล์ของจุลินทรีย์เน่าเปื่อยหรือตายลง

## 2.5. อ้อย

อ้อยเป็นพืชตระกูลหญ้า มีแหล่งกำเนิดอยู่ตามหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิกตอนใต้แล้วแพร่กระจายเข้ามายังแผ่นดินใหญ่ของทวีปเอเชีย (มณเฑียร, 2519) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum* L. จัดอยู่ในชั้น (Class) Monocotyledones, อันดับ (Order) Glumaceae, วงศ์ (Family) Gramineae, Genus *Saccharum* พืชในตระกูลอ้อยมีอยู่ด้วยกัน 6 ชนิด คือ

1. อ้อยปลูก (*Saccharum officinarum* L.) อ้อยชนิดนี้มีน้ำตาลสูงและมีเส้นใยต่ำ มีลำขนาดใหญ่และยาวกว่าชนิดอื่นๆ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล อ้อยชนิดนี้มีกำเนิดมาแต่ดั้งเดิมก่อนมีการผสมพันธุ์
2. พงหรือเตา (*Saccharum spontaneum*) เป็นอ้อยป่า ลำเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2 เซนติเมตร ใบแคบและแข็ง ลำแข็งแรง และไม่ค่อยมีโรค มีคุณค่าในการผสมพันธุ์ให้ต้านทานโรคเท่านั้น
3. อ้อยอินเดีย (*Saccharum barberi* Jeswiet) ใบแคบ ปล้องมีสีเขียวเทาหรือนวลขาว มีความทนทานต่อโรคได้ดี มีน้ำตาลสูงและมีกากสูงด้วย มีความสำคัญในการผสมพันธุ์

4. อ้อยจีน (*Saccharum sinense* Roxb.) ใบกว้าง ปล้องยาว ลำเล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2 เซนติเมตร ข้อโป่ง มีสีเขียวหรือเขียวออกแดง ทนทานโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัสได้ดี นอกจากนั้นยังปรับตัวเข้ากับสภาพดินเลวได้ดี ข้อเสียดคือ ความหวานต่ำและมีกากสูง น้ำหวานที่หีบได้มีความบริสุทธิ์ต่ำ มีแป้งสูง ทำให้ดกผลึกยาก
5. อ้อหรือแยม (*Saccharum robustum*) เป็นพืชป่าที่ขึ้นอยู่ตามริมฝั่งน้ำ ลำปล้องยาวใหญ่และแข็งแรง บางครั้งยาวถึง 10 เมตร มีน้ำตาลต่ำ มีเส้นใยมาก นิยมนำมาใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ ลูกผสมที่ได้จะสมบูรณ์ไม่เป็นหมัน
6. อ้อยนิวกินี (*Saccharum edule* Hassk.) เป็นอ้อยที่ต่างจากชนิดอื่นที่ช่อดอกจะพองและไม่ติดเมล็ด มีลักษณะคล้ายอ้อหรือแยม ต่างกันตรงลักษณะของช่อดอกเท่านั้น

### 2.5.1 ลักษณะภายนอกของอ้อย

#### 2.5.1.1 ลำต้น (stalk)

ลำต้นอ้อยส่วนที่อยู่ใต้ดินมีลักษณะเรียวยาว ตอนบนดินมีลักษณะคล้ายทรงกระบอกแบ่งออกเป็นปล้องด้วยข้อรวม เรียกว่า joint ซึ่งมีความยาวแตกต่างกันจาก 2-12 นิ้ว ทั้งนี้แล้วแต่อัตราการเจริญเติบโต มีตาข้างหลายตา รวมทั้งตาที่ยอด 1 ตา ลำต้นใต้ดินเรียวยาว ตาที่อยู่บริเวณนี้เจริญเป็นหน่อ

ลำต้นทำหน้าที่เป็นทางลำเลียงธาตุอาหารและน้ำจากดินไปสู่ยอด น้ำตาลที่ผลิตขึ้นที่ใบอาจถูกใช้เป็นพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตหรือเก็บไว้ในลำต้น เมื่อใช้ลำต้นตัดเป็นท่อนปลูกหน่อก็จะเจริญจากตาและรากก็จะเจริญจากบริเวณปมราก การเจริญเติบโตของหน่อหรือตาที่งอกจะต้องพึ่งพาอาศัยรากที่เกิดจากท่อนพันธุ์เป็นเวลา 3-6 สัปดาห์ หรือจนกว่าหน่อเหล่านั้นจะมีรากพอที่จะทำหน้าที่ลำเลียงน้ำ ออกซิเจน และธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตได้ เมื่ออ้อยเริ่มตั้งกอ (stooling) หน่อก็จะมีระบบรากของตนเอง เมื่ออ้อยถูกตัด อ้อยตอ (ratoon crop) จะเจริญต่อไปด้วยรากของอ้อยปลูกใหม่ (plant crop) จนกว่าระบบรากที่เกิดใหม่จะทำหน้าที่เลี้ยงอ้อยได้ ทั้งกอ รากเก่าก็จะเปลี่ยนเป็นสีเข้มขึ้น และทำหน้าที่ได้น้อยลงตามลำดับจนกระทั่งผุพังในที่สุด

ปล้องที่อยู่ส่วนยอดของลำต้นมีซูโครสอยู่น้อยแต่มี melassigenic substances อยู่มาก ดังนั้นยอดจึงมีประโยชน์น้อยมากสำหรับโรงงาน ปล้องที่ยาวแสดงถึงระยะที่อ้อยเจริญเติบโตดีที่สุดคือ ระหว่างฤดูร้อน ส่วนปล้องสั้นแสดงถึงการเจริญเติบโตถูกจำกัดในระหว่างฤดูหนาวหรือระยะที่แห้งแล้งหรือเมื่อมีน้ำในดินมากเกินไปในระหว่างฤดูฝน หรือท่อนพันธุ์ที่ไม่เหมาะสมที่จะปลูกในฤดูนั้นๆ เป็นต้น

เส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นจะเพิ่มขึ้นจากยอดลงมาโคนต้น ซึ่งช่วยให้ต้านทานการล้ม (lodging) ได้ดีขึ้น อ้อยปลูกใหม่มีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นใหญ่กว่าตอที่เกิดตามมา สภาพอากาศที่



ไม่เหมาะสมมีผลกระทบกระเทือนต่อความยาวของปล้องมากกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น

เมื่อการเจริญเติบโตของลำต้นเปลี่ยนจาก vegetative stage ไปเป็น reproductive stage ส่วนยอดจะหยุดการเจริญเติบโตและตาที่ส่วนยอดได้ช่อดอกจะแตกออกมาเป็นแขนง (talas) ซึ่งปกคลุมเหล่านี้มีพื้นที่ใบ (leaf surface) เพียงพอที่จะทำให้ช่อดอกมีชีวิตอยู่ต่อไป

อ้อยที่ตัดเข้าหีบ (millable cane) มีส่วนประกอบของน้ำตั้งแต่ 70-76% ส่วนยอดที่ยังอ่อนอยู่อาจมีน้ำถึง 85% และเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงเรื่อยๆจากยอดมาหาโคนต้น ปล้องส่วนยอดที่มีน้ำมากแสดงว่ายังไม่แก่ ปล้องเหล่านี้มี reducing sugar อยู่มาก มีซูโครส (recoverable sucrose) อยู่น้อย ส่วนอินทรีย์สาร ประกอบด้วย ชาน (fiber หรือ vascular bundle) น้ำตาลหลายชนิด ซึ่ผึ้ง ลิกนิน และสารอย่างอื่น รวมทั้งสิ้นอยู่ระหว่าง 23-29% ส่วนขี้เถ้า (ash content) มีตั้งแต่ 0.65-1.2% ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและอากาศที่ปลูกอ้อยนั้น

#### 2.5.1.2 ใบ (leaves)

ใบประกอบด้วยแผ่นใบซึ่งมีลักษณะยาว บาง และแบน อยู่ 2 ข้างและยึดด้วยแกนกลางใบ ขนาดและความยาวแตกต่างกันไปตามพันธุ์ โดยทั่วไปยาวตั้งแต่ 3-5 ฟุต กว้างตั้งแต่ 0.5-4 นิ้ว ใบมักจะปกคลุมด้วยขนและมีปากใบ (stomata) เป็นจำนวนมาก การเปิดปิดของปากใบขึ้นอยู่กับ turgor ปริมาณของโพแทสเซียมและสภาพของแสง ปากใบจะเปิดอยู่เมื่อมีน้ำและแสงแดดอย่างเพียงพอ และจะปิดเมื่อขาดโพแทสเซียม น้ำ และแสงสว่าง

หน้าที่ของใบคือ สร้างคาร์โบไฮเดรต หรือสังเคราะห์แสง, สังเคราะห์หรือเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็น plant foods โดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจน (nitrogenous compounds) และคายน้ำขณะที่ใบใหม่เกิด ใบแก่ที่อยู่ส่วนล่างของลำต้นก็จะแห้งตายและหลุดออกจากลำต้น บางพันธุ์อาจติดอยู่

กาบใบหรือส่วนล่างของใบซึ่งรอบลำต้นที่ขี้จะทำหน้าที่ค้ำจุนแผ่นใบ กาบใบมีลักษณะเป็นช่องหรือท่อ ส่วนฐานกว้างที่สุดและค่อยๆแคบลงไปทาง dewlap ด้านนอกหรือด้านล่างของ กาบใบเป็นสีเขียวอ่อนและมักมีขน ส่วนด้านในเรียบและสีอ่อนกว่า vascular bundles หรือ conducting tissue เรียงรายอยู่เต็มภายในนี้ ทำให้ส่วนนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับหาปริมาณความชื้นภายในต้นอ้อย

#### 2.5.1.3 ระบบราก (root system)

อ้อยมีระบบรากฝอยเช่นเดียวกับพืชตระกูลหญ้าทั่วไป รากแผ่กระจายออกโดยรอบลำต้น เป็นรัศมี 45-90 เซนติเมตร หรือมากกว่า และสามารถหยั่งลึกลงในดินมากกว่า 30 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพของดินที่ปลูก อ้อยไม่มีรากแก้ว นอกจากเมื่อใช้เมล็ดปลูกจึงปรากฏราก

คล้ายรากแก้ว ปกติอ้อยขยายพันธุ์โดยใช้ส่วนของลำต้นตัดเป็นท่อน แต่ละท่อนมีตาอย่างน้อย 1 ตา ท่อนพันธุ์แต่ละท่อนเรียกว่า cutting sett หรือ set เมื่อนำท่อนพันธุ์ปลูกลงจะปรากฏราก 2 ชุด คือ รากชั่วคราว (sett root หรือ cutting root) ของท่อนพันธุ์นั้น เป็นรากที่เล็กผอมแตกแขนงมาก รากชั่วคราวจะทำหน้าที่อยู่จนกระทั่งรากถาวรรับทำหน้าที่นั้นได้ทั้งหมดแล้วรากชั่วคราวก็หมดสภาพไป รากถาวร (shoot root) เมื่อตาของท่อนพันธุ์เจริญเป็นหน่อก็จะมีรากเกิดปุ่รากซึ่งอยู่ที่ข้อที่อยู่ใต้ดินหรือใกล้ๆผิวดิน รากนี้เมื่อแตกใหม่จะมีสีขาว อวบ ไม่มีแขนง สีของรากจะเข้มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้นและมีการแตกแขนงมากขึ้นด้วย

#### 2.5.1.4 ดอกอ้อย (inflorescence)

อ้อยมีดอกขนาดเล็กเกิดเป็นช่อคล้ายดอกพงหรือดอกเลา มีชื่อเรียกว่า arrow หรือ tassel เป็นช่อดอกแบบ panicle เกิดที่ปลายของลำต้น ยาวตั้งแต่ 1-2 ฟุต รูปร่างลักษณะของช่อดอกขึ้นอยู่กับความยาวของแกนกลางและก้านแขนงของช่อดอก ตลอดจนจำนวนของก้านแขนง

อ้อยเป็นพืชที่มีความไวต่อแสงจะออกดอกในช่วงที่มีกลางวันสั้นกว่ากลางคืน ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกดอกของอ้อยนอกจากช่วงแสงแล้วก็ยังเกี่ยวข้องกับ อุณหภูมิ ความชื้น และอายุของอ้อยด้วย อ้อยจะเริ่มออกดอกตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม ไปจนถึงประมาณเดือนมกราคม เมื่ออ้อยออกดอกการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบหยุดชะงัก ถ้าปล่อยอ้อยที่ออกดอกไว้นานกว่าจะเก็บเกี่ยวอาจทำให้ผลผลิตอ้อยและน้ำตาลลดลง

แกนกลางของช่อดอก (main axis) ส่วนที่ติดกับลำต้นมีลักษณะกลม ส่วนที่อยู่สูงขึ้นไปเป็นร่องก้านแขนงเชื่อมติดกับแกนกลาง มีลักษณะเป็นท่อนๆเชื่อมติดกัน ที่ข้อแต่ละข้อจะปรากฏดอกอยู่เป็นคู่ๆดอกหนึ่งมีก้านดอก อีกดอกหนึ่งไม่มีก้านดอก ที่ฐานของแต่ละดอกมีขนยาวคล้ายไหมล้อมรอบดอกทำให้ดูคล้ายทำด้วยไหมทั้งช่อ ขนสีขาวนี้เรียกว่า ขนไหม (bristles หรือ callus hairs) การบานของช่อดอกจะเริ่มบานจากปลายช่อดอกลงมา ภายหลังที่ดอกบานแล้วไม่กี่วันดอกก็จะปลิวไปตามลม

### 2.5.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของอ้อย

#### 2.5.2.1 แสงแดด

อ้อยเป็นพืชที่ต้องการแสงแดดมากกว่าพืชอื่นๆและต้องการเป็นเวลานาน โดยเฉพาะในระยะที่อ้อยกำลังแตกกอ และอย่างปล้อง แสงทำให้อ้อยสร้างสีม่วง (anthocyanin) ขึ้นที่เปลือก โดยจะเห็นได้ชัดเมื่ออ้อยถึงกาบออกโดยธรรมชาติ ส่วนที่ถูกแสงจะสร้างแอนโทไซยานินขึ้นทำให้มีสีม่วงแดง แสงช่วยให้อ้อยเจริญเติบโตตามยาวของลำในแนวตั้งทำให้ส่วนรากมีการเจริญเติบโตอย่างเหมาะสม บังคับไม่ให้อ้อยแทงหน่อมากเกินไป เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลในใบมากขึ้น ทำให้ใบเขียว

### 2.5.2.2 ดิน

ในระยะแรกของการเจริญเติบโตรากเป็นตัวจำกัดการเติบโตของอ้อย เนื่องจากรากยังไม่ มีมาก ทำให้ดูดธาตุอาหารและน้ำได้น้อย ธาตุฟอสฟอรัสช่วยกระตุ้นรากให้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงควรใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้เพียงพอในดินรอบๆ ท่อนพันธุ์อ้อย พอรากชุดใหม่งอกออกมาจากท่อนพันธุ์ที่ปลูกลงในดินก็สามารถดูดฟอสฟอรัสไปใช้ได้ทันที รากอ้อยมักขนไนไป ในดินที่มีสิ่งกีดขวางน้อยที่สุด การเจริญเติบโตของต้นอ้อยจะลดลงเมื่อรากเจริญผ่านดินที่แน่นมาก ๆ และมีช่องว่างขนาดใหญ่ในดินอยู่น้อย ทำให้รากอ้อยเกิดเป็นรากแขนงสั้นๆ ทำให้มีพื้นที่สำหรับ ดูดน้ำและธาตุอาหาร ได้น้อยลง

#### 2.5.2.2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

สภาพทางฟิสิกส์ของดินในพื้นที่ปลูกอ้อยเลวลงอันเนื่องมาจากการถูกกดทับจากน้ำหนัก มากของรถบรรทุกในการขนอ้อย หรือเครื่องมือทุ่นแรงขนาดใหญ่เหยียบย่ำ หรือมีการให้น้ำ ชลประทานมากเกินไป เป็นผลทำให้โครงสร้างของดินเสียไป ตัวอย่างเช่น เมื่อรถบรรทุกอ้อย นหนัก 25-40 ตัน ผ่านในไร่อ้อยจะทำให้เกิดความกดของดินในบริเวณใกล้เคียงนั้นถึง 15.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำให้ดินแน่นลงไปลึก 15 เซนติเมตร ถ้าเป็นดินแห้งจะแน่นลึกถึง ถึง 50 เซนติเมตร ผลของความแน่นของดินที่ระดับความชื้นต่างๆกันนี้มีผลต่อความพรุน (porosity) และเปอร์เซ็นต์ของอากาศ (air percentage) โดยปริมาตร พบว่า เมื่อความหนาแน่นรวม (apparent density) เพิ่มขึ้นจนถึงความหนาแน่นวิกฤตของรากอ้อย แล้วปริมาณช่องว่างในดินทั้งหมดจะลดลงเกือบ 50% ต่อเปอร์เซ็นต์ของอากาศโดยปริมาตร จะลดลงอย่างรวดเร็วเหลือ ประมาณ 10% ขณะที่ความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้นถึงระดับวิกฤต

เมื่อความหนาแน่นของดิน (bulk density) pore size distribution และ aggregate stability เปลี่ยนแปลง จะทำให้การถ่ายเทอากาศในดิน (soil aeration) เปลี่ยนแปลงปัจจัยเหล่านี้ต่างมีผลต่อ การแลกเปลี่ยนออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างดินกับบรรยากาศ (กรมวิชาการ เกษตร, 2523 และ เกษม, 2515)

#### 2.5.2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีของดิน

โดยทั่วไปการปลูกพืชเพื่อให้ได้ผลดีจำเป็นต้องใส่ปุ๋ย แต่หากมีการใส่ปุ๋ยติดต่อกันเป็น ระยะเวลาหลายๆทำให้ดินเป็นกรดได้ เช่นการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตติดต่อกันหลายๆ โดยเฉพาะ ในเขตที่ไม่มีมีการชลประทาน หรือในเขตที่ใช้น้ำชลประทานจากภูเขาหรือน้ำที่ขังอยู่ตามผิวดิน ทำ ให้ดินเป็นกรดมากขึ้น และทำให้อ้อยขาดแคลเซียม ซึ่งทำให้ผลผลิตบริเวณดังกล่าวลดลง

### 2.5.2.2.3 จำนวนจุลินทรีย์ในดิน

เชื้อรา เชื้อไวรัส และไส้เดือนฝอย เป็นสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตของอ้อยลดลง Carpenter (1992) อ้างโดย กรมวิชาการเกษตร (2523) รายงานว่า โรครากเน่าของอ้อยพันธุ์ Lahaina เกิดจากเชื้อรา *Phythium graminicolum* Subr ในชวา เกิดมากที่สุด ในพื้นที่ที่ดินเป็นดินเหนียวจัด เชื้อรา *Fusarium subglutinans* และ *Cephalosporium* sp. เป็นเชื้อราสาเหตุของโรคเหี่ยว เป็นต้น

จำนวนและชนิดของจุลินทรีย์ดินมักเปลี่ยนแปลงไปตามคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี ตลอดจนคุณสมบัติทางชีววิทยาของดินที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ทำให้การวินิจฉัยปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตของอ้อยลดลงเป็นไปด้วยความลำบาก

### 2.5.2.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำอ้อย ในฤดูร้อนและฤดูฝน ซึ่งมีอากาศร้อน อ้อยจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของปล้องโตกว่าในฤดูหนาว ส่วนการเจริญเติบโตทางด้านยาวของปล้องไม่แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิโดยเด่นชัด Van Dillewijn (1952) อ้างโดยกรมวิชาการเกษตร (2523) กล่าวว่าอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่อ้อยจะชะงักการเจริญเติบโต แม้ว่าบางครั้งอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส อ้อยบางพันธุ์อาจจะงอกได้ก็ตาม

สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของรากอ้อยนั้นไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์อ้อยและระดับความลึกของดิน ซึ่งเปลี่ยนแปลงทุกๆ เซนติเมตร อุณหภูมิของดินในประเทศไทยโดยเฉลี่ยประมาณ 30 องศาเซลเซียส นับว่าเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของรากอ้อยโดยทั่วไป

### 2.5.2.4 ปริมาณและการกระจายของน้ำฝน

การงอกและการเจริญเติบโตแตกต่างกันเห็นได้ชัดเจนในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของความชื้นในอากาศ และปริมาณน้ำฝนมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยอย่างยิ่ง ในการขยายตัวของเซลล์ที่คูดน้ำเข้าไปเพื่อการเจริญเติบโต ดังนั้นการเจริญเติบโตของอ้อยจึงมีสหสัมพันธ์อย่างสูงต่อความชื้นในอากาศ และปริมาณน้ำที่ได้รับ

Clements และ Kubota (1994) อ้างโดยกรมวิชาการเกษตร (2523) พบว่า สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในเซลล์ของอ้อยที่กำลังเจริญเติบโตกับอัตราการยึดตัวเท่ากับ 0.756 Sun และ Chow (1949) อ้างโดยกรมวิชาการเกษตร (2523) พบว่าสหสัมพันธ์อย่างสูงระหว่างอัตราการยึดตัวของลำต้นกับปริมาณน้ำฝนในได้หวัน

Humbert (1963) อ้างโดยกรมวิชาการเกษตร (2523) พบว่าการกระจายของฝนเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพราะถ้าฝนตกมากเกินไปในฤดูฝนทำให้อัตราการเจริญเติบโตของอ้อยลดลงในบริเวณที่มีการระบายน้ำไม่ดี ถ้ามีฝนตกเบาๆ และมีน้ำค้างมากมีผลทำให้อ้อยเจริญเติบโตได้ดี

เพราะอ้อยสามารถที่จะดูดความชื้นโดยทางใบได้ ฝนเบาๆทำให้ใบอ้อยสะอาด และช่วยเพิ่มความชื้นในอากาศ ซึ่งจะช่วยลดการคายน้ำของอ้อยลงได้

#### 2.5.2.5 ความชื้นในดิน

ระดับความชื้นที่เหมาะสมจะแตกต่างกันตามความเหมาะสมของอ้อยแต่ละพันธุ์ เช่น อ้อยพันธุ์ Q 83 และ Pinder ที่ปลูกในสภาพดิน Hydromorphic Noncalcic Brown ในแถบ อ. สามชุก จ.สุพรรณบุรี แม้จะน้ำท่วมขัง 30-60 วัน ยังให้ความหวาน 18-22 Brix (มณเฑียร และ คณะ, 2518 อ้างโดย กรมวิชาการเกษตร, 2523) อ้อยที่ปลูกในแถบที่มีการชลประทาน ระบบบราก จะลงไปได้ลึกมากเท่ากับอ้อยพันธุ์เดียวกันที่ปลูกในเขตน้ำฝน ทั้งนี้เนื่องจากในเขตใช้น้ำฝน อ้อย จะต้องเอาชีวิตรอด โดยการพยายามแทงรากหาความชื้นในดินมากกว่าอ้อยที่ปลูกโดยระบบ ชลประทาน

#### 2.5.2.6 ลม

อ้อยที่ถูกลมพัดจะแคระแกร็น เนื่องจากคายน้ำมาก อัตราส่วนการเจริญเติบโตของ shoot :root จะน้อยกว่าอ้อยที่ไม่ถูกลมพัดจัดมาก แสดงให้เห็นว่าอ้อยที่ไม่ถูกลมพัดจะมีโอกาสสร้าง ลำต้นและใบได้ดีกว่าอ้อยที่ปลูกอยู่ทางด้านที่ถูกลมมาก

#### 2.5.2.7 พันธุ์อ้อย

อ้อยแต่ละพันธุ์มีอัตราการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน อ้อยพันธุ์เบาสามารถ เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วภายในช่วงเวลาอันสั้น อ้อยบางพันธุ์เก็บเกี่ยวได้ภายใน 12 เดือน แต่บาง พันธุ์จะต้องใช้เวลาถึง 18-24 เดือน ตัวอย่างเช่น อ้อยพันธุ์ Co, F POJ, Q ส่วนมากเป็นอ้อยปีเดียว ถ้าปลูกทิ้งไว้นานกว่านั้น ลำที่เจริญเต็มที่แล้วจะแห้งตายและจะเกิดแขนง (sucker) ขึ้นมากมาย ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ อ้อยบางพันธุ์ให้ผลผลิตต่ำแม้ว่าจะมีสภาพเหมาะสมในการเจริญเติบโต ทั้งนี้ เพราะอ้อยอาจจะเจริญทางส่วนที่อยู่ใต้ดินมากกว่าด้านเหนือดินก็เป็นได้ ดังเช่น อ้อยป่าบางพันธุ์มี ลำเล็กและแต่แตกกอมาก แต่ขณะเดียวกันก็มีรากยาว มีปริมาณมาก และระบบบรากแข็งแรงด้วย เป็นประโยชน์มากในการผสมพันธุ์เพื่อคัดเลือกพันธุ์ที่ต้านทานความแห้งแล้ง และการใส่ปุ๋ย พรวนดินและการแต่งคออ้อย

#### 2.5.2.8 การแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ และพื้นที่ใบ

อ้อยดูดคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของ  $CO_2$  เข้าสู่เซลล์ พาลิเสคพาเรนไคมา (palisade parenchyma) และมีไซฟิลเซลล์ (mesophyll cell) ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการสังเคราะห์แสงโดยผ่านทาง ปากใบ (guard cell) การที่อ้อยมีความสามารถในการสังเคราะห์แสงได้มากย่อมขึ้นอยู่กับพื้นที่ใบ ด้วย จากการทดลองตัดใบออกในขณะที่กำลังเจริญเติบโต ปรากฏว่าปล้องอ้อยมีขนาดเล็กลงเนื่อง จากสังเคราะห์แสงไม่สมบูรณ์ แต่เมื่อปล่อยให้ใบอ้อยถั้ขึ้นมาจะมีขนาดโตขึ้นจนโตเต็มที่

ปลั๊องอ้อยที่ตัดขึ้นมาก็มีขนาดใหญ่ขึ้น แสดงว่าการสังเคราะห์แสงได้ผลเต็มที่ การรับอนโคออกไซด์เป็นปัจจัยสำคัญในการสังเคราะห์แสง แต่การขาดแคลนคาร์บอนไดออกไซด์ ยังไม่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามการขาดคาร์บอนไดออกไซด์อาจจะเกิดขึ้นได้โดยการเกิดมลภาวะ (pollution) ในอากาศ กล่าวคือ มีก๊าซอื่นๆซึ่งไม่เหมาะสมในการเจริญเติบโตปะปนในอากาศอาจ ทำให้อ้อยสังเคราะห์แสงไม่ได้เต็มที่

## 2.6 ธาตุอาหารสำหรับอ้อย

### 2.6.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทสำคัญที่สุดต่อการเจริญเติบโตของอ้อย ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีน และจำเป็นอย่างมากต่อทุกๆขบวนการของการใช้เอ็นไซม์ เป็นส่วนประกอบของสารประกอบในขบวนการ metabolism ต่างๆ เช่น กรดนิวคลีอิก purines, pyrimidines porphyrine และ coenzyme ต่างๆ รวมทั้งวิตามิน และ adenosine triphosphate อ้อย จะดูดธาตุไนโตรเจนทางรากในรูปของแอมโมเนียม และไนเตรท

อ้อยที่กำลังเจริญเติบโตต้องการไนโตรเจนอย่างสม่ำเสมอในช่วง 2.5-5 เดือน เมื่ออ้อยอายุ 4 เดือนไปแล้ว อ้อยเริ่มย่างปลั๊อง การเจริญเติบโตในช่วงนี้รวดเร็วมาก จึงต้องการน้ำและธาตุอาหารมาก เมื่ออ้อยโตเต็มที่ คือ ประมาณ 8 เดือนขึ้นไปแล้วอ้อยจะหยุดการเจริญเติบโต และสะสมน้ำตาล ถ้าได้รับไนโตรเจนมากเกินไปในช่วงนี้อ้อยจะมีลำต้นอวบ มีการเจริญเติบโตด้านโครงสร้าง และเนื้อเยื่อมากอ้อยจะคุดน้ำมาก ทำให้น้ำตาลซูโครสในน้ำอ้อยลดลง อ้อยจะแก่ช้า และคุณภาพลดลง การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินไป ทำให้ปริมาณไฟเบอร์ลดลง อ้อยหักล้มง่าย หากขาดไนโตรเจน ใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง มีคลอโรฟิลล์ต่ำ ใบอ่อนมีสีจาง ลำต้นแคระแกร็น การเจริญเติบโตลดลง อ้อยแตกกอน้อย มีอัตราส่วนระหว่างซูโครสและรีดิวซ์ซูการ์ (reducing sugar) สูง (ปรีชา และคณะ, 2543 ; กรมวิชาการเกษตร, 2523)

### 2.6.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสมีหน้าที่สร้างน้ำตาลซูโครส โดยเปลี่ยนจากแป้งและ reducing sugar ที่สะสมในลำต้น ทำให้อ้อยตั้งตัวได้เร็ว และมีการแตกกอนมาก กระตุ้นการงอกของราก ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของ nucleic acid และ phospholipid ในเซลล์ เป็นส่วนประกอบของพลังงาน (adenosine diphosphate และ adenosine triphosphate) ฟอสฟอรัสจะพบมากในส่วนที่กำลังเจริญเติบโตของอ้อย ในเขตที่ปริมาณน้ำฝนน้อยฟอสฟอรัสจะมีความสำคัญต่อการพัฒนาราก รากอ้อยจะแทรกหรือชอนไชได้ดี ก็ต่อเมื่อดินมีความชื้นเพียงพอ ทั้งไนโตรเจน และฟอสฟอรัส พบว่าเป็นธาตุอาหารที่ส่งเสริมซึ่งกันและกัน ถ้าธาตุหนึ่งขาดไม่เพียงพอก็มีผลทำให้ผลผลิตลดลงได้ อ้อยที่ขาดฟอสฟอรัสใบจะมีสีเขียวคล้ำ มีสีแดงหรือม่วงอ่อนๆปนบ้าง ในบางส่วนของยอดหรือ

ขอบใบที่โคนแสง ใบจะแคบและสั้นกว่าปกติ ใบแก่จะมีสีเหลืองและแห้งตายจากยอดและริมขอบใบ ลำต้นจะพอมแตกกอน้อย และมีปล้องสั้น

### 2.6.3 โปแทสเซียม

โปแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหนึ่งที่สำคัญต่อกระบวนการต่างๆ ในอ้อยเนื่องจากโปแทสเซียมเป็นตัว activator ในกระบวนการ metabolism ของโปรตีน รวมทั้งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ต่างๆ ในกระบวนการ metabolism ของคาร์โบไฮเดรต โปแทสเซียมพบมากใน cytoplasm มีหน้าที่ช่วยปรับสมดุลของประจุต่างๆในเซลล์ โปแทสเซียมยังควบคุมแรงเต่งของเซลล์ต่างๆซึ่งรวมทั้งการเปิดและปิดของปากใบ ดังนั้น โปแทสเซียมจึงจำเป็นต่ออ้อย โดยเฉพาะเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสง คาร์โบไฮเดรต และการสร้างน้ำตาล การดูดน้ำและคายน้ำ การลำเลียงน้ำตาล และการงอกของอ้อย โปแทสเซียมพบมากในส่วนที่กำลังขยายตัว และในส่วนที่เซลล์แบ่งตัว

อ้อยที่ขาดโปแทสเซียมจะมีอาการสังเคราะห์แสงต่ำกว่าปกติ โดยแสดงอาการขาดภายใน 2-5 เดือน อ้อยจะไม่มีแตกกอ ลำอ้อยเล็กกว่าปกติ และเล็กเร็วไปทางยอด ยอดและขอบใบจะมีจุดประสีส้ม มีแผลแห้งตายระหว่างเส้นใบ ใบแก่จะมีสีน้ำตาลทั้งใบคล้ายไฟลวก เส้นกลางใบด้านบนจะมีสีแดง ใบอ่อนจะมีสีเขียวเข้ม บิดเบี้ยวเสียรูปร่าง ใบจะเป็นพุ่มหรือคล้ายพัด อ้อยจะอ่อนแอต่อโรค และสภาพแห้งแล้ง

### 2.6.4 แมกนีเซียม

แมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์และโปรตีนหลายชนิด ในอ้อยแมกนีเซียมยังเป็นตัว activator ในเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับ metabolism ของคาร์โบไฮเดรต และการสังเคราะห์กรด nucleic และเอนไซม์เกี่ยวกับสารพลังงาน (adenosine triphosphate)

อ้อยที่ขาดแมกนีเซียม จะมีจุดประคล้ายสนิมเหล็กทั่วบริเวณด้านบนของใบ ภายใน ถ้าผ่าดูจะมีสีน้ำตาลทำให้ใบแก่และหลุดร่วงก่อนอายุ ลำต้นอาจแคระแกร็น ลักษณะคล้ายกับอ้อยขาดแคลเซียมมาก ลำต้นเล็ก ปล้องสั้น

### 2.6.5 แคลเซียม

แคลเซียมเป็นส่วนประกอบของเซลล์ ซึ่งอยู่ในรูป calcium pectate อ้อยต้องการแคลเซียมในกระบวนการแบ่งตัวแบบไมโทซิส แคลเซียมเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ amylases, phospholipases, kinases และ ATPase

อ้อยขาดแคลเซียมจะทำให้เนื้อเยื่อเจริญส่วนยอดตาย ใบอ่อนจะมีอาการยอดงอบิดเบี้ยว และไหม้ที่ส่วนยอด และขอบใบจะมีแผลเล็กๆ สีขีด และมีจุดแห้งๆตรงกลาง ต่อมาแผลจะเปลี่ยน

เป็นสีน้ำตาลแดง เปลือกจะอ่อนนุ่มและเปราะ ถ้าจะพอมเร็ว การเจริญเติบโตจะลดลงและอ่อนแอ ถ้าขาดแคลเซียมอย่างรุนแรงการเจริญเติบโตจะหยุดชะงักและตายในที่สุด

#### 2.6.6 ซิลิคอน

บทบาทของซิลิคอนไม่ปรากฏแน่ชัด และไม่แสดงให้เห็นว่าเป็นธาตุจำเป็นสำหรับอ้อย แต่ถูกนับว่ามีบทบาทในขบวนการบางอย่าง อ้อยที่ขาดซิลิคอน เกิดจุกขาวเล็ก ๆ บนใบ หรือขีดยาวๆจะเป็นรุนแรงในใบแก่ อ้อยแตกกอลดลง ใบจะแก่ก่อนกำหนด

#### 2.6.7 โบรอน

โบรอนมีส่วนสำคัญในกระบวนการ metabolism เกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายน้ำตาล การสร้างโปรตีน และผนังเซลล์ อ้อยที่ขาดโบรอนความยาวของรากจะลดลงรวมทั้งน้ำหนักของปลายรากลดลง ระดับของ RNA และ soluble nucleotide ของอ้อยที่ขาดโบรอนจะอยู่ในระดับต่ำกว่าอ้อยที่ได้รับธาตุนี้อย่างพอเหมาะ และการขาดโบรอนยังทำให้ประสิทธิภาพของเอนไซม์แต่ละชนิดลดลงด้วย

อ้อยที่ขาดโบรอนจะมีใบม่วงงอ เนื่องจากเซลล์ไม่สามารถรักษาความเต่งไว้ได้ เส้นใบจะใส ต้นอ่อนจะเป็นพุ่มและแตกกอมาก ใบจะเปราะ ม้วนงอ มีสีซีด ต่อมาจะแห้งตาย อาการคล้ายๆโรคพริกกระบอง และคล้ายๆอ้อยที่ถูกสารเคมีกำจัดวัชพืช มีผู้สังเกตว่าอ้อยที่ขาดโบรอนจะมีหยดน้ำเล็กๆที่ออกมาจากใบเกาะอยู่ที่ผิวใบด้านบนที่ใบอ่อนจะมีจุดเล็กๆสีขาวเรียงกันอยู่ ในส่วนที่ขาดคลอโรฟิลล์เป็นเส้นขนานกับแกนกลางใบ ยอดหยุดการเจริญเติบโต ใบอ่อนจะมีขนาดเล็ก และสีซีดขาดคลอโรฟิลล์

#### 2.6.8 ทองแดง

ทองแดงมีความสำคัญต่อกิจกรรมต่างๆของเอนไซม์ ในขบวนการหายใจ และการสังเคราะห์แสง ทองแดงพบมากในวงเจริญ และแถบขี้ผึ้ง ส่วนบริเวณวงรากจะมีทองแดงน้อยกว่าบริเวณทั้งสอง ทองแดงจะพบที่บริเวณข้อมากกว่าบริเวณปล้อง และจะลดลงไปตามโคน การที่พบทองแดงสะสมมากในส่วนเจริญ เนื่องจากทองแดงเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของอ้อยและองค์ประกอบของโปรตีนในอ้อย

อ้อยที่ขาดทองแดงจะมีกอไม่สมบูรณ์ ยอดลู่ลงดิน ใบขาดคลอโรฟิลล์ ใบที่ยอดไม่สามารถคลี่ได้ตามปกติ จะเป็นทางสีเขียวอ่อน จนในที่สุดสีจะขาวซีด ใบจะบางเป็นแผ่นกระดาษและม้วนงอ ถ้าอาการรุนแรงลำอ้อยและเนื้อเยื่อเจริญจะสูญเสียความเต่ง ยอดเหี่ยว และการแตกกอจะลดลง

#### 2.6.9 คลอรีน

คลอรีนมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของอ้อย อ้อยแสดงการเจริญเติบโตลดลง เมื่อความเข้มข้นของน้ำยาปลูกลดลงจาก 10 เป็น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร คลอรีนมีความจำเป็นต่อ



ขบวนการปลดปล่อยออกซิเจน ในการสังเคราะห์แสง เป็นอนุมูลสำคัญใน cytoplasm และเกี่ยวข้องกับโพแทสเซียมในการรักษาความเต่งของอ้อย

อาการขาดคลอรีนและอาการคลอรีนเป็นพิษจากธาตุคลอรีนมากเกินไป มักจะแยกกันไม่ค่อยออก เนื่องจากจะมีใบอ่อนที่กำลังโผล่ออกมาแสดงอาการเหี่ยวเฉา โดยเฉพาะในวันที่มีอากาศร้อนและแสงแดดจัด แต่จะกลับเป็นปกติตรงกลางคืน อ้อยจะมีรากสั้นผิดปกติเหมือนกัน แต่ถ้าขาดคลอรีน อ้อยจะแตกรากแขนงมาก ถ้าคลอรีนมากจนเป็นพิษรากจะแตกแขนงเพียงเล็กน้อย

#### 2.6.10 แมงกานีส

แมงกานีสทำหน้าที่เป็นตัว activator ในเอนไซม์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขบวนการที่เกี่ยวข้องกับ Kreb's cycle และในการสังเคราะห์โปรตีน แมงกานีสมีส่วนช่วยในการสร้างเนื้อเยื่อสีเขียว และมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่ออ่อน

อ้อยที่ขาดแมงกานีสจะมีลักษณะอาการคล้ายกับขาดเหล็ก ซึ่งมักพบกับอ้อยที่ปลูกในดินที่มีปฏิกิริยาค่าง อ้อยจะมีสีเขียวซีดระหว่างเส้นใบ เริ่มจากยอดลงมาจนถึงกึ่งกลางใบ แถบสีเขียวนี้บางที่จะกลายเป็นสีขาวใบจะเปราะและแตกหักเมื่อมีลมพัด ถ้าอ้อยมีอาการขาดรุนแรงผลผลิตอ้อยจะลดลงอย่างมาก อ้อยอาจตาย

#### 2.6.11 เหล็ก

เหล็กเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ และโปรตีนบางชนิดที่ใช้ในปฏิกิริยา oxidation reduction เหล็กยังเป็น electron carrier ในขบวนการสังเคราะห์แสง และการตรึงไนโตรเจน เหล็กจะมีในส่วนของคอกมากที่สุดแล้วลามไปส่วนที่แก่กว่าโดยสีของใบระหว่างท่อน้ำจะซีดจางเป็นทาง ใบของต้นอ่อนของอ้อยดูเหมือนเป็นสีเขียวเป็นทางๆตามความยาวของใบ ถ้าอาการรุนแรงจะเห็นเป็นสีขาวทั้งกอ

อาการขาดเหล็กจะเกิดในดินค่าง เนื่องจากเหล็กจะอยู่ในรูปไม่ประโยชน์ ในดินโซดิกที่มีการระบายน้ำแล้ว จะทำให้รากอ้อยไม่พัฒนาและถูกทำลายเป็นบางส่วน อ้อยจะแสดงอาการขาดเหล็ก อ้อยที่ขาดเหล็กยังแสดงอาการอ่อนแอต่อเชื้อรา *Cerospora* sp. การขาดเหล็กอาจแก้ไขโดยการทำให้ ความเป็นกรดของดินลดลง หรือฉีดพ่นสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 1% อาการขาดเหล็กหายไปภายหลังฉีดพ่น 3 เดือน และทำให้อ้อยเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่วนอ้อยที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นจะแคระแกร็น และใบมีสีขาว

#### 2.6.12 สังกะสี

สังกะสีจำเป็นต่อขบวนการสังเคราะห์สารเร่งการเจริญเติบโตของอ้อย เช่น ไอเอเอ ปฏิกิริยาของ enzyme ต่างๆ จะมากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณสังกะสี ทำหน้าที่เป็น catalyst ใน

ปฏิกิริยาเพิ่มออกซิเจนของพืชสีเขียวต่างๆมีความสำคัญคือ การสร้างคลอโรฟิล และกิจกรรมต่างๆในขบวนการสังเคราะห์แสงของอ้อย

อ้อยที่ขาดสังกะสีจะมีแผลเป็นรอยขีดเส้นสีจางบนแผ่นใบ มีแถบสีเขียวจางทั้ง 2 ข้างของเส้นกลางใบ แต่ไม่แผ่ไปถึงขอบใบ ยกเว้น กรณีแสดงอาการรุนแรงสีจางจะเริ่มต้นจากเส้นใบเป็นทางยาวแถวๆขอบใบ โดยเริ่มจากยอดถึงกึ่งกลางใบ ระยะแรกระหว่างเส้นใบยังเขียวอยู่ แต่ต่อมาใบทั้งใบจะมีสีเขียวจนถึงฐานใบ ใบจะสั้นตรงกลางใบจะกว้าง และแผ่นใบ 2 ข้างไม่เท่ากัน ถ้ารุนแรงมากใบจะแห้ง การแตกกอลดลง ปล้องสั้น ถ้าอ้อยจะหอม อาจจะมีรสขมหรือความขี้ดหยุ่น

#### 2.6.13 กำมะถัน

กำมะถันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการสร้างกรดอะมิโนโปรตีน และวิตามิน เช่น biotin thiamine coenzyme A กำมะถันมีหน้าที่ในการสร้างคลอโรฟิล เป็นส่วนประกอบของ sulphhydryl group (-SH) ซึ่งเป็นส่วนที่ active ใน โมเลกุลของเอนไซม์

อ้อยที่ขาดกำมะถันจะมีสีเหลืองซีดคล้ายกับอาการขาดไนโตรเจน แต่ปลายใบไม่มีอาการไหม้ และอาการไม่รุนแรงเหมือนขาดไนโตรเจน ใบอ่อนซีดจางตลอดทั้งใบ อาจจะเขียวม่วงจางๆทั้งใบ ใบแคบและสั้นกว่าปกติ ถ้าอ้อยหอมเล็ก ไม่เจริญเติบโต

#### 2.6.14 โซเดียม

โซเดียมจัดเป็นธาตุที่ไม่จำเป็นสำหรับอ้อย ถึงแม้ว่าปกติจะพบในเซลล์อ้อยปริมาณเล็กน้อย บทบาทของโซเดียมในอ้อยยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจัง อ้อยที่ปลูกในดินเค็มจะมีการสะสมโซเดียมในลำและใบมาก ทำให้มีผลต่อแรงดัน osmotic และ การคายน้ำ ทำให้รากและยอดไม่เจริญเติบโต

อ้อยที่ปลูกในดินเค็มจะมีการสะสมโซเดียมจนเป็นพิษ ใบอ้อยจะแสดงอาการยอดและขอบใบแห้ง และเป็นแผลแห้งเกรียม อ้อยมีคลอโรฟิลลดลง และมีการสังเคราะห์แสงลดลง ทำให้ใบอ้อยสีเขียวจางด้วย อาการโซเดียมเป็นพิษจะเกี่ยวกับคลอรินเป็นพิษเช่นเดียวกัน

#### 2.6.15 อะลูมิเนียม

บทบาทของอะลูมิเนียมในอ้อยยังไม่เด่นชัด ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมเกิดจากความเข้มข้นของดิน อะลูมิเนียมจะละลายออกมาหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับ pH แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็กในสารละลายดิน อะลูมิเนียมเป็นพิษทำให้อ้อยขาดฟอสฟอรัสด้วย เนื่องจากฟอสฟอรัสจะตกตะกอนเป็น aluminophosphate อะลูมิเนียมเป็นพิษยังเกี่ยวกับดิน acid sulphate อะลูมิเนียมเกิดขึ้นในดินที่อะลูมิเนียมยึดครองมากกว่า 30% ของ CEC ในดินทรายที่ CEC

ต่ำ อะลูมิเนียมน้อยกว่านี้ก็แสดงความเป็นพิษได้ในดินกรด (pH ต่ำกว่า 5.2) อะลูมิเนียมสามารถไล่ที่แคลเซียมได้

อ้อยที่มีอาการอะลูมิเนียมเป็นพิษจะแตกรากแขนงน้อย และรากแขนงที่แตกออกมากจะมีปลายรากบวมผิดปกติ คล้ายๆรากที่ถูกเข้าทำลายโดยไส้เดือนฝอย อ้อยจะดูดน้ำและธาตุอาหารน้อยลง เมื่อฝนทิ้งช่วงหรือความชื้นในดินลดลง อ้อยจะแสดงอาการขาดน้ำอย่างรุนแรง

## 2.7 คำมาตรฐานความเหมาะสมของดินที่ปลูกอ้อย

ดินที่มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อยต้องมีปริมาณธาตุอาหารต่างๆในช่วงที่เหมาะสมดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คำมาตรฐานความเหมาะสมของดินที่ปลูกอ้อย

คุณสมบัติต่างๆ	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
ค่า pH	5.6-7.3	ต่ำกว่า 4 และสูงกว่า 8
อินทรีย์วัตถุ (OM%)	1.5-2.5	ต่ำกว่า 1
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P, mgkg <sup>-1</sup> )	10-20	ต่ำกว่า 10
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K, mgkg <sup>-1</sup> )	80-150	ต่ำกว่า 80
แคลเซียม (Ca, cmol/kg)	0.55-1.25	ต่ำกว่า 0.55
แมกนีเซียม (Mg, cmol/kg)	0.1-0.25	ต่ำกว่า 0.1
ทองแดง (Cu, mgkg <sup>-1</sup> )	มากกว่า 0.2	ต่ำกว่า 0.2
สังกะสี (Zn, mgkg <sup>-1</sup> )	มากกว่า 0.6	ต่ำกว่า 0.6
การแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC, cmol/kg)	มากกว่า 15	ต่ำกว่า 5
ความเค็ม (EC, dS/m)	ต่ำกว่า 2.5	มากกว่า 5
การอิ่มตัวด้วยด่าง (BS, %)	มากกว่า 75	ต่ำกว่า 35
ความลึกของหน้าดิน (cm)	มากกว่า 100	น้อยกว่า 50
ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน (cm)	มากกว่า 160	น้อยกว่า 50

ที่มา : ปรีชา และคณะ, 2543

## 2.8 การปลูกและดูแลรักษาอ้อย

### 2.8.1 การเตรียมดิน

ในสภาพดินที่มีชั้น plow pan การไถด้วยไถดินลึก (subsoiler) เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้อ้อยสามารถไว้ตอได้นานหลายปี แต่ในกรณีที่ดินไม่มีชั้น plow pan ก็ไม่จำเป็นต้องไถดินลึก เพียงแต่

ไถงานให้ลึกประมาณ 60 เซนติเมตรก็เพียงพอ แต่ในกรณีที่มีดินดาน (hard pan) อยู่ใต้ดิน การใช้ไถสั่ว (chisel) จะช่วยให้ทำลายชั้นดินดานได้ ช่วยให้รากอ้อยแผ่ลึกเพื่อดูดอาหารได้ดีขึ้น เมื่อไถด้วยไถงานจนดินร่วนแล้วกร่อง โดยให้จุดกึ่งกลางร่องห่างกันเท่าระยะปลูกของอ้อย

### 2.8.2 การเตรียมท่อนพันธุ์

ควรใช้ท่อนพันธุ์อายุไม่เกิน 8 เดือน เพราะถ้าอ้อยอายุเกินกว่านี้ตาล่างจะไม่งอกหรือออกช้ำ ควรใช้ท่อนพันธุ์ที่ปราศจากโรค แมลง นำท่อนพันธุ์ที่ได้มาตัดเป็นท่อนให้ท่อนหนึ่งมีตาอยู่ 2 ตา เมื่อไว้ถ้าหนึ่งไม่งอกอีกตาหนึ่งจะไ้งอกแทน การขนส่งอ้อยที่เป็นท่อนพันธุ์ อย่าลอกกาบ เพราะจะทำให้ตาอ้อยบอบช้ำ ก่อนปลูกจึงลอกกาบออก และถ้าปลูกไม่เสร็จภายในวันนั้น ควรกองไว้แล้วรดน้ำให้ชุ่มจนตาปริจะช่วยให้เปอร์เซ็นต์งอกดีขึ้น

### 2.8.3 ระยะปลูก

การกำหนดระยะปลูก กำหนดโดยชนิดพันธุ์ที่ใช้ โดยทั่วไปนิยมใช้ระยะปลูกระหว่างแถวตั้งแต่ 100 ถึง 130 เซนติเมตร ส่วนระยะระหว่างคันนิยมใช้ 50 เซนติเมตร

### 2.8.4 การปลูก

ก่อนปลูกควรแช่ท่อนพันธุ์ลงในน้ำร้อน 50-52 องศาเซลเซียส 2-2.5 ชั่วโมง ก่อนปลูกจะช่วยป้องกันโรคที่ติดมากับท่อนพันธุ์ได้ดี (ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, 2543) หรืออาจแช่ท่อนพันธุ์ในสารเคมีฆ่าเชื้อราก่อนปลูก ถ้าใส่ปุ๋ยรองพื้นอย่าให้ท่อนพันธุ์สัมผัสกับปุ๋ยในร่อง เพราะจะทำให้อ้อยงอกช้า ในแหล่งที่มีปลวกมากควรพ่นยากันปลวกบนท่อนพันธุ์ก่อนกลบดิน ใช้ยา คีลกริน หรือ คีลเคิร์กซ์ ผสมน้ำพ่นก่อนกลบดิน

การวางท่อนพันธุ์ให้วางชิดกันน้อยกว่า 50 เซนติเมตร การกลบดินไม่ควรกลบหนา แต่ประมาณ 2.5 เซนติเมตรก็พอ ถ้าหนาอ้อยจะงอกช้า แต่ถ้าปลูกในปลายฤดูฝนให้กลบหนาประมาณ 5 เซนติเมตร จะช่วยเก็บความชื้นไว้ได้นานจนกระทั่งอ้อยงอก

## 2.9 โรคและแมลง

### 2.9.1 โรคที่สำคัญ ได้แก่

2.9.1.1 โรคใบขาว เกิดจากเชื้อมายโคพลาสมา

2.9.1.2 โรคเส้ดำ เกิดจากเชื้อรา

2.9.1.3 โรคเหี่ยวเน่าแดง เกิดจากเชื้อราหลายชนิดเข้าทำลายพร้อมกันในแปลงที่แฉะและมีน้ำขัง

2.9.1.4 โรคคอแคระแกร็น เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย

2.9.1.5 โรคกอดตะไคร้ เกิดจากเชื้อมายโคพลาสมา

### 2.9.2 การป้องกันและกำจัดโรคอ้อย

- 2.9.2.1 กำจัดคออ้อยเก่าออกจากแปลงให้หมดก่อนปลูกอ้อยใหม่
- 2.9.2.2 เลือกปลูกพันธุ์ที่มีความต้านทานโรคในท้องถิ่น
- 2.9.2.3 ปลูกอ้อยที่แข็งแรงสมบูรณ์ปราศจากโรคต่างๆที่อาจแฝงอยู่ในท่อนพันธุ์
- 2.9.2.4 หมั่นตรวจแปลงอย่างสม่ำเสมอเมื่อพบต้นที่เป็นโรคให้ขุดทำลายเสีย
- 2.9.2.5 ทำลายแปลงอ้อยที่เป็นโรครุนแรง
- 2.9.2.6 บำรุงรักษาอ้อยอย่างถูกวิธี
- 2.9.3 แมลงศัตรูอ้อยที่สำคัญ ได้แก่
  - 2.9.3.1 หนอนกอชนิดต่างๆ คือหนอนกอลาย หนอนกอสีขาว และหนอนกอสีชมพู
  - 2.9.3.2 ปลวก
  - 2.9.3.3 ค้างคาวคยว
- 2.9.4 การป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูอ้อย
  - 2.9.4.1 เลือกปลูกพันธุ์ที่ค่อนข้างต้านทานแมลงและเหมาะสมกับท้องถิ่น
  - 2.9.4.2 ใช้ปุ๋ยที่เหมาะสม และไม่ปล่อยให้วัชพืชขึ้นรกในไร่อ้อยพยายามตรวจไร่อ้อยสม่ำเสมอ
  - 2.9.4.3 เมื่อพบแมลงเข้าทำลายควรทราบชื่อแมลงก่อน แล้วสำรวจปริมาณแมลง โดยดูจากลักษณะการทำลาย
  - 2.9.4.4 เมื่อพบการระบาดมากถึงขั้นจะทำให้อ้อยเสียหาย จึงตัดสินใจเลือกวิธีการป้องกัน กำจัดที่เหมาะสม เช่น ใช้สารฆ่าแมลง หรือวิธีการอื่นๆ
  - 2.9.4.5 การใช้สารฆ่าแมลงต้องทำให้ถูกวิธีกับชนิดของแมลงที่ระบาดและใช้ตามอัตราที่แนะนำไว้
  - 2.9.4.6 พยายามหลีกเลี่ยงการทำลายแมลงศัตรูธรรมชาติที่เป็นประโยชน์ในไร่อ้อยให้มากที่สุด

(<http://www.doae.go.th/plant/sugar.htm>)