

# บทที่ 15

## ผลกระทบเนื่องจกค่าความไว ของน้ำและโหนิขิต์ต่อกรหนิ

### 15.1 คำนำ

น้ำในเซลล์ของสิ่งที่มีชีวิตมีหน้าที่พื้นฐานสี่ประการคือ (1) เป็นสารปฏิกิริยา โดยตรงในเซลล์ เช่น เข้าไปรวมในขบวนการไฮโดรไลสและคอนเคนเซชัน (2) ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายสำหรับสาร เมตาโบไลต์ที่ขมุนกันอยู่ภายในเซลล์ เช่น กรดอะมิโนต่าง ๆ และความเข้มข้นของ เมตาโบไลต์สามารถทำให้เกิดความวิกฤตในการควบคุม เมตาโบลิซึม (3) มีบทบาททางกลไกในการรักษาไว้ซึ่งความเต่งของ เซลล์อื่นเนื่องมาจากความดัน ไฮโดรสแตติกที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ (4) มีหน้าที่เกี่ยวข้องของ เป็นโครงสร้างของ เซลล์ เช่น การไฮเดรชันของโปรตีนและเป็นส่วนประกอบอย่างอื่นของเซลล์ หน้าที่สุดท้ายนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของน้ำในการทำไฮโดร เจนบอนด์กับหมู่ที่เป็นขั้ว (polar group) ถึงแม้ว่าน้ำจะมีความจำเป็นต่อการ เจริญเติบโตแต่ความแห้งก็ไม่จำเป็นคงทำให้ชีวมวลตายได้

น้ำที่เซลล์อาจนำมาใช้ได้มักถูกแสดงออกในรูปของแรงดันออสโมซิส (osmotic pressure) โหนิขิต์ (tonicity) ของสื่อกลางอาหารหรือค่าความไวของน้ำ (water activity) แรงดันออสโมซิสมีความหมายต่อเซลล์ที่กำลัง เจริญเติบโตและเชื้อจุลินทรีย์เพียงเล็กน้อยเว้นแต่เมื่อมีการตรวจสอบว่า เซลล์สามารถทนทานต่อความแตกต่างของแรงดันระหว่าง เยื่อพลาสมาไคหรือไม โหนิขิต์หรือค่าความไวของน้ำมีความหมายต่อปริมาณน้ำที่เซลล์อาจนำมาใช้ได้มากกว่า

คำว่าความแข็งแรงไอออน (tonic strength) อาจถูกใช้ได้อย่างหนาย ๆ ในแง่ของวิชาจุลชีววิทยาเพื่ออ้างถึงความเข้มข้นของเกลือ แต่ไม่คอยได้ใช้ในแง่ของวิชาเคมีฟิสิกส์ ความแข็งแรงไอออนถูกกำหนดโดยคือ

$$i = 0.5(m_1z_1^2 + m_2z_2^2 + \dots + m_nz_n^2)$$

ซึ่ง  $m_1, m_2$  ฯลฯ และ  $z_1, z_2$  ฯลฯ คือค่าโมลาไลต์และวาเลนซ์ตามลำดับของไอออนในสารละลาย การวัดค่าความแข็งไอออน ( $i$ ) เป็นการวัดค่าความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าอันเนื่องมาจากไอออนในสารละลาย (Glasstone & Lewis, 1964, p.510) สนามไฟฟ้านี้มีอิทธิพลต่อกิจกรรมของทั้งไอออนและโมเลกุลที่ปรากฏอยู่ในสารละลาย ความสำคัญของ  $i$  ได้ถูกรวบรวมไว้ในตอนที่ 15.10

### 15.2 ค่าจำกัดความเกี่ยวกับค่าความไวของน้ำ

ค่าความไวของน้ำในสารละลายอาจถูกแสดงออกในรูปของแรงดันไอไอน้ำโดยวิธีทางเดียวกันกับค่าความไวของแก๊สเช่น ออกซิเจนในสารละลายถูกแสดงออกเป็นความดันของแก๊สอย่างไรก็ตามเป็นที่สะดวกกว่าในการทำให้สัมพันธ์กันระหว่างค่าความไวของน้ำในสารละลาย ( $a_w$ ) กับในน้ำบริสุทธิ์ ค่าความไวของน้ำในสารละลายถูกแสดงออกเป็นส่วนหนึ่งของแรงดันไอน้ำของสารละลาย ( $p_s$ ) ต่อแรงดันไอน้ำของน้ำบริสุทธิ์ ( $p_w$ ) ที่อุณหภูมิเดียวกันคือ

$$a_w = p_s/p_w \quad 15.2$$

จึงเป็นไปได้ว่า  $a_w$  คือค่าความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่สมดุลกับสารละลาย

### 15.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไวของน้ำ กับความเข้มข้นของสิ่งที่ละลาย

ตามกฎของ Raoult สำหรับสารละลายที่เป็นนอนอัสเล็คโตไลต์อย่างสมบูรณ์แบบการลดลงสัมพัทธ์ของค่าความดันไอสารที่เป็นตัวทำละลายจะเท่ากับส่วนโมลาร์ของสารละลายในสารละลายนั้น นั่นก็คือ

$$(p_w - p_s)/p_w = n/(n+N) \quad 15.3$$

ซึ่ง  $n$  = จำนวนโมลของสารละลายและ  $N$  = จำนวนโมลของน้ำที่เป็นสารทำละลายในสารละลายนั้น จากสมการที่ 15.2 และ 15.3 จะได้ว่า

$$a_w = 1 - n/(n+N) \quad 15.4$$

หรือ

$$a_w = N/(n+N) \quad 15.5$$

แต่ถ้าสารที่ถูกละลายเป็นสารอิเล็กโทรไลต์แทนที่จะใช้ค่า  $n$  ก็ใช้ค่า  $\nu n$  ซึ่ง  $\nu$  คือจำนวนไอออนต่อโมเลกุล และถ้าสารที่ถูกละลายนั้นไม่แสดงพฤติกรรมอย่างสมบูรณ์แบบจำนวนที่แท้จริงของสูตรสารที่ถูกละลายจะปรากฏเป็นค่า  $\phi \nu n$  ซึ่ง  $\phi$  คือสัมประสิทธิ์ออสโมซิส (osmotic coefficient) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปในตอนที 15.4

#### 15.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไวของน้ำกับแรงดันออสโมซิส

ตามสมการของ Van't Hoff แรงดันออสโมซิส  $\pi$  ของสารละลายที่เป็นนอนอิเล็กโทรไลต์อย่างสมบูรณ์แบบถูกกำหนดก็คือ

$$\pi V = nRT \quad 15.6$$

ซึ่ง  $V$  คือปริมาตรของสารละลาย  $n$  คือจำนวนโมลของสารที่ถูกละลาย  $R$  คือค่าคงที่ของแก๊ส และ  $T$  คืออุณหภูมิเป็นองศาสมบูรณ์ แต่ยังมีสมการที่แม่นยำกว่านี้คือสมการของ Morse จะได้ว่า

$$\pi V' = nRT \quad 15.7$$

ซึ่ง  $V'$  คือปริมาตรของสารละลาย ถ้าสารที่ถูกละลายมีการแตกตัวเป็นไอออนจะใช้  $\nu n$  แทน  $n$  ซึ่ง  $\nu$  คือจำนวนไอออนจากแต่ละโมเลกุลของสารที่ถูกละลาย สำหรับสารที่ถูกละลายซึ่งไม่สมบูรณ์แบบแรงดันออสโมซิสก็อาจคงแก้ไขด้วยค่าสัมประสิทธิ์ออสโมซิส  $\phi$  คือ

$$\pi V' = \phi \nu n RT \quad 15.8$$

ความแตกต่างไปจากพฤติกรรมที่สมบูรณ์แบบของสารที่ถูกละลายเป็นผลกระทบจากความต่างระดับในการรวมตัวกันอันเนื่องมาจากว่าเลนซ์ชั้นหุ้ญมิระหว่างโมเลกุลต่าง ๆ ของสารละลาย ระหว่างโมเลกุลต่าง ๆ ของสารที่ถูกละลาย และระหว่างโมเลกุลต่าง ๆ ของสารละลายกับสารที่ถูกละลาย การรวมตัวกันระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกละลายทำให้  $\phi < 1$  แต่การรวมตัวกันระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกละลายกับน้ำซึ่งเป็นสารละลายทำให้  $\phi > 1$

ถ้า  $V'$  ในสมการที่ 15.7 ถูกแสดงค่าเป็นลิตรของน้ำก็จะทำให้ค่า  $n/V'$  เท่ากับโมลาลิตี (ถึงแม้ว่าโมลาลิตีที่เข้มงวดจะเท่ากับโมล/ก.ก.ของน้ำ) และสมการที่ 15.7 จึงกลายเป็น

$$\pi = mRT \quad 15.9$$

ซึ่ง  $m$  = molality ถ้า  $m=1$ ,  $R=0.0821$  litre.atm deg<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup> ที่ 0° ซ จะพบว่า  $\pi=22.4$  atm เป็นที่น่าสังเกตกว่า  $\pi$  เป็นสัดส่วนโดยตรงต่ออุณหภูมิที่เป็นองศาสมบูรณ์ ดังนั้นที่ 30° ซ สารละลาย 1 ออสโมลาล (osmolar) จะใช้แรงดันออสโมซิสเท่ากับ 24.85 บรรยากาศ (atm)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไวของน้ำกับแรงดันออสโมซิสได้มาจากกฎเทอร์โมไดนามิกต่าง ๆ ดังในตอนที่ 15.11 คือ

$$\pi = -\frac{RT}{V} \ln a_w \quad 15.10$$

ซึ่ง  $V$  คือปริมาตรของน้ำ 1 โมล แทนค่าสำหรับ  $\pi$  ในสมการที่ 15.9 จะได้ว่า

$$m_0 = \nu m \phi = -(1/V) \ln a_w \quad 15.11$$

ซึ่ง  $m_0$  คือค่าออสโมลาลิตี (osmolality) ที่แท้จริง เปลี่ยนค่าลอการิทึมเป็นฐาน 10 และใส่ค่า  $V=0.0181$ /mol จะได้ว่า

$$m_0 = -128 \log a_w \quad 15.12$$

### 15.5 การวัดค่าโตนิตีและค่าความไวของน้ำ

มีวิธีการซึ่งสะดวกวิธีสำหรับการวัดค่าโตนิตีหรือค่าออสโมลาลิตีหรือค่าความไวของน้ำในสื่อกลางอาหารดังต่อไปนี้คือ

1. ค่าสัมประสิทธิ์ออสโมซิส  $\phi$  ของเกลือสามัญหลายชนิดและของส่วนประกอบอื่น ๆ ในสื่อกลางอาหารอาจได้จากตารางทางฟิสิกส์ (Robinson & Stokes, 1959) จากค่าต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้สามารถคำนวณค่าออสโมลาลิตีที่แท้จริงของสื่อกลางอาหารได้
2. การลดจุดเยือกแข็งของสารละลาย ( $\Delta T$ ) เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อออสโมลาลิตีที่แท้จริง คือ  $m_0 = K \Delta T$  ค่าคงที่  $K$  อาจหาได้จากตารางทางฟิสิกส์ วิธีการนี้ใช้ได้กับสื่อกลาง

ที่มีส่วนประกอบซึ่ง ไม่ตกผลึกเสียก่อนที่จะถึงจุดเยือกแข็ง

3. วิธีการทาง **isopiestic method** เป็นการตรวจสอบว่าไอน้ำมีแนวโน้มที่จะระเหยออกจากสารละลายตัวอย่างไปยังสารละลายมาตรฐานซึ่งทราบค่าไอน้ำที่อิ่มตัวหรือไม่ หรือว่ามีแนวโน้มในทางกลับกัน

4. วิธีการวัดหาจุดน้ำค้าง (**dew point**) บรรยากาศในเครื่องมือวัดหาจุดน้ำค้าง ถูกทำให้สมดุลย์กับกับสารละลายสื่อกลางตัวอย่าง ความดันไอของสารละลายสามารถคำนวณหาได้จากค่าจุดน้ำค้าง วิธีการนี้ได้ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นจนสามารถตรวจสอบหาค่าความไวของน้ำได้ด้วยความละเอียดถึง  $\pm 0.003$  (**Anagnostopoulos, 1973**)

วิธีการ ตรวจสอบหาจุดน้ำค้าง เหมาะที่สุดสำหรับสารละลายที่มีค่าไอน้ำที่อิ่มตัวสูง แต่วิธีการตรวจสอบหาจุดเยือกแข็งให้ความแม่นยำกว่าสำหรับสารละลายที่เจือจาง

### 15.6 การใช้คำว่าไอน้ำที่อิ่มตัวและค่าความไวของน้ำ

ค่าความไวของน้ำเป็นตัวแปร เสริมทาง คณิตศาสตร์ที่มีประโยชน์ในการศึกษาเกี่ยวกับสื่อกลางอาหาร เชื้อจุลินทรีย์และโคโย เฉพาะในการศึกษาเกี่ยวกับการป้องกันการเน่าเสีย เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีการทำให้มีค่าความไวของน้ำต่ำ ในระบบเช่นนี้ความสัมพันธ์ซึ่งสามารถถูกทำให้สมดุลย์กับกับค่าความไวของน้ำก็จะมีผลสำคัญด้วย ในสื่อกลางอาหารที่เจือจาง เพื่อการเพาะเลี้ยง เชื้อจุลินทรีย์และ เซลล์ เนื้อเยื่อมักมีค่าความไวของน้ำแตกต่างกันเพียง เล็กน้อยจึง เหมาะที่จะแสดงความสัมพันธ์ของน้ำในรูปของไอน้ำที่อิ่มตัวโดยแสดงออกเป็นค่าออสโมลาลิตีที่แท้จริง ( $m_o$ )

### 15.7 ไอน้ำที่อิ่มตัวของของเหลวภายในเซลล์

การศึกษาคาร์บวมเต่งของโพรโทพลาสต์ในเซลล์แบคทีเรียในสื่อกลางซึ่งมีไอน้ำที่อิ่มตัวแตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าโพรโทพลาสต์มีพฤติกรรมคล้ายออสโมมิเตอร์ (**Gillby & Few, 1959**) เซลล์ของ ***Escherichia coli*** จะบวมเต่งหรือเหี่ยวลงก็ขึ้นอยู่กับไอน้ำที่อิ่มตัวของสื่อกลาง และปรากฏการณ์นี้ได้ถูกใช้ประยุกต์เพื่อศึกษาถึงการซึมผ่านเข้าไปภายในเซลล์

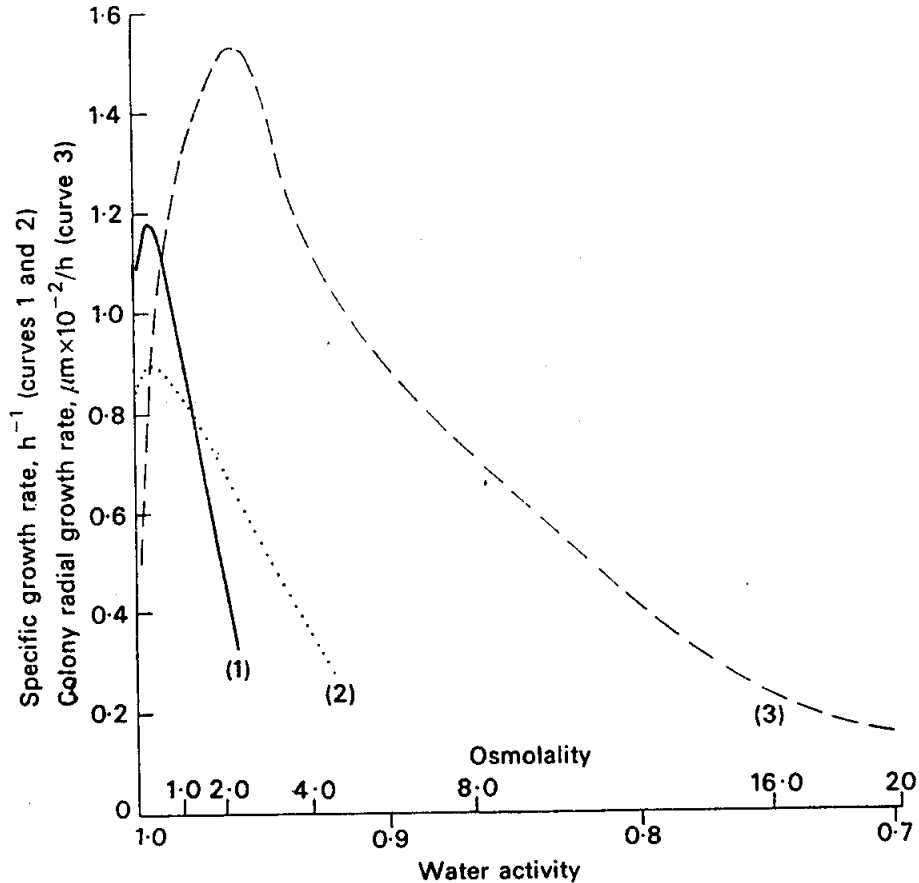
แบคทีเรียโดยสารที่ถูกละลาย(Mitchell & Moyle, 1956) เนื่องจากปรากฏว่าผนังเซลล์ของ E. coli ปึกหนูนไค์แตกต่างจากของพวกไมโครค็อกไซซึ่งมีผนังเซลล์ที่แข็ง ไม่ยอมให้เซลล์เปลี่ยนแปลงปริมาณไค์จากผลทั้งหมดนี้ชี้แสดงให้เห็นว่ามีความสมดุยกกันระหว่างค่าความไวของน้ำภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์

โทนิซึ่ภายในเซลล์ของ E. coli ถูกพบว่าเท่ากับ 0.6 ออสโมลาลต์ของ Micrococcus คือ 0.1 ออสโมลาลต์(Mitchell & Moyle, 1956) เมื่อเทียบเป็นแรงดันออสโมซึ่ที่ 30 ช จะไค์เท่ากับ 15 และ 25 มบรรยากาศตามลำดับ ค่าซึ่งสูงกว่าสำหรับไมโครค็อกคัสสอดคล้องกันกับความสามารถในการเจริญเติบโตในสื่อกลางอาหารที่มีค่าโทนิซึ่สูงกว่าสำหรับ E. coli อย่างไรก็ตามยังไม่ไค้มีการศึกษาว่าค่าโทนิซึ่ภายในเซลล์ไค้รับผลกระทบมาจากสภาวะต่าง ๆ ในการเจริญเติบโตหรือไม่

#### 15.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วในการเจริญเติบโตกับค่าโทนิซึ่และค่าความไวของน้ำในสื่อกลางอาหาร

โทนิซึ่ที่เหมาะสมของสื่อกลางอาหารไค้ได้รับความสนใจกันเพียงเล็กน้อยและมีกัสนิษฐานกันว่ามีความเหมือนกันโดยประมาณกับน้ำเกลือทางสรีรวิทยาสำหรับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ความคิดเห็นเช่นนี้ไค้รับผลสะท้อนเนื่องมาจากวิชาจุลชีววิทยาไค้เริ่มต้นมาจากวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับทางการแพทย์ ตัวเลขเกี่ยวกับอิทธิพลจากค่าความไวของน้ำและโทนิซึ่ของสื่อกลางต่ออัตราความเร็วในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ไค้ให้ไว้ในรูปที่ 15.1 และตารางที่ 15.1 ชี้แสดงให้เห็นว่าค่าโทนิซึ่ที่เหมาะสมต่ออัตราความเร็วในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อาจแตกต่างจากที่เข้าใจกันว่าเท่ากับค่าโทนิซึ่ของน้ำเกลือทางสรีรวิทยา (0.9% โซเคียมคลอไรด์) เชื้อรา Aspergillus amstelodami ไค้ชื่อว่าเป็นพวกซีโรฟิลิก(xerophilic) เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตในสภาพที่มีค่าความไวของน้ำต่ำมากไค้ จุลินทรีย์ที่ทนทานที่สุดต่อสภาพซึ่งมีค่าความไวของน้ำต่ำคือ ออสโมฟิลิกยีสต์เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตในสภาพที่มีค่าความไวของน้ำต่ำสุดไค้ถึง 0.6 ค่าความไวของน้ำที่เหมาะสมต่ออัตราความเร็วในการเจริญเติบโตของ A. amstelodami ขึ้นอยู่กับสิ่งที่ใช้ในการควบคุมโทนิซึ่ โดยที่มีค่าสูงสุดของอัตราความเร็ว

ในการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสิ่งที่ถูกละลายและลดลงตามชนิดของสิ่งที่ถูกละลาย ในลำดับที่ให้ไว้ดังต่อไปนี้ คือ น้ำตาลทราย น้ำตาลกลูโคส แมกนีเซียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ และกรีเซอรอลเป็นลำดับเรียงลงมา (Scott, 1957)



รูปที่ 15.1 Specific growth rates as functions of water activity and tonicity of the medium. Curve 1, *Salmonella newport* from data of Christian & Scott (1953); curve 2, *Staphylococcus aureus* from data of Scott (1953); curve 3, *Aspergillus amstelodami* from data of Maguire & Scott quoted by Scott (1957) (redrawn with permission of Academic Press). Real osmolalities calculated from,  $m_o = -128 \log a_w$ .

ตารางที่ 15.1 Optimal and minimal water activities and corresponding tonicities required for growth of some organisms

Organism	Water activity		Tonicity ( $m_o^*$ )	
	optimum	minimum	optimum	maximum
<i>Pseudomonas fluorescens</i> <sup>[1]</sup>	0.999	0.96	0.05	2.3
<i>Klebsiella aerogenes</i> <sup>[2]</sup>	0.999	0.95	0.05	2.9
<i>Salmonella newport</i> <sup>[3]</sup>	0.994	0.95	0.28	2.9
<i>Staphylococcus aureus</i> <sup>[3]</sup>	0.994	0.86	0.28	8.4
<i>Aspergillus niger</i> <sup>[3]</sup>	0.975	0.86	1.28	8.4
<i>Aspergillus amstelodami</i> <sup>[3]</sup>	0.96	0.70	2.15	19.8
Mouse L cells <sup>[4]</sup>	0.995	0.993	0.30	0.40

\* Real osmolality

<sup>[1]</sup>Wodzinski & Frazier (1960), <sup>[2]</sup>Wodzinski & Frazier (1961), <sup>[3]</sup>Scott (1957), <sup>[4]</sup>Pirt & Thackeray (1964)

### 15.9 ผลกระทบเนื่องจากโชนิซิตีคือเมตาโบลิซึมและส่วนประกอบของเซลล์

การเพิ่มขึ้นของโซเคียมคลอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของสื่อกลางอาหารในการเพาะเลี้ยง เชื้อจุลินทรีย์ทำให้ปริมาณโปแตสเซียมในเซลล์ของ *Klebsiella aerogenes* เพิ่มขึ้นเป็นหลายเท่า (Tempest & Meers, 1968) ทั้งนี้ค่าของพีชผลหรือประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตจากโปแตสเซียมจึงขึ้นอยู่กับปริมาณโซเคียมคลอไรด์ในสื่อกลางอาหาร ผลลัพธ์เช่นนี้ปรากฏว่าขึ้นอยู่กับค่าโชนิซิตีมากกว่าขึ้นอยู่กับโซเคียมคลอไรด์โดยเฉพาะ (Christian & Waltho, 1964)

ส่วนประกอบหนึ่งเซลล์ของ *Bacillus subtilis* ขึ้นอยู่กับปริมาณโซเคียมคลอไรด์ในสื่อกลางอาหารเพื่อการเจริญเติบโต กับการเจริญเติบโตที่จำกัดพอสเฟดเมื่อมีพีเอชเป็นกลางและความเข้มข้นของโซเคียมคลอไรด์ < 1% ผนังเซลล์จะมีกรดเทอิกูโรนิกเป็นโพลีเมอร์ส่วนใหญ่ แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของโซเคียมคลอไรด์ในสื่อกลางอาหารจาก 1% ถึง 6% กรดเทอิกูโรนิกจะถูกแทนที่ด้วยกรดเทอโคลิก (Ellwood, 1971)



เมื่อค่าความไวของน้ำในสื่อกลางอาหารสำหรับ Staphylococcus aureus ถูกทำให้ลดลงจาก 0.993 ถึง 0.90 โดยการเติมโซเดียมคลอไรด์จะทำให้ปริมาณน้ำภายในเซลล์ลดลงประมาณ 50% และทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์และกรกอะมีโนในกองกลางในเซลล์เพิ่มขึ้น (Christian & Waltho, 1964) ในสื่อกลางอาหารที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์สูงจะทำให้ความเข้มข้นของ แอล-โพรลีนในกรกอะมีโนกองกลางของแบคทีเรียบางชนิดเพิ่มขึ้น (Christein & Hall, 1972) พวกฮาโลฟิลิกแบคทีเรีย (Larsen, 1967) ต้องการโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงถึงขนาดหนึ่ง (5 ถึง 25%) จึงจะสามารถเจริญเติบโตได้ ความต้องการนี้ไม่เพียงแต่เพื่อทำให้มีค่าโพเทนเชียลสูงเท่านั้น แต่ยังเพื่อทำให้มีความเข้มข้นสูงของโลหะอัลคาไลคลอไรด์โดยเฉพาะอีกด้วย ในเซลล์แบคทีเรียเหล่านี้มีปริมาณโปแตสเซียม โซเดียม และคลอไรด์ไอออนสูงมากอย่างผิดปกติและยังมีเอนไซม์ที่ผิดปกติในแง่ที่ต้องการโซเดียมและโปแตสเซียมคลอไรด์เข้มข้นสูง เพื่อที่จะทำงานได้อีกด้วย

โซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงช่วยเพิ่มพลังงานเพื่อการทำนุบำรุงของยีสต์ในตอนที่ 8.3.3 และเปลี่ยนแปลงขบวนการแอนแอโรบิคเมตาโบลิซึมของน้ำคาลกลูโคสให้ได้เป็นกลีเซอรอลแทนที่จะเป็นอีทานอล (Watson, 1970 ; Tajima Yoshizumi, 1972)

#### 15.10 กลไกเกี่ยวกับผลกระทบเนื่องจากโพเทนเชียล

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายในสื่อกลางอาหาร ถ้าไม่ชี้เฉพาะลงไปว่าขึ้นอยู่กับค่าความไวของน้ำหรือความแข็งไอออน (*i*) คงได้กำหนดไว้ในสมการที่ 15.1 อย่างใดอย่างหนึ่งแล้ว โดยทั่วไปก็จะไม่ทราบว่าปัจจัยใดในสองอย่างนี้มีผลกระทบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแก่เชื้อจุลินทรีย์ จากการศึกษาเบื้องต้น (Pirt, 1975, p. 153) ถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโพเทนเชียลด้วยการเติมอิเล็กโทรไลต์และนอน-อิเล็กโทรไลต์ต่าง ๆ ลงไปในสื่อกลางอาหารเพื่อการเจริญเติบโตของ Klebsiella aerogenes ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราการเร็วในการเจริญเติบโตกับแข็งไอออนทั้ง ๆ ที่อัตราการเร็วในการเจริญเติบโตมีความสัมพันธ์กันกับค่าความไวของน้ำในตัวเองเดียวกันกับที่ได้แสดงไว้โดย Salmonella (รูปที่ 15.1)

ยังไม่มียหลักฐานแสดงว่าความถี่ของเซลล์ *per se* มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตถึงแม้ว่าในสื่อกลางที่เป็นไฮโปโทนิกจะมีผลกระทำทำให้เซลล์แตกสลายปรากฏการณ์เช่นนี้อาจเกิดขึ้นได้กับจุลินทรีย์พวกไมโคพลาสมาส์และเซลล์สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเนื่องจากไม่มีผนังเซลล์ป้องกันอันตรายให้แก่เยื่อหุ้มพลาสมาหรือกับเซลล์ที่มีผนังเซลล์อ่อนแอ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นหรือความเจือจางของสารเมตาโบไลต์ของกลางในเซลล์ซึ่งได้รับอิทธิพลจากแรงดันออสโมซิสอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโตนิกิตี้ของสื่อกลางอาจมีผลกระทำต่อการควบคุมเมตาโบลิซึมโดยกลไกแห่งการย้อนกลับและการสีก การไหลออกของน้ำจากเซลล์หรือความแห้งอาจมีผลต่อการรูปร่างและการสมคลอยตามกันของสารประกอบโมเลกุลใหญ่จึงมีอิทธิพลต่อหน้าที่และการทำงานของสารประกอบโมเลกุลใหญ่เหล่านั้น

ยังไม่มียหลักฐานแสดงว่าสนามไฟฟ้าที่ค่าพีเอชหนึ่งซึ่งได้รับผลจากความแข็งไอออนมีความสำคัญนอกเหนือจากที่มีผลกระทำต่อค่าความไวของน้ำ

ความสามารถของไอออนในการรวมตัวเข้ากับโมเลกุลของน้ำและลดค่าความไวของน้ำได้ถูกเรียงเป็นลำดับโดย Hofmeister ดังต่อไปนี้ สำหรับแอนไอออนคือ ซัลเฟต > อะซีเตต > คลอไรด์ > ไนเตรต และสำหรับแคตไอออนคือ แมกนีเซียม > แคลเซียม > ลิเทียม > โซเดียม > โพแทสเซียม อย่างไรก็ตามแอนไอออนมีผลซึ่งรุนแรงกว่าแคตไอออน (Glasstone & Lewis, 1964) ทั้งนี้เพื่อทำให้ผลกระทำจากความแข็งไอออนต่อค่าความไวของน้ำในสื่อกลางอาหารลดน้อยลงจึงควรใช้อิเล็กโทรไลต์ที่มีไอออนอยู่ในลำดับค่าสุดของ Hofmeister series การค้นพบที่สนับสนุนข้อเสนอนี้คืออัตราความเร็วในการหายใจของเซลล์แบคทีเรียที่ไม่อยู่ในขณะเจริญเติบโตถูกทำให้ลดลงโดยแคตไอออนและผลกระทำจะมีมากยิ่งขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเริ่มค้นจากโพแทสเซียมแล้วไล่ลำดับขึ้นไปตาม Hofmeister series (Ingram, 1947)

#### 15.11 การเบี่ยงเบนความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันออสโมซิสกับค่าความไวของน้ำ

ความสัมพันธ์นี้อาจถูกแจกแจงได้โดยการทำให้เท่ากันระหว่างปัจจัยต่าง ๆ

ที่ต้องการเพื่อกำจัดน้ำ 1 โมลออกจากสารละลายด้วยแรงดันออสโมซิสกับที่ต้องการเพื่อกำจัดน้ำจำนวนเดียวกันด้วยการระเหยและการกลั่นตัว สมมุติว่าใช้เครื่องมือดังแสดงในรูปที่ 15.2 ภายใต้อุณหภูมิเท่ากันและด้วยสภาวะย้อนกลับทำให้น้ำ 1 โมลถูกไล่ออกจากสารละลายผ่านเยื่อกึ่งซึมโดยให้ความดันที่สูงกว่าแรงดันออสโมซิส ( $\pi$ ) ของสารละลายเพียงเล็กน้อย ดังนั้นงานซึ่งทำในที่นี้คือ  $\pi \bar{V}$  ซึ่ง  $\bar{V}$  = ปริมาตรของน้ำ 1 โมลในสารละลาย

การระเหยและการกลั่นตัวถูกสมมุติว่าเกิดขึ้นใต้อุณหภูมิเท่ากันและถูกทำให้ย้อนกลับใต้อุณหภูมิเครื่องมือดังแสดงในรูปที่ 15.2b ในขั้นตอนแรกด้วยการเปิดวาล์ฟ A และปิดวาล์ฟ B น้ำ 1 โมลในสารละลายถูกทำให้ระเหยออกโดยทำให้ความดันในกระบอกสูบน้อยกว่าความดันไอน้ำ  $p_s$  เพียงเล็กน้อย ดังนั้นงานที่ทำตลอดการระเหยของน้ำคือ  $p_s V_1 = RT$  ซึ่ง  $V_1$  = ปริมาตรของไอน้ำที่ความดัน  $p_s$  เมื่อวาล์ฟ A และ B ปิดความดันไอน้ำถูกอัดจากความดัน  $p_s$  เป็น  $p_w$  และงานที่ทำต่อน้ำ 1 โมลจึงเป็น  $RT \ln(p_w/p_s)$  ต่อมาเมื่อวาล์ฟ B เปิดออกและไอน้ำกลั่นตัว เป็นน้ำบริสุทธิ์จึงกระทำต่อระบบด้วยปริมาณงาน  $p_w V_2 = RT$  ซึ่ง  $V_2$  = ปริมาตรของไอน้ำ 1 โมลที่ความดัน  $p_w$  งานที่ทำโดยการระเหยและการกลั่นตัวอยู่ในความหมายซึ่งตรงกันข้ามจึงถูกหักลบหมดไป ดังนั้นงานทั้งหมดที่ทำคือ  $RT \ln(p_w/p_s)$  เนื่องจากงานที่ทำทั้งหมดทั้งโดยกลไกเกี่ยวกับออสโมซิสและการระเหยของน้ำจะคงเท่ากัน ดังนั้น

$$\pi \bar{V} = RT \ln(p_w/p_s) \quad 15.13$$

และ

$$\pi = -\frac{RT}{\bar{V}} \ln a_w \quad 15.14$$

การแสดงออกเช่นนี้อาจถูกแยกแยะต่อไปได้อีกจากสมการที่ 15.4 ถ้าประมาณว่า  $n/(n+N) = n/N$  ซึ่งถูกต้องสมบูรณ์สำหรับสารละลายเจือจาง ดังนั้นสำหรับสารนอน-อีเล็กโตรไลต์ที่สมบูรณ์แบบจะไคจากสมการที่ 15.4 ว่า

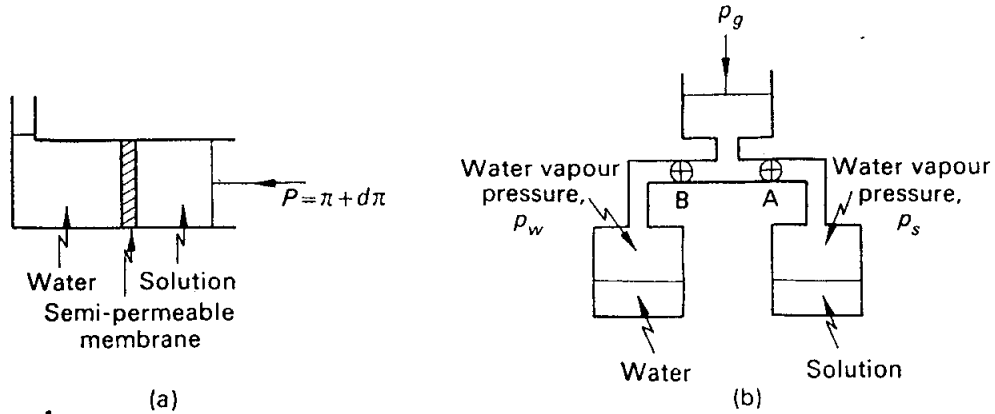
$$a_w = 1 - n/N \quad 15.15$$

ถ้าให้  $y = n/N$  แล้วใส่ค่าตลอดทั้งสองข้างของสมการจะไคว่า  $\ln a_w = \ln(1-y)$  ด้วยค่าซึ่งน้อยของ  $y$  เมื่อขยายค่าของ  $\ln(1-y) = -y - y^2/2 - y^3/3 \dots$ , จะไคว่า  $\ln(1-y) \approx -y$

แล้วแทนค่าในสมการที่ 15.15 จะได้ว่า

$$\ln a_w = -n/N$$

15.16



รูปที่ 15.2 (a) Device to remove water reversibly from a solution by osmosis:  $\pi$  = osmotic pressure of solution,  $P$  = hydrostatic pressure applied to piston. (b) Device to remove water reversibly from solution by evaporation and condensation: A and B are valves;  $p_g$  is pressure applied to piston;  $p_s$  and  $p_w$  are the water vapour pressures of solution and water respectively.

ถ้า  $m$  คือโมลาลิตีของสารละลายจะได้ว่า  $n/N = m/55.5$  เนื่องจากน้ำ 1 ก.ก. = 55.5 โมล แทนค่าในสมการที่ 15.16 แล้วเปลี่ยนเป็นลอการิทึม 10 จะได้ว่า

$$m = -128 \log a_w \tag{15.17}$$

ซึ่งได้แสดงมาแล้วในตอน 15.4 เพื่อศึกษาสมการที่ 15.14 อย่างไรก็ตามประมาณการที่จำกัดขั้นเพื่อแยกแยะสมการที่ 15.16, สมการที่ 15.5 และสมการที่ 15.17 ไม่ก็ให้ค่าความไวของน้ำที่เหมือนกันแต่ความคลาดเคลื่อนก็อาจถูกละทิ้งได้สำหรับค่าความไวของน้ำที่  $> 0.9$ .