เอกสารอ้างอิง

ธาดา ตั้งศรีสุข. "การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอธิลแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล มันสำปะหลัง และข้าวโพด", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีวิศวกรรม, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523

นิคม ติปะวาโร. "การศึกษาเครื่องหมักแบบคอลัมน์ในการผลิตยีสต์ เอทานอล และกรดอะซีติกจากน้ำสับปะรด" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523

บรียา วิบูลย์เศรษฐ. "จุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เกษตร", ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2524

ไพบูลย์ ดำนวิรุหัย. "หลักการของเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการหมัก", ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 252

ภุภมาส สมรบุตร. "การศึกษาเกี่ยวกับการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำสับปะรดโดยวิธีการหมักแบบเร็ว", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2520

อำนวย สุขเหมือน. "การศึกษาเครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดกึ่งต่อเนื่อง", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521

Alan. Wiseman. Enzyme and Fermentation Biotechnology 1. Elus Horwood limite . 1977.

A.O.A.C. Official Method of Analysis of Analytical Chemists. 13th ed. Wisconsin : George Banta Company. Inc.,1980.

Birket, H.S., and J.A.Polack. "Alcohol from sugar cane in Louisiana". The Sugar J. 5(1978) : 9-11.

Bunker, H.J. Biochemistry of Industrial Microorganism. New York and London : Academic Press, 1963.

Daniel I.C. Wang, Charles L. Cooney, Arnold L. Demain, Peter Dunnill, Arthur E. Humphrey, and Malcolm D. Lilly. Fermentation and Enzyme Technology. New York : John Wiley and Sons, 1979.

Gerald Reed, and Henry J. Peppler. Yeast Technology. Westport, Connecticut : The Avi Publishing Company, Inc., 1973.

Lehninger, A.L. Biochemistry. 2nd ed. New York : Worth Publishers, 1975.

Maxon, W.D., and Johnson, M.J. "Aeration Studies on Propagation of Baker's Yeast". Ind and Eng. Chem. 45(1953): 2554.

National Academy of Sciences and National Research Council. Chemicals used in Food Processing. Washington, D.C., 1965.

Pamcker, P.K.N. "History and Nomenclature in Ethanol". Chemical Processing and Engineering. (May 1969).

Prescott, S.C., and C.G. Dunn. Industrial Microbiology. New York : McGraw-Hill Publishing Co., 1959.

Rose, A.H. Industrial Microbiology. Butterworths, Washington, D.C., 1961.

Rose, A.H., and J.S. Harrison. "The Yeast". Vol.1 The Biology of Yeasts. New York : Academic Press, 1969.

Rose, A.H., and J.S. Harrison. "The Yeasts" Vol.2 Physiology and Biology of Yeast. New York : Academic Press,1975.

Rose, A.H., and J.S. Harrison. "The Yeasts" Vol.3 Yeast Technology. New York : Academic Press, 1970.

Rose, D. "Yeast for molasses alcohol". Process Biochemistry. 3(1976) : 10-12,36.

Solomon, G.L. Materials and Method in Fermentation. New York : Academic Press, 1969.

Tressler, D.K., and Joslyn, M.A. Fruit and Vegetable Juice Processing Technology. Westport, Connecticut : The Avi Publishing Company, Inc., 1961.

Underkofler, L.A., and Hickey, R.J. Industrial Fermentation Vol.1. New York : Chemical Publishing Company, Co., 1954.

Underkofler, L.A., and Hickey, R.J. Industrial Fermentation Vol.2. New York : Chemical Publishing Company, Co., 1954.

Webb, F.C. Biochemical Engineering. London : D. Van Nostrand Co., 1964.

White, J. Yeast Technology. New York : John Wiley and Sons, 1954.

Wiley, A.J. Food and Food Yeasts, In1. A. Underkoffer, and R.J. Hickey (eds). Industrial Fermentation. Vol.1. New York : Chemical Publishing Co., 1954.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์

รายละเอียดวิธีวิเคราะห์และคำนวณ มีดังนี้

ความเข้มข้นของเซลล์ยีสต์

1. วัดค่าสภาพการดูดกลืนแสง (Absorbance)

ตรวจโดยใช้ เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ยูวี

วิธีทำ ดูดตัวอย่างมาจำนวน 5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร นำสารละลายไปอ่านค่า สภาพการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นตั้งจุดศูนย์ ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงกว่า 0.6 หน่วย อาจไม่ถูกต้องนัก เพราะว่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่เข้มข้นมากจะไม่เป็นไปตามกฎของ เบียร์ ฉะนั้นอาจต้องเจือจางสารละลายให้เหมาะสมก่อนวัดค่าการดูดกลืนแสง นอกจากนี้ค่าการดูดแสงที่อ่านจะถูกต้อง เมื่อสารละลายในหลอดผสมเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด และต้องไม่มีฟองอากาศเกาะที่ผิวหลอดหรือมีน้ำเกาะอยู่นอกหลอด

2. จำนวนเซลล์ยีสต์ที่นับได้

ตรวจโดยใช้วิธีตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดจากกล้องจุลทรรศน์โดยตรง (Direct Microscopic Counts, DMC.)

วิธีทำ ดูดตัวอย่างมาจำนวน 5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร หยดสารละลายที่เจือจางลงบนแผ่นสไลด์ (Slide) ปิดด้วยโคเวอร์กลาส (Coverglass) ทั้งแผ่นสไลด์และโคเวอร์กลาสจะต้องทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ก่อน และหลังจากการนับยีสต์ในแต่ละครั้ง นำไปตรวจนับจำนวนเซลล์ยีสต์จากกล้องจุลทรรศน์โดยตรง จะสังเกตเห็นเซลล์ยีสต์มีลักษณะใสกลม นับจำนวนเซลล์ยีสต์ที่เห็นนี้ โดยนับเซลล์ยีสต์ที่อยู่บน 5 ช่องใหญ่ ในแนวเส้นแยงมุม ซึ่งเป็นการสุ่มตัวอย่างที่ได้ค่าเฉลี่ยที่สุด นำมาคำนวณหาค่าจำนวนเซลล์ยีสต์ที่นับได้

ตัวอย่างวิธีคำนวณ

เนื่องจากแผ่นสไลด์นี้จะมีตารางเป็นช่อง ๆ ทั้งหมด 25 ช่องใหญ่ แต่ละช่องใหญ่ประกอบไปด้วย 16 ช่องเล็ก

1 ช่องเล็ก มีพื้นที่		=	1/400	ตารางมิลลิเมตร
ความลึก		=	1/10	มิลลิเมตร
1 ช่องเล็ก มีปริมาตร		=	1/4000	ลูกบาศก์มิลลิเมตร
1 ช่องใหญ่		=	16	ช่องเล็ก
ดังนั้น 5 ช่องใหญ่จะมีปริมาตร		=	1/50	ลูกบาศก์มิลลิเมตร
หรือ		=	$1/50 \times 10^3$	มิลลิลิตร
สมมตินับจำนวนเซลล์ยีสต์ใน 5 ช่องใหญ่ได้		=	33	ตัว
ดังนั้น ปริมาตร $1/50 \times 10^3$ มิลลิลิตร มีจำนวนเซลล์ยีสต์		=	33	ตัว
" 100 มิลลิลิตร	"	=	$50 \times 10^3 \times 100 \times 33$	ตัว
นั่นคือ ใน 5 มิลลิลิตรของตัวอย่างมีจำนวนเซลล์ยีสต์		=	$50 \times 10^3 \times 100 \times 33$	ตัว
" 1 " " "		=	$\frac{50 \times 10^3 \times 100 \times 33}{5}$	"
		=	33×10^6	"

แสดงว่าจำนวนเซลล์ยีสต์ที่นับได้เท่ากับ 33 ล้านตัวใน 1 มิลลิลิตรของตัวอย่าง

ปริมาณน้ำตาลในน้ำลับประสาทและในน้ำหมัก

ตรวจโดยใช้วิธีของ Lane-Ennon (Pearson, 1970)

น้ำยาเคมีประกอบด้วย

1) สารละลายมาตรฐานเฟห์ลิ่ง ประกอบด้วย

1.1 เฟห์ลิ่ง เอ (สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต) ประกอบด้วย คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.5H_2O$) 34.639 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วทำปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้สารละลายผสมกันได้ดีขึ้น จากนั้นกรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง

1.2 เฟห์ลิ่ง บี (สารละลายอัลคาไลน์ ทาร์เตรท) ประกอบด้วย โปตัสเซี่ยม โซเดียม ทาร์เตรท (โรเชลท์ ซอลท์) 173 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 กรัม ละลายสารทั้งสองในน้ำกลั่นแล้วทำให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร แต่ละครั้งต้องทิ้งไว้ 1-2 วัน ก่อนใช้งานได้ กรองสารละลายด้วยใยแก้ว

2) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล

3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% น้ำหนักต่อปริมาตร

4) สารละลายเมทิลเรดบลู 1% น้ำหนักต่อปริมาตร

การหาแฟคเตอร์ของสารละลายเฟห์ลิ่งมาตรฐาน

วิธีทำ ชั่งน้ำตาลซูโครสมาจำนวน 0.5 กรัม (ให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน) ละลายในน้ำกลั่นเป็น 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร เพื่อย่อยน้ำตาลซูโครสให้เป็นอินเวิร์ท ชูการ์ ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ 40% แล้วทำให้สารละลายเป็นกรดเล็กน้อยด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล (ตรวจด้วยกระดาษลิตมัส) เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่า เรียกสารละลายนี้ว่า สารละลายอินเวิร์ท ชูการ์ มาตรฐาน ไตเตรทกับสารละลายเฟห์ลิ่ง ดังนี้

ผสมสารละลายเฟห์ลิ่ง เอ 5 มิลลิลิตร และสารละลายเฟห์ลิ่ง บี 5 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน เติมสารละลายอินเวิร์ท ชูการ์มาตรฐาน ต้มให้เดือด ทำเช่นนี้จนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีน้ำตาลแดง เติมสารละลายเมทิลเรดบลู 2-3 หยด ค่อย ๆ หยดสารละลายอินเวิร์ท ชูการ์ มาตรฐาน

ลงไปทีละหยด ๆ สังเกตดูสีเมทิลลีนบลูจะจางหายไป และเกิดตะกอนสีน้ำตาลแดง ซึ่งปริมาตรของสารละลายอินเวิร์ท ชูการ์ มาตรฐานที่ใช้หลังจากเติมเมทิลลีนบลูไม่ควรเกิน 1 มิลลิลิตร และเวลาในการไตเตรทไม่ควรเกิน 1 นาที ซึ่งเวลาที่ใช้ในการไตเตรททั้งหมดก็ไม่ควรเกิน 3 นาที (เนื่องมาจากน้ำตาลไหม้)

ตัวอย่างวิธีคำนวณ

น้ำหนักซูโครส = 0.5025 กรัม

ปริมาณสารละลายอินเวิร์ท ชูการ์ มาตรฐานที่ใช้ = 9.7 มิลลิลิตร

แสดงว่า 10 มิลลิลิตรของสารละลายเฟห์ลิ่ง = 9.7 มิลลิลิตรของสารละลายอินเวิร์ท ชูการ์มาตรฐาน

100 มิลลิลิตรของสารละลายอินเวิร์ท ชูการ์ มาตรฐาน = 0.5024 กรัมของซูโครส

∴ 9.7 มิลลิลิตรของสารละลายอินเวิร์ทชูการ์มาตรฐาน = $\frac{0.5024 \times 9.7}{100}$ กรัมของซูโครส

342.296 กรัมของซูโครส = 360.312 กรัมของโมโนแซคคาไรด์

ดังนั้น $\frac{0.5024 \times 9.7}{100}$ กรัมของซูโครส = $\frac{360.312 \times 0.5024 \times 9.7}{100 \times 324.296}$ กรัมของโมโนแซคคาไรด์

∴ แฟคเตอร์สำหรับสารละลายเฟห์ลิ่ง 10 มิลลิลิตร = 0.051298 กรัมของโมโนแซคคาไรด์

แสดงว่า 10 มิลลิลิตรจะทำปฏิกริยาพอดีกับ 0.051298 กรัม ของสารละลายอินเวิร์ท ชูการ์ มาตรฐาน

การหาเปอร์เซนต์ของน้ำตาลในน้ำสับปะรดและในน้ำหมัก

วิธีทำ ในการหาเปอร์เซนต์ของน้ำตาลในน้ำสับปะรด จะต้องรู้ค่าของดัชนีหักเหก่อนเพื่อที่จะได้ใช้ปริมาตรน้ำสับปะรดได้อย่างถูกต้อง เพราะในการไตเตรทนั้นปริมาตรที่ใช้ควรอยู่ในช่วงที่ถูกต้อง คือในช่วง 10-20 มิลลิลิตร ไม่ควรใช้มากหรือน้อยเกินไป ซึ่งปริมาตรที่ใช้พอสรุปได้ ดังนี้

18 องศาบริกซ์ขึ้นไป ใช้ปริมาตรน้ำสับปะรด	=	2	มิลลิลิตร
14-17 องศาบริกซ์ขึ้นไป ใช้ปริมาตรน้ำสับปะรด	=	4	"
10-13 องศาบริกซ์ขึ้นไป ใช้ปริมาตรน้ำสับปะรด	=	10	"
ต่ำกว่า 10 องศาบริกซ์ ใช้ปริมาตรน้ำสับปะรด	=	20	"

ในการวิเคราะห์ นำตัวอย่างน้ำสับปะรดมาย่อยน้ำตาลซูโครส ให้เป็นอินเวิร์ท ชูการ์ โดยปิเปตต์น้ำสับปะรดตามที่กล่าวมาข้างต้น ลงในคณโทวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอลลงไปประมาณ 20% ของปริมาตรของตัวอย่าง เขย่าให้ผสมกัน นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 15 นาที เพื่อให้เกิดการย่อยอย่างสมบูรณ์ ทำให้เย็นแล้วทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำสารละลายให้เป็นกรดเล็กน้อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง แล้วทำให้ปริมาตรทั้งหมดเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เรียกสารละลายที่ได้นี้ว่าสารละลายน้ำตาล

ผสมสารละลายเฟห์ลิ่ง เอ 5 มิลลิลิตรและสารละลายเฟห์ลิ่ง บี 5 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน ไตเตรทกับสารละลายน้ำตาล ซึ่งวิธีการไตเตรทจะเหมือนกับการหาแฟคเตอร์ของเฟห์ลิ่ง จนกระทั่งได้ตะกอนสีน้ำตาลแดง นำปริมาตรที่ใช้ไปคำนวณหาเปอร์เซนต์อินเวิร์ท ชูการ์ ในน้ำสับปะรด

ตัวอย่างวิธีคำนวณ

น้ำสับปะรดมีความเข้มข้นน้ำตาล = 14 องศาบริกซ์

ปิเปตต์น้ำสับปะรดมาทำการวิเคราะห์ = 4 มิลลิลิตร

ปริมาณสารละลายน้ำตาลที่ใช้ = 9.3 มิลลิลิตร

10 มิลลิลิตรของสารละลายเฟห์ลิ่ง = 0.051298

10 มิลลิลิตรของสารละลายเฟห์ลิ่ง = สารละลายน้ำตาล 0.051298

9.3 มิลลิลิตรของสารละลายน้ำตาล = 0.051298 กรัมของอินเวอร์ ชูการ์

100 " " " = $\frac{0.051298 \times 100}{9.3}$ กรัมของอินเวอร์ ชูการ์

แสดงว่า 4 มิลลิลิตรของน้ำสับปะรด = $\frac{0.051298 \times 100}{9.3}$ กรัมของอินเวอร์ ชูการ์

ถ้า 100 " " = $\frac{0.051298 \times 100 \times 100}{9.3 \times 4}$ กรัมของอินเวอร์ ชูการ์

= 13.78 กรัมของอินเวอร์ ชูการ์

ปริมาณอินเวอร์ ชูการ์ ในน้ำสับปะรดคิดเป็นร้อยละ 13.78

ในการทดลองได้ทำ 2 ตัวอย่าง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย

ปริมาณเอทานอลในน้ำหมัก

ใช้วิธีใน Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 1975.

วิธีทำ ใช้น้ำหมัก 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดกลั่น ขนาด 250-500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปอีก 50 มิลลิลิตร นำไปกลั่น กลั่นให้ได้ส่วนที่กลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปหาความถ่วงจำเพาะโดยใช้ Regnault pycnometerโดยชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของ pycnometer ที่แห้งสนิทไว้ จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในส่วนที่เป็นกระเปาะของ pycnometer จนถึงคอกระเปาะ สวมก้านของ pycnometer ลงกับกระเปาะ แล้วเติมน้ำกลั่นให้ถึงขีด ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนไว้ เทน้ำกลั่นออก จากนั้นเป่าให้แห้งสนิท ใส่ตัวอย่างที่กลั่นลงในกระเปาะ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนเช่นเดิม นำไปคำนวณหาความถ่วงจำเพาะ แล้วนำไปหาค่าปริมาณของ เอทานอลเป็นเปอร์เซนต์ โดยปริมาตร จากตาราง ในภาคผนวก ค ที่น้ำหมักมีความเป็นกรดผิดปกติ ก่อนนำไปกลั่น ควรทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักที่มีปริมาตรเท่าตัวอย่าง}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ (RP = Regnault pycnometer)

น้ำหนัก RP + ตัวอย่าง	=	41.9279	กรัม
น้ำหนัก RP	=	16.0983	กรัม
น้ำหนักตัวอย่าง	=	25.8296	กรัม
น้ำหนักน้ำ	=	26.1386	กรัม
ความถ่วงจำเพาะ	=	$\frac{25.8296}{26.1386}$	
	=	0.9882	

ในการทดลองได้ทำ 2 ตัวอย่าง แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย

นำค่าความถ่วงจำเพาะ 0.9882 ไปหาค่าปริมาณของ เอทานอลจากตารางในภาคผนวก ค ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณเอทานอลเท่ากับ 8.46% (โดยปริมาตร)

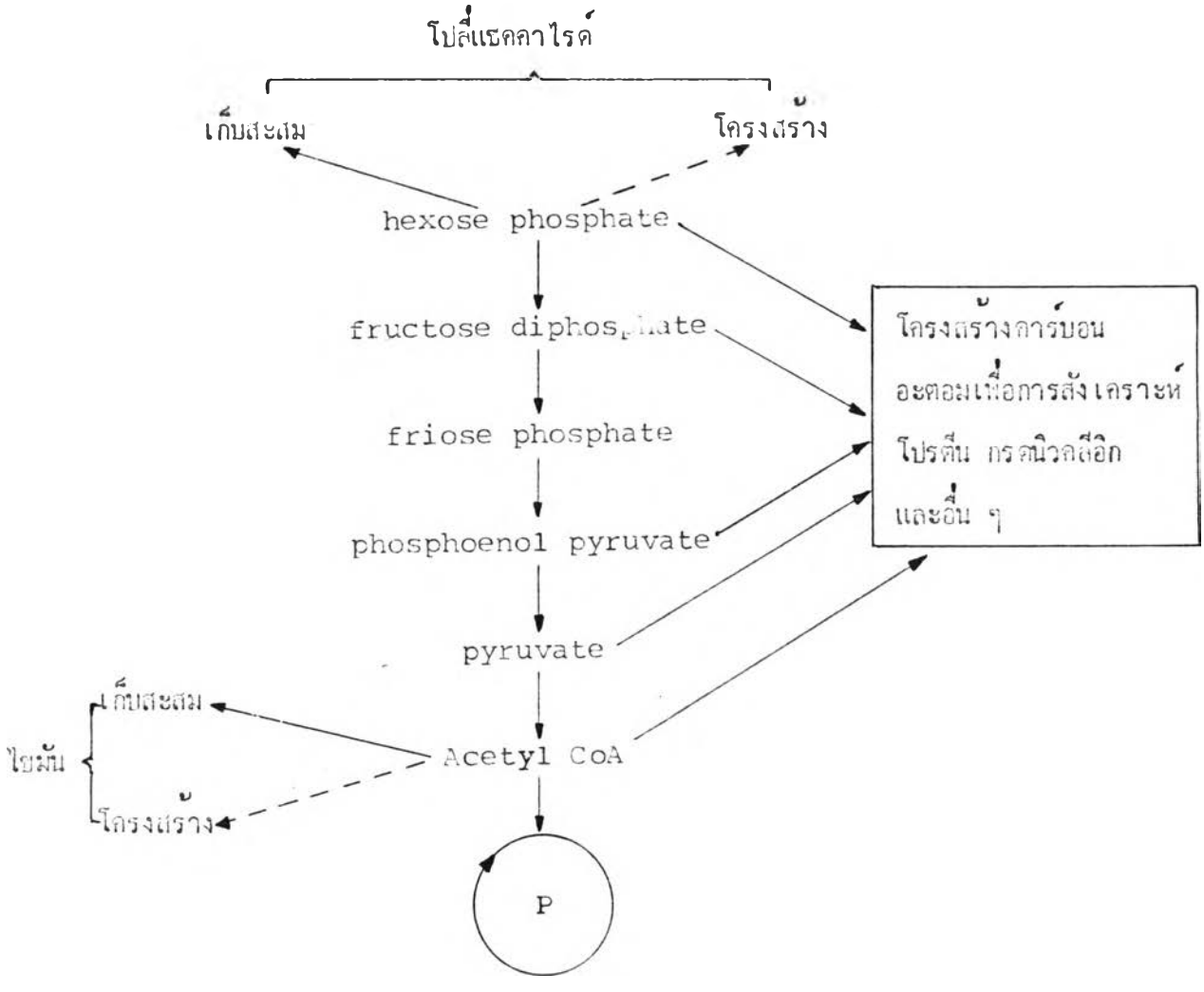
ภาคผนวก ช

เมตาบอลิสมภายในเซลล์ยีสต์ (Metabolism in Yeast)

เมตาบอลิสมภายในเซลล์ยีสต์ มี 2 แบบ คือ

1. เมตาบอลิสมการหมัก
2. เมตาบอลิสมการหายใจ

ยีสต์ใช้น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน ตามรูปที่ ช-1

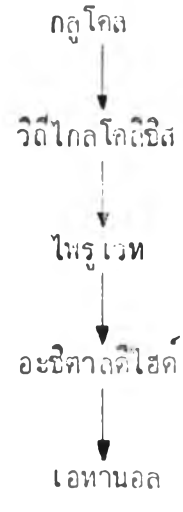


รูปที่ ช-1 แผนภูมิเมตาบอลิสมภายในเซลล์ยีสต์ ยีสต์ใช้น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน

1. เมตาบอลิสมการหมัก

น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของยีสต์ น้ำตาลผ่านเข้าสู่ภายในเซลล์ด้วยระบบขนส่งที่ผนังเซลล์ หรือที่เยื่อไซโตปลาสม และการหมักเกิดในไซโตปลาสม กลูโคสจะเปลี่ยนไปตามวิถี ไกลโคลิซิส (Glycolysis pathway หรือ Embden Meyerhof pathway) จนกระทั่งได้ไพรูเวท 2 โมเลกุล ไพรูเวทจะสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ ในปฏิกริยาของไพรูเวท ดีคาร์บอกซิเลส กลายเป็น อะซิตาลดีไฮด์ ปฏิกริยาสุดท้ายของการหมักแอลกอฮอล์ คือ ปฏิกริยาแอลกอฮอล์ดีคาร์บอกซิเลส ในปฏิกริยานี้ อะซิตาลดีไฮด์จะถูกรีดิวส์ให้เปลี่ยนเป็นเอทานอล

การหมักแอลกอฮอล์มีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้

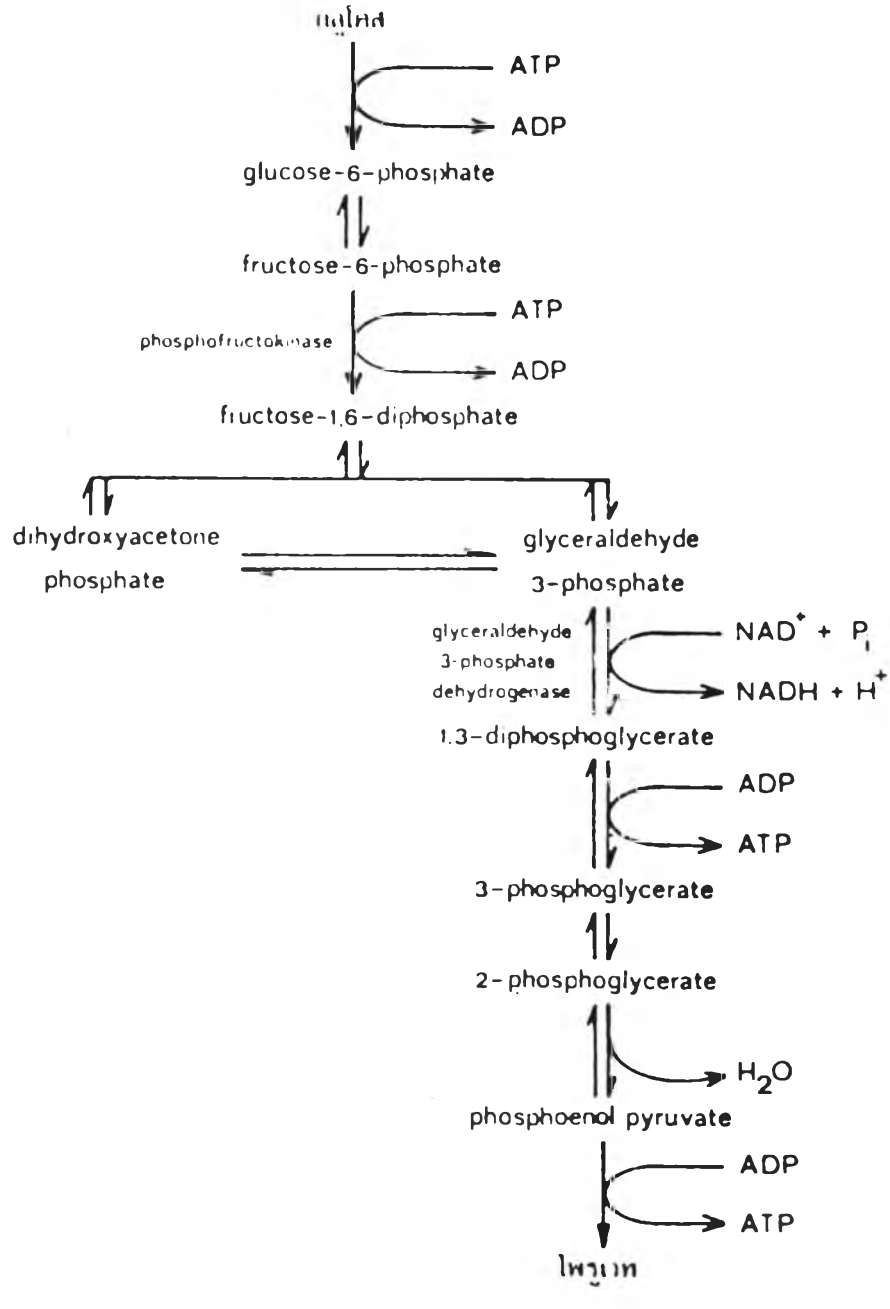


รายละเอียดของวิถีไกลโคลิซิสแสดงตามรูปที่ ข-2

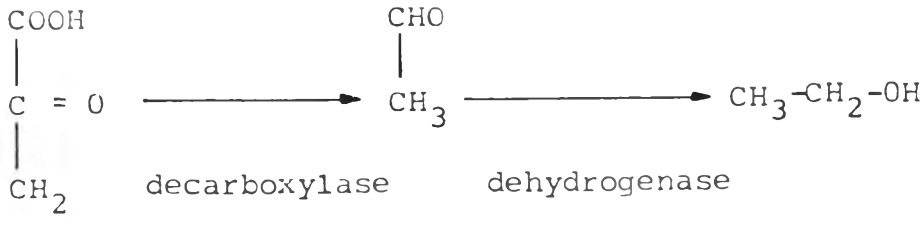
ผลผลิตที่ได้รับจากไกลโคลิซิส

2pyruvate, 2ATP, 2NADH,

การหมักแอลกอฮอล์ ไกลโคลิซิส 2 ขั้นตอน



รูปที่ ช-2 แสดงการสลายกลูโคสไปเป็นไพรูเวท



(2) pyruvate ⟶ (2) acetaldehyde ⟶ (2) ethanol

ผลที่เกิดจากการหมักแอลกอฮอล์

2 ethanol + 2 CO_2 + 2 ATP

2. เมตาบอลิสมการหายใจ

ความสามารถในการหายใจของยีสต์ตามวิถีการหายในที่รู้จักกันดีคือ วิถีกรดซิตริก (citric acid cycle) หรือ Tricarboxylic acid cycle (TCR) หรือวัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) และพบว่ามีวัฏจักรออกซิเลต (oxylate cycle) และวัฏจักรเพนโทส (pentose cycle) หรือเฮ็กโซสโมโนฟอสเฟต ชันท์ (hexose monophosphate shunt cycle)

เมตาบอลิสมการหายใจ ยีสต์จะเปลี่ยนกลูโคสผ่านวิถีไกลโคลิซิส ให้กลายเป็นไพรูเวท การเผาผลาญไพรูเวทให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ จะเกิดขึ้นภายในไมโตคอนเดรียเท่านั้น ไพรูเวทสามารถผ่านเข้าไมโตคอนเดรียได้โดยอิสระ ไพรูเวทสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นอะซิติลโคเอ ต่อจากนั้นอะซิติลโคเอจะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ และถูกเผาผลาญให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์หมด

การหายใจมีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้

กลูโคส

↓

วิถีไกลโคลิซิส

↓

↓

ไพรูเวท

↓

อะซิติลโคเอ

↓

วัฏจักร์เครบส์

รายละเอียดของวัฏจักร์เครบส์ แสดงตามรูปที่ ข-3

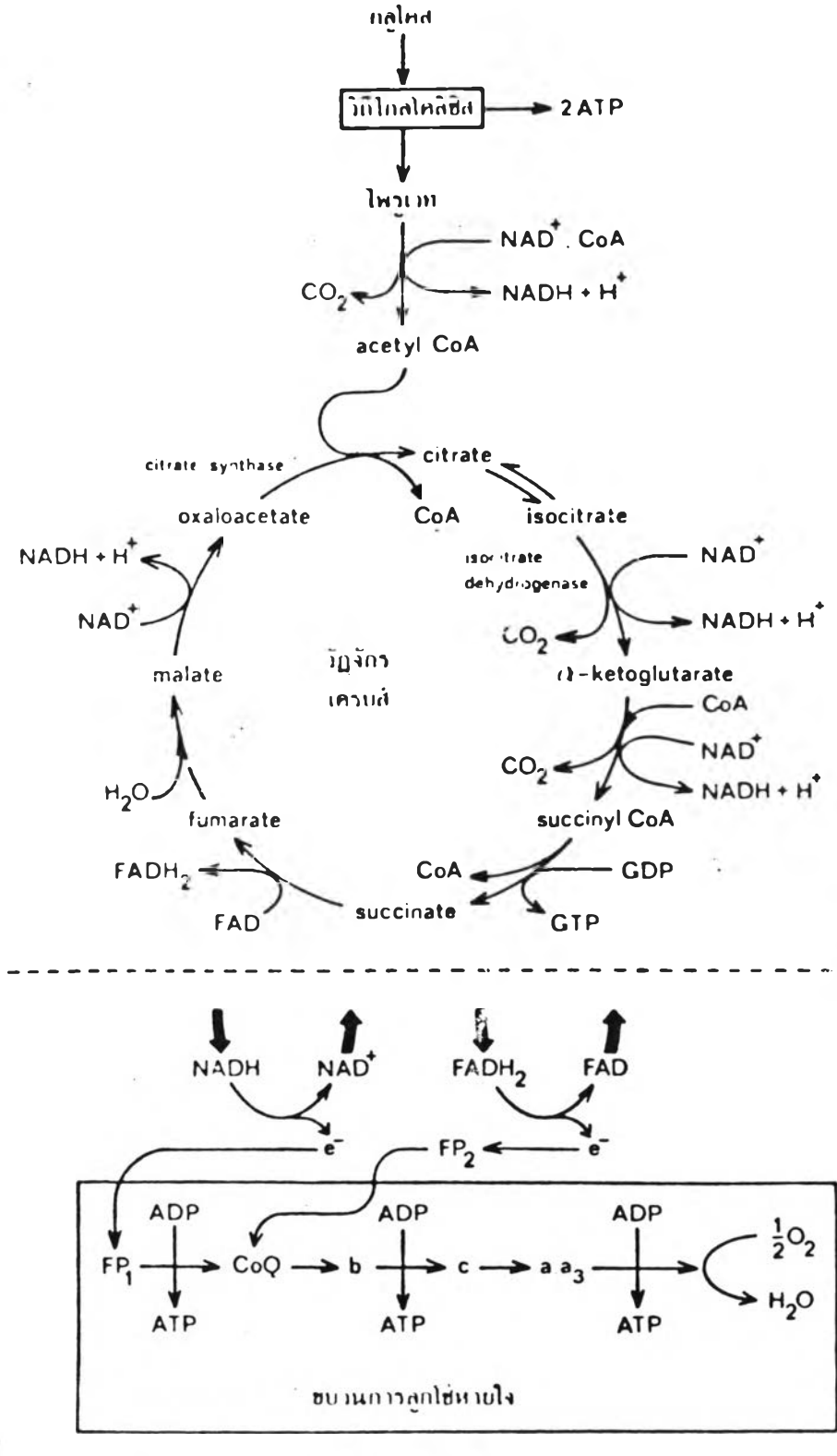
ผลผลิตการเมตาบอลิสมการหายใจ

pyruvate ⟶ acetyle CoA ⟶ TCA cycle

(2)pyruvate ⟶ (2) $3CO_2$

glucose ⟶ 2pyruvate ⟶ 6 CO_2

สารอาหารที่ยีสต์ใช้ในการหายใจมีมากกว่าที่ใช้ในการหมัก เช่น เพนโตส เมทธิลเพนโตส แอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์



รูปที่ ฆ-3 แสดงความสัมพันธ์ของวัฏจักรเครบส์กับโซ่หายใจ และ oxidative phosphorylation FP=glavoprotein CoQ=coenzyme Q และ b,c,a,a_3 เป็นไซโตโครม

ภาคผนวก ค

Percentages by volume at 15.56°C (60°F) of ethyl alcohol corresponding to apparent specific gravity at various temperatures[a]

Apparent Specific Gravity	15.56/15.56	20/20	22/22	24/24	25/25	26/26	28/28	30/30	32/32	34/34	35/35	36/36
1.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.9999	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07
98	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13
97	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20
96	.27	.26	.26	.26	.26	.26	.26	.26	.26	.26	.26	.26
95	.33	.33	.33	.33	.33	.33	.33	.33	.33	.33	.33	.33
94	.40	.40	.40	.40	.40	.40	.40	.40	.40	.40	.40	.40
93	.47	.46	.46	.46	.46	.46	.46	.46	.46	.46	.46	.46
92	.53	.53	.53	.53	.53	.53	.53	.53	.53	.53	.53	.53
91	.60	.60	.60	.60	.60	.60	.60	.60	.60	.60	.60	.60
90	.67	.66	.66	.66	.66	.66	.66	.66	.66	.66	.66	.66
89	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73
88	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.79	.79	.79	.79	.79	.79
87	.87	.87	.87	.87	.87	.87	.86	.86	.86	.86	.86	.86
86	.93	.93	.93	.93	.93	.93	.93	.93	.93	.93	.93	.93
85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.99	.99	.99	.99	.99	.99
84	.07	.07	.07	.07	.07	.07	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
83	.14	.14	.14	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13
82	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.19	.19	.19	.19	.19
81	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.26	.26	.26	.26	.26	.26
80	.34	.34	.34	.34	.34	.33	.33	.32	.32	.32	.32	.32
79	.41	.41	.41	.40	.40	.40	.40	.39	.39	.39	.39	.39
78	.48	.48	.48	.47	.47	.47	.47	.46	.46	.46	.46	.46
77	.54	.54	.54	.54	.54	.53	.53	.53	.53	.53	.52	.52
76	.61	.61	.61	.60	.60	.60	.60	.59	.59	.59	.59	.59
75	.68	.68	.68	.67	.67	.67	.67	.66	.66	.66	.66	.66
74	.75	.75	.75	.74	.74	.73	.73	.73	.73	.72	.72	.72
73	.82	.81	.81	.81	.81	.80	.80	.80	.80	.79	.79	.79
72	.88	.8	.88	.87	.87	.87	.86	.86	.86	.85	.85	.85
71	.95	.95	.95	.94	.94	.94	.93	.93	.93	.92	.92	.92
70	2.02	2	2.02	2.01	2.01	2.01	2.00	2.00	2.00	[illegible]	.99	.99
69	.09	.09	.09	.08	.08	.08	.07	.07	.06	2.05	2.05	2.05
68	.16	.15	.15	.14	.14	.14	.14	.14	.13	.12	.12	.12
67	.23	.22	.22	.21	.21	.21	.20	.20	.20	.19	.19	.19
66	.30	.29	.29	.28	.28	.28	.27	.27	.27	.26	.26	.26
65	.37	.36	.36	.35	.35	.35	.34	.34	.33	.32	.32	.32
64	.43	.43	.43	.42	.42	.42	.41	.41	.40	.39	.39	.39
63	.50	.50	.50	.49	.49	.49	.48	.48	.47	.46	.46	.46
62	.57	.57	.57	.56	.56	.56	.55	.54	.54	.53	.53	.53
61	.64	.64	.64	.63	.63	.63	.62	.61	.60	.60	.59	.59
60	.71	.70	.70	.70	.70	.70	.69	.68	.67	.67	.66	.66
59	.78	.77	.77	.77	.77	.77	.76	.75	.74	.74	.73	.73
58	.85	.84	.84	.83	.83	.83	.82	.82	.81	.81	.80	.80
57	.92	.91	.91	.90	.90	.90	.89	.88	.87	.87	.86	.86
56	.99	.98	.98	.97	.97	.97	.96	.95	.94	.94	.93	.93
55	3.06	3.05	3.05	3.04	3.04	3.04	3.03	3.02	3.01	3.01	3.00	3.00
54	.13	.12	.12	.11	.11	.11	.10	.09	.08	.08	.07	.07
53	.20	.19	.19	.18	.18	.18	.17	.16	.15	.15	.14	.14
52	.27	.26	.26	.25	.25	.25	.24	.23	.22	.22	.21	.21
51	.34	.33	.33	.32	.32	.32	.31	.30	.29	.28	.27	.27
50	.41	.40	.40	.39	.39	.39	.38	.37	.36	.35	.34	.34
49	.49	.47	.47	.46	.46	.46	.45	.44	.43	.42	.41	.41
48	.56	.54	.54	.53	.53	.53	.52	.51	.50	.49	.48	.48
47	.63	.61	.61	.60	.60	.60	.59	.58	.57	.56	.55	.55
46	.70	.68	.68	.67	.67	.67	.66	.65	.64	.63	.62	.62
45	.77	.76	.75	.74	.74	.74	.73	.72	.70	.69	.68	.68
44	.84	.83	.82	.81	.81	.81	.79	.78	.77	.76	.75	.75
43	.91	.90	.89	.88	.88	.88	.86	.85	.84	.83	.82	.82
42	.99	.97	.96	.95	.95	.95	.93	.92	.91	.90	.89	.89
41	4.06	4.04	4.03	4.02	4.02	4.02	4.00	.99	.98	.97	.96	.96
40	.13	.11	.10	.10	.09	.09	.07	4.06	4.05	4.04	4.03	4.03
39	.20	.18	.17	.17	.16	.16	.14	.13	.12	.11	.10	.10
38	.28	.26	.25	.25	.24	.23	.21	.20	.19	.18	.17	.17
37	.35	.33	.32	.32	.31	.30	.28	.27	.26	.25	.24	.24
36	.42	.40	.39	.39	.38	.37	.36	.35	.33	.32	.31	.30
35	.50	.48	.47	.46	.45	.44	.43	.42	.40	.39	.38	.37
34	.57	.55	.54	.53	.52	.51	.50	.49	.47	.46	.45	.44
33	.64	.62	.61	.60	.59	.58	.57	.56	.54	.53	.52	.51
32	.71	.69	.68	.67	.66	.65	.64	.63	.61	.60	.59	.58
31	.79	.77	.76	.75	.74	.73	.72	.70	.68	.67	.66	.65

(Continued)

[a] Compiled at National Bureau of Standards. Table is based on data published in *Bull. Natl. Bur. Std.* 9(3) (1913).

Percentages by volume at 15.56°C (60°F) of ethyl alcohol corresponding to apparent specific gravity at various temperatures*—*Continued.*

Apparent Specific Gravity	15.56/15.56	20/20	22/22	24/24	25/25	26/26	28/28	30/30	32/32	34/34	35/35	36/36
0.9930	4.86	4.84	4.83	4.82	4.81	4.80	4.79	4.77	4.75	4.74	4.73	4.72
29	.93	.91	.90	.89	.88	.87	.86	.84	.82	.81	.80	.79
28	5.01	.98	.97	.96	.95	.94	.93	.91	.89	.88	.87	.86
27	.08	5.06	5.04	5.03	5.02	5.01	5.00	.98	.96	.95	.94	.93
26	.16	.13	.12	.11	.10	.09	.07	5.05	5.03	5.02	5.01	5.00
25	.23	.21	.19	.18	.17	.16	.14	.12	.10	.09	.08	.07
24	.31	.28	.26	.25	.24	.23	.21	.20	.18	.16	.15	.14
23	.39	.36	.34	.33	.32	.31	.29	.27	.25	.23	.22	.21
22	.46	.43	.41	.40	.39	.38	.36	.34	.32	.30	.29	.28
21	.54	.51	.49	.48	.47	.46	.44	.42	.40	.38	.37	.36
20	.61	.58	.56	.55	.54	.53	.51	.49	.47	.45	.44	.43
19	.69	.66	.64	.62	.61	.60	.58	.56	.54	.52	.51	.50
18	.77	.73	.71	.70	.69	.68	.66	.64	.62	.59	.58	.57
17	.84	.81	.79	.77	.76	.75	.73	.71	.69	.66	.65	.64
16	.92	.88	.86	.85	.84	.83	.80	.78	.76	.74	.73	.72
15	.99	.96	.94	.92	.91	.90	.87	.85	.83	.81	.80	.79
14	6.07	6.03	6.01	6.00	.99	.98	.95	.93	.91	.88	.87	.86
13	.15	.11	.09	.07	6.06	6.05	6.02	6.00	.98	.95	.94	.93
12	.23	.18	.16	.15	.14	.13	.10	.08	6.05	6.02	6.01	6.00
11	.30	.26	.24	.22	.21	.20	.17	.15	.12	.10	.09	.08
10	.38	.34	.32	.30	.29	.28	.25	.23	.20	.17	.16	.15
09	.46	.41	.39	.37	.36	.35	.32	.30	.28	.25	.24	.23
08	.54	.49	.47	.45	.44	.43	.40	.38	.35	.32	.31	.30
07	.62	.57	.55	.53	.52	.51	.48	.45	.42	.39	.38	.37
06	.70	.65	.63	.60	.59	.58	.55	.53	.50	.47	.46	.45
05	.77	.73	.71	.68	.67	.66	.63	.60	.57	.54	.53	.52
04	.85	.80	.78	.75	.74	.73	.70	.68	.65	.62	.60	.59
03	.93	.88	.86	.83	.82	.81	.78	.75	.72	.69	.68	.67
02	7.01	.96	.93	.90	.89	.88	.85	.83	.80	.77	.75	.74
01	.09	7.04	7.01	.98	.97	.95	.92	.90	.87	.84	.82	.81
00	.17	.12	.09	7.06	7.05	7.03	7.00	.98	.94	.91	.90	.88
0.9899	.25	.19	.16	.13	.12	.10	.07	7.05	7.01	.98	.97	.95
98	.33	.27	.24	.21	.20	.18	.15	.13	.09	7.06	7.04	7.02
97	.41	.35	.32	.29	.28	.26	.23	.21	.17	.14	.12	.10
96	.50	.43	.40	.37	.36	.34	.31	.28	.24	.21	.19	.17
95	.58	.51	.48	.45	.44	.42	.39	.36	.32	.29	.27	.25
94	.66	.59	.56	.53	.52	.50	.47	.44	.40	.36	.34	.32
93	.74	.67	.64	.60	.59	.57	.54	.51	.47	.44	.42	.40
92	.82	.75	.72	.68	.67	.65	.62	.59	.55	.51	.49	.47
91	.90	.82	.79	.76	.75	.73	.70	.66	.62	.59	.57	.55
90	.98	.90	.87	.84	.83	.81	.78	.74	.70	.66	.64	.62
89	8.07	.98	.95	.92	.91	.89	.86	.82	.78	.74	.72	.70
88	.15	8.06	8.03	8.00	.98	.96	.93	.89	.85	.81	.79	.77
87	.23	.15	.11	.08	8.06	8.04	8.01	.97	.93	.89	.87	.85
86	.32	.23	.19	.16	.14	.12	.09	8.05	8.01	.96	.94	.92
85	.40	.31	.27	.24	.22	.20	.16	.12	.08	8.04	8.02	8.00
84	.48	.39	.35	.32	.30	.28	.24	.20	.16	.11	.09	.07
83	.57	.47	.43	.40	.38	.36	.32	.27	.23	.19	.17	.15
82	.65	.55	.51	.48	.46	.44	.40	.35	.31	.26	.24	.22
81	.73	.63	.59	.56	.54	.52	.48	.43	.39	.34	.32	.30
80	.82	.71	.67	.63	.61	.59	.55	.50	.46	.41	.39	.37
79	.90	.79	.75	.71	.69	.67	.63	.58	.54	.49	.47	.45
78	.98	.88	.84	.79	.77	.75	.71	.66	.61	.56	.54	.52
77	9.07	.96	.92	.87	.85	.83	.78	.73	.69	.64	.62	.60
76	.15	9.04	9.00	.95	.93	.91	.86	.81	.76	.71	.69	.67
75	.24	.13	.08	9.03	9.01	.99	.94	.89	.84	.79	.77	.75
74	.32	.21	.16	.11	.09	9.07	9.02	.96	.91	.86	.84	.82
73	.40	.29	.24	.19	.17	.15	.10	9.04	.99	.94	.92	.90
72	.49	.38	.33	.27	.25	.23	.18	.12	9.07	9.02	.99	.97
71	.57	.46	.41	.35	.33	.31	.26	.20	.15	.10	9.07	9.05
70	.66	.54	.49	.43	.41	.38	.33	.27	.22	.17	.14	.12
69	.74	.62	.57	.51	.49	.46	.41	.35	.30	.25	.22	.19
68	.82	.70	.65	.59	.57	.54	.49	.43	.37	.32	.29	.26
67	.91	.79	.74	.68	.65	.62	.57	.51	.45	.40	.37	.34
66	.99	.87	.82	.76	.73	.70	.65	.59	.53	.47	.44	.41
65	10.08	.95	.90	.84	.81	.78	.72	.66	.60	.54	.51	.48
64	.16	10.03	.98	.92	.89	.86	.80	.74	.68	.62	.59	.56
63	.25	.11	10.06	10.00	.97	.94	.88	.82	.76	.69	.66	.63
62	.33	.20	.14	.08	10.05	10.02	.96	.90	.84	.77	.74	.71
61	.42	.28	.22	.16	.13	.10	10.04	.98	.91	.84	.81	.78

Percentages by volume at 15.56°C (60°F) of ethyl alcohol corresponding to apparent specific gravity at various temperatures*—*Continued*

Apparent Specific Gravity	15 56 / 15 56	20 20	22 22	24 24	25 25	26 26	28 28	30 30	32 32	34 34	35 35	36 36
0 9860	10 50	10 36	10 30	10 24	10 21	10 18	10 11	10 05	9 99	9 92	9 89	9 86
59	59	44	38	32	29	26	19	13	10 06	99	96	93
58	68	53	47	40	37	34	27	21	14	10 07	10 04	10 00
57	76	61	55	48	44	41	34	28	21	14	11	07
56	85	69	63	56	52	49	42	36	29	22	19	15
55	93	78	71	64	60	57	50	44	37	30	26	23
54	11 02	86	79	72	68	65	58	52	45	38	34	31
53	11	94	87	80	76	73	66	59	52	45	41	38
52	19	11 03	96	88	84	81	74	67	60	53	49	45
51	28	11	11 04	96	92	89	82	75	67	60	56	52
50	37	19	12	11 04	11 00	96	89	82	74	67	63	59
49	46	28	20	12	08	11 04	97	90	82	75	71	67
48	54	36	28	20	16	12	11 05	98	90	82	78	74
47	63	45	36	28	24	20	13	11 05	97	90	86	82
46	72	53	45	37	33	29	21	13	11 05	97	93	89
45	81	61	53	45	41	37	29	21	13	11 05	11 01	97
44	89	70	62	53	49	45	37	29	21	12	08	11 04
43	98	78	70	61	57	53	44	36	28	20	16	12
42	12 07	87	78	69	65	61	52	44	36	27	23	19
41	16	95	86	78	73	69	60	52	44	35	31	27
40	25	12 04	95	86	81	77	68	60	51	42	38	34
39	34	12	12 03	94	89	85	76	67	58	50	46	42
38	43	21	12	12 03	98	93	84	75	66	57	53	49
37	52	29	20	11	12 06	12 01	92	83	74	65	61	57
36	61	38	28	19	14	09	12 00	91	82	73	68	64
35	70	47	37	27	22	17	07	98	89	80	76	72
34	79	55	45	35	30	25	15	12 06	97	88	83	79
33	88	64	54	44	39	34	24	14	12 05	96	91	86
32	97	73	63	52	47	42	32	22	12	12 03	98	93
31	13 06	81	71	60	55	50	40	30	20	11	12 06	12 01
30	16	90	79	68	63	58	48	38	28	19	14	09
29	25	99	88	77	71	66	56	46	36	26	21	16
28	34	13 07	96	85	80	74	64	54	44	34	29	24
27	43	16	13 05	93	88	82	72	62	52	42	37	32
26	52	25	13	13 01	96	90	80	70	59	49	44	39
25	61	34	22	10	13 04	99	88	78	67	57	52	47
24	71	43	31	19	13	13 08	97	86	75	65	60	55
23	80	51	39	27	21	16	13 05	94	83	72	67	62
22	89	60	47	35	29	24	13	13 02	91	80	75	70
21	98	68	56	44	38	33	22	10	99	88	82	77
20	14 08	77	64	52	46	40	29	18	13 06	95	90	85
19	17	86	73	61	55	49	37	26	15	13 04	98	93
18	26	95	82	69	63	57	45	34	22	11	13 05	13 00
17	36	14 04	91	78	72	66	54	42	30	19	13	08
16	45	13	14 00	87	80	74	62	50	38	27	21	16
15	55	22	08	95	88	82	70	58	46	34	28	23
14	64	30	17	14 04	97	91	78	66	54	42	36	30
13	74	39	25	12	14 05	99	86	74	62	50	44	38
12	83	48	34	20	13	14 07	94	82	70	58	52	46
11	92	57	43	29	22	16	14 03	90	77	65	59	53
10	15 02	66	51	37	30	24	11	98	85	73	67	61
09	11	75	60	46	39	32	19	14 06	93	81	75	69
08	21	84	69	54	47	40	27	14	14 01	88	82	76
07	30	93	77	62	55	48	35	22	09	96	90	84
06	40	15 02	86	71	64	57	43	30	17	14 04	98	92
05	49	11	95	79	72	65	51	38	25	12	14 05	99
04	58	20	15 04	88	81	74	60	46	33	20	13	14 07
03	67	28	12	96	89	82	68	54	41	28	21	15
02	77	37	21	15 05	97	90	76	62	49	36	29	23
01	87	46	30	14	15 06	99	84	70	56	43	36	30
00	96	55	39	23	15	15 07	92	78	64	51	44	38
0 9799	16 06	64	48	32	24	16	15 01	86	72	59	52	46
98	15	73	46	40	32	24	09	94	80	67	60	54
97	25	82	55	49	41	33	17	15 02	88	74	67	61
96	35	91	64	57	49	41	26	11	96	82	75	68
95	44	16 00	83	66	58	50	34	19	15 04	90	83	76
94	54	10	92	75	66	59	43	27	12	98	91	84
93	63	19	16 01	84	75	67	51	35	20	15 05	98	91
92	73	28	10	93	84	76	59	43	28	13	15 06	99
91	83	37	19	16 01	92	84	67	51	36	21	14	15 07

(Continued)

ประวัติ

นาย วิชาพงษ์ หาญเบญจพงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2495 ที่จังหวัดนราธิวาส จบการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี) จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีการศึกษา 2520