เอกสารอ้างอิง

1. ธาดา ตั้งศรีสุข. "การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทิลอัลกอฮอล์จากกากน้ำตาล มันสำปะหลังและข้าวโพด." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.

2. สุพจน์ เผื่องฟูพงศ์. "ข้าวโพด." ชุมทางเกษตร 17(2): 322-347, 2523.

3. Attech, Inc. "Gasohol : a Step to Energy Independence." Attech, Inc., Lexington, Ky., 1981.

4. Nikitin, N.I. The Chemistry of Cellulose and Wood. pp. 7-102, Israeled Program for Scientific Translation Ltd., Jerusalem, 1966.

5. Heuser, E. The Chemistry of Cellulose. 2d ed., pp. 68-109, John Wiley & Sons, New York, 1944.

6. Cowling, E.B., and Kirk, T.K. "Properties of Cellulose and Lignocellusosic Material as Substrates for Enzymatic Conversion Process." Biotechnol & Bioeng. Symp. pp. 95-123, John Wiley & Sons, New York, 1976.

7. Ott, E., and Spurlin, H.M. (eds.) Cellulose and Cellulose Derivatives. High Polymer Series, 2d ed., Vol. 5 pt.1, pp. 95-183, Interscience Publishers, New York, 1963.

8. Lehninger, A.L. Biochemistry. 2d ed., pp. 249-277, Worth Publisher, New York, 1975.

9. สิรินทร์ วิโมกข์สันถว์ และคนอื่นๆ. ชีวเคมี. หน้า 209-282, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2516.

10. Sykes, P. A Guidebook to Mechanism in Organic Chemistry. 4th ed., pp. 1-52, Longman, 1975.

11. Agricultural Research Administration Miscellaneous Publication No. 695. "Industrial Alcohol." United States Department of Agriculture, Washington, D.C., 1950.

12. Saeman, J.F. "Kinetics of Wood Saccharification." Ind. and Eng. Chem. 37(1): 43-52, 1945.

13. Levenspiel, O. Chemical Reaction Engineering. 2d ed., pp. 9-40, Wiley Eastern Ltd., India, 1975.

14. Hamill, H.W., and Russel, R.W. Principle of Physical Chemistry. pp. 312-333, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., Japan, 1959.

15. กฤษณา ชุติมา. หลักเคมีทั่วไป. พิมพ์ครั้งที่ 8 ฉบับปรับปรุงที่ 3. เล่ม 1, หน้า 224-251, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2525.

16. Miller, M.A., Baker. A.J., and Satter, D.L. "Physical and Chemical Pretreatments for Enhancing Cellulose Saccharification." Biotechnol. & Bioeng. Symp. No. 6, pp. 125-153, John Wiley & Sons, New York, 1976.

17. ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย. หลักการของเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการหมัก. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2520.

18. ปรียา วิบูลย์เศรษฐ. จุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เกษตร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2524.

19. Frazier, W.C. Food Microbiology. 2d ed. pp. 369-380, McGraw-Hill, India, 1977.

20. Jay, M.J. Modern Food Microbiology. 2d ed., pp. 2-41, D. Van Nostrand, New York, 1970.

21. Reed, G., and Peppler, H.J. Yeast Technology. pp. 33-46, Avi Publishing Co., Westport, Conn., 1973.

22. Faith, W.L. "Development of the Scholler Process in the United States." Ind. and Eng. Chem. 37(1): 9-11, 1945.

23. Friedrich, B. "Conversion of Wood to Carbohydrates." Ind. and Eng. Chem. 29(3): 247-253, 1937.

24. Dunning, J.W., and Lathrop, E.C. "The Saccharification of Agricultural Residues." Ind. Eng. Chem. 37(1): 24-29, 1945.

25. Sitton, O.C., et al. "Ethanol from Agricultural Residues." CEP 75(12): 52-57, 1979.

26. Mednick, R.L., Weiss, L.H., and Xipplitos, E.G. "Ethanol from Cellulose." CEP 8: 68-72, 1982.

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

28. วิชาพงษ์ หาญเบญจพงศ์ "การศึกษาการผลิตเอทานอลจากน้ำสัปปะรดโดยเครื่องหมักแบบคอลัมน์." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

29. กฤษณา รุ่งเรืองศักดิ์ และ ชินณสร สวัสดิวัฒน์. ปฏิบัติการและหลักเบื้องต้นในวิชาชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3, หน้า 18-50, คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล, 2521.

30. ศุภมาศ ภมรบุตร. "การศึกษาเกี่ยวกับการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำสัปปะรดโดยวิธีการหมักแบบเร็ว." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2520.

31. Jaroslav, S., and Miloslav, C. The Monosaccharides. pp. 110-113, Academic Press, New York, 1963.

32. Stowell, F.P. Limestone as a Raw Material in Industry. pp. 40-47, Oxford University Press, London, 1963.

33. Alan, W.G. The Formation and Properties of Precipitates. pp. 1-35, John Wiley & Sons, New York, 1967.

34. Arne, N.E. Kinetic of Precipitation. pp. 100-105, Pergamon Press, New York, 1964.

35. The Permutit Co. "The Precipitation Equipment." Permutit Co. Inc., 1975.

36. Toyama, N., and Ogawa, K. "Sugar Production from Agricultutal Woody Wastes by Saccharification with Trichoderma Viride Cellulase." Biotechnol and Bioeng. Symp. No. 5, pp. 231-232, John Wiley & Sons, New York, 1975.

37. Vogel, A.I. A Textbook of Quantitative Inorganic Analysis. 3d ed., pp. 462-465, Longman, London, 1973.

38. Skoog, D.A., and West, D.M. Fundamentals of Analytical Chemistry. 2d ed., pp. 120-177, Rineheast and Winston Inc., 1969.

39. Weast, R.C., et al. Handbook of Chemistry and Physics. 52d ed., The Chemical Rubber, 1972.

40. Perry, R.H., and Chiton, C.H. Chemical Engineers' Handbook. 4th ed., McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo, 1973.

41. Jo-Shong, N.G. "Yeast Recovery from Tapioca Waste." Master's Thesis, Department of Environmental Engineering, Asian Institute of Technology, 1973.

42. Beat, M. Sulfur, Energy, and Environment. pp. 259-265, Elsevier Scientific Publishing Co., Netherlands, 1977.

43. A.O.A.C. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 13th ed., George Benta, Wisconsin, 1980.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

รายละเอียดวิธีวิเคราะห์และคำนวณ มีดังนี้

1. <u>ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวไพด</u>

ตรวจโดยใช้วิธีของ Lane-Ennon (Pearson, 1970) น้ำยาเคมีประกอบด้วย

1) สารละลายมาตรฐานเฟลลิ่ง ประกอบด้วย

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

1.2 เฟลลิ่ง บี (สารละลายอัลคาร์ไลน์ ทาร์เตรท) ประกอบด้วย โปตัสเซียม โซเดียม ตาร์เตรท (โรเชลท์ ซอลท์) 173 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 กรัม ละลายสารทั้งสองในน้ำกลั่นแล้วทำให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร แต่ละครั้งต้องทิ้งไว้ 1 - 2 วัน ก่อนใช้งานได้กรองสารละลายด้วยใยแก้ว

2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30% น้ำหนักต่อปริมาตร

3) สารละลายเมทิลลีนบลู 1% น้ำหนักต่อปริมาตร

4) สารละลายฟีนอฟทาลีน 1% น้ำหนักต่อปริมาตร

การหาแฟคเตอร์ของสารละลายเฟลลิ่งมาตรฐาน

วิธีทำ ชั่งน้ำตาลกลูโคสมาจำนวน 0.3 กรัม (ให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน) เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่า เรียกสารละลายนี้ว่า สารละลายน้ำตาลมาตรฐาน ไตเตรทกับสารละลายเฟลลิ่ง ดังนี้

ผสมสารละลายเฟลลิ่ง เอ 5 มิลลิลิตร และสารละลายเฟลลิ่ง บี 5 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน เติมสารละลายกลูโคสมาตรฐาน ต้มให้เดือด ทำเช่นนี้จนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีน้ำตาลแดง เติมสารละลายเมทิลลีนบลู 2-3 หยด ค่อย ๆ หยดสารละลายกลูโคสมาตรฐานลงไปทีละหยด ๆ สังเกตดูสีเมทิลลีนบลูจะจางหายไป และเกิดตะกอนสีน้ำตาลแดง ซึ่งปริมาตรของสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ใช้หลังจากเติมเมทิลลีนบลูไม่ควรเกิน 1 มิลลิลิตร และเวลา

ในการไตเตรทไม่ควรเกิน 1 นาที ซึ่งเวลาที่ใช้ในการไตเตรททั้งหมดก็ไม่ควรเกิน 3 นาที (เนื่องมาจากน้ำตาลไหม้)

ตัวอย่างวิธีคำนวณ

น้ำหนักกลูโคส = 0.3252 กรัม

ปริมาณสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ใช้ = 15.85 มิลลิลิตร

แสดงว่า 10 มิลลิลิตรของสารละลายเฟลลิ่ง = 15.85 มิลลิลิตรของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน

100 มิลลิลิตรของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน = 0.3252 กรัมของกลูโคส

∴ 15.85 มิลลิลิตรของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน = $\frac{0.3252 \times 15.85}{100}$ กรัมของกลูโคส

∴ แฟคเตอร์สำหรับสารละลายเฟลลิ่ง 10 มิลลิลิตร = 0.0515442 กรัมของไมโนแซคคาไรด์

แสดงว่า 10 มิลลิลิตรจะทำปฏิกิริยาพอดีกับ 0.0515442 กรัมของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน

การหาเปอร์เซนต์ของน้ำตาลในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวไพต

วิธีทำ ในการวิเคราะห์สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวไพต ต้องนำสารละลายมาทำให้มีความเป็น pH เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30% น้ำหนักต่อปริมาตร โดยมีสารละลายฟีนอฟทาลีน 1% เป็นอินดิเคเตอร์ โดยรู้ปริมาตรที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมลงไป จากนั้นจึงสามารถนำสารละลายนี้ไปใช้ไตเตรทกับสารละลายเฟลลิ่ง

ตัวอย่าง วิธีคำนวณ

ปิเปตสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวไพตมาวิเคราะห์ = 25 มิลลิลิตร

ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ = 0.1 มิลลิลิตร

∴ สารละลายน้ำตาลที่ใช้ไตเตรท = 25.1 มิลลิลิตร

ปริมาณไตเตอร์ที่ใช้ในการไตเตรท = 3.5 มิลลิลิตร

10 มิลลิลิตรของสารละลายเฟลลิ่ง ≡ สารละลายน้ำตาลกลูโคส 0.0515442

3.5 มิลลิลิตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ไตเตรท = 0.0515442 กรัมของกลูโคส

∴ 25.1 มิลลิลิตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ไตเตรท = $\frac{0.0515442 \times 25.1}{3.5}$ กรัมของกลูโคส

∴ สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวไพต 25 มิลลิลิตร = $\frac{0.0515442 \times 25.1}{3.5}$ กรัมของกลูโคส

สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวไพต 100 มิลลิลิตร = $\frac{0.0515442 \times 25.1 \times 100}{3.5 \times 2.5}$ กรัมของกลูโคส

= 1.47 กรัมของกลูโคส

ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด คิดเป็นร้อยละ 1.47 ในการทดลองค่าไตเตอร์ที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ย

2. <u>การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นกรดในสารละลาย (42)</u>

น้ำยาเคมีประกอบด้วย

1) สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 นอร์มอล

2) สารละลายโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเรต 0.5 นอร์มอล

3) สารละลายฟีนอฟทาลีน 1% น้ำหนักต่อปริมาตร

วิธีเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน

1) เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 นอร์มอล 500 มิลลิลิตร โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยเครื่องชั่งหยาบ 10 กรัม ละลายด้วยน้ำต้มที่ไล่คาร์บอนไดออกไซด์ออกไป และทิ้งให้เย็นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร

2) เตรียมสารละลายโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเรต 0.5นอร์มอลโดยนำโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเรตไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อเย็นแล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียดให้ได้ประมาณ 10.2 กรัม ละลายด้วยน้ำร้อน แล้วทิ้งให้เย็นเสียก่อน จึงนำไปปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร คำนวณหานอร์มอลิตี้ของสารละลาย จากน้ำหนักที่ชั่งได้อีกทีหนึ่ง

3) นำสารละลายโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเรด10มิลลิลิตร ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้สารละลายฟีนอฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นจะคำนวณนอร์มอลิตี้ ที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้

ตัวอย่างการคำนวณ

สารละลายโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเรดมีความเข้มข้น = 0.4902 นอร์มอล

ปริมาตรของสารละลายโซเดียมโปตัสเซียมพาทาเรต

ที่ใช้ในการไตเตรท = 10 มิลลิลิตร

ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท = 10.2 มิลลิลิตร

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

. . นอร์มอ ลิตี้ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ = $\frac{0.4902 \times 10}{10.2}$ นอร์มอล

= 0.4806 นอร์มอล

การหาเปอร์เซ็นต์ของกรดในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด

วิธีทำ นำสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด 10 มิลลิลิตรไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4806 นอร์มอล โดยใช้สารละลายฟีนอฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จนสารละลายน้ำตาลเปลี่ยนเป็นสีชมพูจาง จึงหยุดไตเตรท นำปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ซึ่งเรียกว่า ไตเตอร์ไปคำนวณหาปริมาณกรดในสารละลายตัวอย่างได้

ตัวอย่างวิธีคำนวณ

ปริมาตรของสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่ใช้ในการไตเตรท = 10 มิลลิลิตร

ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4806 นอร์มอล = 4 มิลลิลิตร

. . สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด 10 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับ

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ = $\frac{0.4806 \times 4}{1000}$ กรัมสมมูลย์

(เมื่อ น้ำหนักไมเลกุลของกรดซัลฟุริค = 98.08 กรัม)

. . สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด 10 มิลลิลิตร มีปริมาณกรด = $\frac{0.4806 \times 4 \times 2 \times 98.08}{1000}$ กรัม

สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด 100 มิลลิลิตรมีปริมาณกรด = $\frac{0.4806 \times 4 \times 2 \times 98.08 \times 100}{1000 \times 10}$ กรัม

= 3.8 กรัม

นั่นคือ สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดมีปริมาณกรด = 3.8 กรัม/100 มิลลิลิตร

ในการทดลองแต่ละครั้งใช้ค่าไตเตอร์เฉลี่ย

3. <u>การวิเคราะห์หาปริมาณอนุมูลซัลเฟตในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดด้วยวิธีกราวิเมตริก</u> (36,37)

น้ำยาเคมีประกอบด้วย

1) สารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2.2H_2O$) 1 โมลาร์

2) สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 5 %

วิธีทำ

1) ปิเปตสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด 30 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วก้นแบน นำไปตั้งบนเตาให้เดือด โดยใช้ฝากระจกนาฬิกาปิดปากขวดไว้

2) หยดสารละลายแบเรียมคลอไรด์ 1 โม ลาร์ลงในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดอย่างช้า ๆ พร้อมทั้งใช้แท่งแม่เหล็กกวนสารละลายนี้อย่างสม่ำเสมอ สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดจะเกิดตกตะกอนขุ่นขาวขึ้นทุกครั้งที่สารละลายแบเรียมคลอไรด์หยดลงไป หยดจนกระทั่งไม่เกิดตะกอนขุ่นขาวขึ้นมา เมื่อหยดสารละลายแบเรียมคลอไรด์ลงไป

3) ปล่อยให้ตะกอนตกนอนก้น 1-2 นาที จึงทดสอบของเหลวใสโดยการหยดสารละลายแบเรียมคลอไรด์ลงไปอีก 1-2 หยด หากยังเกิดตะกอนอีก ทำข้อ 2 ซ้ำ

4) หากสารละลายส่วนใสไม่เกิดตะกอน เมื่อหยดแบเรียมคลอไรด์ ให้เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ลงไปอีก 1-3 มิลลิลิตร ตั้งสารละลายทิ้งไว้บนเตาโดยใช้ขีดความร้อนต่ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงเอาลงจากเตา

5) ปล่อยให้ตะกอนตกนอนก้น ทดสอบส่วนใสโดยหยดสารละลายแบเรียมคลอไรด์ หากไม่มีตะกอนเกิดขึ้นให้นำไปกรอง โดยใช้กระดาษกรองหมายเลข 42 นำสารละลายที่ได้จากการกรองทดสอบด้วยสารละลายแบเรียมคลอไรด์อีกทีหนึ่ง หากไม่มีตะกอนเกิดขึ้นให้ทำข้อ 6. ต่อไป หากเกิดตะกอนขึ้นให้เริ่มทำการวิเคราะห์ใหม่จากข้อ 1 อย่างเคร่งครัด

6) ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน จนกระทั่งน้ำล้างตะกอนที่กรองได้มีค่าความเป็น pH เป็นกลาง ซึ่งทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส ทดสอบอนุมูลคลอไรด์โดยการหยดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท หากมีตะกอนเกิดขึ้นในน้ำล้างก็ล้างตะกอนแบเรียมซัลเฟตอีก

7) นำตะกอนแบเรียมซัลเฟตที่ได้ไปเผาที่ 900°C จนกระทั่งน้ำหนักตะกอนคงที่

8) นำน้ำหนักตะกอนที่ชั่งได้มาคำนวณหาปริมาณอนุมูลซัลเฟตในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด

ตัวอย่างวิธีคำนวณ

จากสมการ $Ba^{++} + SO_4^{=} \longrightarrow B_aSo_4$ (36)

137.34 96.08 233.42 กรัม

น้ำหนักตะกอนแบเรียมซัลเฟตเฉลี่ย = 0.8706 กรัม

ปริมาณอนุมูลซัลเฟตในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด 30 มิลลิลิตร $= \frac{96.08 \times 0.8706}{233.42}$

$= 0.3583$

เปอร์เซ็นต์อนุมูลซัลเฟตในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด $= \frac{0.3583 \times 100}{30}$

$= 1.19$

4. <u>วัดค่าสภาพการดูดกลืนแสง</u> (absorbance)

ตรวจโดยใช้เครื่อง สเปคโตรนิค 21

วิธีทำสารละลาย ดูดตัวอย่าง จำนวน 2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 20 มิลลิลิตรในขวดวอลลูเมตริก นำสารละลายไปอ่านค่า สภาพการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายตัวอย่างที่ปราศจากเชื้อตั้งจุดศูนย์

วิธีใช้เครื่อง

1) เปิดเครื่องและตั้งเครื่องให้อุ่นประมาณ 10 นาที

2) ปรับเลือกใช้คลื่นแสง 580 นาโนเมตร

3) เทสารละลายที่จะวัดค่าลงในหลอดโดยให้ระดับสารละลายอยู่เหนือแถบขาวบนหลอดทุกครั้งที่ทำการวัด

4) เมื่อเครื่องอุ่นแล้วใส่หลอดเปรียบเทียบ ซึ่งเป็นหลอดที่บรรจุสารละลายตัวอย่างที่ปราศจากเชื้อ ลงในช่องบนเครื่องโดยวางด้านที่มีขีดในแนวตั้งที่หลอดให้ตรงกับขีดบนช่องใส่ตัวอย่างทุกครั้งที่ทำการวัด ปิดฝาให้เรียบร้อยแล้วปรับปุ่ม ปรับปริมาณแสงให้เข็มอ่านค่าการดูดแสง เท่ากับ 0 หน่วย หรือคือ 100% แสงผ่าน จึงนำหลอดเปรียบเทียบออก

5) ใส่หลอดบรรจุสารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาค่าลงในช่องแล้วปิดฝา แล้วอ่านค่าสภาพการดูดกลืนแสง ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงกว่า 0.6 หน่วย อาจไม่ถูกต้องนัก เพราะว่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่เข้มข้นมาก จะไม่เป็นไปตามกฎของเบียร์ ดังนั้นจึงต้องเจือจางสารละลายให้เหมาะสม นอกจากนี้ค่าการดูดและที่อ่านจะถูกต้อง เมื่อสารละลายในหลอดผสมเป็นเนื้อเดียวกันตลอด และต้องไม่มีฟองอากาศ เกาะที่ผิวหลอดหรือมีน้ำเกาะอยู่นอกหลอด

5. <u>จำนวนเซล ยีสต์ที่นับได้</u>

ตรวจโดยใช้วิธีตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดจากกล้องจุลทรรศน์โดยตรง (Direct Microscopic Counts, DMC.)

วิธีทำ ดูดตัวอย่างมาจำนวน 2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 20 มิลลิลิตร หยดสารละลายที่เจือจางลงบนแผ่นสไลด์สำหรับนับเซล (haematometer) ปิดด้วยไคเวอร์กลาส (Coverglass) ทั้งแผ่นสไลด์และไคเวอร์กลาสจะต้องทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ก่อนและหลังจากการนับยีสต์ในแต่ละครั้ง นำไปตรวจนับจำนวนเซล ยีสต์จากกล้องจุลทรรศน์โดยตรง จะสังเกตเห็นเซล ยีสต์มีลักษณะใสกลม นับจำนวนเซล ยีสต์ที่เห็นนี้ โดยนับเซล ยีสต์ที่อยู่บน 5 ช่องใหญ่ ในแนวเส้นทะแยงมุม ซึ่งเป็นการสุ่มตัวอย่างที่ได้ค่าเฉลี่ยดีที่สุด นำมาคำนวณหาค่าจำนวนเซล ยีสต์ที่นับได้

ตัวอย่างวิธีคำนวณ

เนื่องจากแผ่นสไลด์นี้จะมีตารางเป็นช่อง ๆ ทั้งหมด 25 ช่อง 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 = $1/50 \times 10^{3}$ มิลลิเมตร

สมมตินับจำนวนเซล ยีสต์ใน 5 ช่องใหญ่ ได้ = X ตัว

ดังนั้น ปริมาตร $1/50 \times 10^{3}$ มิลลิลิตร มีจำนวนเซล ยีสต์ = X ตัว

ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีจำนวนเซล ยีสต์ = $50 \times 10^{3} \times 20 \times X$ ตัว

นั่นคือ ใน 2 มิลลิลิตรของตัวอย่างมีจำนวนเซล ยีสต์ = $50 \times 10^{3} \times 20 \times X$ ตัว

ใน 1 มิลลิลิตรของตัวอย่างมีจำนวนเซล ยีสต์ = $\frac{50 \times 10^{3} \times 20 \times X}{2}$ ตัว

$= 5X \times 10^{5}$

$0.5X = 0.5X \times 10^{6}$ ตัว

แสดงว่า จำนวนเซล ยีสต์ที่นับได้เท่ากับ 0.5X ล้านตัว ใน 1 มิลลิลิตรของตัวอย่าง

6. <u>ปริมาณ เอทิลอัลกอฮอล์ (42)</u>

วิธีทำ ใช้น้ำหมัก 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดกลั่นขนาด 250-500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปอีก 50 มิลลิลิตร นำไปกลั่น กลั่นให้ได้ส่วนที่กลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดวอลลูเมตริก นำไปหาความถ่วงจำเพาะโดยใช้ขวดพิคาโนมิเตอร์ (Regnault pycnometer) โดยชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของขวดพิคาโนมิเตอร์ที่แห้งสนิทไว้ จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในส่วนที่เป็นกระเปาะของขวดพิคาโนมิเตอร์จนถึงคอกระเปาะสวมก้านของขวดพิคาโนมิเตอร์ลงกับกระเปาะแล้วเติมน้ำกลั่นให้ถึงขีด ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนไว้ เทน้ำกลั่นออก จากนั้นเป่าให้แห้งสนิท ใส่ตัวอย่างที่กลั่นลงในกระเปาะ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนเช่นเดิม นำไปคำนวณหาความถ่วงจำเพาะแล้วนำไปหาค่าปริมาณเอทิลอัลกอฮอล์เป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจากตารางในภาคผนวก ค. ที่น้ำหมักมีความเป็นกรดผิดปกติก่อนนำไปกลั่น ควรทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

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

ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำหนักขวดพิคาโนมิเตอร์ + ตัวอย่าง	=	39.5209	กรัม
น้ำหนักขวดพิคาโนมิเตอร์ + น้ำ	=	39.6201	กรัม
น้ำหนักขวดพิคาโนมิเตอร์	=	13.7300	กรัม
น้ำหนักตัวอย่าง	=	25.7909	กรัม
น้ำหนักน้ำ	=	25.8901	กรัม
ความถ่วงจำเพาะ	=	$\frac{25.7909}{25.8901}$	กรัม
	=	0.9961	

ในการทดลองได้ทำ 2 ตัวอย่าง แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย

นำค่าความถ่วงจำเพาะ 0.9961 ไปหาค่าปริมาณเอทิลอัลกอฮอล์จากตารางในภาคผนวก ค. ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะได้เอทิลอัลกอฮอล์ เท่ากับ 2.62% (โดยปริมาตร)

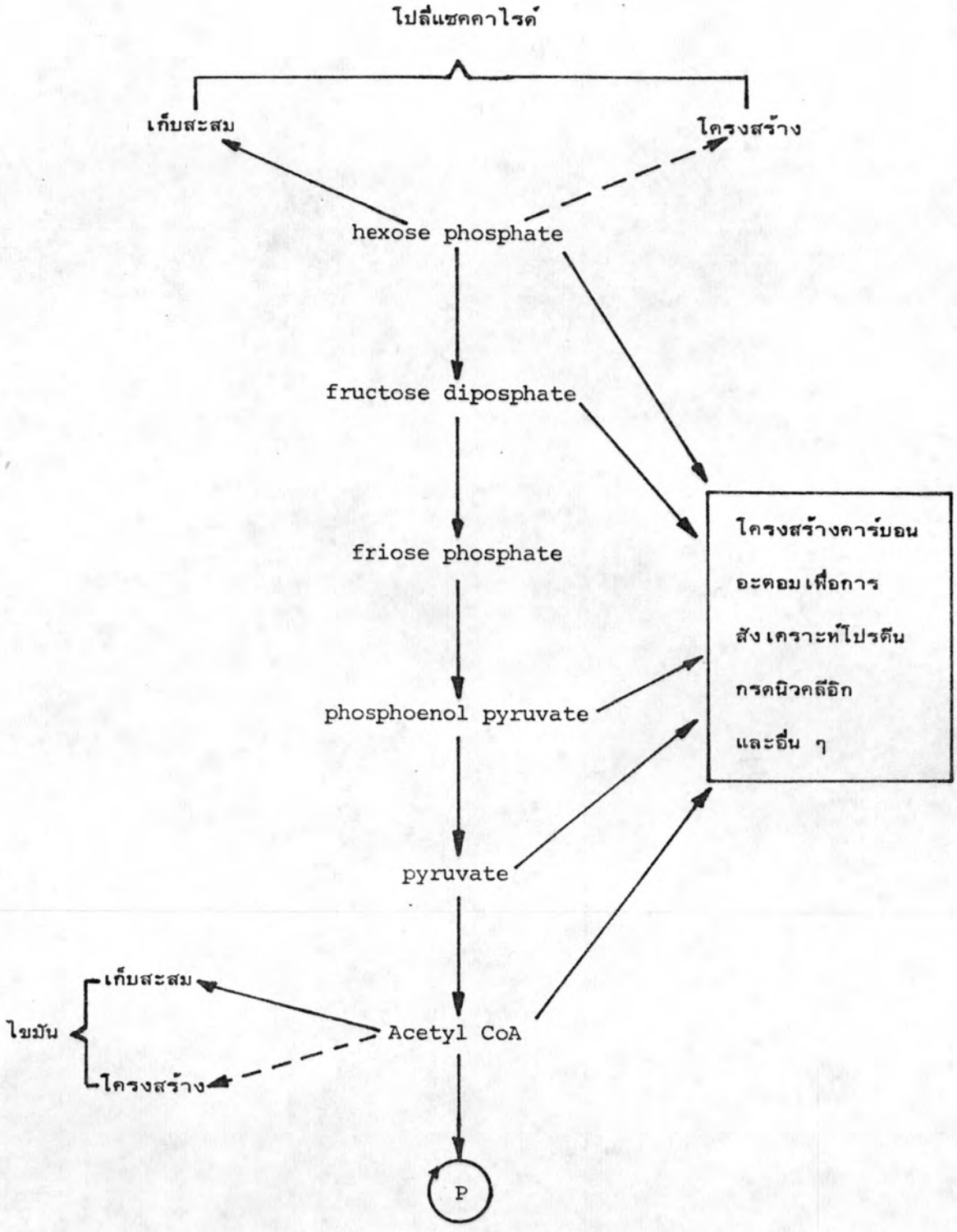
ภาคผนวก ข.

เมตาบอลิสมภายในเซล ยีสต์ (metabolism in yeast)

เมตาบอลิสมภายในเซล ยีสต์ มี 2 แบบ คือ

1. เมตาบอลิสมการหมัก
2. เมตาบอลิสมการหายใจ

ยีสต์ใช้น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน ตามรูปที่ ข-1



รูปที่ ข-1 แผนภูมิเมตาบอลิสมภายในเซล ยีสต์ ยีสต์ใช้น้ำตาลเป็นแหล่งให้พลังงานและแหล่งคาร์บอน

1. เมตาบอลิสมการหมัก

น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของยีสต์ น้ำตาลผ่านเข้าสู่ภายในเซล ด้วยระบบขนส่งที่ผนังเซล หรือที่เยื่อไซโตปลาสม และการหมักเกิดในไซโตปลาสม กลูโคสจะเปลี่ยนไปตามวิธี ไกลโคลิซิส (Glycolysis pathway หรือ Embden Meyerhof pathway) จนกระทั่งได้ไพรูเวท 2 โมเลกุล ไพรูเวทจะสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ในปฏิกิริยาของไพรูเวทดีคาร์บอกซีเลส กลายเป็นอะซิตาลดีไฮด์ ปฏิกิริยาสุดท้ายของการหมักแอลกอฮอล์ คือ ปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ดีคาร์บอกซิเลส ในปฏิกิริยานี้ อะซิตาลดีไฮด์จะถูกรีดิวส์ให้เปลี่ยนเป็นเอทิลอัลกอฮอล์

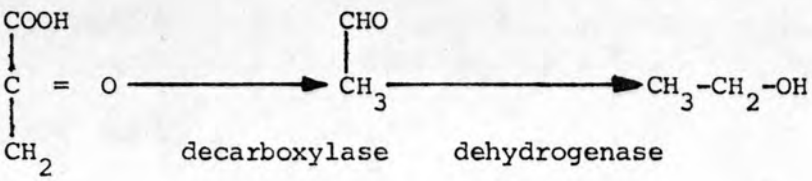
การหมักแอลกอฮอล์มีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้

รายละเอียดของวิถีไกลโคลิซิล แสดงตามรูปที่ ข-2

ผลผลิตที่ได้รับจากไกลโคลิซิส

2pyruvate, 2ATP, 2NADH,

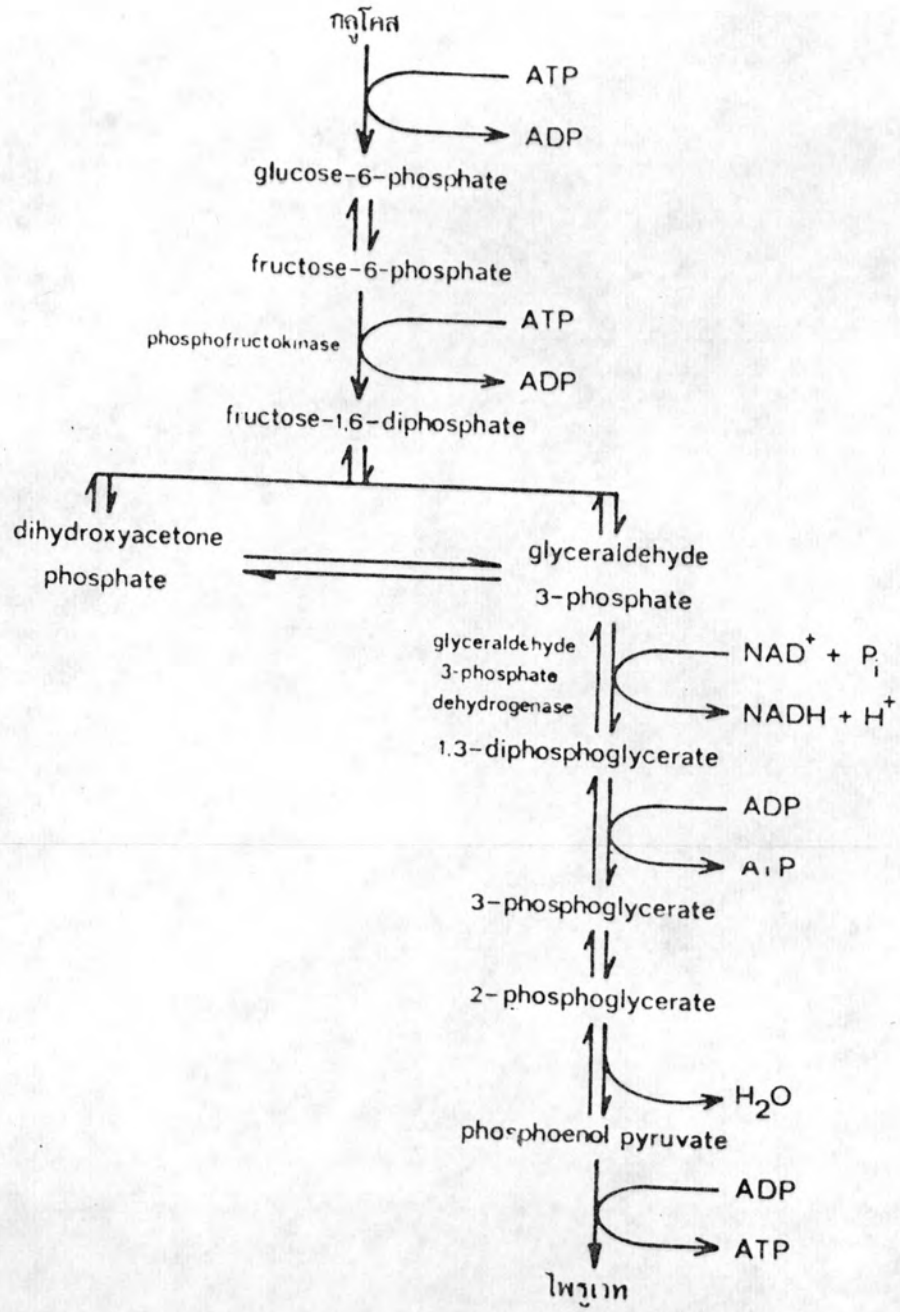
การหมักแอลกอฮอล์ ไกลโคลิซิส 2 ขั้นตอน



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

ผลที่เกิดจากการหมัก อัลกอฮอล์

2 ethanol + $2CO_2$ + 2ATP



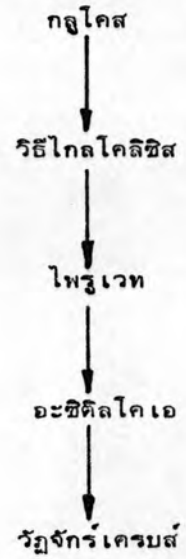
รูป ข-2 แสดงการสลายกลูโคสเป็นไพรูเวท

2. เมตาบอลิสมการหายใจ

ความสามารถในการหายใจของยีสต์ตามวิถีการหายใจที่รู้จักกันดี คือ วิถีกรดซิตริก (citric acid cycle) หรือ Tricarboxylic acid cycle (TCA) วัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) และพบว่ามีวัฏจักรออกซิเลส (oxylate cycle) และวัฏจักรเพนโตส (pentose cycle) หรือเฮ็กโซสไมโนฟอสเฟต ชันท์ (hexose monophosphate shunt cycle)

เมตาบอลิสมการหายใจ ยีสต์จะเปลี่ยนกลูโคสผ่านวิถีไกลโคลิซิส ให้กลายเป็นไพรูเวท การเผาผลาญไพรูเวทให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ จะเกิดขึ้นภายในไมโตคอนเดรียเท่านั้น ไพรูเวทสามารถผ่านเข้าไมโตคอนเดรียได้โดยอิสระ ไพรูเวทสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นอะซิติลโค เอ ต่อจากนั้นอะซิติลโค เอจะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ และถูกเผาผลาญให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์หมด

การหายใจมีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้



รายละเอียดของวัฏจักรเครบส์ แสดงตามรูปที่ ข-3

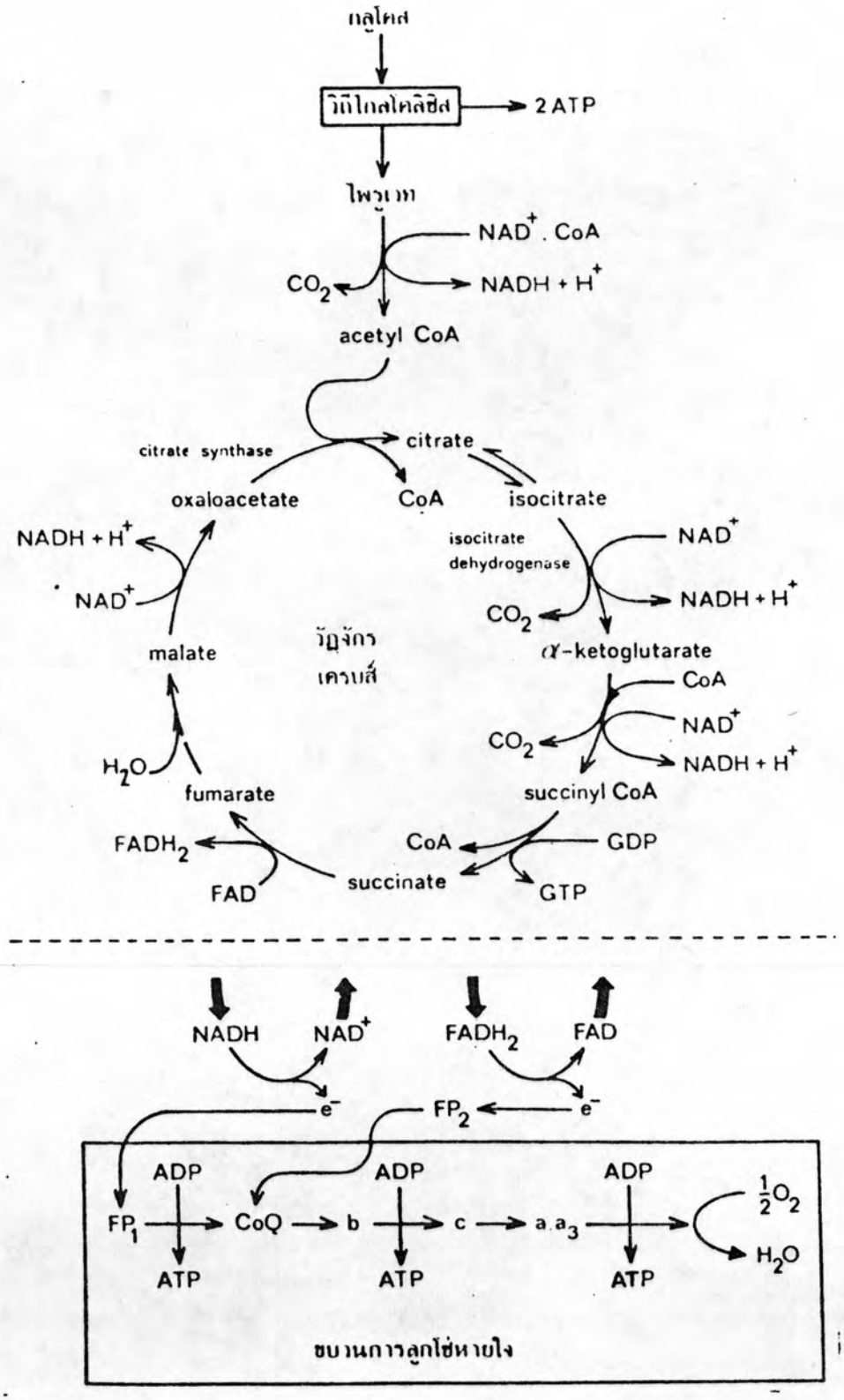
ผลผลิตการเมตาบอลิสมการหายใจ

pyruvate ⟶ acetyl CoA ⟶ TCA cycle

(2)pyruvate ⟶ (2) $3CO_2$

glucose ⟶ 2pyruvate ⟶ $6CO_2$

สารอาหารที่ยีสต์ใช้ในการหายใจมีมากกว่าที่ใช้ในการหมัก เช่น เพนโตส เมทธิลเพนโตส แอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์



รูป ข-3 แสดงความสัมพันธ์ของวัฏจักรเครบส์ลูกโซ่หายใจ และ oxidative phosphorylation

FP =glaroprotein CoQ = Coenzyme Q และ b, c, a, a_3 เป็นไซโครม

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	.88	.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	2.02	2.02	2.01	2.01	2.01	2.00	2.00	2.00	.99	.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	.91	.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), (Sci. Paper No. 197).

52.003 **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	.7
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

(*Continued*)

ภาคผนวก ง.

ตัวอย่างการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด

1. การคิดราคาขายน้ำตาลไมแลส

น้ำตาลไมแลส 1 หาบ = 35 บาท (บริษัทน้ำตาลบ้านโป่ง บริษัทน้ำตาลขอนแก่น และ บริษัทน้ำตาลท่ามะกา)

1 หาบ = 60 กิโลกรัม

ราคาน้ำตาลไมแลส 1 กรัม = $\frac{35}{60 \times 1,000} = 5.83 \times 10^{-4}$ บาท

2. การคิดราคากรดที่ใช้

กรดซัลฟุริคเข้มข้นราคาขวดละ = 280 บาท/2.5 ลิตร

1 ลิตร = 1.84 กิโลกรัม

∴ 2.5 ลิตร = $1.84 \times 2.5 = 4.6$ กิโลกรัม

= 4,600 กรัม

กรดซัลฟุริคเข้มข้น 4,600 กรัม = 280 บาท

1 กรัม = $\frac{280}{4,600} = 0.06$ บาท

3. การคิดราคาไฟฟ้าตามเวลาที่ใช้

ราคาหน่วยไฟฟ้า 1 ยูนิต = 1.50 บาท

4. ผลผลิตทางเศรษฐกิจในการทดลองที่ใช้ปริมาณกรดไม่เท่ากัน

ความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ใช้ = 4.4% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด(มิลลิลิตร):น้ำหนักชิ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) = 10:1

เมื่อการทดลองใช้กับต้นข้าวโพดหนัก = 10 กรัมของน้ำหนักแห้ง

∴ ปริมาตรสารละลายกรดที่ใช้ = $10 \times 10 = 100$ มิลลิลิตร

∴ ปริมาณกรดที่ใช้ในอัตราส่วนนี้ = $\frac{4.4 \times 100}{100} = 4.4$ กรัม

กรดซัลฟุริค 1 กรัม ราคา = 0.06 บาท

∴ กรดซัลฟุริคที่ใช้ = $4.4 \times 0.06 = 0.26$ บาท (1)

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ได้ = 0.61 กรัม

ราคาน้ำตาลไมแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

∴ ราคาน้ำตาลที่ขายได้ = $0.61 \times 5.83 \times 10^{-4}$ บาท

= 3.56×10^{-4} บาท (2)

$$\frac{\text{ราคาน้ำตาลที่ขายได้}}{\text{ราคากรดที่ใช้}} = (2) / (1) \qquad (40)$$

$$= \frac{3.56 \times 10^{-4}}{0.26}$$

$$= 13.69 \times 10^{-4}$$

5. <u>ราคาน้ำตาล/ราคากรดในการทดลองที่ใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาปฏิกิริยาไม่เท่ากัน</u>

เครื่องใช้กำลังไฟฟ้า = 4,000 วัตต์

สมมุติการทดลองในช่วงปฏิกริยาเป็นเวลา = 7 นาที

หน่วยไฟฟ้า 1 ยูนิต = 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

∴ หน่วยไฟฟ้าที่ได้ใช้ในการทดลอง = $\frac{4,000}{1,000}$ กิโลวัตต์ $\times \frac{7}{60}$ ชั่วโมง

= 0.46 ยูนิต

ไฟฟ้า 1 ยูนิต ราคา = 1.50 บาท

∴ ราคาไฟฟ้าที่ใช้ = $0.46 \times 1.50 = 0.69$ บาท (1)

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด = 1.86 กรัม

ราคาน้ำตาลไมแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

∴ ราคาน้ำตาลที่ขายได้ = $1.86 \times 5.83 \times 10^{-4}$ บาท

= 10.84×10^{-4} บาท (2)

$$\frac{\text{ราคาน้ำตาลที่ขายได้}}{\text{ราคากรดที่ใช้}} = (2) / (1)$$

$$= \frac{10.84 \times 10^{-4}}{0.69}$$

$$= 15.7 \times 10^{-4}$$

ตารางที่ ง-1 แสดงข้อมูลการคำนวณ ราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟุริคในปริมาณ 4.0%

อัตราส่วนของเหลว: ของแข็ง	ปริมาณกรดที่ใช้ (กรัม)	(1) ราคากรดที่ใช้ (บาท)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ที่ได้ (กรัม)	(2) ราคาน้ำตาลที่ขายได้ (บาท) $\times 10^{-4}$	(2)/(1) $\times 10^{-4}$
11:1	4.40	0.26	0.45	2.62	10.09
12:1	4.80	0.29	0.47	2.74	9.45
13:1	5.20	0.31	0.51	2.97	9.58
14:1	5.60	0.34	0.55	3.21	9.44
15:1	6.00	0.36	0.59	3.44	9.56
16:1	6.40	0.38	0.62	3.61	9.50
17:1	6.80	0.41	0.65	3.79	9.24

ราคากรดซัลฟุริค 1 กรัม = 0.06 บาท

ราคากากน้ำตาลโมแลส = 5.83×10^{-4} บาท

ตารางที่ ง-2 แสดงข้อมูลการคำนวณ ราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟุริคในปริมาณ 4.4%

อัตราส่วนของเหลว: ของแข็ง	ปริมาณกรดที่ใช้ (กรัม)	(1) ราคากรดที่ใช้ (บาท)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ที่ได้ (กรัม)	(2) ราคาน้ำตาลที่ขายได้ (บาท) $\times 10^{-4}$	(2)/(1) $\times 10^{-4}$
11:1	4.84	0.29	0.55	3.20	11.03
12:1	5.28	0.32	0.58	2.98	10.56
13:1	5.72	0.34	0.62	3.61	10.62
14:1	6.16	0.37	0.67	3.91	10.57
15:1	6.60	0.40	0.74	4.31	10.78
16:1	7.04	0.42	0.77	4.49	10.69
17:1	7.48	0.49	0.85	4.93	10.06

ราคากรดซัลฟุริค 1 กรัม = 0.06 บาท

ราคากากน้ำตาลไมแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

ตารางที่ ง-3 แสดงข้อมูลการคำนวณ ราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟุริคในปริมาณ 5.0%

อัตราส่วนของเหลว: ของแข็ง	ปริมาณกรดที่ใช้ (กรัม)	(1) ราคากรดที่ใช้ (บาท)	ปริมาณน้ำตาล รีดิวส์ที่ได้ (กรัม)	(2) ราคาน้ำตาลที่ขายได้ (บาท) $\times 10^{-4}$	(2)/(1) $\times 10^{-4}$
11:1	5.50	0.33	0.50	2.91	8.83
12:1	6.00	0.36	0.54	3.15	8.75
13:1	6.50	0.39	0.55	3.21	8.23
14:1	7.00	0.42	0.58	3.38	8.05
15:1	7.50	0.45	0.59	3.44	7.64
16:1	8.00	0.48	0.62	3.61	7.52
17:1	8.50	0.51	0.66	3.85	7.54

ราคากรดซัลฟุริค 1 กรัม = 0.06 บาท

ราคากากน้ำตาลไมแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

ตารางที่ ง-4 แสดงข้อมูลการคำนวณ ราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟุริคในปริมาณ 4.4%

อัตราส่วนของเหลว: ของแข็ง	ปริมาณกรดที่ใช้ (กรัม)	(1) ราคากรดที่ใช้ (บาท)	ปริมาณน้ำตาล รีดิวส์ที่ได้ (กรัม)	(2) ราคาน้ำตาลที่ขายได้ (บาท) $\times 10^{-4}$	(2)/(1) $\times 10^{-4}$
7:1	3.08	0.18	0.34	1.98	11.00
8:1	3.52	0.21	0.44	2.57	12.24
9:1	3.96	0.24	0.53	3.09	12.88
10:1	4.40	0.26	0.61	3.56	13.69
11:1	4.84	0.29	0.68	3.96	13.66
12:1	5.28	0.32	0.74	4.31	13.47
13:1	5.72	0.34	0.78	4.55	13.38
14:1	6.16	0.37	0.82	4.78	12.92
15:1	6.60	0.40	0.84	4.90	12.25
16:1	7.04	0.42	0.87	5.07	12.07
17:1	7.48	0.45	0.90	5.25	11.66

ราคากรดซัลฟุริค 1 กรัม = 0.06 บาท

ราคากากน้ำตาลไมแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

ตารางที่ ง-5 แสดงข้อมูลการคำนวณค่าราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟุริคในปริมาณ 15% เวลาที่แช่กากต้นข้าวโพด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 15 นาที

อัตราส่วนของเหลว: ของแข็ง	ปริมาณกรดที่ใช้ (กรัม)	(1) ราคากรดที่ใช้ (บาท)	ปริมาณน้ำตาล รีดิวส์ที่ได้ (กรัม)	(2) ราคาน้ำตาลที่ขายได้ (บาท) $\times 10^{-4}$	(2)/(1) $\times 10^{-4}$
5:1	3.98	0.239	0.21	1.22	5.10
6:1	4.80	0.288	0.28	1.63	5.66
7:1	5.63	0.338	0.32	1.89	5.60
8:1	6.38	0.383	0.39	2.27	5.90
9:1	7.20	0.432	0.43	2.51	5.80
10:1	8.03	0.482	0.46	2.68	5.56
11:1	8.78	0.527	0.46	2.68	5.08
12:1	9.60	0.576	0.48	2.80	4.86
13:1	10.40	0.624	0.54	3.15	5.05
14:1	11.20	0.672	0.57	3.32	4.94

ราคากรดซัลฟุริค 1 กรัม = 0.06 บาท

ราคากากน้ำตาลไมแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

ตารางที่ ง-6 แสดงข้อมูลการคำนวณค่าราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟุริคในปริมาณ 80% เวลาที่ใช้แช่กากต้นข้าวโพด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 15 นาที

อัตราส่วนของเหลว: ของแข็ง	ปริมาณกรดที่ใช้ (กรัม)	(1) ราคากรดที่ใช้ (บาท)	ปริมาณน้ำตาล รีดิวส์ที่ได้ (กรัม)	(2) ราคาน้ำตาลที่ขายได้ (บาท) $\times 10^{-4}$	(2)/(1) $\times 10^{-4}$
5:1	4.00	0.24	0.22	1.28	3.35
6:1	4.80	0.29	0.30	1.8	6.24
7:1	5.60	0.34	0.40	2.33	6.86
8:1	6.40	0.38	0.45	2.62	6.91
9:1	7.20	0.43	0.50	2.92	6.79
10:1	8.00	0.48	0.55	3.44	6.66
11:1	8.80	0.53	0.59	3.44	6.49
12:1	9.60	0.58	0.59	3.44	5.93
13:1	10.40	0.62	0.60	3.50	5.64
14:1	11.20	0.67	0.61	3.56	5.31

ราคากรดซัลฟุริค 1 กรัม = 0.06 บาท

ราคากากน้ำตาลโมแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

ตารางที่ ง-7 แสดงข้อมูลการคำนวณค่าราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟุริคในปริมาณ 85% เวลาที่ใช้แช่กากต้นข้าวโพด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 15 นาที

อัตราส่วนของเหลว: ของแข็ง	ปริมาณกรดที่ใช้ (กรัม)	(1) ราคากรดที่ใช้ (บาท)	ปริมาณน้ำตาล รีดิวส์ที่ได้ (กรัม)	(2) ราคาน้ำตาลที่ขายได้ (บาท) $\times 10^{-4}$	(2)/(1) $\times 10^{-4}$
5:1	4.00	0.24	0.24	1.39	5.79
6:1	4.80	0.29	0.29	1.69	5.83
7:1	5.60	0.34	0.34	1.98	5.84
8:1	6.40	0.38	0.39	2.27	5.97
9:1	7.20	0.43	0.43	2.50	5.81
10:1	8.00	0.48	0.49	2.80	5.83
11:1	8.60	0.52	0.50	2.90	5.58
12:1	9.60	0.58	0.51	3.00	5.17
13:1	10.40	0.62	0.52	3.03	4.88
14:1	11.20	0.67	0.55	3.21	4.79

ราคากรดซัลฟุริค 1 กรัม = 0.06 บาท

ราคากากน้ำตาลไมแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

ตารางที่ ง-8 แสดงข้อมูลการคำนวณ ราคาน้ำตาล/ราคาไฟฟ้า ของไฮโดรไลซิส เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริคมีความเข้มข้น 80% เวลาแช่กากข้าวโพด 3 ชั่วโมง อัตราส่วนสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร):น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 8:1 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิสต่าง ๆ กัน

เวลา (นาที)	(1) หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (ยูนิต)	ราคาไฟฟ้า (บาท)	น้ำตาลทั้งหมด (กรัม)	(2) ราคาน้ำตาล (บาท) $\times 10^{-4}$	(2)/(1) $\times 10^{-4}$
10	0.66	0.99	1.27	7.40	7.47
20	1.33	1.99	1.68	9.79	4.92
30	2.00	3.00	1.50	8.74	2.91
40	2.66	3.99	1.21	7.05	1.76

เครื่องมือใช้กำลังไฟฟ้า = 4 กิโลวัตต์

กิโลวัตต์-ชั่วโมง = ยูนิต

ราคาไฟฟ้า 1 ยูนิต = 1.50 บาท

ราคากากน้ำตาลไมแลส = 5.83×10^{-4} บาท

ตารางที่ ง-9 แสดงข้อมูลการคำนวณ ราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้น สารละลายกรดซัลฟุริคในปริมาณ 75% เวลาใช้แช่กากต้นข้าวโพด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 5 นาที

อัตราส่วน ของเหลว: ของแข็ง	ปริมาณกรดที่ใช้ (1) (กรัม)	ราคากรดที่ใช้ (บาท)	ปริมาณน้ำตาล (2) รีดิวส์ที่ได้ (กรัม)	ราคาน้ำตาลที่ขายได้ (บาท) $\times 10^{-4}$	(2)/(1) $\times 10^{-4}$
4:1	3.22	0.19	1.03	6.00	31.08
6:1	4.80	0.29	1.63	9.50	32.98
8:1	6.38	0.38	2.03	11.85	31.20
10:1	8.03	0.48	2.26	13.20	27.50
12:1	9.60	0.58	2.37	13.87	24.07

ราคากรดซัลฟุริค 1 กรัม = 0.06 บาท

ราคากากน้ำตาลไมแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

ตารางที่ ง-10 แสดงข้อมูลการคำนวณ ราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟุริคในปริมาณ 80% เวลาใช้แช่กากต้นข้าวโพด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 5 นาที

อัตราส่วนของเหลว : ของแข็ง	ปริมาณกรดที่ใช้ (กรัม)	(1) ราคากรดที่ใช้ (บาท)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ที่ได้ (กรัม)	(2) ราคาน้ำตาลที่ขายได้ (บาท) $\times 10^{-4}$	(2)/(1) $\times 10^{-4}$
4:1	5.20	0.19	1.19	6.93	36.09
6:1	4.80	0.30	1.93	11.25	37.75
8:1	6.40	0.38	2.22	12.96	33.75
10:1	8.00	0.48	2.43	14.20	29.60
12:1	9.60	0.58	2.53	14.74	25.59

ราคากรดซัลฟุริค 1 กรัม = 0.06 บาท

ราคากากน้ำตาลโมแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

ตารางที่ ง-11 แสดงข้อมูลการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด เมื่อใช้ความเข้มข้น สารละลายกรดซัลฟุริคในปริมาณ 85% เวลาใช้แช่กากต้นข้าวโพด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 5 นาที

อัตราส่วน ของเหลว : ของแข็ง	ปริมาณกรดที่ใช้ (กรัม)	(1) ราคากรดที่ใช้ (บาท)	ปริมาณน้ำตาล รีดิวส์ที่ได้ (กรัม)	(2) ราคาน้ำตาลที่ขายได้ (บาท) $\times 10^{-4}$	(2)/(1) $\times 10^{-4}$
4:1	3.23	0.19	1.14	6.64	34.94
6:1	4.80	0.29	1.79	10.43	35.96
8:1	6.40	0.38	2.15	12.54	33.00
10:1	8.00	0.48	2.27	13.29	27.70
12:1	9.60	0.58	2.12	12.35	21.20

ราคากรด 1 กรัม = 0.06 บาท

ราคากากน้ำตาลไมแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

ตารางที่ ง-12 แสดงข้อมูลการคำนวณ ราคาน้ำตาล/ราคาไฟฟ้า เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟุริคในปริมาณ 80% อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 6:1 อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิสต่าง ๆ กัน

เวลาไฮโดรไลซิส (นาที)	หน่วยไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	(1) ราคาไฟฟ้าที่ใช้ (บาท)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม)	(2) ราคาน้ำตาล (บาท) $\times 10^{-4}$	(2)/(1) $\times 10^{-4}$
1	0.07	0.10	1.45	8.45	85.35
3	0.20	0.30	1.58	9.21	30.70
5	0.33	0.49	1.73	10.08	20.46
7	0.46	0.69	1.86	10.84	15.71
9	0.60	0.90	1.69	9.90	11.00
11	0.73	1.09	1.18	6.87	6.34

เครื่องมือใช้กำลังไฟฟ้า = 4 กิโลวัตต์

กิโลวัตต์-ชั่วโมง = ยูนิต

ราคาไฟฟ้า 1 ยูนิต = 1.50 บาท

ราคากากน้ำตาลไบแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

ตารางที่ ง-13 แสดงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำตาลในการทดลองการเจริญเติบโตของ *S. cerevisiae* ในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 4 องศาบริกซ์

ชั่วโมงการเขย่า	ความเข้มข้นของน้ำตาล (%)	ปริมาณการใช้น้ำตาล (%)
0	2.94	-
6	2.85	3.06
12	2.68	8.84
18	2.58	12.24
24	2.47	15.98
30	2.43	17.34
36	2.38	19.04
42	2.34	20.40
48	2.32	21.08

ตารางที่ ง-14 แสดงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำตาลในการทดลองการเจริญเติบโตของ *S. cerevisiae* ในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์

ชั่วโมงการเขย่า	ความเข้มข้นของน้ำตาล (%)	ปริมาณการใช้น้ำตาล (%)
0	5.70	-
6	5.54	2.80
12	5.29	7.19
18	5.14	9.82
24	4.99	12.46
30	4.90	14.03
36	4.93	15.61
42	4.79	15.96
48	4.73	17.01

ตารางที่ ง-15 แสดงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำตาลในการทดลองการเจริญเติบโตของ *S. cerevisiae* ในสารละลายจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้นของ 12 องศาบริกซ์

ชั่วโมงการเขย่า	ความเข้มข้นของน้ำตาล (%)	ปริมาณการใช้น้ำตาล (%)
0	9.80	-
6	9.65	1.53
12	9.38	4.30
18	9.36	4.48
24	9.17	6.43
30	9.04	7.75
36	9.02	7.95
42	8.97	8.47
48	8.97	8.47

ตารางที่ ง-16 แสดงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำตาลในการทดลองผลิตเอทิลอัลกอฮอล์ในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 4 องศาบริกซ์

ชั่วโมงการเขย่า	ความเข้มข้นของน้ำตาล (%)	ปริมาณการใช้น้ำตาล (%)
0	2.94	-
6	2.76	6
12	2.50	15
24	1.47	50
36	0.55	82
48	0.24	92

ตารางที่ ง-17 แสดงตัวเลขปริมาณการใช้น้ำตาลในการทดลองผลิตเอทิลอัลกอฮอล์ใน สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์

ชั่วโมงการเขย่า	ความเข้มข้นของน้ำตาล (%)	ปริมาณการใช้น้ำตาล (%)
0	5.7	-
6	5.47	4
12	5.13	10
24	3.87	32
36	2.23	61
48	1.03	82
60	0.57	90

ตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของเอทิลอัลกอฮอล์จากน้ำตาล

ฐานคำนวณ:น้ำหนัก 100 มิลลิลิตร

ในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวไพด 4 องศาบริกซ์

ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น = 29.4 น้ำหนักต่อปริมาตร

ในชั่วโมงที่ 36 ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ไปร้อยละ = 82 ของปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น

∴ ปริมาณน้ำตาลที่ถูกใช้ = $\frac{2.94 \times 82}{100}$

= 2.41 น้ำหนักต่อปริมาตร

จาก $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH$

180 กรัม 92 กรัม

∴ ปริมาณน้ำตาล 2.41% จะเปลี่ยนเป็น

เอทิลอัลกอฮอล์ = $\frac{2.41 \times 92}{180}$

= 1.2317 น้ำหนักต่อปริมาตร

จากการทดลองในชั่วโมงที่ 36 จะได้

เอทิลอัลกอฮอล์ = 1.13 ปริมาตรต่อปริมาตร

= 1.13 × 0.809

= 0.91417 น้ำหนักต่อปริมาตร

% การเปลี่ยนแปลง = $\frac{0.91417}{1.2317} \times 100 = 74.22$

ตารางที่ ง-18 แสดงการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของเอทิลอัลกอฮอล์จากน้ำตาล (%) โดยเชื้อยีสต์ S. cerevisiae เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 4 องศาบริกซ์เป็นสารอาหารในขวดหมักในช่วงเวลาต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการใช้น้ำตาลรีดิวส์ (กรัม)	ปริมาณเอทิล-อัลกอฮอล์จากการทดลอง (% โดยปริมาตร)	ปริมาณเอทิล-อัลกอฮอล์จากการทดลอง (% โดยน้ำหนัก)	ปริมาณเอทิล-อัลกอฮอล์จากทฤษฎี (% โดยน้ำหนัก)	% คอนเวอร์ชัน (Conversion)
24	1.47	0.80	0.65	0.75	88.14
36	2.41	1.13	0.91	1.23	74.22
48	2.70	1.27	1.03	1.38	74.45

ตารางที่ ง-19 แสดงการคำนวณการเปลี่ยนแปลงเอทิลอัลกอฮอล์จากน้ำตาล (%) โดยเชื้อยีสต์ S. cerevisiae เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์เป็นสารอาหารในขวดหมักในช่วงเวลาต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการใช้น้ำตาลรีดิวส์ (กรัม)	ปริมาณเอทิลอัลกอฮอล์จากการทดลอง (% โดยปริมาตร)	ปริมาณเอทิลอัลกอฮอล์จากการทดลอง (% โดยน้ำหนัก)	ปริมาณเอทิลอัลกอฮอล์จากทฤษฎี (% โดยน้ำหนัก)	% คอนเวอร์ชัน (Conversion)
24	1.79	1.00	0.81	0.92	88.15
36	3.48	1.67	1.35	1.78	76.02
48	4.67	2.28	1.84	2.39	77.21
60	5.13	2.56	2.07	2.62	78.98

ตารางที่ ง-20 แสดงการคำนวณราคาน้ำตาล/ราคากรด+ราคาไฟฟ้า เมื่อไฮโดรไลส์กากต้นข้าวโพดที่อุณหภูมิ 100 และ 121 องศาเซลเซียส

	การไฮโดรไลส์ที่ 100 องศาเซลเซียส	การไฮโดรไลส์ที่ 121 องศาเซลเซียส
สภาวะ	สารละลายกรดซัลฟุริค 80% อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8%:น้ำหนักกากต้นข้าวโพด 6:1 เวลาให้ความร้อน 20 นาที	สารละลายกรดซัลฟุริค 80% อัตราส่วนของปริมาตรสารละลาย 8%:น้ำหนักกากต้นข้าวโพด 6:1 เวลาให้ความร้อน 7 นาที
ปริมาณน้ำตาลที่ได้รับเมื่อใช้กากต้นข้าวโพด 20 กรัม (กรัม)	1.68	1.86
(1) ราคาน้ำตาล $\times 10^{-4}$ (บาท)	11.54	10.84
ปริมาณกรดซัลฟุริคที่ใช้ (กรัม)	64.00	48.00
(2) ราคากรดซัลฟุริค (บาท)	3.84	2.88
หน่วยกระแสไฟฟ้าที่ใช้ (ยูนิต)	1.33	0.46
(3) ราคากระแสไฟฟ้าที่ใช้ (บาท)	1.99	0.69
(1)/(2)+(3) $\times 10^{-4}$	1.98	3.04

ราคากรดซัลฟุริคเข้มข้น 1 กรัม = 0.06 บาท

ราคาน้ำตาลไมแลส 1 กรัม = 5.83×10^{-4} บาท

ราคาไฟฟ้าหน่วยละ = 1.50 บาท

ประวัติ

นางสาววัชรา อินทุลักษณ์ จบการศึกษาวิทยาศาสตร์ (เคมี)

จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ปีการศึกษา 2522