หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมส่งเสริมการเกษตร เอกสารทางวิชาการที่ 15, "การปลูกมันสำปะหลัง," โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด, กรุงเทพฯ, 2519.

นิสิต ปัทมโยธิน, "การศึกษาเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นสำหรับย่อยสลายฟางข้าว," วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

พิเชฐ อิฐกอ, "การผลิตแอลฟาอะไมเลสจาก Bacillus amyloliquefaciens KA 63," วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

ศูนย์บริการเอกสารการวิจัยแห่งประเทศไทย, "การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์," สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, 2526.

ภาษาต่างประเทศ

Aidoo, K. E., R. Hendry, and B. J. B. Wood, "Solid Substrate Fermentation," Advances in Applied Microbiology (Laskin, A. I. ed.) Vol. 28, pp. 201-237, Academic Press, New York, 1982.

Akinrele, I. A., "Fermentation of Cassava," J. Sci. Fd. Agric., 15, 589-594, 1964.

Ayerst, G., "Effect of Water Activities on Spore Germination in a Number of Fungi," J. Stored Prod. Res., 5, 127-141, 1969.

Baldensperger, J., J. Lemer, L. Hannibal, and P. J. Quinto, "Solid State Fermentation of Banana Wastes," Biotechnology Letters., 7 (10), 743-748, 1985.

Beauchat, L. R., "Fungal Fermentation of Peanut Press Cake," Econ. Bot., 30 (3), 227-234, 1976.

Bhattacharjee, J. K., "Microorganisms as Potential Sources of Food," Advances in Applied Microbiology (Laskin, A. I. ed.) Vol. 13, pp. 134-159, Academic Press, New York, 1970.

Bajracharya, R., and R. E. Mudgett, "Effect of Controlled Gas Environment in Solid Substrate Fermentation of Rice," Biotechnol. Bioeng., 22, 2219-2235, 1980.

Bolhius, G. G., "The Toxicity of Cassava Root," Neth. J. Agric. Sci., 2, 176-185, 1954.

Cannel, E., and M. Moo-Young, "Solid State Fermentation Systems," Process Biochem., 15 (5), 2-7, 1980.

Carrizalez, V., H. Rodriguez, and I. Sardina, "Determination of the Specific Growth of Molds on Semi-Solid Culture," Biotechnol. Bioeng., 23, 321-333, 1981.

Chadha, Y. R., "Sources of Starch in Common Wealth Territories Cassava," Tropical Science, 3 (3), 101-113, 1961.

Chahal, D. S., and M. Moo-Young, "Bioconversion of Lignocellulosics into Amimal Feed with Chaetomium cellulolyticum," Development in Industrial Microbiology (L. A. Underfofler, ed.), Vol. 22, pp. 143-11159, 1981.

CIAT, "Swine Production System," Cassava as Animal Feed (Nestel, B. and M. Graham, eds.), p. 56, IDRC, Ottwa, Canada, 1972.

Coursey, D. G., "Cassava as Food: Toxicity and Technology," Chronic Toxicity: Proceeding of an Interdisciplinary Workshop (Nestel, B. L. and R. Mac Intyre, eds.), pp. 27-36, IDRC, Ottawa, Canada, 1973.

Cullen, D., E. B. Smalley, and R. W. Caldwall, "New Process for T-2 Toxin Production," Appl. Environ. Microbiol., 44, 371-375, 1982.

Durand, A., P. Arnoux, O. Teilhard de Chardin, D. Chereau, C. Y. Boquien, and G. Larios de Andra, "Protein Enrichment of Sugar Beet Pulp by Solid State Fermentation," Proceeding of a COST Workshop: Production and Feeding of Single Cell Protein (Ferranti, M. P. and A. Fietchter, eds.) pp. 120-122, Applied Science Publisher, London, 1983.

Gerhardt, P., Manual of Method for General Bacteriology (Granson, M. A. ed.), pp. 358-359, American Society of Microbiology, Washington D. C. 10006, 1981.

Golueke, C. G., "Composting Refuse at Sacramento, California," Compost Science, 1 (3), 12-15, 1960.

________, "Biological Reclaimation of Solid Waste," (P. A. Emmaus, ed.), pp. 32, Rodale Press, Pennsylvania, 1977.

Grant, G. A., Y. W. Han, and A. W. Anderson, "Pilot Scale Semi-solid Fermentation of Straw," Appl. Environ. Microbiol., 35 (3), 549-553, 1978.

Gray, K. R., "A Review of Compost Science Part I," Process Biochem., 6 (6), 32, 1971.

Han, Y. W., and A. W. Anderson, "Semisolid Fermentation of Ryegrass Straw," Appl. Microbiol., 30 (6), 935-942, 1975.

Hatagalung, R. I., "Nutritional Value of Tapioca Leaf Meal, Tapioca Root Meal, Norma. Maize, Opaque-2 Maize and Pineapple Bran for Pig and Poultry, 17th Conference and Annual General Meeting of

the Malaysian Veterinary Association, Faculty of Agriculture, University of Malaya, Malaysia, 1972.

Hesseltine, C. W., "Solid State Fermentation," Biotechnol. Bioeng., 14, 517-532, 1972.

_______, "Solid State Fermentation Part I," Process Biochem., 12 (6), 24-27, 1977.

Hisanaga, W., and S. Nakamura, "Organic Acid Production," The Filamentous Fungi (Lockwood, L. A. ed.) Vol. 2, pp. 140-157, Edward Arnold Ltd., London, 1975.

Johnes, W. O., Manioc in Africa, Stanford University Press, Stanford, California, 1959.

Johnson, R. M., and W. D. Raymond, "The Chemical composition of some Tropical Food Plants Manioc," Tropical Science., 7 (3), 109-115, 1965.

Kitiku, A. O., and V. A. Oyenuga, "Preliminary Report on Carbohydrate Constituents of Cassava Root and Yam Tuber," Nigeria Journal of Science, 4, 25-30, 1970.

Kokke, R., "Improvement of Carob Pods as Feed by Solid Substrate Fermentation," J. Appl. Bacteriol., 43, 303-307, 1971.

Kronenberg, L., and J. Hanaya, "Reduction of Incubation Time for Tempeh Fermentation by Use of Pregerminated Inoculum," Econ. Bot., 58 (4), 433-438, 1984.

Larroche, C., C. Desfarges, and S. B. Gross, "Spore Production of Penicilluium roqueti by Simulated Solid State Fermentation," Biotechnology Letters, 8 (6), 453-456, 1986.

Laukevics, J. J., A. F. Apsite, and V. E. Viesturs, "Solid Substrate Fermentation of Wheat Straw to Fungal Protein, Biotechnol. Bioeng., 26, 1465-1474, 1984.

Lowry, O. H., N. J. Rosenbrough, A. L. Farr, and R. S. Randall, "Protein Messurement with the Folin Phenol Reagent," J. Biol. Chem., 193, 265-275, 1951.

Maner, J. H., "Cassava in Swine Feeding," Centro. Internat. Agric. Trop., Cali., Colombia, Bull. RB-1, 1973.

Miall, L. M., "Historical Development of the Fungal Fermentation Industry," The Filamentous Fungi (Smith, J. E. and D. R. Beery, eds.) Vol. 1, pp. 014-105, Arnold, London, 1975.

Mitchell, D. A., P. F. Greenfield, and H. W. Dolle, "A Model substrate for Solid-State Fermentation," Biotechnology Letters, 8 (11), 827-832, 1986.

Moo-Young, M., A. J. Dagulis, D. S. Chabla and D. G. Mcdonald, "The Waterloo Process for SCP Production from Waste Biomass," Process Biochem., 14 (10), 38-40, 1979.

Muindi, P. J., and J. F. Hanssen, "Nutritive Value of Cassava Root Meal Enriched by Trichoderma harzianum for Chickens," J. Sci. Food. Agric., 32, 647-654, 1981.

Nagai, S., "Control of Solid State Fermentation," Proceeding the Fifth International Conference of Global Impacts of Applied Microbiology (Matangkasombat, P. ed.), pp. 413-424, Bangkok, 1979.

Numokawa, Y., Rice Chemistry and Technology (Houston, D. F. ed.), pp. 455, American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota, 1972.

Nyirl, L. and L. L. Lengyel, "Studies on Ventilation of Culture Broth I. Behaviour of CO_2 in Model System," Biotechnol . Bioeng., 10, 133-150, 1968.

Pathak, A. N., and T. K. Ghose, "Cellulase I: Sources, Technology," Process. Biochem., 4, 35, 1973.

Pirt, S. J., Principle of Microbe and Cell Cultivation, pp. 147-155, Blackwell Scientific Publication, Oxford, London, 1975.

Prendergast, P., A. Booth, and E. Colleran, "Protein Enrichment of Pretreated Lignocellulose Material by Fungal Fermentation," Proceeding of a COST Workshop: Production and Feeding of Single Cell Protein (Ferranti, M. P. and A. Fiechter, eds.), pp. 96-100, Applied Science Publisher, Barking, Essex, U.K., 1982.

Presscott, S. C., and C. G. Dunn, Industrial Microbiology, pp., McGraq Hill Book Co., New York, 2nd ed., 1949.

Raimbault, M., F. Deschamps, F. Meyer, and J.,C. Senez, "Direct Protein Enrichment of Starchy Product by Fungal Solid Fermentation," Proceeding the Fifth IInternational Conference on Global Impacts of Applied Microbiology (Matangkasombat, P. ed.), pp. 413-424, Bangkok, Thailand, 1977.

Raimbault, M., and D. Alazard, "Culture Method to Study Fungal Growth in Solid Fermentation," Eur. J. Appl. Microbiol Biotechnol., 9, 199-209, 1980.

Ralph, B. J., "Solid State Fermentation," Food. Technol. Australia, 28 (7), 247-251, 1976.

Ramos-Valdivia, A., M. De la Torre, and C. Casas-Campillo, "Solid State Fermentation of Cassava with Rhizopus oligosporus NRRL 2710," Proceeding of a COST Workshop: Production and Feeding of Single Cell Protein (Ferranti, M. P. and A. Fiechter, eds.), pp. 104-111, Applied Science Publisher, Barking, Essex, U.K., 1983.

Rathbun, B. L., and Shuler, "Heat and Mass Transfer Effects in Static Solid-Substrate Fermentation: Design of Fermentation Chambers," Biotechnol. Bioeng., 25, 929-938, 1983.

Roger, D. S., and M. Milner, "Amino Acid Profile of Manioc Leaf Protein in Ration to Nutritive Value," Econ. Bot., 17 (3), 211-216, 1963.

Rosen, W., and K. Schugerl, "Pretreatment and Conversion of Straw into Protein in a Solid-State Culture," Proceeding of a COST Works Workshop: Production and Feeding of Single Cell Protein (Ferranti, M. P. and A. Fiechter, eds.), pp. 87-89, Applied Science Publisher, Barking, Essex, U.K., 1982.

Senez, J. C., M. Raimbault, and F. Deschamps, "Protein Enrichment of Starchy Substrate for Animal Feeds by Solid State Fermentation," Proceeding of a COST Workshop: Production and Feeding of Single Cell Protein (Ferranti., M. P. and A. Fiechter, eds.), pp. 101-103, Applied Science Publisher, Barking, Essex, U.K., 1982.

Shultze, K. L., "The Fairfield-Hardy Composting Pilot Plant at Aloona, P2.," Compost Science, 5 (3), 5-10, 1965.

Silman, R. W., "Enzyme Formation during Solid Substrate Fermentation in Rotating Vessels.," Biotechnol. Bioeng., 22, 411-420, 1980.

Smith, R. E., C. Osothsilp, P. Bicho, and K. F. Gregory, "Improvement in the Protein Content of Cassava by Sporotrichum pulverulentum in Solid State," Biotechnology Letters., 8 (1), 31-36, 1986.

Spohn, E., "Recent Developments in Composting of Municipal Waste in Germany," Compost Science., 18 (2), 25-32, 1977.

Stanton, W. R., and A. Wallbridge, "Fermented Food Process," Process Biochem, 14 (4), 45-51, 1969.

________, "Improvements Relating to the Fermentation of Cassava and other Vegetative Substances," U.K. Pat. No. 1, 277, 002, June 7, 1972.

Suga, K., G. Van Dedem, and M. Moo-Young, "Enzymatic Breakdown of Water Insoluble Substrates," Biotechnol. Bioeng., 17, 185-201, 1975.

Tasakorn, P., T. Yoshida, and H. Taguchi, "The Design of a Fixed Bed Type Bioreactor for Composting of Rice Straw," Annual Reports of International Center of Cooperative Research and Development in Microbial Engineering, Vol. 2, 1979.

Ulmer, D. C., "Solid Culture Using Alkalai Treated Straw and Cellulolytic Fungi," Proceeding of a COST Workshop: Production and Feeding of Single Cell Protein (Ferranti., M. P. and A. Fiechter, eds.), pp. 80-82, Applied Science Publisher, Barking, Essex, U.K., 1982.

Ulmer, D. C., R. P. Tengerdy, and U. G. Murphy, "Solid State Fermentation of Manure Fibers," Biotechnology and Bioengineering Symposium, (Scott, C. E., ed.) No. 11, pp. 449-461, John Wiley & Sons Inc., New York, 1981 Series. 11, 449-461, 1981.

Viesturs, V. E., A. F. Apsite, J. J. Laukevics, U. P. Ose, M. J. Bekers, and R. P. Tendergy, "Solid State Fermentation of Wheat Straw with Chaetomium cellulolyticum and Trichoderma lignorum," Biotechnology and Bioengineering Symposium (Scott, C. D., ed.), No. 11, pp. 359-369, John Wiley & Sons, New York, 1981.

Wang, H. L., and C. W. Hesseltine, "Su-Fu and Lao-Chao," J. Agric. Food. Chem., 18 (4), 572-575, 1970.

Wang, H. L., E. W. Swain, and C. W. Hesseltine, "Mass Production of Rhizopus oligosporus Spores and Their Application in Tempeh Fermentation," J. Food. Science., 40, 168-170, 1975.

Wissler, M. D., R. P. Tengerdy, and V. G. Murphy, "Dev. Ind. Microbiol., 24, 527, 1983.

Zadrazil, F., "The Conversion of Straw into Feed by Basidiomycetes," Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol., 4, 273-281, 1977.

Zadrazil, F., and H. Brunnert, "Investigation of Physical Parameter Important for the Solid State Fermentation of Straw by white Rot Fungi," Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol., 11, 183-188, 1981.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

อาหารเลี้ยงเชื้อ

ก-1. สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดโพเทโท เดกซ์โทรส เอการ์ (potato dextrose agar)

มันฝรั่ง	200	กรัม
เดกซ์โทรส	20	กรัม
วุ้นผง	15	กรัม
น้ำ	1000	มล.

ต้มมันฝรั่งกับน้ำจนเดือดประมาณ 30 นาที แล้วกรองมันฝรั่งออกเติมวุ้น เดกซ์โทรส และน้ำให้ครบ 1000 มล. ต้มจนเดือด นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (มาตรฐาน)

ก-2. สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อแบบแข็งเอียงสูตรที่ 1 (Mitchell และคณะ 1986)

แป้งมันสำปะหลัง	1	กรัม
แอมโมเนียมซัลเฟต	1	กรัม
โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	0.1	กรัม
ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	0.1	กรัม
วุ้นผง	2	กรัม
น้ำกลั่น	100	มล.

นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (มาตรฐาน)

ก-3. สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อแบบแข็งเอียงในขวดแบน สูตรที่ 2 โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Raimbault และ Alazard (1980)

มันฝรั่ง	200	กรัม
เดกซ์โทรส	20	กรัม
วุ้นผง	15	กรัม
แอมโมเนียมซัลเฟต	8	กรัม

โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	4	กรัม
รำละเอียด	16	กรัม
น้ำ	1000	มล.

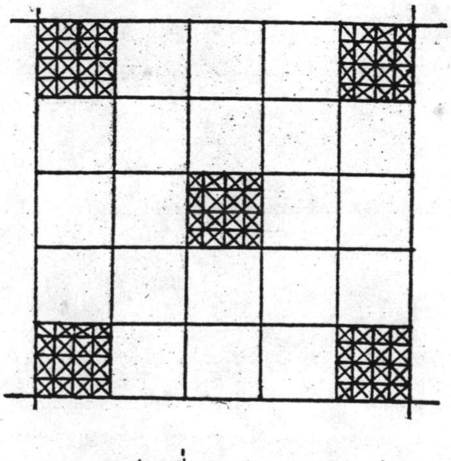
ต้มมันฝรั่งกับน้ำเดือดนาน 30 นาที แล้วกรองมันฝรั่งออกเติมรำละเอียด เดกซ์โทรส แอมโมเนียมซัลเฟต โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต วุ้น และน้ำ ให้ครบ ตวงลงในขวดสุราชนิดแบนขวดละ 100 มล. นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °ซ ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 15 นาที วางเอียงข้ามคืนเพื่อให้อาหารวุ้นแข็งตัว

ก-4. <u>สูตรอาหารในการหมักมันสำปะหลังในระบบอาหารแข็ง</u> (Ramos-Valdivia, et al., 1983)

แอมโมเนียมซัลเฟต	7.5	กรัม
ยูเรีย	4.0	กรัม
โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	1.5	กรัม
มักนีเซียมซัลเฟต	0.5	กรัม
โปแตสเซียมคลอไรด์	0.15	กรัม
แคลเซียมคลอไรด์	0.05	กรัม
เฟอร์รัสซัลเฟต	0.075	กรัม
น้ำ	40	มล.
มันเส้น (โดยน้ำหนักแห้ง)	100	กรัม

ก-5. <u>การนับสปอร์โดยฮีมาไซโตมิเตอร์</u> (haemacytometer)

นับจำนวนสปอร์ โดยนับสปอร์ช่องใหญ่ 5 ช่อง ดังแสดงในรูปข้างล่างนี้ และนำผลรวมของปริมาณสปอร์มาหาค่าเฉลี่ย



จำนวนสปอร์ = จำนวนสปอร์เฉลี่ยในช่องใหญ่ $\times \frac{1}{4} \times 10^{6}$ สปอร์/มล.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

อุปกรณ์และเคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง

ข-1. <u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย</u>

ตู้บ่มเชื้อควบคุมอุณหภูมิ (controlled environment incubator) รุ่น G : 27 แบบ rotary ของ New Brunswick Scientific Co., Inc., Edison. NJ, U.S.A.

เครื่องปั่นควบคุมอุณหภูมิ (refrigerated centrifuge) รุ่น KR 2000 T ของ Kubota, Kamiya Tsusan Kaisha Ltd., Tokyo, Japan

หม้ออบฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (autoclave) รุ่น auto steam sterilizer ของ Lap co., Ltd., Japan

เครื่องนับเม็ดเลือดแดง (haemacytometer) รุ่น neubauer bright line ของ Boeco West Germany

สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น spectronic 21 ของ Bausch and Lomb, Rochester, U.S.A.

เครื่องอัดอากาศ (air compressor) รุ่น HR 2-6 ของ Champion Pneumatic Machinery Co., Inc., Princeton, U.S.A.

เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิแบบ 12 จุด (temperature recorder) รุ่น clearspan P. 250 L. ของ Kent Industrial Measurement Limited.

เครื่องวัดบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (temperature and relative humidity recorder) รุ่น 620-10722 ของ Thice, Germany

ชุดเตาย่อยสลายไนโตรเจน (digestion unit) รุ่น Buchi 425 ของ Buchi, Germany

ชุดกลั่นแอมโมเนีย (distillation unit) รุ่น Buchi 315 ของ Buchi, Germany

เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยอินฟราเรด (carbondioxide infrared analyser) รุ่น 2FD 22211-60 ของ Fuji Electric Co., Ltd., Japan

เครื่องบดแบบแฮมเมอร์มิลล์ (Hammer mill)

ก๊าซมิเตอร์ (gas meter) รุ่น MPD-23 A. 1 ของ Ricoh, Japan

ข-2. <u>เคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย</u>

ข-2.1 <u>เคมีภัณฑ์สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อ</u>

กลูโคส (glucose) ของ Riedel-de Haen AB Seelze-Hannover

วุ้นผง (agar) ของ Difco, Difco Laboratories

แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate) ของ Riedel-de Haen AB Seelze-Hannover

โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium dihydrogenphosphate) ของ BDH Biochemicals

ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (dipotassium hydrogenphosphate) ของ BDH Biochemicals Ltd., Poole England

ยูเรีย (urea) ของ Riedel-de Haen AB Seelze Hannover

โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodium dihydrogen phosphate) ของ BDH Biochemicals Ltd., Poole England.

โปแตสเซียมคลอไรด์ (postassium chloride) ของ BDH Biochemicals Ltd., Poole England

แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) ของ E. Merck Darnstadt, Germany

เฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate. $7H_2O$) ของ Fluka AB, Buschs, Switzerland

รำหยาบ

รำละเอียด

กากถั่วเหลือง

ปลายข้าวเจ้า

ข-2.2 เคมีภัณฑ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ของ E. Merck, Darmstadt, Germany

ฟีนอล (folin-ciocalteus phenol reagent) ของ E. Merck, Darmstadt, Germany

คอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate. 5 hydrate) ของ E. Merck, Darmstadt, Germany

โซเดียมโปแตสเซียมตาร์เตรท (Sodium potassium tartrate) ของ Fluka AB. Busch, Switzerland

อัลบูมิน (fraction V, 99-96% albumin, bovine) ของ Sigma, U.S.A.

กรดกำมะถันเข้มข้น (Hydrosulfuric acid) ของ BDH Biochemicals, Ltd., Poole England

โปแตสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate) ของ BDH Biochemicals Ltd., Poole England

กรดโบริค (boric acid) ของ BDH Biochemicals Ltd., Poole England

เมทธิล เรด (methyle red) ของ E. Merck, Darmstadt, Germany

เมททิลลีน บลู (methylene blue) ของ Riedel-De Haen AG Seelze-Hannover

เอทธานอล (absolute ethanol) ของ E. Merck, Darmstadt, G Germany

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

ค-1. การคำนวณอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

คำนวณจากอากาศที่ปราศจากน้ำ (อากาศแห้ง) 1 กรัมโมล

จาก Humidity chart

อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 33 °ซ มีน้ำ = 0.52 โมล

จำนวนโมลของอากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ = 1 + 0.052

= 1.052 โมล

คำนวณปริมาตรของอากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำที่ 33 °ซ = $1.052 \times 22.4 \times \frac{306}{273}$ ลิตร

= 26.41 ลิตร

= 26.41×10^{-3} ม.^{3}

ปริมาตรอากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ 26.41×10^{-3} ม.^{3}

คิดเป็นอากาศแห้ง = 1 กรัมโมล

ปริมาตรอากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ 1 ม.^{3}

คิดเป็นอากาศแห้ง = $\frac{1}{26.41 \times 10^{-3}}$ กรัมโมล

ในการทดลองที่มีการให้อากาศ 0.15×10^{-4} ม.^{3}/วินาที/กก.มันแห้ง

และวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ = 0.60% (โดยปริมาตรของอากาศแห้ง) ที่ชั่วโมงที่ 48 ของการหมัก

อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = $\frac{0.60 \times 0.15 \times 10^{-4}}{100 \times 26.41 \times 10^{-3}}$ $\frac{\text{กรัมโมล}}{\text{วินาที/กก.ของมันแห้ง}}$

1 กรัม-โมล ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = 44 กรัม

= 4.4×10^{-2} กก.

อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = $\frac{0.60 \times 0.15 \times 10^{-4} \times 4.4 \times 10^{-2}}{100 \times 26.41 \times 10^{-3}}$

= 1.53×10^{-7} กก./วินาที/กก.ของมันแห้ง

ค-2. การคำนวณค่าความถี่ในการถ่ายเทมวล ($k_s a_s$)

คำนวณจากสมการที่แสดงการถ่ายเทมวลผ่านผิวสัมผัสระหว่างชั้นของจุลินทรีย์และอากาศ (Tasakorn et al., 1979 และ นิสิต ปัทมโยธิน, 2525)

$$F = \exp[k_s a_s \cdot V_s/Q]$$

$$F = C_{Ao}/C_{Ai}$$

เมื่อ $k_s a_s$ เป็นผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาและพื้นที่ผิวสัมผัส เรียกว่า "ความถี่ในการถ่ายเทมวล" ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของชั้นหมักและจุลินทรีย์ มีหน่วยเป็น 1/วินาที

F เป็นอัตราส่วนของความเข้มข้นของออกซิเจนที่ออก (C_{Ao}) กับความเข้มข้นของออกซิเจนที่เข้า (C_{Ai})

V_s เป็นปริมาตรของชั้นหมัก มีหน่วยเป็น ม^3

Q เป็นปริมาณการไหลของอากาศผ่านชั้นหมัก มีหน่วยเป็น ม^3/วินาที

ในการทดลองที่ใช้ปริมาณการไหลของอากาศ 0.15×10^{-4} ม^3/วินาที/กก.มันแห้ง และวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 0.6% (โดยปริมาตรอากาศแห้ง) ในชั่วโมงที่ 48 ของการหมัก

$$F = C_{Ao}/C_{Ai}$$

$$\ln F = \ln(C_{Ao}/C_{Ai})$$

$$= \frac{\ln(21-0.6)}{21}$$

ในการทดลองนี้บรรจุมัน 906.32×10^{-3} กก. (น้ำหนักแห้ง) ในถาดหมักซึ่งมีรัศมีภายนอก 0.3 ม. และรัศมีภายใน 0.025 ม. โดยชั้นหมักสูง 0.02 ม.

$$Q = 0.15\times10^{-4}\times906.32\times10^{-3} \text{ ม}^3/\text{วินาที}$$

$$V_s = \pi\times[(0.3)^2-(0.025)^2]\times0.02 \text{ ม}^3$$

เมื่อแทนค่า

$$k_s a_s = \frac{\ln F.Q}{V_s}$$

$$= \frac{\ln(21-0.6)}{21} \times \frac{0.15\times10^{-4}\times906.32\times10^{-3}}{\pi\times0.089\times0.02}$$

$$= 0.72\times10^{-4}$$ หน่วย/วินาที

ค-3. <u>การคำนวณปริมาณโปรตีนเมื่อเทียบกับน้ำหนักมันแห้งเริ่มต้น</u>

โปรตีน/น.น.มันแห้งเริ่มต้น (กรัมโปรตีน/กรัม น.น.มันแห้งเริ่มต้น)

$$= \frac{\text{โปรตีน (\% โดยน.น.แห้ง)} \times \text{น.น.มันแห้งที่เหลือ}}{10{,}000}$$

โดย 1. โปรตีน (% โดย น.น.แห้ง) วิเคราะห์ตามวิธีการตามข้อ จ-4 ภาคผนวก จ และผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ง

2. น.น.มันแห้งที่เหลือที่เวลาใด ๆ คำนวณจากการเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (% โดย น.น.แห้ง) เริ่มต้น ของการหมักกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (% โดย น.น.แห้ง) ที่เวลาใด ๆ เมื่อให้ น.น.มันแห้งเริ่มต้นของการหมักมีค่าเป็น 100% ดังนั้น น.น.มันแห้งที่เหลือ ณ เวลาใด ๆ จึงมีหน่วยเป็นร้อยละสัมพัทธ์ (relative percentage) ที่เทียบกับ น.น.มันแห้งเริ่มต้น ทั้งนี้ถือว่าธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในระบบหมักไม่เปลี่ยนแปลง โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (% โดย น.น.แห้ง) วิเคราะห์ตามวิธีการข้อ จ-5 ภาคผนวก จ และผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ง

ดังนั้น

$$\text{น.น.มันแห้งที่เหลือทีเวลาใด ๆ} = \frac{\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (\% โดย น.น.แห้ง) เริ่มต้น} \times 100}{\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (\% โดย น.น.แห้ง) ที่เวลาใด ๆ}}$$

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ ง-1.1 จำนวนสปอร์ ($\times 10^7$ สปอร์/กรัมของอาหาร) ของ R. oligosporus จากอาหารแข็งที่ประกอบด้วยปลายข้าวเจ้าผสมรำหยาบ ในอัตราส่วนคงที่ที่ 9:1 โดยน้ำหนักแห้ง แต่ผันแปรความชื้นระหว่าง 24-50% บ่มเชื้อที่ 30 °ซ เป็นเวลา 5 วัน

ความชื้นของอาหาร (%)	จำนวนสปอร์ ($\times 10^7$ สปอร์/กรัม อาหาร)
24.0	9.48
26.7	21.1
29.4	38.5
32.0	43.3
34.7	49.0
37.3	38.9
40.0	31.8
42.6	21.6
45.8	14.1
48.8	8.90

ตารางที่ ง-1.2 จำนวนสปอร์ ($\times 10^7$ สปอร์/กรัม ของอาหาร) ของ R. oligosporus จากอาหารแข็งที่ประกอบด้วยปลายข้าวเจ้าผสมรำละเอียดในอัตราส่วนคงที่ ที่ 9:1 โดยน้ำหนักแห้ง แต่ผันแปรความชื้นระหว่าง 24-50% บ่มเชื้อที่ 30 °ซ เป็นเวลา 5 วัน

ความชื้นของอาหาร (%)	จำนวนสปอร์ ($\times 10^7$ สปอร์/กรัม อาหาร)
24.3	8.30
26.7	16.0
30.4	26.6
33.1	48.7
36.0	44.5
38.6	24.3
41.1	10.6
44.0	1.90
46.8	0.80
49.6	0.41

ตารางที่ ง-1.3 จำนวนสปอร์ ($\times10^7$ สปอร์/กรัมของอาหาร) ของ R. oligosporus จากอาหารแข็งที่ประกอบด้วยปลายข้าวเจ้าผสมกากถั่วเหลือง ในอัตราส่วนคงที่ ที่ 9:1 โดยน้ำหนักแห้ง แต่ผันแปรความชื้นระหว่าง 24-50% บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 °ซ เป็นเวลา 5 วัน

ความชื้นของอาหาร (%)	จำนวนสปอร์ ($\times10^7$ สปอร์/กรัม อาหาร)
24.1	0.45
26.7	0.83
29.3	11.4
32.1	45.2
34.7	48.4
37.8	30.9
40.4	23.2
43.0	4.70
46.0	2.70
48.7	0.39

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-2 จำนวนสปอร์ ($\times 10^7$ สปอร์/กรัม อาหาร) ของ <u>R</u>. <u>oligosporus</u> จากอาหารแข็ง ซึ่งผันแปรอัตราส่วนของปลายข้าวเจ้าผสมรำหยาบ ปลายข้าวเจ้าผสมรำละเอียด และปลายข้าวเจ้าผสมกากถั่วเหลือง ตั้งแต่ใช้ปลายข้าวล้วน ถึง 10:10 โดยน้ำหนักแห้ง และใช้ความชื้นของอาหาร 34.7, 33.1 และ 34.7% ตามลำดับ บ่มเชื้อที่ 30 °ซ เป็นเวลา 5 วัน

อัตราส่วนของ ปลายข้าวเจ้าผสมรำหยาบ ปลายข้าวเจ้าผสมรำละเอียด ปลายข้าวเจ้าผสมกากถั่วเหลือง	จำนวนสปอร์ ($\times 10^7$ สปอร์/กรัม อาหาร)		
	ปลายข้าวเจ้าผสมรำหยาบ	ปลายข้าวเจ้าผสมรำละเอียด	ปลายข้าวเจ้าผสมกากถั่วเหลือง
ปลายข้าวล้วน	24.4	22.5	22.2
19:1	30.3	28.3	30.5
18:2	43.2	41.5	40.3
17:3	35.9	38.5	36.3
16:4	32.5	34.5	5.50
15:5	30.1	34.3	0.63
14:6	29.8	33.3	0.34
13:7	28.3	32.5	0.19
12:8	22.2	27.0	0.12
11:9	21.8	21.8	0.07
10:10	21.7	20.3	0.04

ตารางที่ ง-3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมัก เมื่อผันแปรขนาดของมันเส้นต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้ความชื้นเริ่มต้น 60% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ขนาดของมันเส้นที่ใช้หมัก (มม.)				
	เล็กกว่า 1	1	3	6	10
0	1.87	2.32	1.81	1.45	1.62
6	1.92	2.37	2.05	1.50	2.08
12	4.25	4.28	3.55	2.44	2.25
18	5.89	6.60	7.70	4.05	2.76
24	7.71	8.77	10.9	6.55	4.8
30	9.72	10.2	13.5	8.22	5.95
36	10.7	10.9	14.0	9.67	6.61
42	11.2	12.2	15.2	11.5	8.27
48	11.9	12.3	15.0	12.2	9.51
54	12.2	12.7	14.9	12.5	10.9
60	11.9	12.6	15.4	12.9	10.7
66	12.4	13.0	14.7	12.7	10.5
72	11.2	12.7	15.4	13.1	10.9
87	11.5	13.6	15.2	13.6	11.2

ตารางที่ ง-4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมัก เมื่อผันแปรขนาดมันเส้นต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้ความชื้นเริ่มต้น 60% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ขนาดของมันเส้นที่ใช้หมัก (มม.)				
	เล็กกว่า 1	1	3	6	10
0	3.21	3.50	3.27	3.30	3.27
6	3.23	3.32	3.24	3.29	3.28
12	3.34	3.34	3.39	3.28	3.30
18	3.49	3.48	3.62	3.37	3.27
24	3.69	3.59	3.94	3.50	3.40
30	3.79	3.78	4.20	3.68	3.53
36	3.83	3.98	4.62	3.81	3.67
42	3.95	4.20	4.94	4.01	3.74
48	4.07	4.28	5.38	4.18	4.00
54	4.05	4.39	5.72	4.34	4.28
60	4.19	4.54	5.90	4.43	4.34
66	4.16	4.77	5.97	4.44	4.37
72	4.07	4.74	6.05	4.60	4.53
87	4.03	4.79	5.99	4.66	4.47

ตารางที่ ง-5 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ (%) ของมันหมัก เมื่อผันแปรขนาดของมันเส้นต่าง ๆ กัน หมักด้วย <u>R. oligosporus</u> ในกล่องหมัก โดยใช้ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 60% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก. มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ขนาดมันเส้นที่ใช้หมัก (มม.)				
	เล็กกว่า 1	1	3	6	10
0	100	100	100	100	100
6	99.4	99.4	99.1	99.7	99.7
12	96.1	98.8	95.4	99.4	99.1
18	92.0	94.8	89.5	97.3	97.7
24	87.0	91.9	82.2	93.7	96.2
30	84.7	87.3	77.1	89.1	92.6
36	83.8	82.9	69.2	86.1	89.1
42	81.3	78.6	65.6	81.8	84.4
48	78.9	77.1	60.2	78.5	81.8
54	79.3	75.2	56.6	75.6	76.4
60	76.6	72.7	54.9	74.0	75.4
66	77.2	69.2	54.3	73.9	74.8
72	78.9	69.6	53.6	71.3	72.2
87	79.7	68.9	54.1	70.4	73.2

ตารางที่ ง-6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนต่อน้ำหนักแห้งเริ่มต้น (กรัมโปรตีน/กรัม มันแห้ง) ของมันหมัก เมื่อผันแปรขนาดของมันเส้นต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้ความชื้นเริ่มต้น 60% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ขนาดของมันเส้นที่ใช้หมัก (มม.)				
	เล็กกว่า 1	1	3	6	10
0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
6	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
12	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
18	0.05	0.06	0.07	0.04	0.03
24	0.07	0.08	0.09	0.06	0.05
30	0.08	0.09	0.10	0.07	0.06
36	0.09	0.09	0.10	0.08	0.06
42	0.09	0.10	0.10	0.09	0.07
48	0.09	0.10	0.09	0.10	0.08
54	0.10	0.10	0.08	0.09	0.08
60	0.09	0.09	0.09	0.10	0.08
66	0.10	0.09	0.08	0.09	0.08
72	0.09	0.08	0.08	0.09	0.08
87	0.09	0.09	0.08	0.10	0.08

ตารางที่ ง-7 การเปลี่ยนแปลงความชื้น (%) ของมันหมัก เมื่อผันแปรขนาดของมันต่าง ๆ กัน หมักในกล่องหมัก ความชื้นเริ่มต้น 60% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัมมันแห้ง ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ขนาดของมันเส้นที่ใช้หมัก (มม.)				
	เล็กกว่า 1	1	3	6	10
0	60.6	60.6	60.3	60.7	60.8
6	61.1	60.7	60.7	60.7	60.6
12	62.4	61.5	61.2	61.1	60.8
18	62.3	62.0	63.6	61.8	61.6
24	64.2	63.3	64.4	62.9	62.4
30	64.8	64.0	64.5	63.1	63.4
36	65.6	64.8	65.5	64.3	64.0
42	65.4	65.6	66.1	64.7	64.5
48	66.1	66.7	66.0	65.4	65.2
54	66.1	66.5	67.1	65.5	65.8
60	66.0	67.2	67.5	65.8	65.8
66	67.6	68.8	66.8	66.3	66.1
72	67.4	68.1	68.9	66.7	66.4
87	69.0	70.2	69.9	67.5	67.6

ตารางที่ ง-8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมัก เมื่อผันแปรความชื้นเริ่มต้นของมันหมักต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นเริ่มต้นของมันหมัก (%)					
	70.7	64.9	59.6	56.2	50.7	45.1
0	1.54	1.70	1.81	1.44	1.64	1.41
6	1.42	2.16	2.05	1.99	1.72	1.41
12	2.02	4.45	3.07	3.60	2.46	1.80
18	3.13	8.15	7.70	6.81	4.01	2.24
24	4.01	12.8	10.9	10.2	6.75	3.16
30	5.32	16.0	13.5	10.7	8.51	4.15
36	7.25	17.3	14.5	12.3	9.96	5.15
42	8.79	16.8	15.2	13.3	11.1	6.7
48	10.2	17.3	15.0	13.3	11.8	7.82
54	10.5	16.3	14.9	13.1	12.4	8.05
60	11.0	16.6	15.2	13.4	12.2	8.45
66	10.3	17.3	14.7	13.1	12.3	8.75
72	10.6	17.5	15.4	13.6	12.1	8.60
78	10.7	17.6	15.6	13.2	12.4	8.48

ตารางที่ ง-9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมัก เมื่อผันแปรความชื้นเริ่มต้นของมันหมักต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นเริ่มต้นของมันหมัก (%)					
	70.7	64.9	59.6	56.2	50.7	45.1
0	3.25	3.30	3.27	3.27	3.22	3.27
6	3.26	3.28	3.29	3.28	3.25	3.28
12	3.29	3.36	3.77	3.30	3.34	3.28
18	3.38	3.58	3.39	3.44	3.37	3.38
24	3.54	4.00	3.89	3.71	3.64	3.56
30	3.76	4.58	4.16	4.01	3.82	3.76
36	3.98	5.32	4.68	4.44	4.28	3.91
42	4.17	5.78	5.10	4.74	4.44	4.04
48	4.35	6.15	5.38	5.19	4.55	4.28
54	4.50	6.33	5.68	5.41	4.73	4.29
60	4.65	6.61	5.86	5.52	5.10	4.70
66	4.63	6.64	5.99	5.59	5.14	4.40
72	4.61	6.69	6.01	5.64	5.06	4.36
78	4.64	6.74	6.04	5.70	5.16	4.44

ตารางที่ ง-10 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ (%) ของมันหมัก เมื่อผันแปรความชื้นเริ่มต้นของมันหมักต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นเริ่มต้นของมันหมัก (%)					
	70.7	64.9	59.6	56.2	50.7	45.1
0	100	100	100	100	100	100
6	99.70	99.4	99.4	99.7	99.1	99.7
12	98.8	97.7	95.1	99.1	96.4	99.7
18	95.9	91.6	96.5	95.1	95.6	96.8
24	91.8	82.0	84.1	88.1	88.5	91.9
30	86.4	71.6	78.6	81.6	84.3	87.0
36	81.7	61.7	69.9	74.3	76.1	83.6
42	77.9	56.8	64.1	69.0	72.5	80.9
48	74.7	53.3	60.8	63.0	70.8	76.4
54	72.2	51.8	57.6	60.2	68.1	76.2
60	69.9	49.6	55.8	59.2	63.4	74.3
66	70.2	49.4	54.6	58.4	62.7	73.3
72	70.5	49.0	54.4	58.0	63.6	75.0
78	70.0	48.7	54.2	57.4	62.4	73.7

ตารางที่ ง-11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนต่อน้ำหนักแห้งเริ่มต้น (กรัมโปรตีน/กรัม มันแห้งเริ่มต้น) ของมันหมัก เมื่อผันแปรความชื้นเริ่มต้นของมันหมักต่าง ๆ กัน หมักด้วย *R. oligosporus* ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นเริ่มต้นของมันหมัก (%)					
	70.7	64.9	59.6	56.2	50.7	45.1
0	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
6	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01
12	0.02	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02
18	0.03	0.08	0.07	0.07	0.04	0.02
24	0.04	0.11	0.09	0.09	0.06	0.03
30	0.05	0.12	0.11	0.09	0.07	0.04
36	0.06	0.11	0.10	0.09	0.08	0.04
42	0.07	0.10	0.09	0.09	0.08	0.05
48	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08	0.06
54	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08	0.06
60	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.06
66	0.07	0.09	0.08	0.08	0.08	0.06
72	0.07	0.09	0.08	0.08	0.08	0.06
78	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.06

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (%) ของมันหมัก เมื่อผันแปรความชื้นเริ่มต้นของมันหมักต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก. มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นเริ่มต้นของมันหมัก (%)					
	70.7	64.9	59.6	56.2	50.7	45.1
0	70.7	64.9	59.6	56.2	50.6	45.6
6	69.1	65.4	60.4	57.6	53.0	47.5
12	70.9	66.9	62.1	55.4	54.2	48.4
18	73.4	69.8	64.2	60.6	54.5	48.4
24	75.1	71.1	64.5	62.2	55.1	47.6
30	75.6	71.3	65.2	62.0	56.4	48.4
36	75.8	71.8	65.0	60.8	55.8	48.4
42	77.7	73.0	65.3	62.2	55.6	48.9
48	78.8	72.9	65.6	61.5	56.0	47.7
54	79.4	73.4	66.7	62.2	57.4	47.5
60	81.0	73.9	67.2	62.8	59.4	48.1
66	81.6	75.1	67.8	63.0	59.5	48.6
72	81.4	77.1	66.7	63.0	59.2	49.4
78	82.1	78.9	69.0	64.0	59.9	48.9

ตารางที่ ง-13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมัก เมื่อผันแปรความสูงของชั้นหมักต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมักโดยใช้มันขนาด 3 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ความสูงของชั้นหมัก (มม.)			
	50	30	15	5
0	1.90	1.89	1.81	1.93
6	1.80	1.90	1.80	1.89
12	2.30	2.54	4.03	2.9
18	3.02	3.51	8.33	7.51
24	3.54	5.22	12.5	11.3
30	4.65	7.56	15.3	13.9
36	4.90	10.15	15.7	14.2
42	6.11	11.4	15.9	15.6
48	7.04	11.8	16.1	16.7
54	7.91	12.3	16.2	16.8
60	8.18	11.9	15.8	17.7
66	8.75	11.9	16.1	17.0
72	8.46	12.3	15.8	17.0
78	8.80	13.0	16.3	17.0

ตารางที่ ง-14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมัก เมื่อผันแปรความสูงของชั้นหมักต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} ม^{3}/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ความสูงของชั้นหมัก (มม.)			
	50	30	15	5
0	3.19	3.20	3.18	3.16
6	3.21	3.24	3.12	3.18
12	3.22	3.21	3.32	3.30
18	3.23	3.33	3.56	3.47
24	3.29	3.53	4.00	3.78
30	3.39	3.65	4.66	4.33
36	3.68	3.77	5.23	4.78
42	3.72	4.03	5.89	5.57
48	3.89	4.12	6.20	5.75
54	3.99	4.31	6.51	6.08
60	4.20	4.56	6.62	6.41
66	4.21	4.65	6.58	6.44
72	4.39	4.60	6.63	6.55
78	4.48	4.50	6.64	6.51

ตารางที่ ง-15 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ (%) ของมันหมัก เมื่อผันแปรความสูงของชั้นหมักต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัมมันแห้ง ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ความสูงของชั้นหมัก (มม.)			
	50	30	15	5
0	100	100	100	100
6	99.4	98.8	98.1	99.4
12	99.1	99.7	95.8	95.8
18	98.8	96.1	89.3	92.7
24	97.0	90.7	79.5	83.6
30	94.1	87.7	68.2	73.0
36	86.7	84.1	60.8	66.1
42	85.8	79.4	54.0	56.7
48	82.0	77.7	51.3	55.0
54	80.0	74.3	48.9	52.0
60	78.0	70.2	78.0	49.3
66	75.8	68.8	48.2	49.1
72	72.7	69.6	48.0	48.2
78	71.2	66.7	47.9	48.5

ตารางที่ ง-16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนต่อน้ำหนักแห้งเริ่มต้น (กรัมโปรตีน/กรัม มันแห้งเริ่มต้น) ของมันหมัก เมื่อผันแปรความสูงของชั้นหมักต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ความสูงของชั้นหมัก (มม.)			
	50	30	15	5
0	0.02	0.02	0.02	0.02
6	0.02	0.02	0.02	0.02
12	0.02	0.03	0.04	0.03
18	0.03	0.03	0.07	0.07
24	0.03	0.05	0.10	0.09
30	0.04	0.07	0.10	0.10
36	0.04	0.09	0.10	0.09
42	0.05	0.09	0.09	0.09
48	0.06	0.09	0.08	0.09
54	0.06	0.09	0.08	0.09
60	0.06	0.08	0.08	0.09
66	0.07	0.08	0.08	0.08
72	0.06	0.09	0.08	0.08
78	0.06	0.09	0.08	0.08

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (%) ของมันหมัก เมื่อผันแปรความสูงของชั้นหมักต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^{4}$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ความหนาของชั้นหมัก (มม.)			
	5	15	30	50
0	65.7	65.0	65.2	65.5
6	66.1	66.4	66.0	66.1
12	63.2	67.5	67.2	68.1
18	66.7	69.5	68.9	69.1
24	72.0	71.5	69.6	69.7
30	72.4	71.9	70.5	70.0
36	73.4	72.4	70.8	70.2
42	75.5	73.4	71.3	70.2
48	74.7	74.4	72.3	71.5
54	74.9	74.4	73.0	71.6
60	75.6	74.6	73.0	72.0
66	75.5	75.2	73.5	72.6
72	75.9	76.6	74.5	73.8
78	77.7	76.9	75.1	73.8

ตารางที่ ง-18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมัก เมื่อผันแปรปริมาณสปอร์เริ่มต้นต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% ความสูงของชั้นหมัก 15 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^3$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณสปอร์เริ่มต้น (สปอร์/กรัม มันแห้ง)				
	2.5×10^7	2.5×10^6	2.5×10^5	2.5×10^4	2.5×10^3
0	1.65	1.60	1.62	1.67	1.65
6	2.01	1.95	1.64	1.59	1.65
12	3.95	3.85	3.35	2.62	1.87
18	8.85	7.95	5.55	4.76	2.54
24	12.7	12.4	8.65	8.27	4.05
30	15.4	15.3	12.5	11.2	7.57
36	16.2	15.4	15.2	14.4	10.7
42	16.3	15.7	16.4	14.6	11.6
48	16.0	15.5	16.5	14.8	13.3
54	16.1	15.4	16.3	14.9	14.2
60	16.5	15.9	16.7	15.0	14.8
66	15.9	16.1	17.1	15.4	15.0
72	16.7	15.8	16.8	15.2	15.2
78	17.3	16.1	16.6	15.3	15.9

ตารางที่ ง-19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมัก เมื่อผันแปรสปอร์เริ่มต้นต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% ความสูงของชั้นหมัก 15 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^3$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณสปอร์เริ่มต้น (สปอร์/กรัม มันแห้ง)				
	2.5×10^7	2.5×10^6	2.5×10^5	2.5×10^4	2.5×10^3
0	3.31	3.28	3.25	3.28	3.25
6	3.29	3.30	3.27	3.29	3.23
12	3.42	3.30	3.24	3.28	3.24
18	3.94	3.76	3.32	3.32	3.24
24	4.20	4.24	3.85	3.39	3.23
30	4.83	4.78	3.87	3.62	3.23
36	5.35	5.16	4.31	3.91	3.40
42	5.64	5.63	4.63	4.46	3.69
48	6.15	6.08	5.14	4.80	4.16
54	6.44	6.50	5.55	5.09	4.53
60	6.74	6.62	5.89	5.67	4.78
66	6.80	6.69	6.31	5.94	5.34
72	6.94	6.95	6.53	6.41	5.76
78	6.98	6.98	6.79	6.75	6.56

ตารางที่ ง-20 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ (%) ของมันหมัก เมื่อผันแปรปริมาณสปอร์เริ่มต้นต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 65% ความสูงของชั้นหมัก 15 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} ม^3/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณสปอร์เริ่มต้น (สปอร์/กรัม มันแห้ง)				
	2.5×10^7	2.5×10^6	2.5×10^5	2.5×10^4	2.5×10^3
0	100	100	100	100	100
6	99.4	99.4	99.4	99.7	99.7
12	96.8	99.4	100	99.5	99.7
18	84.0	87.2	97.9	98.8	99.7
24	78.8	77.4	91.5	96.8	99.4
30	68.5	68.6	84.0	90.6	99.4
36	61.9	63.6	75.7	83.9	95.0
42	58.7	58.3	70.2	73.6	87.5
48	53.8	54.0	63.2	68.3	77.6
54	51.4	50.5	58.6	64.4	71.3
60	49.1	49.4	55.2	57.9	67.6
66	48.7	49.0	51.5	55.2	60.53
72	47.7	47.2	49.8	51.2	56.1
78	47.7	47.0	47.9	48.6	49.2

ตารางที่ ง-21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนต่อน้ำหนักเริ่มต้น (กรัมโปรตีน/กรัม มันแห้งเริ่มต้น) ของมันหมัก เมื่อผันแปรปริมาณสปอร์เริ่มต้นต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% ความสูงของชั้นหมัก 15 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^3$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณสปอร์เริ่มต้น (สปอร์/กรัม มันแห้ง)				
	2.5×10^7	2.5×10^6	2.5×10^5	2.5×10^4	2.5×10^3
0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
6	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
12	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02
18	0.07	0.07	0.05	0.05	0.03
24	0.10	0.10	0.08	0.08	0.04
30	0.11	0.11	0.11	0.10	0.08
36	0.11	0.10	0.12	0.12	0.10
42	0.10	0.09	0.12	0.11	0.10
48	0.09	0.08	0.11	0.10	0.10
54	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10
60	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10
66	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09
72	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09
78	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

ตารางที่ ง-22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (%) ของมันหมัก เมื่อผันแปรปริมาณสปอร์เริ่มต้นต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในกล่องหมัก โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% ความสูงของชั้นหมัก 15 มม. ปริมาณการไหลของอากาศ 3.86×10^{-4} $ม^3$/วินาที/กก.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณสปอร์เริ่มต้น (สปอร์/กรัม มันแห้ง)				
	2.5×10^7	2.5×10^6	2.5×10^5	2.5×10^4	2.5×10^3
0	65.8	65.8	65.8	65.5	65.9
6	67.2	67.0	66.8	66.8	67.1
12	68.5	68.1	68.2	68.3	67.9
18	69.8	69.6	69.5	69.3	68.7
24	71.4	70.6	70.4	69.8	69.2
30	71.8	71.2	71.1	70.5	69.3
36	72.8	72.0	71.3	76.3	70.0
42	73.4	72.6	72.4	71.4	70.9
48	74.0	73.4	72.8	72.3	71.1
54	73.9	74.0	73.0	72.6	72.5
60	74.2	74.3	73.2	72.9	72.6
66	74.2	74.5	73.4	73.0	72.7
72	74.8	75.2	73.6	73.4	71.6
78	75.8	76.3	74.2	73.9	73.4

ตารางที่ ง-23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมัก เมื่อใช้ปริมาณการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน เมื่อใช้ถาดหมัก 1 ถาด โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ

เวลา ชั่วโมง	ปริมาณการไหลของอากาศ ($\times10^{-4}$ $ม^3$/วินาที/กก.มันแห้ง)				
	3.83	1.53	0.76	0.31	0.15
0	1.81	2.05	1.90	1.95	1.89
6	2.36	1.99	2.34	1.92	1.96
18	11.1	10.7	11.0	8.56	5.89
21	12.6	12.9	13.2	10.2	6.65
24	14.1	15.7	16.1	11.7	7.15
30	14.9	16.0	16.9	13.5	9.29
42	14.8	16.6	16.8	15.1	12.6
48	14.9	16.9	17.2	15.4	13.9
54	14.7	16.6	17.4	15.2	14.4
66	14.8	16.5	17.5	15.2	15.6
72	15.1	16.3	17.3	15.3	15.7

ตารางที่ ง-24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมัก เมื่อใช้ปริมาณการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ปริมาณสปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มัน-แห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการไหลของอากาศ ($\times10^{-4}$ $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง)				
	3.83	1.53	0.76	0.31	0.15
0	3.30	3.28	3.27	3.26	3.23
6	3.25	3.30	3.30	3.28	3.24
18	3.61	3.56	3.65	3.45	3.40
21	3.75	3.83	3.92	3.53	3.45
24	3.95	4.05	4.23	3.69	3.54
30	4.25	4.55	4.54	4.14	3.81
42	4.82	5.32	5.64	4.74	4.48
48	5.16	5.57	5.85	4.99	4.57
54	5.38	5.30	6.29	5.16	4.97
66	5.69	6.00	6.34	5.28	5.17
72	5.80	6.05	6.28	5.32	5.21

ตารางที่ ง-25 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ (%) ของมันหมัก เมื่อใช้ปริมาณการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วนเมื่อใช้ถาดหมัก 1 ถาด โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^6 สปอร์/กรัม มันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการไหลของอากาศ ($\times10^{-4}$ ม^3/วินาที/กก.มันแห้ง)				
	3.83	1.53	0.76	0.31	0.15
0	100	100	100	100	100
6	98.5	99.4	99.1	99.4	99.7
18	90.0	92.1	89.1	94.5	95.0
21	86.7	85.6	83.4	92.4	93.6
24	82.3	81.0	77.3	88.4	91.2
30	76.5	72.1	72.0	78.7	84.8
42	67.4	61.7	58.0	68.1	72.1
48	63.0	58.9	55.5	65.3	70.7
54	60.4	56.6	52.0	63.2	65.0
66	57.1	54.7	51.6	61.7	62.5
72	56.0	54.2	52.1	61.3	62.0

ตารางที่ ง-26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนต่อน้ำหนักแห้งเริ่มต้น (กรัมโปรตีน/กรัม มันแห้งเริ่มต้น) ของมันหมัก เมื่อใช้ปริมาณการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน เมื่อใช้ถาดหมัก 1 ถาด โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการไหลของอากาศ ($\times10^{-4}$ ม^3/วินาที/กก.มันแห้ง)				
	3.83	1.53	0.76	0.31	0.15
0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
6	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
18	0.10	0.10	0.10	0.08	0.06
21	0.11	0.11	0.11	0.08	0.06
24	0.12	0.13	0.12	0.10	0.07
30	0.11	0.12	0.12	0.11	0.08
42	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09
48	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10
54	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09
66	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10
72	0.08	0.09	0.09	0.09	0.10

ตารางที่ ง-27 การเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($\times 10^{-7}$ กก./วินาที/กก.มันแห้ง) ของมันหมัก เมื่อใช้ปริมาณการไหลของอากาศต่างกัน หมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยหมัก 1 ถาด ใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง อุณหภูมิ 37 ํซ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการไหลของอากาศ ($\times 10^{-4}$ $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง)				
	3.83	1.53	0.76	0.31	0.15
0	0	0	0	0	0
6	0.12	0.19	0.38	0.06	0.05
18	2.43	2.71	2.81	1.33	1.02
21	2.52	3.06	2.87	1.33	1.11
24	2.55	3.12	3.19	1.48	1.15
30	3.19	3.70	3.83	1.66	1.35
42	1.60	3.22	2.51	1.24	1.47
48	1.52	2.87	3.15	1.66	1.53
54	1.33	2.68	2.81	1.64	1.61
66	1.28	1.92	1.60	1.53	1.33
72	1.28	1.92	1.44	1.53	1.15

ตารางที่ ง-28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (%) ของมันหมัก เมื่อใช้ปริมาณการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน หมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยหมัก 1 ถาด ใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัมมันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 ํซ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการไหลของอากาศ ($\times10^{-4}$ ม^{3}/วินาที/กก.มันแห้ง)				
	3.83	1.53	0.76	0.31	0.15
0	66.2	66.0	66.0	66.2	66.4
6	69.4	70.6	68.0	67.0	67.8
18	75.1	74.0	73.3	72.2	71.4
21	76.2	74.2	73.2	73.5	71.6
24	75.1	74.8	74.7	75.3	74.2
30	76.2	76.3	74.9	76.1	75.1
42	78.9	79.8	79.4	79.3	77.2
48	79.8	80.1	81.8	80.3	78.2
54	81.4	81.4	83.8	80.4	79.3
66	82.0	82.9	84.8	80.2	80.8
72	82.6	84.3	86.8	80.6	82.5

ตารางที่ ง-29 การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ในการถ่ายเทมวล ($\times 10^{-4}$ วินาที$^{-1}$) ในการทดลองที่ใช้ปริมาณการไหลของอากาศต่างกัน หมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 65% ปริมาณสปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการไหลของอากาศ ($\times 10^{-4}$ $ม^3$/วินาที/กก.มันแห้ง)				
	3.83	1.53	0.76	0.31	0.15
0	0	0	0	0	0
6	0.06	0.09	0.08	0.03	0.02
18	1.12	1.25	1.29	0.62	0.47
24	1.17	1.63	1.66	0.66	0.53
30	1.47	1.71	1.78	0.77	0.63
42	1.21	1.49	1.63	0.85	0.69
48	1.03	1.33	1.46	0.77	0.72
54	0.88	1.24	1.30	0.76	0.75
66	0.59	0.88	0.74	0.71	0.62
72	0.44	0.88	0.66	0.65	0.53

ตารางที่ ง-30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมัก ทั้ง 3 ถาด หมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ และปริมาณการไหลของอากาศ 0.79×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่งของถาดหมัก		
	ถาดบน	ถาดกลาง	ถาดล่าง
0	1.90	1.80	1.87
6	2.24	2.09	2.15
18	10.9	11.2	11.5
24	13.9	14.1	14.4
30	15.1	14.8	15.4
42	15.3	15.1	15.7
48	15.5	14.8	15.4
54	15.2	15.4	15.0
66	14.9	15.1	15.2
72	15.2	14.8	15.8

ตารางที่ ง-31 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมักทั้ง 3 ถาด เมื่อหมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม มันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ และปริมาณการไหลของอากาศ 0.79×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก. มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่งของถาดหมัก		
	ถาดบน	ถาดกลาง	ถาดล่าง
0	3.29	3.29	3.33
6	3.30	3.34	3.36
18	3.70	3.76	3.84
24	4.23	4.18	4.29
30	4.37	4.44	4.59
42	5.08	5.17	5.02
48	5.49	5.65	5.53
54	5.90	5.75	6.04
66	6.07	6.02	6.13
72	6.01	6.06	6.08

ตารางที่ ง-32 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ (%) ของมันหมักทั้ง 3 ถาด เมื่อหมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^6 สปอร์/กรัม.มันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ และปริมาณการไหลของอากาศ 0.79×10^{-4} ม^3/วินาที/กก.มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่งของถาดหมัก		
	ถาดบน	ถาดกลาง	ถาดล่าง
0	100	100	100
6	99.7	98.5	99.1
18	88.9	87.5	86.7
24	77.8	7.87	77.6
30	75.3	74.6	72.6
42	62.3	63.6	66.3
48	59.9	58.2	60.2
54	55.8	57.2	55.1
66	54.2	54.7	54.3
72	54.7	54.3	54.8

ตารางที่ ง-33 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (%) ของมันหมักทั้ง 3 ถาด เมื่อหมักด้วย <u>R. oligosporus</u> ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม.มันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ และปริมาณการไหลของอากาศ 0.79×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่งของถาดหมัก		
	ถาดบน	ถาดกลาง	ถาดล่าง
0	66.0	65.8	66.1
6	67.5	67.4	67.7
18	75.4	74.6	73.3
24	76.3	75.6	74.7
30	77.2	77.7	74.9
42	79.2	78.6	78.6
48	79.9	79.4	79.5
54	81.7	81.4	81.4
66	83.1	82.4	82.4
72	84.2	83.7	83.7

ตารางที่ ง-34 การเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($\times 10^{-7}$ กก./วินาที/กก.มันแห้ง) ของมันหมักทั้ง 3 ถาด เมื่อหมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม.มันแห้ง อุณหภูมิ 37 °ซ และปริมาณการไหลของอากาศ 0.79×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($\times 10^{-7}$ กก./วินาที/กก.มันแห้ง)
0	0
6	0.33
18	3.13
24	3.46
30	3.79
42	3.24
48	3.05
54	2.46
66	1.66
72	1.50

ตารางที่ ง-35 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนต่อน้ำหนักมันแห้งเริ่มต้น (กรัมโปรตีน/กรัม มันแห้งเริ่มต้น) ของมันหมักทั้ง 3 ถาด เมื่อหมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม.มันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ และปริมาณการไหลของอากาศ 0.79×10^{-4} $ม^3$/วินาที/กก.มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่งของถาดหมัก		
	ถาดบน	ถาดกลาง	ถาดล่าง
0	0.02	0.02	0.02
6	0.02	0.02	0.02
18	0.10	0.10	0.10
24	0.11	0.11	0.11
30	0.11	0.11	0.11
42	0.10	0.10	0.10
48	0.09	0.09	0.09
54	0.08	0.09	0.08
66	0.08	0.08	0.08
72	0.08	0.08	0.09

ตารางที่ ง-36 การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ในการถ่ายเทมวล ($\times 10^{-4}$ วินาที$^{-1}$) ของมันหมักทั้ง 3 ถาด เมื่อหมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน ใช้มันขนาด 3 มม. ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม.มันแห้ง ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ และใช้ปริมาณการไหลของอากาศเป็น 0.79×10^{-4} และ 0.97×10^{-4} ม^{3}/วินาที/กก.มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณการไหลของอากาศ ($\times 10^{-4}$ ม^{3}/วินาที/กก.มันแห้ง)	
	0.79	0.97
0	0	0
6	0.13	0.06
16	1.21	1.05
24	1.33	1.37
30	1.46	1.39
42	1.24	1.23
48	1.17	1.09
54	0.95	1.06
66	0.64	0.78
72	0.57	0.71

ตารางที่ ง-37 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมักทั้ง 3 ถาด เมื่อหมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม.มันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ และปริมาณการไหลของอากาศ 0.97×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่งของถาดหมัก		
	ถาดบน	ถาดกลาง	ถาดล่าง
0	1.76	1.83	1.90
6	2.12	1.98	2.23
18	8.28	8.05	8.61
24	10.2	11.0	10.9
30	13.7	13.5	13.2
42	14.9	14.7	15.2
48	15.6	14.5	15.5
54	15.2	14.6	15.4
66	15.5	15.1	16.0
72	15.2	14.8	16.1

ตารางที่ ง-38 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของมันหมักทั้ง 3 ถาด เมื่อหมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม.มันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ และปริมาณการไหลของอากาศ 0.97×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่งของถาดหมัก		
	ถาดบน	ถาดกลาง	ถาดล่าง
0	3.26	3.29	3.36
6	3.35	3.34	3.30
18	3.77	3.75	3.74
24	3.95	4.06	3.98
30	4.18	4.37	4.09
42	4.57	4.79	4.87
48	4.97	5.10	5.00
54	5.40	.550	5.60
66	5.70	5.59	5.88
72	5.75	5.67	5.92

ตารางที่ ง-39 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ (%) ของมันหมักทั้ง 3 ถาด เมื่อหมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม.มันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ และปริมาณการไหลของอากาศ 0.97×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่งของถาดหมัก		
	ถาดบน	ถาดกลาง	ถาดล่าง
0	100	100	100
6	97.3	98.5	98.2
18	86.5	87.7	88.2
24	82.5	81.0	82.9
30	76.0	75.3	80.6
42	71.3	68.7	67.8
48	65.6	64.5	66.0
54	60.4	59.8	58.2
66	57.2	58.9	56.1
72	56.7	58.0	55.7

ตารางที่ ง-40 การเปลี่ยนแปลงความชื้น (%) ของมันหมักทั้ง 3 ถาด เมื่อหมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม.มันแห้ง อุณหภูมิรปะมาณ 37 °ซ และปริมาณการไหลของอากาศ 0.97×10^{-4} ม^{3}/วินาที/กก.มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่งของถาดหมัก		
	ถาดบน	ถาดกลาง	ถาดล่าง
0	65.5	65.6	65.7
6	67.2	67.8	67.5
18	73.3	72.7	73.1
24	74.4	73.6	74.7
30	76.4	76.7	76.0
42	77.6	78.4	79.0
48	78.3	78.8	79.4
54	78.4	79.4	79.8
66	80.6	81.2	81.5
72	82.1	82.4	82.9

ตารางที่ ง-41 การเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($\times 10^{-7}$ กก./วินาที/กก.มันแห้ง) ของมันหมักทั้ง 3 ถาด เมื่อหมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม.มันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ และปริมาณการไหลของอากาศ 0.97×10^{-4} ม^{3}/วินาที/กก.มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($\times 10^{-7}$ กก./วินาที/กก.มันแห้ง)
0	0
6	0.16
18	2.75
24	3.56
30	3.64
42	3.23
48	2.38
54	2.75
60	2.38
66	2.02
72	1.84

ตารางที่ ง-42 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนต่อน้ำหนักแห้งเริ่มต้น (กรัมโปรตีน/กรัม.มันแห้งเริ่มต้น) ของมันหมักทั้ง 3 ถาด เมื่อหมักด้วย R. oligosporus ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นระดับขยายส่วน โดยใช้มันขนาด 3 มม. ความสูงของชั้นหมัก 15-20 มม. ความชื้นเริ่มต้น 65% สปอร์เริ่มต้น 2.5×10^{6} สปอร์/กรัม.มันแห้ง อุณหภูมิประมาณ 37 °ซ และปริมาณการไหลของอากาศ 0.97×10^{-4} $ม^{3}$/วินาที/กก.มันแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่งของถาดหมัก		
	ถาดบน	ถาดกลาง	ถาดล่าง
0	0.02	0.02	0.02
6	0.02	0.02	0.02
18	0.07	0.07	0.08
24	0.08	0.09	0.09
30	0.11	0.10	0.11
42	0.11	0.10	0.10
48	0.10	0.09	0.10
54	0.09	0.09	0.09
66	0.09	0.09	0.09
72	0.09	0.09	0.09

ภาคผนวก จ

วิธีการวัดค่าตัวแปรและวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน

จ-1. การวัดและบันทึกอุณหภูมิ

การวัดและบันทึกอุณหภูมิ กระทำ 4 จุดด้วยกันคือ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิภายในถังปฏิกิริยา ณ ตำแหน่งถาดหมักชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง โดยเครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิแบบ 12 จุด รุ่น clearspan P. 250 L (Kent Industrial Measurement Limited) ส่วนเครื่องวัดอุณหภูมิคือ เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ซึ่งวัดอุณหภูมิในช่วง 0-100 °ซ

จ-2. การวัดและบันทึกความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในถังปฏิกิริยา

การวัดและบันทึกความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในถังปฏิกิริยา ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (temperature and relative humidity recorder) ของ Thice ซึ่งสามารถวัดและบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้พร้อมกัน ทำการวัดและบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในถังปฏิกิริยาในขั้นตอนตรวจสอบความพร้อมของการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพและระบบควบคุมต่าง ๆ ก่อนที่จะทำการหมักในแต่ละการทดลอง

จ-3. การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการหมัก

การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยดูดก๊าซจากเครื่องปฏิกรณ์ทางท่อทางออกของก๊าซโดยปั๊มผ่านสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate) ในกรดกำมะถันเข้มข้น (hydrosulfuirc acid) เพื่อออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย จากนั้นจะผ่านสำลีแล้วผ่านลงในกรดกำมะถันเข้มข้น (เพื่อดูดความชื้นบางส่วน) ผ่านเข้าสู่ซิลิกาเจล (silica gel) และชั้นถ่านไว (activated carbon) จึงเข้าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยอินฟราเรด (carbondioxide infrared analyser) ดังรูป 2.4 บทที่ 2 อ่านค่าร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางหน้าปัทม์เครื่อง นอกจากนี้ยังสามารถวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนได-ออกไซด์ ที่ระดับต่าง ๆ ของถังปฏิกิริยาได้ โดยต่อกับท่อที่สามารถปรับระดับได้ ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของฝาถังในแนวรัศมี

จ-4. การวิเคราะห์โปรตีน

การวิเคราะห์โปรตีนตามวิธีการของ Lowry (1951) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างรีเอเจนท์กับไทโรซีนและทริบโตเฟนของตัวอย่าง วัดปริมาณสารที่มีสีได้โดยการเปรียบเทียบกับโปรตีนอัลบูมินที่ได้จากซีรัมของวัวเป็นมาตรฐาน โดยถือว่าปริมาณไทโรซีนและทริบโตเฟนในโปรตีนทั่วไปจะมีอัตราส่วนใกล้เคียงกัน

1. การเตรียมตัวอย่าง นำตัวอย่างไปอบแห้งที่ 80 °ซ เป็นเวลา 2 วัน นำมาบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องปั่นความเร็วสูงเป็นเวลา 30 วินาที จึงนำไปวิเคราะห์ต่อไป

2. การเตรียมสารละลายลอรี่ (Lowry, 1951) เตรียมสารละลายดังนี้

1. สารละลาย ก		
โซเดียมคาร์บอเนต	2	กรัม
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล	100	มล.
2. สารละลาย ข		
คอปเปอร์ซัลเฟต	1	กรัม
น้ำกลั่น	100	มล.
3. สารละลาย ค		
โซเดียมโปแตสเซียมตาร์เตรท	2	กรัม
น้ำกลั่น	100	มล.

ผสมสารละลาย ข 1 มล. กับสารละลาย ค 1 มล. คนให้เข้ากัน แล้วจึงผสมสารละลาย ก 100 มล. คนให้เข้ากัน ได้เป็นสารละลายลอรี่ นำไปใช้ในการวิเคราะห์แต่ละครั้ง

3. การวิเคราะห์โปรตีน ชั่งตัวอย่างแห้ง 0.1 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล 0.5 มล. แล้วเติมน้ำกลั่น 0.5 มล. นำไปต้มที่อุณหภูมิน้ำเดือดนาน 15 นาที เพื่อให้ผนังเซลแตกและโปรตีนออกมาอยู่ในสารละลาย ปรับปริมาตรให้เป็น 50 มล. โดยใช้ตัวอย่าง 1.0 มล. ผสมกับสารละลายลอรี่ 3 มล. เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที เติมฟีนอลรีเอเจนต์ (ฟีนอลรีเอเจนต์ 1 ส่วน ผสมน้ำกลั่น 1 ส่วน) เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 650 นาโนเมตร อ่านค่าโปรตีนกับกราฟมาตรฐานอัลบูมิน (20-200 ไมโครกรัม) คำนวณเป็นเปอร์เซนต์

โปรตีนของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง

จ-5. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดใช้วิธีการของเจลดาห์ (kjeldahl method) โดยการย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดกำมะถันเข้มข้น (hydrosulfuric acid) ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) เพื่อเปลี่ยนไนโตรเจนทุกรูปแบบให้เป็นสารละลายแอมโมเนียมไฮโดรเจนซัลเฟต (ammonium hydrogensulfate) เมื่อปรับสภาพให้เป็นด่างและนำไปกลั่นด้วยไอน้ำ จะได้ก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งจะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดทำให้สามารถไตเตรทเพื่อหาปริมาณที่แน่นอนได้ การวิเคราะห์แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

1. การเตรียมตัวอย่าง ใช้วิธีการเดียวกับการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โปรตีน

2. การย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจน

2.1 ชั่งตัวอย่างแห้ง 0.5 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับย่อยสลาย (digestion tube)

2.2 เติมตัวเร่งปฏิกิริยา (โปแตสเซียมซัลเฟตต่อคอปเปอร์ซัลเฟต 95:5 โดยน้ำหนัก) 7 กรัม กรดกำมะถันเข้มข้น 15 มล. และลูกแก้ว 2 ลูก

2.3 ประกอบเข้ากับชุดดูดไอกรดและเตาย่อยสลาย (digestion unit, BUCHI 425)

2.4 ให้ความร้อน 330 °ซ จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้าใส ย่อยสลายต่อไปอีก 30 นาที

3. การกลั่นแอมโมเนีย

3.1 ประกอบหลอดย่อยสลาย เข้ากับชุดกลั่น (distillation unit, BUCHI 426) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) เข้มข้นร้อยละ 32 ลงไปประมาณ 70 มล.

3.2 กลั่นสารละลายในข้อ 3.1

3.3 จับก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายกรดบอริค (boric acid) เข้มข้น 4% ซึ่งมีอินดิเคเตอร์ (เมทธิลเรด 0.13% และ เมทิลีนบลู 0.03% ในเอธานอล)

3.4 ไตเตรทหาปริมาณเกลือแอมโมเนียมด้วยสารละลายมาตรฐานของกรดกำมะถัน

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่าง คำนวณได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด} = \frac{(V_1 - V_2).\ N.\ 1400}{E.\ mg}$$

เมื่อ V_1 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรทกับตัวอย่าง

V_2 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรทกับ blank

N = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดมาตรฐาน

E.mg = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

จ-6. <u>การวิเคราะห์ความชื้น</u>

การวิเคราะห์ความชื้น โดยอบจานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 105 °ซ นาน 2 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ (dessicator) แล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน นำตัวอย่างมาชั่งหาน้ำหนักที่แท้จริง แล้วนำไปใส่ในจานอลูมิเนียม นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่แล้วปล่อยให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ นำมาชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนหลังจากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับน้ำหนักก่อนอบ โดยน้ำหนักที่ลดลงคือความชื้น โดยคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละ} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

ประวัติผู้เขียน

นาย สีหนาถ ชาญณรงค์ เกิดวันที่ 29 กรกฎาคม 2498 การศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยมหิดล

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย