รายงานการวิจัย

เรื่อง

การสำรวจคุณภาพของโปรตีนในเห็ด

THE DETERMINATION OF PROTEIN QUALITY OF MUSHROOMS

โดย

รศ.ดร. สุนันท์ พงษ์สามารถ

รศ. สุรางค์ อัศวมั่นคง

น.ส. นรานิมทร์ มารคแมน

ผศ. ปิยวรรณ์ สุรินทร์รัฐ

อ. ลำดวน เศวตมาลย์

อ. ธิติรัตน์ ปานม่วง

ดร. จงดี ว่องพินัยรัตน์

นาง พันธุ์ทวี ภักดีคินแดน

นาย ประเสริฐ วุฒิคัมภีร์

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนเพื่อเพิ่มพูนและพัฒนา

ประสิทธิภาพทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2527

ภาควิชาชีวเคมี คณะเภสัชศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิงหาคม 2529

I10335973

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสำรวจคุณภาพของโปรตีนในเห็ด

สุนันท์ พงษ์สามารถ สุรางค์ อัศวมั่นคง นรานินทร์ มารคแมน
ปิยวรรณ์ สุรินทร์รัฐ ลำดวน เศวตมาลย์ ธิติรัตน์ ป่านม่วง
จงดี ว่องพินัยรัตน์ พันธุ์ทวี ภักดีดินแดน และประเสริฐ วุฒิคัมภีร์

บทคัดย่อ

จากการตรวจสอบคุณภาพของโปรตีนจากเห็ดเพาะเลี้ยงทั้งหมด 8 พันธุ์ โดยวิธีวิเคราะห์ในหนูขาว และวิธีย่อยโปรตีนภายนอกร่างกาย พบว่าเห็ดที่นำมาทดลองทั้งหมดมีค่าของดรรชนีต่าง ๆ ที่แสดงคุณภาพของโปรตีนดังนี้คือ protein efficiency ratio (PER) 1.1-1.8 (casein = 2.7), PER adjusted 1.2-1.7 (casein = 2.5), relative PER (RPER) 42-67 (casein = 100), net protein ratio (NPR) 1.9-2.4 (casein = 3.2), relative NPR (RNPR) 58-72 (casein = 100), net protein utilization (NPU)27-34% and biological value (BV) 40-57% พบว่าค่าของ true digestibility (TD) ที่วิเคราะห์ในหนูขาวมีค่า 53-74% เป็นค่าต่ำกว่าค่าการย่อยโปรตีน 73-77% ซึ่งเป็นค่าที่วิเคราะห์โดยวิธีใช้เอ็นซัยม์ย่อยโปรตีนภายนอกร่างกาย จากการทดลองใช้อาหารผสมของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาลกับเคซีอีน พบว่ามีค่าของดรรชนีต่าง ๆ ที่แสดงคุณภาพโปรตีนสูงขึ้น มีค่า PER adjusted = 2.6, RPER = 106 และ RNPR = 89 ตามลำดับ ยกเว้นค่า NPU และ BV ซึ่งมีค่าเช่นเดียวกับเห็ดอื่น ๆ ที่นำมาวิเคราะห์ คุณภาพของโปรตีนในเห็ดเปรียบเทียบได้กับพวกธัญพืชและพวกถั่ว เห็ดดูเหมือนจะเหมาะสมใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนได้

The Determination of Protein Quality of Mushrooms

Sunanta Pongsamart, Surang Assawamunkong, Naranin Markman, Piyawan Surinrut, Lumduan Savetamal, Tetirat Panmaung, Chongdee Wongpinairat, Pantavee Pakdeedindan and Prasert Vooticumpree

ABSTRACT

Protein quality of 8 species of cultivated mushrooms was examined by rat bioassay and protein digestion (in vitro). Protein quality indices of most mushrooms tested were protein efficiency ratio (PER) 1.1-1.8 (casein = 2.7), PER adjusted 1.2-1.7 (casein = 2.5), relative PER (RPER) 42-67 (casein = 100), net protein ratio (NPR) 1.9-2.4 (casein = 3.2), relative NPR (RNPR) 58-72 (casein = 100), net protein utilization (NPU) 27-34% and biological value (BV) 40-57%. True Digestibility (TD) determined by rat bioassay was 53-74% which was lower than protein digestibility values of 73-77% estimated by multienzyme method (in vitro). Diet mixture of mushroom Auricularia polytricha and casein showed significantly higher values of protein quality indices PER adjusted = 2.6, RPER = 106, and RNPR = 89, respectivety. But NPU and BV values were comparable to the corresponding values of other mushrooms investigated. The results indicate that protein quality of mushrooms was comparable to those of grains and legumes. Mushrooms appeared to be suitable as protein supplements.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนเพื่อเพิ่มพูนและพัฒนาประสิทธิภาพทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2527 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ให้ความสนับสนุนและให้ความร่วมมืองานวิจัย ดังมีรายนามต่อไปนี้

1. รองศาสตราจารย์ บุญอรรถ สายศร คณบดี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนการใช้ห้องเลี้ยงสัตว์ทดลองปรับอากาศในการวิจัยครั้งนี้

2. รองศาสตราจารย์ วาณี กฤษณมิษ หัวหน้าภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือผสมอาหาร ในการวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

ชื่อเรื่องและชื่อผู้วิจัย i

บทคัดย่อภาษาไทย ii

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ iii

กิตติกรรมประกาศ iv

สารบัญเรื่อง v

สารบัญตาราง vii

บทนำ 1

การประเมินคุณค่าโปรตีนโดยวิธี Animal Bioassay 3

จุดประสงค์ของการวิจัย 6

วัสดุและวิธีวิจัย 7

วัสดุ 7

วิธีวิจัย 7

การเตรียมตัวอย่างเห็ด 7

การหาปริมาณโปรตีน 8

การเตรียมอาหารเลี้ยงสัตว์ทดลอง 8

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในสัตว์ทดลอง 10

การทดลอง PER 10

การทดลอง NPR 12

การทดลอง RNPR 13

การทดลอง NPU 13

การทดลอง TD 14

การทดลอง BV 14

การวิเคราะห์ protein digestibility (in vitro) 15

ผลการทดลอง 17

PER 17

หน้า

NPR และ RNPR 39

NPU 60

TD และ protein digestibility (in vitro) 60

BV 67

วิจารณ์ 73

บทสรุป 86

เอกสารอ้างอิง 91

ภาคผนวก 98

เห็ดกระดุมหรือเห็ดแชมปิยอง (Botton mushroom,Champinons) 99

เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล (Jew's ear mushroom) 99

เห็ดตับเต่า (Bolete) 100

เห็ดหอม (Shiitake) 100

เห็ดเป๋าฮื้อหรือเห็ดหอยโข่งทะเล (Abalone mushroom) 101

เห็ดนางรมหรือเห็ดหอยนางรม (Oyster mushroom) 101

เห็ดนางฟ้า (Indian oyster mushroom) 102

เห็ดนางนวล 102

เห็ดโคนหรือเห็ดปลวก 103

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.	รายชื่อของเห็ดที่เลือกมาทำการวิจัย	18
2.	ส่วนประกอบของอาหารที่ใช้ทดลอง	19
3.	ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างเห็ดและอาหารตัวอย่างที่เตรียมเลี้ยงสัตว์ทดลอง ...	20
4.	แสดงค่า PER เมื่อเลี้ยงหนูด้วย casein เป็นเวลา 7 วัน	21
5.	แสดงค่า PER เมื่อเลี้ยงหนูด้วย casein เป็นเวลา 14 วัน	22
6.	แสดงค่า PER เมื่อเลี้ยงหนูด้วย casein เป็นเวลา 21 วัน	23
7.	แสดงค่า PER เมื่อเลี้ยงหนูด้วย casein เป็นเวลา 28 วัน	24
8.	สรุปค่า PER ที่ได้จากการเลี้ยงหนูด้วย casein เป็นเวลานาน 28 วัน	25
9.	แสดงค่า PER ของเห็ดกระดุม	27
10.	แสดงค่า PER ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล	28
11.	แสดงค่า PER ของเห็ดหอม	29
12.	แสดงค่า PER ของเห็ดเป๋าฮื้อ	31
13.	แสดงค่า PER ของเห็ดนางรม	32
14.	แสดงค่า PER ของเห็ดนางฟ้า	33
15.	แสดงค่า PER ของเห็ดนางนวล	34
16.	แสดงค่า PER ของเห็ดฟาง	35
17.	สรุปค่า PER ของเห็ดแต่ละชนิดเมื่อให้เลี้ยงหนู	36
18.	สรุปผลการทดลองหาค่า PER PER (adjusted)และ RPER ของเห็ด เมื่อเลี้ยงสัตว์ทดลองนาน 28 วัน	37
19.	สรุปผลการทดลองหาค่า PER PER (adjusted)และ RPER ของเห็ด หูหนูหนาดอกน้ำตาลเมื่อเลี้ยงสัตว์ทดลองนาน 28 วัน	38
20.	แสดงค่า NPR เมื่อเลี้ยงหนูด้วย casein นาน 7 วัน	40
21.	แสดงค่า NPR เมื่อเลี้ยงหนูด้วย caseinนาน 14 วัน	41

ตารางที่ หน้า

22. แสดงค่า NPR เมื่อเลี้ยงหนูด้วย casein นาน 21 วัน 42
23. แสดงค่า NPR เมื่อเลี้ยงหนูด้วย casein นาน 28 วัน 43
24. สรุปค่า NPR ที่ได้จากการเลี้ยงหนูด้วย casein เป็นเวลานาน 28 วัน .. 44
25. แสดงค่า NPR ของเห็ดกระดุม 45
26. แสดงค่า NPR ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล 46
27. แสดงค่า NPR ของเห็ดหอม 47
28. แสดงค่า NPR ของเห็ดเป๋าฮื้อ 48
29. แสดงค่า NPR ของเห็ดนางรม 49
30. แสดงค่า NPR ของเห็ดนางฟ้า 50
31. แสดงค่า NPR ของเห็ดนางนวล 51
32. แสดงค่า NPR ของเห็ดฟาง 52
33. สรุปค่า NPR ของเห็ดแต่ละชนิดเมื่อใช้เลี้ยงหนู 53
34. แสดงค่า RNPR ของเห็ดกระดุม 54
35. แสดงค่า RNPR ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล 55
36. แสดงค่า RNPR ของเห็ดหอม 56
37. แสดงค่า RNPR ของเห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม และเห็ดนางฟ้า 57
38. แสดงค่า RNPR ของเห็ดนางนวล 58
39. แสดงค่า RNPR ของเห็ดฟาง 59
40. แสดงค่า NPU ของ casein จากการทดลองในหนู 61
41. แสดงค่า NPU ของเห็ดชนิดต่าง ๆ จากการทดลองในหนู 62
42. แสดงค่า Digestibility ของ casein ในสัตว์ทดลอง 63
43. แสดงค่า Digestibility ของเห็ดชนิดต่าง ๆ ในสัตว์ทดลอง 64
44. Percent digestibility (in vitro) ของโปรตีนในเห็ด 65
45. กาเปรียบเทียบ Protein Digestibility ของเห็ดที่ทำในสัตว์ทดลองและ ในหลอดทดลอง 66

ตารางที่ หน้า

46. BV, NPU และ TD ของ casein 68

47. สรุปค่า BV จากการทดลองและจากการคำนวณโดยความสัมพันธ์ของ NPU และ TD ของ casein 69

48. BV, NPU และ TD ของเห็ด 70

49. สรุปค่า BV จากการทดลองและจากการคำนวณโดยความสัมพันธ์ของ NPU และ TD ของเห็ด 71

50. สรุปค่าดรรชนีแสดงคุณภาพของโปรตีนในเห็ด 72

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

งานวิจัยที่เกี่ยวกับคุณค่าทางอาหารที่ศึกษากันเป็นประจำส่วนใหญ่จะนิยมศึกษาในแง่ของส่วนประกอบของอาหารทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบฮัยเดรท กากอาหาร เกลือแร่ และวิตามิน ซึ่งการศึกษาดังกล่าวเป็นงานเบื้องต้นของการวิจัยทางอาหาร งานวิจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ประเทศเราควรจะศึกษาคือ การหาแหล่งโปรตีนพืชที่ดี และมีคุณค่าทางอาหารสูงเพื่อนำมาใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนให้กับประชาชนบางท้องที่ของประเทศซึ่งมีปัญหาในเรื่องการขาดอาหารโปรตีน เนื่องจากในประเทศไทยเราพบว่าสภาวะการขาดอาหารของประชากรโดยเฉพาะอย่างยิ่งเด็กทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นโรคขาดอาหารโปรตีนเป็นจำนวนมาก (1,2) การขาดอาจเป็นผลจากความยากจน และอุปนิสัยการบริโภคอาหารของประชากรก็เป็นได้ อย่างไรก็ดีประชากรที่ยากจนมักไม่ค่อยได้รับประทานอาหารโปรตีนคุณภาพสูงเช่น เนื้อ นม และไข่ เพราะมีราคาแพงและพืชที่ใช้เป็นอาหารของคนเหล่านั้นส่วนใหญ่มักเป็นพืชที่มีโปรตีนน้อย และคุณภาพต่ำจึงทำให้เกิดสภาวะของการขาดอาหารโปรตีนได้

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าโปรตีนเป็นอาหารที่สำคัญที่สุดหมู่หนึ่งที่ร่างกายจะขาดไม่ได้ ในระยะที่ร่างกายกำลังเจริญเติบโตจะมีการเพิ่มทั้งจำนวนและขนาดของเซลล์ เด็กในวัยกำลังเจริญเติบโตย่อมต้องการอาหารโปรตีนสูงมากกว่าระยะอื่น ๆ เพื่อการเสริมสร้างร่างกายให้เจริญเติบโตได้ตามปกติ มารดาในขณะให้นมบุตรหรือหญิงมีครรภ์ย่อมต้องการอาหารโปรตีนสูงกว่าคนปกติด้วย ร่างกายของคนเราต้องได้รับโปรตีนอย่างสม่ำเสมอเพื่อไปเสริมสร้างเซลล์ของร่างกายส่วนที่มีการสลายลงตลอดเวลาตามปกติ ร่างกายจึงจำเป็นต้องสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อใหม่ ๆ อยู่ตลอดเวลา ได้แก่โปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นเอ็นซัยม์ต่าง ๆ โปรตีนของระบบภูมิคุ้มกัน ฮอร์โมน เม็ดโลหิตและเซลล์บุผิวต่าง ๆ เป็นต้น ดังนั้นคนจึงต้องการอาหารโปรตีนให้เพียงพอแก่ความต้องการของร่างกาย เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต เสริมสร้างส่วนที่ถูกทำลายไป เป็นพลังงานและสะสมไว้ใช้ในร่างกายเพื่อช่วยทำให้ร่างกายแข็งแรงและมีสุขภาพที่ดีอยู่เสมอ

อาหารโปรตีนส่วนใหญ่จะได้จากสัตว์และพืช แต่โปรตีนที่มีคุณค่าทางอาหารสมบูรณ์ดีเหมาะกับการใช้เป็นอาหารมักเป็นโปรตีนจากสัตว์ (3) ซึ่งจะให้พวกโปรตีนสมบูรณ์(complete protein)ที่มีกรดอมิโนจำเป็นแก่ร่างกายเพียงพอ เหมาะที่จะนำไปใช้ได้ในการสร้างโปรตีนของ

ร่างกาย ในขณะที่โปรตีนจากพืชส่วนใหญ่มักให้โปรตีนที่มีคุณภาพต่ำกว่าเป็นพวกโปรตีนไม่สมบูรณ์ (incomplete protein) หรือพวกโปรตีนไม่สมบูรณ์บางส่วน (partially incomplete protein) ซึ่งโปรตีนพวกหลังอาจช่วยให้ร่างกายดำรงชีวิตอยู่ได้ ในขณะที่พวกแรกอาจขาดกรดอมิโนจำเป็นบางตัวจึงไม่สามารถช่วยให้ร่างกายของเด็กเจริญเติบโตได้ตามปกติ อย่างไรก็ดีโปรตีนจากสัตว์จะมีราคาแพงประชาชนในประเทศยากจนไม่สามารถหามารับประทานได้เพียงพอแก่ความต้องการของร่างกาย ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ได้แหล่งอาหารโปรตีนราคาถูกมารับประทานแทน ได้แก่โปรตีนสกัดจากพืชโปรตีนจากพวกสาหร่าย รวมทั้งพวก single cell protein และจากยีสต์ (4,5) อย่างไรก็ดีโปรตีนเหล่านี้ยังไม่เหมาะที่จะใช้เป็นอาหารของคนโปรตีนจากยีสต์หรือจุลชีพอื่น ๆ พบว่ามีกรดนิวคลีอิกสูงเกินไปอาจเป็นโทษต่อร่างกายได้ถ้าบริโภคมากเกินไป

พืชชั้นต่ำจำพวกเห็ดต่าง ๆ ซึ่งเป็นพืชที่จัดไว้ในพวก fungi เป็นพืชที่สามารถเพาะเลี้ยงได้ง่าย จะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเร็ว (6) การศึกษาในเรื่องคุณค่าทางอาหารและคุณภาพของโปรตีนในเห็ดยังทำกันน้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเห็ดในประเทศไทย อย่างไรก็ดีได้มีการศึกษาคุณค่าทางอาหารของเห็ดที่เพาะเลี้ยงและเห็ดที่ขึ้นเองตามธรรมชาติชนิดรับประทานได้ในแง่ของส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของโปรตีน ไขมัน คาร์โบฮัยเดรท กากอาหาร เกลือแร่ และวิตามิน ตลอดจนส่วนประกอบของกรดอมิโนในโปรตีนของเห็ด ได้มีการวิจัยและรายงานไว้แล้ว (7,8) ในเห็ดทั้งหมด 22 พันธุ์ ได้แก่ เห็ดไข่ห่านขาว เห็ดไข่ห่านเหลือง เห็ดกระดุม เห็ดหูหนู เห็ดตับเต่า เห็ดเสม็ด เห็ดช่าง เห็ดขอนขาว เห็ดเผาะ เห็ดหอม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดนางฟ้าจีน เห็ดนางรม (ภูฐาน) เห็ดนางนวล เห็ดลม เห็ดตะไคล เห็ดแคลง เห็ดโคน เห็ดตีนแรด และเห็ดฟาง พบว่าเห็ดสดมีโปรตีนประมาณ 2-4% เมื่อทำให้แห้งเห็ดจะมีโปรตีนถึง 20-40% เพราะเห็ดมีน้ำอยู่มากถึง 80-90% ปริมาณโปรตีนในเห็ดแห้งจึงสูงใกล้เคียงกับที่พบในพวกถั่วเมล็ดแห้ง (9) เห็ดมีไขมันน้อยมีกากอาหาร 0.5-2% เถ้า 0.5-1% และคาร์โบฮัยเดรทประมาณ 2-7% ส่วนประกอบของวิตามินพบน้อยในเห็ดสดมีไนอาซิน 2-3 มก./100 กรัม, ไรโบฟลาวินน้อยมากจนถึง 1 มก./100 กรัม มีไทอะมินน้อยมาก พบมีวิตามินซีในเห็ดบางพันธุ์ในระดับ 1-5 มก./100 กรัม เกลือแร่พวกเหล็กพบประมาณ 1-4 มก./100 กรัม แคลเซียม 1-10 มก./100 กรัม ฟอสฟอรัส 15-100 มก./100 กรัม นอกจากนี้ยังพบมีแร่ธาตุอื่น ๆ ได้แก่ โซเดียม โปตัสเซียม และแร่ธาตุส่วนน้อย (trace elements) อื่น ๆ

กรดอมิโนต่าง ๆ ในโปรตีนของเห็ดพบว่ามีอยู่ทุกชนิดในปริมาณที่แตกต่างกันมาก พบว่าเห็ดมีกรดอมิโนพวก methionine และ cysteine ในจำนวนจำกัด มักพบน้อยในเห็ดเกือบทุกชนิด ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนะให้จัดโปรตีนของเห็ดเป็นพวกโปรตีนที่ไม่สมบูรณ์บางส่วน (partially incomplete protein) เนื่องจากการมีส่วนประกอบกรดอมิโนจำเป็นหลายตัวอยู่มากและปริมาณโปรตีนของเห็ดที่ค่อนข้างสูงนี้เองจึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาเพิ่มเติมต่อไปถึงคุณภาพของโปรตีนของเห็ดโดยการนำมาเลี้ยงในสัตว์ทดลอง เพื่อหาค่าของดรรชนีที่แสดงคุณภาพของโปรตีนในแบบต่าง ๆ ได้แก่ Protein Efficiency Ratio (PER), Net Protein Ratio (NPR), Net Protein Utilization (NPU), True Digestibility (TD) และ Biological Value (BV) เป็นต้น โดยวิธี Animal Bioassay

การประเมินคุณค่าโปรตีนโดยวิธี Animal Bioassay

มีวิธีการต่าง ๆ หลายวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินคุณค่าของโปรตีนโดยใช้สัตว์ทดลอง ซึ่งมักจะใช้หนู (rat) ที่เพิ่งจะอดนมนำมาเลี้ยงด้วยอาหารโปรตีนที่ต้องการทดสอบและดูการเจริญเติบโตและอื่น ๆ ดังมีวิธีการดังต่อไปนี้

Protein Efficiency Ratio (PER)

มีวิธีการที่ใช้ประเมินคุณค่าของโปรตีนที่เสนอขึ้นในปี ค.ศ. 1919 โดย Osborne, Mendelและ Ferry (10) เป็นการประเมินจากค่าที่ได้โดยความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสัตว์ทดลองต่อปริมาณโปรตีนที่กิน ค่านี้คือ Protein Efficiency Ratio (PER) วิธีการนี้ต่อมาเป็นที่ยอมรับใช้เป็นวิธีมาตรฐานใน AOAC : Official Methods of Analysis ในการประเมินคุณภาพของโปรตีนในสหรัฐอเมริกาและประเทศอื่น ๆ อย่างไรก็ดีการประเมินโดยใช้ PER ได้มีผู้สงสัยในความถูกต้องโดยผู้วิจารณ์ ให้เหตุผลขัดแย้งว่าค่า PER จะขึ้นโดยตรงกับปริมาณของอาหารที่รับประทานมากกว่าคุณภาพของโปรตีน(11,12) คือถ้าสัตว์ทดลองพอใจในรสชาติของอาหารและกินมากทำให้ค่า PER สูงได้ การใช้ค่า PER ยังมีข้อผิดพลาดอื่น ๆ อีก

คือผลที่ได้มักไม่ค่อยคงที่จะมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละครั้งที่ทดลองและค่าที่ได้มักแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผู้ทดลองด้วย (11) แต่สิ่งนี้ก็ได้มีการแก้ไขโดยทำการทดลองเปรียบเทียบด้วยการเลี้ยงสัตว์ทดลองกลุ่มควบคุม (control) ด้วยอาหาร reference casein และปรับค่า PER ของ casein เป็นค่าคงที่หนึ่งคือ 2.5 และปรับค่า PER ของโปรตีนที่ทดลองอื่น ๆ ตามไปด้วยเช่นนี้ก็อาจใช้เปรียบเทียบค่า PER ของผู้ทดลองในห้องทดลองต่าง ๆ ได้ ค่า PER ทั่ว ๆ ไปจะมีช่วงตั้งแต่ 0-4.5 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงคุณค่าโปรตีนตั้งแต่ต่ำสุดจนถึงสูงสุด

Net Protein Ratio (NPR) ได้มีการศึกษาเพื่อจะหาวิธีการที่เหมาะสมกว่ามาใช้ในการประเมินคุณค่าของโปรตีน มีวิธีการอีกวิธีที่เสนอแนะให้ใช้แทนได้คือ Net Protein Ratio (NPR) ตามวิธีของ Bender และ Doell (13) เป็นวิธีการหนึ่งที่ดัดแปลงจากวิธีการของ PER โดยมีหลักการว่าโปรตีนที่ถูกนำไปใช้ในร่างกายเพื่อการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตอยู่ได้จึงจะเป็นโปรตีนที่มีคุณค่า การทดลองจะรวมเอากลุ่มของสัตว์ทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ปราศจากโปรตีน (protein-free diet) เข้าไว้ด้วย วิธีการต่าง ๆ ที่ประเมินคุณค่าของโปรตีนโดยการดูการเจริญเติบโตของสัตว์ทดลองเช่นนี้ได้มีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากห้องทดลองต่าง ๆ ที่ศึกษาโดย McLaughlan et al (14) พบว่าค่า NPR จะมีค่าที่ค่อนข้างคงที่กว่า PER แต่ NPR ก็ยังผันแปรได้มากกว่าค่าของ Relative Net Protein Ratio (RNPR) ซึ่งทำการทดลองโดยหาความสัมพันธ์ของ NPR กับกลุ่มของสัตว์ทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหาร reference protein ได้แก่ casein การทดลองนี้จะแสดงค่าที่ถูกต้องกว่าวิธีของ NPR ค่าที่ได้จะมีตั้งแต่ต่ำสุด คือ 1 จนถึง 100 ซึ่งเป็นค่าสูงสุด มีการทดลองอีกมากที่สนับสนุนให้มีการแก้ไขให้ใช้วิธี RNPR เป็นวิธีการมาตรฐานแทน PER ในการประเมินคุณค่าทางอาหารของโปรตีนซึ่งยังอยู่ในระหว่างการพิจารณา (15)

Net Protein Utilization (NPU) เป็นค่าที่แสดงถึงการใช้โปรตีนจากอาหารที่ได้จากการย่อยแล้วและถูกเก็บไว้ในร่างกายเพื่อการเจริญเติบโต ช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย การสร้างสิ่งต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อการดำรงอยู่และอื่น ๆ วิธีการทำโดยการหาความสัมพันธ์ของ nitrogen ที่เก็บสะสมไว้ในร่างกายกับปริมาณ nitrogen ที่กิน (16, 17) เป็นการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของ nitrogen ในร่างกาย ค่าที่ได้อาจแสดงเป็น 0-1 หรือ 1-100 แสดงค่าต่ำสุดจนถึงสูงสุด ค่า NPU อาจคำนวณได้จากค่าของ Biological

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Value (BV) คูณกับ Digestibility (D) ได้เป็นค่าของ calculated NPU

Biological Value (B V)เป็นค่าที่แสดงถึงคุณค่าของโปรตีน เป็นเปอร์เซ็นต์ของ nitrogen ที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายและถูกเปลี่ยนไปเป็นโปรตีนต่าง ๆ ของร่างกายตามปกติ จะวัดโปรตีนออกมาในรูปของ nitrogen ตามวิธีของ Mitchell (18) Biological Value จึงเป็นค่าของ NPU หารด้วย Digestibility (11)

Digestibility (D) เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราส่วนของ nitrogen ของโปรตีนที่ถูกดูดซึมเข้าร่างกาย การทดลองใช้วิธีของ nitrogen balance technique โดยรวมเอากลุ่มของสัตว์ทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารปราศจากโปรตีน (protein-free diet) เข้าไปด้วย

ครรชนีที่แสดงคุณค่าของโปรตีนเหล่านี้เป็นที่นิยมรายงานเกี่ยวกับเรื่องคุณค่าของอาหารโปรตีนโดยทั่ว ๆ ไปในปัจจุบัน คณะผู้วิจัยจะได้รายงานการศึกษาคุณภาพของโปรตีนในเห็ดที่เพาะเลี้ยงได้ในประเทศได้แก่ เห็ดกระด้าง เห็ดหูหนู เห็ดหอม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดนางนวล และเห็ดฟาง โดยวิธี Animal Bioassay โดยละเอียด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์จะศึกษาคุณภาพทางโภชนาการของโปรตีนของเห็ดที่เพาะเลี้ยงได้ในประเทศไทย โดยจะทำการศึกษาคุณภาพของโปรตีนด้วยวิธี animal bioassay และวิธีทางชีวเคมีโดยวัดการย่อยของโปรตีนเห็ดด้วย proteolytic enzymes ในหลอดทดลอง เพื่อหาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคุณภาพของโปรตีนของเห็ดในสัตว์ทดลองคือหนู (rat) โดยดูการเจริญเติบโตของสัตว์วัยอ่อน และปริมาณไนโตรเจนที่ถูกเก็บสะสมไว้ใช้ในร่างกาย เมื่อให้สัตว์ทดลองกินอาหารเห็ดเพื่อวัดค่า Protein Efficiency Ratio (PER), Net Protein Ratio (NPR), Relative Net Protein Ratio (RNPR), Net Protein Utilization (NPU), True Digestibility (TD) และ Biological Value (BV)

2. ศึกษาการย่อยโปรตีนของเห็ดภายนอกร่างกายด้วยเอ็นซัยม์ย่อยโปรตีนหลาย ๆ ชนิด เพื่อวัดค่า Percent Protein Digestibility (in vitro) ของเห็ด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัสดุและวิธีวิจัย

วัสดุ

1. สารเคมี ANRC (Animal Nutrition Research Council) reference casein, sodium caseinate จาก Sheffield Products, Memphis, T.N., U.S.A, casein (vitamin free),cellulose fiber, vitamin A acetate, vitamin D, vitamin E acetate, menadione. choline, p-aminobenzoic acid, inositol, niacin, Ca-D-pantothenate, riboflavin, thiamin HCl, pyridoxine HCl, folic acid, biotin, และ cyanocobalamin, จากบริษัท Sigma Chemical Co.St. Louise, M.O., U.S.A., KI (BP 1973) จากบริษัทวิทยาศรม จำกัด กทม., cornstarch (Maizena), corn oil (Mazola) จาก CPC International Inc., Englewood, Cliffs, N.J., U.S.A., glucose, NaCl, KH_2PO_4, $MgSO_4.7H_2O$, $CaCO_3$, $FeSO_4.7H_2O$, $MnSO_4.H_2O$, $ZnSO_4.7H_2O$, $CuSO_4.5H_2O$, $CoCl_2.6H_2O$, SeO_2, NaOH ทั้งหมดเป็นชนิด extra purity grade จากบริษัท E.Merck Darmstadt, Germany.

Trypsin (porcine pancreatic Type IX), peptidase (porcine intestinal Grade III), chymotrypsin (bovine pancreatic Type II), protease (bovine pancreatic Type I) จากบริษัท Sigma Chemical Co.St. Louise, M.O., U.S.A.

2. ตัวอย่างเห็ด เห็ดสดที่นำมาทดลองคือเห็ดกระดุม และเห็ดหอม จากตลาดวโรรส จังหวัดเชียงใหม่, เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม (ภูฐาน) และเห็ดฟางชื้อจากตลาดวงเวียนใหญ่ กทม. เห็ดนางนวล ได้รับจากฟาร์มเห็ดอรัญญิก พุทธมณฑล

วิธีวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างเห็ด นำตัวอย่างที่ต้องการทดลองมาล้างทำความสะอาด นึ่งให้สุกและอบแห้งที่ 70-80 °ซ นำเห็ดที่เหลือจากการนึ่งนำมาเคี่ยวด้วยไฟอ่อนให้งวดแล้วคลุกรวม

กับเห็ดที่อบแห้ง นำตัวอย่างที่ได้จากการอบแห้งมาบดละเอียดด้วยเครื่อง blender และผ่านแร่งขนาด 40 mesh ปริมาณโปรตีน (N x 6.25) ของตัวอย่างวิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl (19)

2. การหาปริมาณโปรตีน ปริมาณโปรตีนวิเคราะห์โดยวิธีของ Kjeldahl (19,20) ทำโดยใช้เครื่อง Kjeltec System I, Sweden ชั่งตัวอย่างเห็ดอบแห้ง 0.3-0.5 กรัม ย่อยใน digesting tube ซึ่งมี 7 มล. ของกรดกำมะถัน (H_2SO_4) เข้มข้นและ 2 เม็ดของคะตาลิส ซึ่งประกอบด้วย K_2SO_4 และ Se เม็ดละ 1.5 กรัมและ 0.0075 กรัมตามลำดับ (Kjeltec, Sweden) ย่อยตัวอย่างโดยใช้ความร้อน 420°ซ นาน 40 นาที จนได้สารละลายใสแล้วนำออกมาตั้งทิ้งให้เย็น เติมน้ำกลั่น 20 มล. แล้วนำไปกลั่นใน distillation system หลังจากเติม 30 มล. ของ 50% NaOH กลั่นไล่ NH_3 ออกมาใส่ใน flask ที่รองรับซึ่งมี 15 มล. ของ 4% กรดบอริคและ 2 หยดของ indicator ซึ่งประกอบด้วย 0.2% methylred และ 0.1% methylene blue เมื่อแอมโมเนียถูกไล่ออกมาหมดแล้วจึงนำ flask กรดบอริคไป titrate หาปริมาณไนโตรเจนกับ standard 0.1 N HCl และคำนวณหาปริมาณโปรตีนโดยใช้ factor 6.25 ดังนี้

$$\% \text{ โปรตีน} = \frac{\text{มล. HCl} \times N}{\text{น้ำหนัก (กรัม) ตัวอย่าง}} \times 1.4 \times 6.25$$

N = normality ของกรด HCl

วิเคราะห์ตัวอย่าง 2-4 ครั้งนำค่าที่ได้ซึ่งต่างกันไม่เกิน $\pm$ 5% มาหาค่าเฉลี่ยของ % โปรตีนในตัวอย่างเห็ด

3. การเตรียมอาหารเลี้ยงสัตว์ทดลอง ผสมอาหารที่ต้องการทดลองให้มีปริมาณของโปรตีน ไขมัน เกลือแร่ วิตามิน กาก คาร์โบฮัยเดรทและน้ำ ตามที่กำหนดไว้ในสูตรอาหาร ดังนี้คือ 10% โปรตีน, 8% ไขมัน, 5% เกลือแร่, 1% วิตามิน, 1% กาก , 5% น้ำ

และ 70% คาร์โบฮัยเดรท โดยนำตัวอย่างเห็ดที่อบแห้งบดเป็นผงละเอียดโดยผ่านแร่งขนาด 40 mesh ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนไว้เรียบร้อยแล้วมาคำนวณหาปริมาณตัวอย่างที่จะต้องใช้เพื่อให้ได้อาหารที่ผสมแล้วมีปริมาณโปรตีน 10% แล้วจึงคำนวณส่วนผสมของอาหารอื่น ๆ ที่จะต้องเติมเพื่อให้ได้ปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ครบตามที่กำหนด เตรียมอาหารในปริมาณให้มากพอที่จะใช้เลี้ยงสัตว์ทดลองทั้งหมดเป็นเวลานาน 28 วัน โดยชั่งส่วนประกอบต่าง ๆ แล้วนำมาผสมให้เข้ากันในเครื่องผสม (mixer) ขนาดจุ 10 ลิตร (เตรียมอาหารครั้งละประมาณ 5-6 กิโลกรัม) ผสมส่วนประกอบแห้งต่าง ๆ ให้เข้ากันนานประมาณ 15-20 นาที จนเข้ากันดีแล้วจึงค่อย ๆ เติมส่วนผสมไขมัน (corn oil) และน้ำตามลำดับ เมื่ออาหารเข้ากันดีแล้วจึงนำออกมาผ่านแร่งเบอร์ 8 นำอาหารที่เตรียมได้มาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ($N \times 6.25$) โดยวิธีของ Kjeldahl เก็บอาหารที่เตรียมเสร็จแล้วไว้ในถุงพลาสติค (polyethylene) ปิดให้แน่น เก็บที่อุณหภูมิ 4 °ซ อาหารที่เตรียมในแต่ละครั้งจะใช้หมดภายใน 1 เดือน

3.1 สูตรอาหารผสมตามที่กำหนดใน AOAC 1984 (21)

ตัวอย่าง	X^*	กรัม
Cottonseed oil	$8 - \left[\frac{X \times \%\ \text{ether extract}}{100}\right]$	กรัม
Salt mixture	$5 - \left[\frac{X \times \%\ \text{ash}}{100}\right]$	กรัม
Vitamin mixture	1	กรัม
Cellulose	$1 - \left[\frac{X \times \%\ \text{crude fiber}}{100}\right]$	กรัม
Water	$5 - \left[\frac{X \times \%\ \text{moisture}}{100}\right]$	กรัม

Sucrose หรือ corn starch จนครบ 100 กรัม

$$X^* = \frac{1.60 \times 100}{\%\ N \text{ of sample}}$$

การทดลองใช้ส่วนผสมของ Sucrose : corn starch = 2:1 และใช้ corn oil แทน Cottonseed oil

อาหารเห็ดทุกชนิดเตรียมโดยให้มีปริมาณโปรตีนประมาณ 10% ยกเว้นเห็ดหูหนู-หนาดอกน้ำตาลจะเตรียมให้มีปริมาณโปรตีนประมาณ 8% โดยมีส่วนผสม casein 4% และโปรตีนจากเห็ดอีก 4% เนื่องจากเห็ดชนิดนี้มีปริมาณโปรตีนต่ำไม่สามารถเตรียมอาหารเห็ดล้วน ๆ ให้มี 10% โปรตีนได้

3.2 <u>ส่วนประกอบของเกลือแร่</u> (mineral หรือ salt mixture) แบ่ง NaCl บางส่วนจากทั้งหมด 139.3 กรัม NaCl มาบดกับ 0.79 กรัม KI ให้ละเอียดเข้าด้วยกันและบด NaCl ส่วนที่เหลือเข้ากับ 380.0 กรัม KH_2PO_4, 57.3 กรัม $MgSO_4$ anhyd. 381.4 กรัม $CaCO_3$, 27.0 กรัม $FeSO_4.7H_2O$, 4.01 กรัม $MnSO_4.H_2O$, 0.548 กรัม $ZnSO_4.7H_2O$, 0.477 กรัม $CuSO_4.5H_2O$, 0.023 กรัม $CoCl_2.6H_2O$ และ 0.01 กรัม SeO_2 นำมาบดผสมกับส่วนผสมของ NaCl-KI ที่เตรียมไว้ข้างต้น ผสมให้เข้ากัน

3.3 <u>ส่วนประกอบของวิตามิน</u> (vitamin mixture) AOAC 1984 (21) ส่วนประกอบอาหาร 100 g จะมีส่วนประกอบเป็นมิลลิกรัมของวิตามินดังต่อไปนี้ 2000 (IU), Vitamin D 200 (IU), Vitamin E 100 (IU), menadione 0.5, choline 200, p- Aminobenzoic acid 10, inositol 10, niacin 4, Ca-D-pantothenate 4, riboflavin 0.8, thiamin HCl 0.5, pyridoxine HCl 0.5, folic acid 0.2, biotin 0.04, Vitamin B_{12} 0.003,และ glucose จนครบ 1000

4. <u>การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในสัตว์ทดลอง</u> (Animal Bioassay) มีวิธีการหาค่าของดรรชนีต่าง ๆ ที่ใช้แสดงคุณภาพของโปรตีนที่ได้ทดลองดังต่อไปนี้

4.1 <u>การทดลอง Protein Efficiency Ratio (PER).</u> เป็นวิธีการที่คาดว่าโปรตีนที่กินทั้งหมดจะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโต การทดลองทำตามวิธีของ AOAC (1984) (21)

เตรียมตัวอย่างอาหารมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

10% protein

8% corn oil

5% mineral (salt mixture)

1% vitamin mixture

1% cellulose fiber

5% water

70% carbohydrate (sucrose : corn starch = 2:1)

วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในอาหารที่เตรียมโดยวิธี Kjeldahl และเก็บอาหารไว้ในตู้เย็น 4°ซ โดยเตรียมและใช้ให้หมดภายใน 1 เดือนของการทดลอง

สัตว์ทดลอง ใช้หนู (rat) พันธุ์ Wistar สั่งมาจากศูนย์สัตว์ทดลอง ศาลายา เพศผู้ อายุ 21-22 วัน น้ำหนักตัว 40-50 กรัม ทันทีที่ได้รับสัตว์ทดลองจะนำมาชั่งน้ำหนัก และขังแยกกรง ก้นกรงเป็นตะแกรงลวด มีถาดรองรับอุจจาระและปัสสาวะหนู สองวันแรกเป็นระยะปรับตัวของสัตว์ทดลอง เลี้ยงหนูด้วยอาหารหนูธรรมดา และให้น้ำตลอดวัน เลี้ยงสัตว์ทดลองในห้องปรับอากาศ 25°ซ ได้รับแสงสว่างในเวลากลางวันและมืดในเวลากลางคืน

การทดลอง เริ่มในวันที่ 3 ของการรับสัตว์เข้ามา ชั่งน้ำหนักหนู และแยกกลุ่มออกเป็นกลุ่มละ 8-10 ตัว แต่ละตัวมีน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 10 กรัม กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม (control) เลี้ยงด้วยอาหารโปรตีนมาตรฐานคือ casein ส่วนกลุ่มอื่น ๆ ที่เหลือเลี้ยงด้วยอาหารตัวอย่างเท็ดที่ต้องการทดลองกลุ่มละชนิด ให้อาหารและน้ำตลอดวัน เลี้ยงหนูนานเป็นเวลา 28 วัน ในห้องปรับอากาศ 25°ซ ให้สว่างในเวลากลางวันและมืดกลางคืนโดยมีกระดาษรองใต้กรงเพื่อเก็บรวบรวมอาหารที่หก ในทุก 1-2 วัน ทำการบันทึกน้ำหนักหนู น้ำหนักอาหารที่กินนำมาคำนวณหาค่า PER ดังนี้

$$\text{PER (Protein Efficiency Ratio)} = \frac{\text{Wt. gain (g) of test group}}{\text{protein consumed (g) by test group}}$$

จากค่า PER นำมาคำนวณอัตราส่วนของ PER ของ test group ต่อ PERของreference caseinคูณ 100 ในการรายงานคุณค่าของโปรตีน (protein quality) เป็น relative PER (RPER) ในทำนองเดียวกันค่าPER ที่ได้จากการทดลองอาจทำการปรับหรือ adjust โดยการเทียบค่า PER ของ casein เป็นค่าคงที่ของ casein ค่าหนึ่งซึ่งเท่ากับ 2.5 โดยการคำนวณ ดังนี้

$$\text{PER (adjusted)} = \frac{\text{PER test group}}{\text{PER reference casein}} \times 2.5$$

4.2 การทดลอง Net Protein Ratio (NPR) (13) ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองหา Protein Efficiency Ratio แต่เพิ่มกลุ่มของสัตว์ทดลองขึ้นอีก 1 กลุ่ม คือกลุ่มที่ให้อาหาร zero protein ดังนี้

ส่วนประกอบอาหาร zero protein

80% carbohydrate (sucrose : corn starch = 2:1)

8% corn oil

5% mineral (salt mixture)

1% vitamin mixture

1% cellulose fiber

5% water

การเลี้ยงให้อาหารและน้ำตลอดวัน เลี้ยงนาน 28 วัน ทุก 1-2 วัน ทำการบันทึกน้ำหนักหนู น้ำหนักอาหารที่กิน นำมาคำนวณค่า NPR ดังต่อไปนี้

$$\text{NPR (Net Protein Ratio)} = \frac{\text{Wt. gain (g) of test group + Wt. loss of zero protein group}}{\text{Protein consumed by test group-Protein consumed by zero protein group}}$$

4.3 การทดลอง Relative Net Protein Ratio (RNPR)(14,15) การทดลองทำเช่นเดียวกับการหาค่า NPR และเพิ่มกลุ่มสัตว์ทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหาร reference protein คือ ANRC casein นำค่า mean NPR ของ อาหารตัวอย่างที่ต้องการทดลองมาคำนวณเปรียบเทียบกับค่า mean NPR ของอาหาร reference protein ดังสูตรการคำนวณต่อไปนี้

$$\underset{\text{(Relative Net Protein Ratio)}}{\text{RNPR}} = \frac{\text{Mean NPR of test protein}}{\text{Mean NPR of reference protein}} \times 100$$

4.4 การทดลอง Net Protein Utilization (NPU) (16,17) การทดลองใช้หนู (rat) พันธุ์ Wistar เพศผู้ อายุ 21-22 วัน น้ำหนัก 40-50 กรัม หลังจากให้สัตว์ทดลองมีเวลาปรับตัวเป็นเวลานาน 2 วัน ในห้องเลี้ยงสัตว์ทดลองซึ่งปรับอากาศ 25°ซ ให้อาหารหนูและน้ำตลอดวัน ในวันที่ 3 ทำการชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองและแบ่งกลุ่ม ๆ ละ 8-10 ตัว แต่ละกลุ่มไม่ควรมีน้ำหนักต่างกันเกิน 10 กรัม กลุ่มที่ 1 เลี้ยงด้วยอาหาร zero protein ส่วนกลุ่มอื่น ๆ เลี้ยงด้วยอาหารตัวอย่างเห็ดที่ทดลองกลุ่มละชนิด ซึ่งมี 10% โปรตีน เลี้ยงสัตว์ทดลองนาน 28 วัน ชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองและน้ำหนักอาหารที่กิน ทุก 2-3 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองให้อดอาหารเป็นเวลา 12 ชม. แต่น้ำยังคงให้ต่อไปตามปกติ ก่อนทำการฆ่าสัตว์ทดลองโดยวิธีการดึงกระดูกคอ (dislocation) นำซากสัตว์ไปอบให้แห้งที่ 105°ซ นาน 48-72 ช.ม. จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักซากสัตว์แห้งและนำมาบดละเอียดด้วย blender นำไปหาปริมาณ nitrogen ของซากสัตว์โดยวิธี Kjeldahl นำค่าปริมาณ nitrogen ของซากสัตว์และปริมาณ nitrogen จากอาหารโปรตีนที่สัตว์ทดลองกินมาคำนวณหาค่า NPU ดังนี้

$$\underset{\text{(Net Protein Utilization)}}{\text{NPU}} = \frac{B_f - (B_k - I_k)}{I_f} \times 100$$

B_f = Whole body carcass N of test group

B_k = Whole body carcass N of zero protein group

I_f = N intake of test group

I_k = N intake of zero protein group

4.5 การทดลอง True Digestibility (TD) (22) การทดลองใช้หนู (rat) พันธุ์ Wistar เพศผู้อายุ 21-22 วัน น้ำหนัก 40-50 กรัม ให้หนูพักปรับตัวในห้องเลี้ยงสัตว์ทดลองปรับอากาศ 25 °ซ เป็นเวลา 2 วัน โดยให้กินอาหารหนูและน้ำตลอดวัน แล้วจึงให้กินอาหารที่ต้องการทดลองในวันที่ 3 โดยชั่งน้ำหนักตัวหนูแล้วแบ่งกลุ่มละ 8-10 ตัว ให้กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมให้กินอาหาร reference casein (ANRC casein) กลุ่มที่ 2 ให้กินอาหาร zero protein ส่วนกลุ่มอื่น ๆ ให้กินอาหารตัวอย่างเห็ดกลุ่มละ 1 ชนิด ซึ่งมี 10% โปรตีน เลี้ยงสัตว์ทดลองนาน 28 วัน ชั่งน้ำหนักอาหารที่รับประทาน น้ำหนักอุจจาระรวบรวมเป็นเวลา 7 วัน ตั้งแต่วันที่ 15-21 รวบรวมอุจจาระทั้งหมดนำมาอบแห้งที่ 105 °ซ นาน 24-48 ช.ม. จนน้ำหนักคงที่ บดให้เป็นผงละเอียดใน blender นำมาวิเคราะห์ปริมาณ nitrogen โดย วิธี Kjeldahl (19) นำปริมาณ nitrogen ในอาหารโปรตีนที่กินเป็น กรัม/กก/วัน และปริมาณ nitrogen ในอุจจาระเป็น กรัม/กก/วัน มาคำนวณค่า TD ดังต่อไปนี้

$$\text{TD (\%) (True Digestibility)} = \frac{\text{N (g) in diet- [N (g) in faeces excreted by test group-N (g) in faeces excreted by zero protein group]}}{\text{N (g) in diet}} \times 100$$

4.6 การทดลอง Biological Value (BV) การทดลองทำโดยใช้หนู (rat) พันธุ์ Wistar เพศผู้อายุ 21-22 วัน น้ำหนัก 40-50 กรัม ให้หนูมีเวลาปรับตัวเป็นเวลา 2 วัน ในห้องทดลองปรับอากาศ 25 °ซ โดยให้กินอาหารหนูและน้ำได้ตลอดเวลา ในวันที่ 3 ทำการแยกกลุ่มสัตว์ทดลองกลุ่มละ 8-10 ตัวมีน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 10 กรัม กลุ่มที่ 1 เลี้ยงด้วยอาหาร zero protein ส่วนกลุ่มอื่น ๆ ให้กินอาหารที่ต้องการทดลองกลุ่มละ 1 ชนิด ซึ่งมี 10% โปรตีน เลี้ยงสัตว์ทดลองนาน 28 วัน ชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองสัปดาห์ละ 2-3 ครั้งและเก็บรวบรวมอุจจาระนำมาอบแห้งที่ 105 °ซ เมื่อถึงวันสุดท้ายของการทดลอง ให้หนูอดอาหารเป็นเวลา 12 ช.ม. ก่อนฆ่า นำซากสัตว์ไปอบแห้งที่ 105 °ซ นาน 48-72 ช.ม. จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักซากสัตว์แห้งและชั่งน้ำหนักอุจจาระที่รวบรวมไว้ทั้งหมด นำตัวอย่างแต่ละชนิดมาบดละเอียดและแบ่งตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณของ nitrogen โดยวิธีของ Kjeldahl (19) การคำนวณหา BV ใช้สูตรที่กำหนดให้ใน FAO/WHO (1965) (23) ดังนี้

$$BV = \frac{B - B_k}{I - (F-F_k)} \times 100$$

B = Body N. (measured at the end of the test period on animal fed the test diet)

B_k = Body N at zero nitrogen intake (measured at the end of the test period on animal fed a non protein diet)

I = N intake

F = Faecal N

F_k = Endogenous faecal N (animal fed a non protein diet)

ค่า Biological Value อาจหาได้โดยการคำนวณจากความสัมพันธ์ของ Net Protein Utilization (NPU) และ True Digestibility (TD) โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้ (11,24,25)

$$BV = \frac{NPU}{TD} \times 100$$

5. <u>การวิเคราะห์ Protein Digestibility (in vitro)</u>

การทดลองได้ใช้วิธีของ Satterlee et al (26) และ Bodwell et al (27) โดยใช้ multienzyme system ซึ่งมีเอ็นซัยม์ย่อยโปรตีน 4 ชนิด คือ trypsin chymotrypsin peptidase และ protease

5.1 <u>การเตรียมตัวอย่าง</u> ใช้ตัวอย่างเห็ดสดหรือต้มสุกมาบดให้ละเอียดในน้ำกลั่นด้วยเครื่อง homogenizer (polytron) ส่วนตัวอย่างแห้งบดละเอียดผ่านแร่ง 80 mesh ละลายในน้ำกลั่น โดยให้มีความเข้มข้นของโปรตีนเท่ากับ 3.1 มก./มล. นำสารละลายแขวนตะกอนที่ได้มาปรับ pH ให้เท่ากับ 8 ด้วย 0.1-1 N HCl หรือ 0.1-1 N NaOH

5.2 การเตรียมเอ็นซัยม์ ละลายเอ็นซัยม์แต่ละชนิดในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นดังต่อไปนี้ trypsin (Type IX, Sigma) 16 มก./มล., Chymotrypsin (Type II, Sigma) 31 มก./มล., Peptidase (Grade III, Sigma) 13 มก./มล, และ Protease (Sigma) 15.9 มก./มล. สารละลายเอ็นซัยม์แต่ละตัวปรับ pH 8

5.3 วิธีวิเคราะห์ ใช้สารละลายตัวอย่างโปรตีนความเข้มข้น 3.1 มก./มล. จำนวน 10 มก. ใส่ในบีเกอร์ขนาด 20 มล. อุ่นที่ 37°ซ ปรับ pH 8 (ถ้าจำเป็น) เติมเอ็นซัยม์ 3 ชนิดพร้อม ๆ กันคือ trypsin chymotrypsin และ peptidase อย่างละ 0.5 มล. พร้อมทั้งคนเบา ๆ ด้วย magnetic stirrer ที่ 37°ซ นาน 10 นาที รีบเติมเอ็นซัยม์ protease จำนวน 0.5 มล. ทันที แล้วนำไปอุ่นที่ 55°ซ พร้อมทั้งคนเบา ๆ นาน 8.5 นาที นำกลับมาไว้ที่ 37°ซ และคนอีกนาน 1.5 นาที รีบอ่าน pH ทันที นับเป็นเวลาทั้งหมดตั้งแต่เติมเอ็นซัยม์ชุดแรกนาน 20 นาที นำค่า pH ที่เวลา 20 นาที มาคำนวณโดยใช้สมการดังนี้

$$\% \text{ digestibility} = 234.84 - 22.56 (X)$$

$$(X) = \text{pH ที่เวลา 20 นาที}$$

การทดลองทุกครั้งใช้ sodium caseinate (ANRC sodium caseinate, Sheffield Products, Memphis, TN.) เป็น control protein ซึ่ง pH ที่ 20 นาที ควรจะเท่ากับ 6.75 ± 0.05 ถ้า pH ของ control protein ที่ 20 นาทีไม่เท่าที่กำหนด แสดงว่าผลการทดลองนั้นใช้ไม่ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลอง

ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางโภชนาการของโปรตีนในเห็ดที่ทดลองทั้งหมด 8 พันธุ์คือ เห็ดกระดุม เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล เห็ดหอม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดนางนวล และเห็ดฟาง ชื่อวิทยาศาสตร์และชื่อสามัญของเห็ดทั้งหมดได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 1 เห็ดเหล่านี้ทั้งหมดเป็นเห็ดที่เพาะเลี้ยงได้ในประเทศไทย

การประเมินคุณภาพของโปรตีนในเห็ด

ผลของการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนจากเห็ดที่นำมาทดลองโดยการวัดค่าของดรรชนีต่าง ๆ ได้แก่ Protein Efficiency Ratio (PER), PER adjusted, Relative PER, Net Protein Ratio (NPR), Relative NPR, Net Protein Utilization (NPU) Biological Value (BV)และ True Digestibility (TD)โดยทำการทดลองในสัตว์ทดลองคือหนูขาว (rat) และการศึกษา Digestibility (in vitro) ได้ทดลองโดยวิธี Multienzyme System ได้ผลการทดลองต่าง ๆ ดังกล่าวดังต่อไปนี้

Protein Efficiency Ratio (PER) ส่วนประกอบของสูตรอาหารที่ผสมจากโปรตีนเห็ด 10% และส่วนประกอบอื่น ๆ ตามที่กำหนดในสูตรอาหารมาตรฐาน มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 อาหารเห็ดทุกชนิดประกอบด้วยโปรตีนเห็ด 10% ยกเว้นอาหารเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาลซึ่งมีปริมาณโปรตีนต่ำมากไม่สามารถผสมอาหารให้มีโปรตีนจากเห็ด 10% ได้ จึงใช้สูตรผสมที่มีโปรตีนเห็ด 4% ผสมกับ casein 4% อาหารที่ผสมเรียบร้อยแล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดยวิธี kjeldahl อาหารแต่ละชนิดมีปริมาณโปรตีนประมาณ 10% ดังมีปริมาณที่วิเคราะห์ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3

การทดลองเลี้ยงหนูด้วยอาหาร reference casein ในขนาดของโปรตีน 8% 10% และ 15% + 1% methionine ได้ค่า PER ของการเลี้ยงสัตว์ทดลองใน 7, 14, 21 และ 28 วัน ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4-7 และสรุปค่า PER ทั้งหมดไว้ในตารางที่ 8 ค่า PER ของ 10% casein หลังจากเลี้ยงสัตว์ทดลองนาน 28 วัน มีค่า 2.7 จาก

ตารางที่ 1 รายชื่อของเห็ดที่เลือกมาเพื่อทำการวิจัย

ชื่อไทย	ชื่อสามัญ	ชื่อวิทยาศาสตร์
1. เห็ดกระดุมหรือเห็ดแชมปิยอง	Button mushrooms, Champignons	Agaricus bisporus (Lang.) Sing.
2. เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล	Jew's ear mushroom	Auricularia polytricha (Mont.) Sacc. Mon-leh.
3. เห็ดหอม	Shiitake	Lentinus edodes
4. เห็ดเป๋าฮื้อหรือเห็ดหอยโข่งทะเล	Abalone mushroom	Pleurotus cystidiosus
5. เห็ดนางรมหรือเห็ดหอยนางรม	Oyster mushroom	Pleurotus ostreatus (Fr.) Quel.
6. เห็ดนางฟ้า	Nangfa mushroom, Indian oyster mushroom	Pleurotus sajor-caju(Fr.) Sing.
7. เห็ดนางนวล		Pleurotus sp.
8. เห็ดฟางหรือเห็ดบัว	Chinese mushroom, Straw mushroom	Volvariella volvacea

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของอาหารที่ใช้ทดลอง (กรัม/100 กรัมอาหาร)

อาหาร	ตัวอย่างเห็ด*	casein	corn oil	Salt Mixt.	Vit. Mixt.	Cellu-lose	Water	Corn Starch	Sucrose
10% casein (ANRC)	-	10.9	8.00	5.00	1.00	1.00	5.00	23.03	46.07
เห็ดกระดุม	32.10	-	8.00	2.08	1.00	-	5.00	17.27	34.55
เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล (4% โปรตีน+4% casein)	58.14	4.44	8.00	3.26	1.00	-	5.00	6.72	13.44
เห็ดหอม	53.60	-	8.00	1.60	1.00	-	5.00	10.26	20.54
เห็ดเป๋าฮื้อ	52.25	-	8.00	2.00	1.00	-	5.00	10.58	21.17
เห็ดนางรม	55.00	-	8.00	3.35	1.00	-	5.00	9.22	18.43
เห็ดนางฟ้า	44.18	-	8.00	3.77	1.00	0.12	5.00	12.64	25.28
เห็ดนางนวล	47.13	-	8.00	3.30	1.00	-	5.00	11.86	23.71
เห็ดฟาง	31.44	-	8.00	1.86	1.00	-	5.00	17.57	35.14

*เห็ดทุกชนิดเตรียมให้มีประมาณ 10% โปรตีนของเห็ด ยกเว้นเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาลมี 4% โปรตีนของเห็ด + 4% โปรตีนของ casein

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3

ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างเห็ดและอาหารตัวอย่างที่เตรียมเลี้ยงสัตว์ทดลอง

อาหาร	% โปรตีน ในเห็ดแห้ง	% โปรตีน ในอาหารเตรียม
เห็ดกระดุม	31.12	10.43
เห็ดหูหนูนหาดอกน้ำตาล	8.88	7.44 (4% โปรตีนเห็ด + 4% casein)
เห็ดหอม	18.65	10.20
เห็ดเป๋าฮื้อ	19.14	9.89
เห็ดนางรม	18.00	10.57
เห็ดนางฟ้า	22.64	10.90
เห็ดนางนวล	21.21	9.72
เห็ดฟาง	31.81	10.07

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 แสดงค่า Protein Efficiency Ratio (PER) เมื่อเลี้ยงหนู (rat) ด้วย casein เป็นเวลา 7 วัน

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	7 วันของการทดลอง			PER
			น้ำหนักเพิ่ม (กรัม)	น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)	โปรตีนกิน (กรัม)	
10% casein (ANRC)	8	57.13 ± 3.04	25.66 ± 6.96	81.68 ± 9.31	7.78 ± 0.89	3.26 ± 0.65
8% casein	7	55.40 ± 8.01	10.22 ± 2.30	62.79 ± 10.86	4.71 ± 0.82	2.18 ± 0.37
10% casein (กลุ่ม 1)	8	58.26 ± 3.73	22.08 ± 3.03	74.66 ± 5.90	7.32 ± 0.58	3.00 ± 0.22
10% casein (กลุ่ม 2)	6	57.30 ± 4.66	34.65 ± 6.63	97.17 ± 9.59	9.53 ± 0.94	3.62 ± 0.43
10% casein (กลุ่ม 3)	11	56.09 ± 11.65	24.38 ± 4.26	75.30 ± 14.17	7.68 ± 1.44	3.23 ± 0.54
10% casein (กลุ่ม 4)	10	56.67 ± 6.59	27.03 ± 3.15	85.02 ± 9.91	8.51 ± 0.99	3.19 ± 0.31
10% casein (กลุ่ม 5)	10	58.17 ± 3.72	38.33 ± 3.71	85.84 ± 6.33	8.45 ± 0.63	4.55 ± 0.43
10% casein + 1% Methionine	10	58.77 ± 5.88	38.05 ± 5.41	82.70 ± 10.74	8.71 ± 1.13	4.38 ± 0.42
15% casein + 1% Methionine	8	54.81 ± 6.22	34.06 ± 3.80	72.70 ± 7.07	10.83 ± 1.05	3.17 ± 0.45

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่ 21

ตารางที่ 5 แสดงค่า Protein Efficiency Ratio (PER) เมื่อเลี้ยงหนู (rat) ด้วย casein เป็นเวลา 14 วัน

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	14 วันของการทดลอง			PER
			น้ำหนักเพิ่ม (กรัม)	น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)	โปรตีนกิน (กรัม)	
10% casein (ANRC)	8	57.13 ± 3.04	49.93 ± 11.58	173.76 ± 22.69	16.54 ± 2.16	3.00 ± 0.45
8% casein	7	55.40 ± 8.01	21.16 ± 4.03	121.24 ± 19.41	9.09 ± 1.46	2.33 ± 0.26
10% casein กลุ่ม 1	8	58.26 ± 3.73	42.73 ± 4.78	155.18 ± 11.91	15.22 ± 1.17	2.80 ± 0.13
10% casein กลุ่ม 2	6	57.30 ± 4.66	64.18 ± 5.41	207.69 ± 17.20	20.37 ± 1.69	3.16 ± 0.20
10% casein กลุ่ม 3	11	56.09 ± 11.65	52.88 ± 6.92	169.03 ± 28.05	17.23 ± 2.86	3.10 ± 0.35
10% casein กลุ่ม 4	10	56.67 ± 6.59	56.08 ± 9.20	180.71 ± 16.32	18.09 ± 1.63	3.11 ± 0.46
10% casein กลุ่ม 5	10	58.17 ± 3.72	63.23 ± 6.69	181.14 ± 14.04	17.82 ± 1.38	3.55 ± 0.28
10% casein + 1% Methionine	10	58.77 ± 5.88	83.55 ± 10.88	185.17 ± 21.87	19.57 ± 2.30	4.28 ± 0.33
15% casein + 1% Methionine	8	54.81 ± 6.22	80.19 ± 5.61	166.20 ± 14.02	24.76 ± 2.09	3.25 ± 0.24

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 แสดงค่า Protein Efficiency Ratio (PER) เมื่อเลี้ยงหนู (rat) ด้วย casein เป็นเวลา 21 วัน

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	21 วันของการทดลอง			PER
			น้ำหนักเพิ่ม (กรัม)	น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)	โปรตีนกิน (กรัม)	
10% casein (ANRC)	8	57.13 ± 3.04	80.64 ± 23.14	265.33 ± 33.92	25.26 ± 3.23	2.80 ± 0.30
8% casein	7	55.4 ± 8.01	26.43 ± 5.32	172.87 ± 26.23	12.97 ± 1.97	2.05 ± 0.31
10% casein กลุ่ม 1	8	58.26 ± 3.73	29.54 ± 7.56	237.10 ± 22.27	23.25 ± 2.19	2.56 ± 0.16
10% casein กลุ่ม 2	6	57.3 ± 4.66	92.88 ± 11.40	331.35 ± 33.73	32.51 ± 3.31	2.85 ± 0.14
10% casein กลุ่ม 3	11	56.09 ± 11.65	76.57 ± 11.67	275.69 ± 44.80	28.11 ± 4.37	2.74 ± 0.23
10% casein กลุ่ม 4	10	56.67 ± 6.59	77.03 ± 11.16	279.79 ± 25.57	28.01 ± 2.56	2.75 ± 0.28
10% casein กลุ่ม 5	10	58.17 ± 3.72	93.23 ± 12.24	286.17 ± 32.58	28.06 ± 3.14	3.32 ± 0.21
10% casein + 1% Methionine	10	58.77 ± 5.88	124.34 ± 17.38	307.14 ± 32.23	32.34 ± 3.40	3.84 ± 0.30
15% casein + 1% Methionine	8	54.81 ± 6.22	121.33 ± 8.35	273.82 ± 19.21	40.73 ± 2.86	2.99 ± 0.25

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 แสดงค่า Protein Efficiency Ratio (PER) เมื่อเลี้ยงหนู (rat) ด้วย casein เป็นเวลานาน 28 วัน

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	28 วันของการทดลอง			PER
			น้ำหนักเพิ่ม (กรัม)	น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)	โปรตีนกิน (กรัม)	
10% casein (ANRC)	8	57.13 ± 3.04	110.34 ± 22.75	384.30 ± 47.53	36.59 ± 4.52	2.75 ± 0.38
8% casein	7	55.40 ± 8.01	28.93 ± 5.69	227.01 ± 34.45	17.03 ± 2.58	1.70 ± 0.20
10% casein กลุ่ม 1	8	58.26 ± 3.73	94.56 ± 9.07	349.97 ± 27.08	34.33 ± 2.66	2.75 ± 0.14
10% casein กลุ่ม 2	6	57.30 ± 4.66	128.12 ± 11.65	472.70 ± 42.39	46.37 ± 4.16	2.76 ± 0.18
10% casein กลุ่ม 3	11	56.09 ± 11.65	104.43 ± 13.87	383.15 ± 53.70	39.07 ± 5.48	2.68 ± 0.22
10% casein กลุ่ม 4	10	56.67 ± 6.59	103.66 ± 10.85	383.61 ± 34.17	38.40 ± 3.42	2.70 ± 0.18
10% casein กลุ่ม 5	10	58.17 ± 3.72	126.87 ± 15.81	410.89 ± 42.89	40.43 ± 4.22	3.14 ± 0.20
10% casein + 1% Methionine	10	58.77 ± 5.88	155.64 ± 22.66	432.40 ± 43.68	45.57 ± 4.60	3.41 ± 0.30
15% casein + 1% Methionine	8	54.81 ± 6.22	155.76 ± 12.52	392.91 ± 25.78	58.54 ± 3.84	2.67 ± 0.22

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 สรุปค่า PER ที่ได้จากการเลี้ยงหนู (rat) ด้วย casein เป็นเวลานาน 28 วัน

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	PER			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
10% casein (ANRC)	8	57.13 ± 3.04	3.26 ± 0.65	3.00 ± 0.45	2.80 ± 0.30	2.75 ± 0.38
8% casein	7	55,40 ± 8.10	2.18 ± 0.37	2.33 ± 0.26	2.05 ± 0.31	1.70 ± 0.20
10% casein กลุ่ม 1	8	58.26 ± 3.73	3.00 ± 0.22	2.80 ± 0.13	2.56 ± 0.16	2.75 ± 0.14
10% casein กลุ่ม 2	6	57.30 ± 4.66	3.62 ± 0.43	3.16 ± 0.20	2.85 ± 0.14	2.76 ± 0.18
10% casein กลุ่ม 3	11	56.09 ± 11.65	2.23 ± 0.54	3.10 ± 0.35	2.74 ± 0.23	2.68 ± 0.22
10% casein กลุ่ม 4	10	56.67 ± 6.59	3.19 ± 0.31	3.11 ± 0.46	2.75 ± 0.28	2.70 ± 0.18
10% casein กลุ่ม 5	10	58.17 ± 3.72	4.55 ± 0.43	3.55 ± 0.28	3.32 ± 0.21	3.15 ± 0.20
10% casein + 1% Methionine	10	58.77 ± 5.88	4.38 ± 0.42	4.28 ± 0.33	3.84 ± 0.30	3.41 ± 0.30
15% casein + 1% Methionine	8	54.81 ± 6.22	3.17 ± 0.45	3.25 ± 0.24	2.99 ± 0.25	2.67 ± 0.22

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่าค่า PER สูงสุดในวันที่ 7 (3.2) และลดลงมาเรื่อย ๆ ในวันที่ 14 (3.0), 21 (2.8) และ 28 (2.7) ตามลำดับ ส่วนอาหาร 8% casein จะให้ค่า PER น้อยลงอย่างชัดเจน พบว่าค่า PER ของ 8% casein มีค่าเพียง 1.7 ส่วนอาหาร 15% casein + 1% methionine ให้ค่า PER ไม่ต่างไปจากอาหาร 10% casein

การทดลองกับอาหารโปรตีน 10% ของเห็ดกระดุมได้แสดงไว้ในตารางที่ 9 ค่า PER ของเห็ดกระดุมเท่ากับ 1.13 หลังการทดลอง 28 วัน จะตรงกันข้ามกับการทดลองด้วย casein คือ ค่า PER ของเห็ดกระดุมจะต่ำในวันที่ 7 (0.95) และสูงขึ้นในวันที่ 14 (1.06) วันที่ 21 (1.10) และวันที่ 28 (1.13) ตามลำดับ

การทดลองใช้อาหารเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาลโดยผสมแต่เห็ดหูหนูกับไขมันและวิตามินตามที่กำหนดแต่เนื่องจากเห็ดหูหนูมีปริมาณโปรตีนต่ำ อาหารผสมจึงไม่มีการเติมแป้งและน้ำตาล วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในอาหารเห็ดหูหนูได้เพียง 6.88% และเมื่อนำอาหารนี้มาเลี้ยงสัตว์ทดลองปรากฏว่าหนูกินอาหารได้น้อยมากและพบว่าหนูเริ่มตายหลังจากเลี้ยงได้ 4 วัน และสัตว์ทดลองกลุ่มนี้ตายหมดทั้ง 8 ตัวหลังให้กินอาหารได้ 5 วัน, จากการผ่าตัดดูสัตว์ทดลองพบมีอาหารเต็มแน่นทางเดินอาหารซึ่งอาจเกิดจากเห็ดที่ใช้ทดลองคือเห็ดหูหนูเป็นเห็ดที่ทำให้แห้งจะมีคุณสมบัติพองน้ำหลายเท่า ดังนั้นเมื่อหนูรับประทานเข้าไปตามปกติ อาหารจะไปพองแน่นในกระเพาะและลำไส้ทำให้ไม่สามารถย่อยอาหารและขับถ่ายได้ตามปกติเป็นเหตุทำให้สัตว์ทดลองตาย จึงได้ทำการทดลองใหม่โดยผสมเห็ดให้น้อยลงเหลือเพียง 4% โปรตีนเห็ด + 4% casein อาหารผสมนี้มีปริมาณโปรตีน 7.44% (ตารางที่ 3) ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 10 ค่า PER ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาลในวันที่ 28 เท่ากับ 1.80 และเช่นเดียวกับอาหาร caseinค่า PER จะสูงในวันที่ 7 (2.17) และวันที่ 14 (2.30) และลดลงในวันที่ 21 (1.93) และวันที่ 28 (1.80) ตามลำดับ

การทดลองหาค่า PER ของเห็ดหอม แสดงไว้ในตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าค่า PER ของเห็ดหอมในวันที่ 7 (1.85) วันที่ 14 (1.95) วันที่ 21 (1.98) และวันที่ 28 (1.85) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 9 แสดงค่า Protein Efficiency Ratio (PER) ของเห็ดกระดุม

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดกระดุม	10	56.49 ± 4.89				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			5.84 ± 4.80	12.52 ± 4.84	19.60 ± 6.32	22.65 ± 9.66
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			57.84 ± 4.45	111.52 ± 11.31	168.36 ± 18.79	227.94 ± 30.02
โปรตีนกิน (กรัม)			6.03 ± 0.46	11.63 ± 1.18	17.56 ± 1.96	23.78 ± 3.13
PER			0.95 ± 0.77	1.06 ± 0.35	1.10 ± 0.31	1.13 ± 0.16

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 แสดงค่า Protein Efficiency Ratio (PER) ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดหนูหนูดอกน้ำตาล	8	56.31 ± 4.54				
น้ำหนักสัตวเพิ่ม (กรัม)			12.78 ± 1.55	29.50 ± 1.85	42.37 ± 2.65	50.93 ± 5.23
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			80.39 ± 9.98	174.24 ± 14.85	272.70 ± 24.03	381.08 ± 35.56
โปรตีนกิน (กรัม)			5.98 ± 0.74	12.96 ± 1.11	20.46 ± 1.73	28.35 ± 2.65
PER			2.17 ± 0.40	2.30 ± 0.27	1.93 ± 0.46	1.80 ± 0.14

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 แสดงค่า Protein Efficiency Ratio (PER)ของเห็ดหอม

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดหอม	8	58.38 ± 2.95				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			12.56 ± 2.92	27.85 ± 4.37	47.71 ± 6.47	65.38 ± 8.04
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			66.02 ± 7.87	140.19 ± 15.16	236.28 ± 25.09	348.33 ± 36.02
โปรตีนกิน (กรัม)			6.73 ± 0.80	14.30 ± 1.55	24.10 ± 2.56	35.53 ± 3.68
PER			1.85 ± 0.33	1.95 ± 0.19	1.98 ± 0.19	1.85 ± 0.21

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองกับเห็ดเป๋าฮื้อได้แสดงค่า PER ไว้ในตารางที่ 12 เห็ดเป๋าฮื้อให้ค่า PER ในวันที่ 28 เท่ากับ 1.73 ± 0.14 พบว่า PER จะสูงสุดในวันที่ 7 (2.35 ± 0.58) และลดลงในวันที่ 14 (2.04) วันที่ 21 (1.95) และวันที่ 28 (1.73) ตามลำดับ

เห็ดนางรมมีค่า PER แสดงไว้ในตารางที่ 13 หลังการทดลอง 28 วัน ได้ค่า PER ของเห็ดนางรมเท่ากับ 1.42 ± 0.16 และเช่นเดียวกับเห็ดเป๋าฮื้อคือ PER ในวันที่ 28 จะต่ำลงจากวันที่ 7 (1.77) วันที่ 14 (1.78) วันที่ 21 (1.53) และวันที่ 28 (1.42) ตามลำดับ

การทดลองในเห็ดนางฟ้าแสดงค่า PER ไว้ในตารางที่ 14 ค่า PER ของเห็ดนางฟ้าเท่ากับ 1.71 ในวันที่ 28 ค่า PER ในวันที่ 7 เท่ากับ 2.16 ± 0.23 และลดลงมาในวันที่ 14 (2.08) วันที่ 21 (1.82) และวันที่ 28 (1.71) ตามลำดับ

ค่า PER ของเห็ดนางนวลในตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่าเห็ดนางนวลมีค่า PER ใน 28 วันเท่ากับ 1.70 มีค่า PER ที่ 7 วันเท่ากับ 2.49 และลดลงในวันที่ 14 (2.01) วันที่ 21 (1.83) และวันที่28 (1.70) ตามลำดับ

เห็ดฟางมีค่า PER แสดงไว้ในตารางที่ 16 พบว่า PER ของเห็ดฟางในวันที่ 28 เท่ากับ 1.37 พบว่าเป็นค่าที่ต่ำกว่า PER ของเห็ดอื่น ๆ ยกเว้นเห็ดกระดุมซึ่งให้ค่า PER ต่ำสุด ค่า PER ของเห็ดฟางที่วันที่ 7 (1.39) วันที่ 14 (1.66) วันที่ 21 (1.48) และวันที่ 28 (1.37) ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

PER ของเห็ดแต่ละชนิดที่นำมาทดลองได้สรุปไว้ในตารางที่ 17 จากตารางนี้แสดงให้เห็นว่าค่า PER สูงสุดพบในเห็ดหอม และต่ำสุดในเห็ดกระดุม เห็ดส่วนใหญ่ให้ค่าประมาณ 1.7 จากการคำนวณ โดยปรับค่า PER (PER adjusted) โดยให้ค่า PER ของ casein เป็นค่าคงที่ของ casein คือ 2.5 และการคำนวณค่า Relative PER (RPER)โดยให้ค่า PER ของ casein เป็น 100 ได้สรุปไว้ในตารางที่ 18 แสดงค่าของเห็ดกระดุม เห็ดหอม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดนางนวล และเห็ดฟาง ส่วนเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาลได้แสดงไว้ในตารางที่ 19 PER (adjusted) ของ

ตารางที่ 12 แสดงค่า Protein Efficiency Ratio (PER)ของเห็ดเป๋าฮื้อ

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดเป๋าฮื้อ	12	52.10 ± 8.14				
น้ำหนักเพิ่ม (กรัม)			17.52 ± 4.39	32.47 ± 6.29	48.03 ± 8.97	58.83 ± 9.51
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			79.83 ± 8.49	161.54 ± 19.27	251.75 ± 34.98	343.91 ± 45.68
โปรตีนกิน (กรัม)			7.50 ± 0.84	15.98 ± 1.91	24.69 ± 3.55	34.01 ± 4.52
PER			2.35 ± 0.58	2.04 ± 0.35	1.95 ± 0.28	1.73 ± 0.14

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 แสดงค่า Protein Efficiency Ratio (PER) ของเห็ดนางรม

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดนางรม	9	56.06 ± 2.91				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			15.79 ± 2.14	34.52 ± 3.05	47.19 ± 5.06	59.28 ± 5.56
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			84.82 ± 10.50	184.53 ± 15.67	291.70 ± 24.27	398.41 ± 35.37
โปรตีนกิน (กรัม)			8.96 ± 1.11	19.50 ± 1.66	30.83 ± 2.57	42.11 ± 3.74
PER			1.77 ± 0.23	1.78 ± 0.20	1.53 ± 0.17	1.42 ± 0.16

แสดงค่า MEAN ± SD

ตารางที่ 14 แสดงค่า Protein Efficiency Ratio (PER) ของเห็ดนางฟ้า

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดนางฟ้า	8	55.98 ± 2.57				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			22.04 ± 3.81	49.61 ± 7.27	67.62 ± 7.01	88.23 ± 11.45
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			93.44 ± 13.21	219.52 ± 32.21	341.73 ± 42.21	473.89 ± 57.14
โปรตีนกิน (กรัม)			10.18 ± 1.44	23.93 ± 3.51	37.24 ± 4.60	51.65 ± 6.23
PER			2.16 ± 0.23	2.08 ± 0.12	1.82 ± 0.08	1.71 ± 0.08

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 แสดงค่า Protein Efficiency Ratio (PER) ของเห็ดนางนวล

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดนางนวล	10	50.52 ± 7.39				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			21.04 ± 4.08	36.65 ± 8.33	52.89 ± 9.83	70.09 ± 11.04
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			87.86 ± 7.54	187.36 ± 20.46	297.10 ± 38.83	426.56 ± 51.67
โปรตีนกิน (กรัม)			8.52 ± 0.73	18.17 ± 1.99	28.82 ± 3.77	41.38 ± 5.01
PER			2.49 ± 0.56	2.01 ± 0.35	1.83 ± 0.22	1.70 ± 0.21

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 แสดงค่า Protein Efficiency Ratio (PER) ของเห็ดฟาง

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดฟาง	8	62.09 ± 3.45				
น้ำหนักเพิ่ม (กรัม)			10.91 ± 2.34	26.16 ± 5.61	35.49 ± 7.41	43.21 ± 8.55
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			78.37 ± 7.82	155.06 ± 18.56	235.67 ± 31.72	311.13 ± 43.89
โปรตีนกิน (กรัม)			7.89 ± 0.79	15.62 ± 1.87	23.73 ± 3.01	31.33 ± 4.42
PER			1.39 ± 0.26	1.66 ± 0.20	1.48 ± 0.15	1.37 ± 0.14

แสดงค่า MEAN ± SD

0436690 I10335443

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 สรุปค่า Protein Efficiebcy Ratio (PER) ของเห็ดแต่ละชนิดเมื่อให้เลี้ยงหนู

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	PER			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
เห็ดกระดุม	10	56.49 ± 4.89	0.95 ± 0.77	1.06 ± 0.35	1.10 ± 0.31	1.13 ± 0.16[d]
เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล	8	56.31 ± 4.54	2.17 ± 0.40	2.30 ± 0.27	1.93 ± 0.46	1.80 ± 0.14[c]
เห็ดหอม	8	58.38 ± 2.95	1.85 ± 0.33	1.95 ± 0.19	1.98 ± 0.19	1.85 ± 0.21[d]
เห็ดเป๋าฮื้อ	12	52.10 ± 8.14	2.35 ± 0.58	2.04 ± 0.35	1.95 ± 0.28	1.73 ± 0.14[d]
เห็ดนางรม	9	56.06 ± 2.91	1.77 ± 0.23	1.78 ± 0.20	1.53 ± 0.17	1.42 ± 0.16[d]
เห็ดนางฟ้า	8	55.98 ± 2.57	2.16 ± 0.23	2.08 ± 0.12	1.82 ± 0.08	1.71 ± 0.08[d]
เห็ดนางนวล	10	50.52 ± 7.39	2.49 ± 0.56	2.01 ± 0.35	1.83 ± 0.22	1.70 ± 0.21[d]
เห็ดฟาง	8	62.09 ± 3.45	1.39 ± 0.26	1.66 ± 0.20	1.48 ± 0.15	1.37 ± 0.14[d]

แสดงค่า MEAN ± SD

c = ค่าไม่แตกต่างจาก casein อย่างมีนัยสำคัญ

d = ค่าแตกต่างจาก casein อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.0005$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 18

สรุปผลการทดลองหาค่า PER PER(adjusted)และ Relative PER ของเห็ด เมื่อเลี้ยงสัตว์ทดลองเป็นเวลานาน 28 วัน

อาหาร	PER จากการทดลอง	PER Adjusted	RPER
10% casein (ANRC)	2.7	2.5	100
เห็ดกระดุม	1.1	1.0	42
เห็ดหอม	1.8	1.7	67
เห็ดเป๋าฮื้อ	1.7	1.6	64
เห็ดนางรม	1.4	1.3	53
เห็ดนางฟ้า	1.7	1.6	64
เห็ดนางนวล	1.7	1.6	63
เห็ดฟาง	1.4	1.2	50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19

สรุปผลการทดลองหาค่า PER, PER (adjusted) และ Relative PER ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล เมื่อเลี้ยงสัตว์ทดลองนาน 28 วัน

อาหาร	PER จากการทดลอง	PER Adjusted	RPER
8% casein	1.7	2.5	100
เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล (4% โปรตีนเห็ด+4% casein)	1.8	2.6	106

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เห็ดกระดุม = 1.0, เห็ดหอม = 1.7, เห็ดเป๋าฮื้อ = 1.6, เห็ดนางรม = 1.3, เห็ดนางฟ้า = 1.6, เห็ดนางนวล = 1.6, เห็ดฟาง = 1.2 และ เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 2.6 ตามลำดับ ส่วนค่า RPER ของเห็ดกระดุม = 42, เห็ดหอม = 67, เห็ดเป๋าฮื้อ = 64, เห็ดนางรม = 53, เห็ดนางฟ้า = 64, เห็ดนางนวล = 63, เห็ดฟาง = 50 และเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 106 ตามลำดับ

Net Protein Ratio (NPR) การทดลองหาค่า NPR ของ reference casein ที่มีโปรตีน 8%, 10% และ 15% ในเวลานาน 7 วัน 14 วัน 21 วัน และ 28 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 20-23 ตามลำดับ และค่า NPR ของ casein ทั้งหมดได้สรุปไว้ในตารางที่ 24 พบว่าค่า NPR ของ 10% casein ในวันที่ 28 เท่ากับ 3.2 8% casein = 2.9 ส่วน 15% casein = 3.0

การทดลองด้วยอาหารตัวอย่างเห็ดต่าง ๆ ในเวลา 7 วัน, 14 วัน, 21 วัน และ 28 วัน ได้ค่า NPR แสดงไว้ในตารางที่ 25-32 และค่า NPR ทั้งหมดได้สรุปไว้ในตารางที่ 33 พบว่าค่า NPR จากการทดลอง 28 วัน ของเห็ดกระดุม = 1.86, เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 2.49, เห็ดหอม = 2.36, เห็ดเป๋าฮื้อ = 2.30, เห็ดนางรม = 1.87, เห็ดนางฟ้า = 2.08, เห็ดนางนวล = 2.17 และเห็ดฟาง = 1.95 ตามลำดับ และเช่นเดียวกับการทดลอง PER คือ ค่าที่ได้จะสูงในวันที่ 7 และ ลดลงมาในวันที่ 14, 21 และ 28 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่า NPR ของเห็ดส่วนใหญ่มีค่าประมาณ 2.0-2.5

การคำนวณค่า Relative NPR (RNPR) โดยการปรับค่า NPR ของ reference casein เป็น 100 พบว่าค่า RNPR ของเห็ดกระดุมในวันที่ 28 เท่ากับ 57.80 ซึ่งพบว่าต่ำกว่าค่าที่ได้ในวันที่ 7, 14 และ 21 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 34 ในตารางที่ 35 แสดงค่า RNPR ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาลของวันที่ 7, 14, 21 และ 28 ตามลำดับ พบว่าในวันที่ 28 แสดงค่า RNPR ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาลเท่ากับ 89.01 ตารางที่ 36 แสดงค่า RNPR ของเห็ดหอม = 72.16 ในวันที่ 28 ค่า RNPR ในวันที่ 7, 14, 21 และ 28 มีความผันแปรน้อยกว่าเห็นได้ชัด ค่า RNPR ของเห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรมและเห็ดนางฟ้า ได้แสดงไว้ในตารางที่ 37 ในวันที่ 28 มีค่า RNPR ของเห็ดเป๋าฮื้อ = 71.91, เห็ดนางรม = 58.44,

ตารางที่ 20 แสดงค่า Net Protein Ratio (NPR) เมื่อเลี้ยงหนู (rat) ด้วย casein นาน 7 วัน

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	การทดลอง 7 วัน			NPR
			น้ำหนักตัวเพิ่ม/ลด (กรัม)	น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)	โปรตีนกิน (กรัม)	
Zero Protein (กลุ่ม 1)	7	59.10 ± 8.04	-8.00 ± 2.88	51.62 ± 6.45	0.21 ± 0.04	
Zero Protein (กลุ่ม 2)	12	55.24 ± 5.37	-7.52 ± 3.37	44.53 ± 7.16	0.20 ± 0.03	
10% casein (ANRC)	8	57.13 ± 3.04	25.66 ± 6.96	81.68 ± 9.31	7.78 ± 0.89	4.43 ± 0.60 (1)
8% casein	7	55.40 ± 8.01	10.22 ± 2.30	62.79 ± 10.86	4.71 ± 0.82	4.00 ± 0.54 (2)
10% casein กลุ่ม 1	8	58.26 ± 3.73	22.08 ± 3.03	74.66 ± 5.90	7.32 ± 0.58	4.22 ± 0.17 (1)
10% casein กลุ่ม 2	6	57.30 ± 4.66	34.65 ± 6.63	97.17 ± 9.59	9.53 ± 0.94	4.57 ± 0.41 (1)
10% casein กลุ่ม 3	11	56.09 ± 11.65	24.38 ± 4.26	75.30 ± 14.17	7.68 ± 1.44	4.27 ± 0.78 (2)
10% casein กลุ่ม 4	10	56.67 ± 6.59	27.03 ± 3.15	85.02 ± 9.91	8.51 ± 0.99	4.18 ± 0.38 (2)
10% casein กลุ่ม 5	10	58.17 ± 3.72	38.33 ± 3.71	85.84 ± 6.33	8.45 ± 0.63	5.64 ± 0.48 (1)
10% casein + 1% Methionine	10	58.77 ± 5.88	38.05 ± 5.41	82.70 ± 10.74	8.71 ± 1.13	5.45 ± 0.46 (1)
15% casein + 1% Methionine	8	54.81 ± 6.22	34.06 ± 3.80	72.70 ± 7.07	10.83 ± 1.05	3.95 ± 0.51 (2)

(1) = เทียบจาก Zero Protein กลุ่ม 1

(2) = เทียบจาก Zero Protein กลุ่ม 2

แสดงค่า MEAN ± SD

สำนักวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21 แสดงค่า Net Protein Ratio (NPR) เมื่อเลี้ยงหนู (rat) ด้วย casein นาน 14 วัน

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	การทดลอง 14 วัน			NPR
			น้ำหนักตัวเพิ่ม/ลด (กรัม)	น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)	โปรตีนกิน (กรัม)	
Zero protein (กลุ่ม 1)	7	59.10 ± 8.04	-12.37 ± 3.75	89.35 ± 18.51	0.36 ± 0.07	
Zero protein (กลุ่ม 2)	12	55.24 ± 5.37	- 8.31 ± 1.68	80.40 ± 13.22	0.35 ± 0.06	
10% casein (ANRC)	8	57.13 ± 3.04	49.93 ± 11.58	173.76 ± 22.69	16.54 ± 2.16	3.84 ± 0.43 (1)
8% casein	7	55.40 ± 8.01	21.16 ± 4.03	121.24 ± 19.41	9.09 ± 1.46	3.41 ± 0.36 (2)
10% casein กลุ่ม 1	8	58.26 ± 3.73	42.73 ± 4.78	155.18 ± 11.91	15.22 ± 1.17	3.71 ± 0.09 (1)
10% casein กลุ่ม 2	6	57.30 ± 4.66	64.18 ± 5.41	207.69 ± 17.20	20.37 ± 1.69	3.84 ± 0.23 (1)
10% casein กลุ่ม 3	11	56.09 ± 11.65	52.86 ± 6.92	169.03 ± 28.05	17.23 ± 2.86	3.67 ± 0.42 (2)
10% casein กลุ่ม 4	10	56.67 ± 6.59	56.08 ± 9.20	180.71 ± 16.32	18.09 ± 1.63	3.64 ± 0.47 (2)
10% casein กลุ่ม 5	10	58.17 ± 3.72	63.23 ± 6.69	181.14 ± 14.04	17.82 ± 1.38	4.34 ± 0.29 (1)
10% casein + 1% Methionine	10	58.77 ± 5.88	83.55 ± 10.88	185.77 ± 21.87	19.57 ± 2.31	5.01 ± 0.36 (1)
15% casein + 1% Methionine	8	54.81 ± 6.22	80.19 ± 5.61	166.20 ± 14.02	24.76 ± 2.09	3.64 ± 0.27 (2)

(1) = เทียบจาก Zero Protein กลุ่ม 1

(2) = เทียบจาก Zero Protein กลุ่ม 2

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 22 แสดงค่า Net Protein Ratio เมื่อเลี้ยงหนู (rat) ด้วย casein นาน 21 วัน

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	การทดลอง 21 วัน			NPR
			น้ำหนักตัวเพิ่ม/ลด (กรัม)	น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)	โปรตีนกิน (กรัม)	
Zero protein (กลุ่ม 1)	7	59.10 ± 8.04	-13.59 ± 4.35	118.39 ± 15.87	0.49 ± 0.11	
Zero protein (กลุ่ม 2)	12	55.24 ± 5.37	-13.12 ± 2.12	114.90 ± 23.19	0.50 ± 0.10	
10% casein (ANRC)	8	57.13 ± 3.04	80.64 ± 23.14	265.33 ± 33.92	25.26 ± 3.23	3.48 ± 0.39 (1)
8% casein	7	55.40 ± 8.01	26.43 ± 5.32	172.87 ± 26.23	12.97 ± 1.97	3.21 ± 0.41 (2)
10% casein กลุ่ม 1	8	58.26 ± 3.73	59.54 ± 7.56	237.10 ± 22.27	23.25 ± 2.19	3.21 ± 0.15 (1)
10% casein กลุ่ม 2	6	57.30 ± 4.66	92.82 ± 11.40	331.35 ± 33.73	32.51 ± 3.31	3.33 ± 0.14 (1)
10% casein กลุ่ม 3	11	56.09 ± 11.65	76.57 ± 11.67	275.69 ± 44.80	28.11 ± 4.37	3.28 ± 0.28 (2)
10% casein กลุ่ม 4	10	56.67 ± 6.59	77.03 ± 11.16	279.79 ± 25.57	28.01 ± 2.56	3.28 ± 0.28 (2)
10% casein กลุ่ม 5	10	58.17 ± 3.72	93.23 ± 12.24	286.17 ± 32.58	28.06 ± 3.14	3.88 ± 0.21 (1)
10% casein + 1% Methionine	10	58.77 ± 5.88	124.34 ± 17.38	307.14 ± 32.23	32.34 ± 3.40	4.33 ± 0.30 (1)
15% casein + 1% Methionine	8	54.81 ± 6.22	121.33 ± 8.35	273.82 ± 19.21	40.80 ± 2.86	3.35 ± 0.28 (2)

(1) = เทียบจาก Zero Protein กลุ่ม 1

(2) = เทียบจาก Zero Protein กลุ่ม 2

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 23 แสดงค่า Net Protein Ratio (NPR)เมื่อเลี้ยงหนู (rat) ด้วย casein นาน 28 วัน

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	การทดลอง 28 วัน			NPR
			น้ำหนักตัวเพิ่ม/ลด (กรัม)	น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)	โปรตีนกิน (กรัม)	
Zero Protein (กลุ่ม 1)	7	59.10 ± 8.04	-16.44 ± 4.18	149.48 ± 22.62	0.62 ± 0.14	
Zero Protein (กลุ่ม 2)	12	55.24 ± 5.37	-17.64 ± 2.76	149.58 ± 31.58	0.66 ± 0.14	
10% casein (ANRC)	8	57.13 ± 3.04	110.34 ± 22.75	384.30 ± 47.53	36.59 ± 4.52	3.27 ± 0.39 (1)
8% casein	7	55.40 + 8.01	28.93 ± 5.69	227.01 ± 34.45	17.03 ± 2.59	2.88 ± 0.29 (2)
10% casein กลุ่ม 1	8	58.26 ± 3.73	94.56 ± 9.07	349.97 ± 27.08	34.33 ± 2.66	3.29 ± 0.15 (1)
10% casein กลุ่ม 2	6	57.30 ± 4.66	128.11 ± 16.65	472.70 ± 42.39	46.37 ± 4.16	3.16 ± 0.18 (1)
10% casein กลุ่ม 3	11	56.09 ± 11.65	104.43 ± 13.87	383.15 ± 53.70	39.07 ± 5.48	3.20 ± 0.25 (2)
10% casein กลุ่ม 4	10	56.67 ± 6.59	103.66 ± 10.85	383.61 ± 34.17	38.40 ± 3.42	3.22 ± 0.20 (2)
10% casein กลุ่ม 5	10	58.17 ± 3.72	126.87 ± 15.81	410.89 ± 42.89	40.43 ± 4.22	3.60 ± 0.12 (1)
10% casein + 1% Methionine	10	58.77 ± 5.88	155.64 ± 22.66	432.40 ± 43.68	45.57 ± 4.60	3.82 ± 0.30 (1)
15% casein + 1% Methionine	8	54.81 ± 6.22	155.76 ± 12.52	392.91 ± 25.78	58.54 ± 3.84	3.00 ± 0.23 (2)

(1) = เทียบจาก Zero Protein กลุ่ม 1

(2) = เทียบจาก Zero Protein กลุ่ม 2

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 24 สรุปค่า NPR ที่ได้จากการเลี้ยงหนู (rat) ด้วย casein เป็นเวลานาน 28 วัน

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	NPR			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
10% casein (ANRC)	8	57.13 ± 3.04	4.43 ± 0.60	3.84 ± 0.43	3.48 ± 0.39	3.27 ± 0.39
8% casein	7	55.40 ± 8.01	4.00 ± 0.54	3.41 ± 0.36	3.21 ± 0.41	2.88 ± 0.29
10% casein (กลุ่ม 1)	8	58.26 ± 3.73	4.22 ± 0.17	3.71 ± 0.09	3.21 ± 0.15	3.29 ± 0.15
10% casein (กลุ่ม 2)	6	57.30 ± 4.66	4.57 ± 0.41	3.84 ± 0.23	3.33 ± 0.14	3.16 ± 0.18
10% casein (กลุ่ม 3)	11	56.09 ± 11.65	4.27 ± 0.78	3.67 ± 0.42	3.28 ± 0.28	3.20 ± 0.25
10% casein (กลุ่ม 4)	10	56.67 ± 6.59	4.18 ± 0.38	3.64 ± 0.47	3.28 ± 0.28	3.22 ± 0.20
10% casein (กลุ่ม 5)	10	58.17 ± 3.72	5.64 ± 0.48	4.34 ± 0.29	3.88 ± 0.21	3.60 ± 0.12
10% casein + 1% Methionine	10	58.77 ± 5.88	5.45 ± 0.46	5.01 ± 0.36	4.33 ± 0.30	3.82 ± 0.30
15% casein + 1% Methionine	8	54.81 ± 6.22	3.95 ± 0.51	3.64 ± 0.27	3.35 ± 0.28	3.00 ± 0.23

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 25 แสดงค่า Net Protein Ratio (NPR) ของเห็ดกระดุม

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดกระดุม	10	56.49 ± 4.89				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			5.84 ± 4.80	12.52 ± 4.84	19.60 ± 6.32	22.65 ± 9.66
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			57.84 ± 4.45	111.52 ± 11.31	168.36 ± 18.79	227.94 ± 30.02
โปรตีนกิน (กรัม)			6.03 ± 0.46	11.63 ± 1.18	17.56 ± 1.96	23.78 ± 3.13
อาหาร Zero Protein	12	55.24 ± 5.37				
น้ำหนักสัตว์ลด (กรัม)			7.52 ± 3.37	8.31 ± 1.68	13.12 ± 2.12	17.64 ± 2.76
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			44.53 ± 7.16	80.40 ± 13.22	114.90 ± 23.19	149.58 ± 31.58
โปรตีนกิน (กรัม)			0.20 ± 0.03	0.35 ± 0.06	0.50 ± 0.10	0.66 ± 0.14
NPR			2.28 ± 0.74	1.84 ± 0.32	1.91 ± 0.28	1.86 ± 0.31

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 26 แสดงค่า Net Protein Ratio (NPR) ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
<u>อาหารเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล</u>	8	56.31 ± 4.54				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			12.78 ± 1.55	29.50 ± 1.85	56.31 ± 4.54	50.93 ± 5.23
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			80.39 ± 9.98	174.24 ± 14.85	42.37 ± 2.65	381.08 ± 35.56
โปรตีนกิน (กรัม)			5.98 ± 0.74	12.96 ± 1.11	272.70 ± 24.03	28.35 ± 2.65
<u>อาหาร Zero Protein</u>	12	55.24 ± 5.37				
น้ำหนักสัตว์ลด (กรัม)			7.52 ± 3.37	8.31 ± 1.68	13.12 ± 2.12	17.64 ± 2.76
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			44.53 ± 7.16	80.40 ± 13.22	114.90 ± 23.19	149.58 ± 31.58
โปรตีนกิน (กรัม)			0.20 ± 0.03	0.35 ± 0.06	0.50 ± 0.10	0.66 ± 0.14
NPR			3.57 ± 0.55	0.03 ± 0.33	2.64 ± 0.50	2.49 ± 0.18

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 27 แสดงค่า Net Protein Ratio (NPR) ของเห็ดหอม

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดหอม	8	58.38 ± 2.95				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			12.56 ± 2.92	27.85 ± 4.37	47.71 ± 6.47	65.38 ± 8.04
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			66.02 ± 7.87	140.19 ± 15.16	236.28 ± 25.09	348.33 ± 36.02
โปรตีนกิน (กรัม)			6.73 ± 0.80	14.30 ± 1.55	24.10 ± 2.56	35.53 ± 3.68
อาหาร Zero Protein	7	59.10 ± 8.04				
น้ำหนักสัตว์ลด (กรัม)			8.00 ± 2.88	12.37 ± 3.75	13.59 ± 4.35	16.44 ± 4.18
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			51.62 ± 6.45	89.35 ± 18.51	118.39 ± 15.87	149.48 ± 22.62
โปรตีนกิน (กรัม)			0.21 ± 0.04	0.36 ± 0.07	0.49 ± 0.11	0.62 ± 0.14
NPR			3.16 ± 0.32	2.89 ± 0.21	2.61 ± 0.20	2.36 ± 0.23

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 28 แสดงค่า Net Protein Ratio (NPR) ของเห็ดเป๋าฮื้อ

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดเป๋าฮื้อ	12	52.10 ± 8.14				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			17.52 ± 4.39	32.47 ± 6.29	48.03 ± 8.97	58.83 ± 9.51
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			79.83 ± 8.49	161.54 ± 19.27	251.75 ± 34.98	343.91 ± 45.68
โปรตีนกิน (กรัม)			7.50 ± 0.84	15.98 ± 1.91	24.69 ± 3.55	34.01 ± 4.52
อาหาร Zero Protein	12	55.24 ± 5.37				
น้ำหนักสัตว์ลด (กรัม)			7.52 ± 3.37	8.13 ± 1.68	13.12 ± 2.12	17.64 ± 2.76
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			44.53 ± 7.16	80.40 ± 13.22	114.90 ± 23.19	149.58 ± 31.58
โปรตีนกิน (กรัม)			0.20 ± 0.03	0.35 ± 0.06	0.50 ± 0.10	0.66 ± 0.14
NPR			3.45 ± 0.63	2.62 ± 0.37	2.55 ± 0.30	2.30 ± 0.15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 29 แสดงค่า Net Protein Ration (NPR) ของเห็ดนางรม

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดนางรม	9	56.06 ± 2.91				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			15.79 ± 2.14	34.52 ± 3.05	47.19 ± 5.06	59.28 ± 5.56
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			84.82 ± 10.50	184.53 ± 15.67	291.70 ± 24.27	398.41 ± 35.37
โปรตีนกิน (กรัม)			8.96 ± 1.11	19.50 ± 1.66	30.83 ± 2.57	42.11 ± 3.74
อาหาร Zero Protein	12	55.24 ± 5.37				
น้ำหนักสัตว์ลด (กรัม)			7.52 ± 3.37	8.31 ± 1.68	13.12 ± 2.12	17.64 ± 2.76
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			44.53 ± 7.16	80.40 ± 13.22	114.90 ± 23.19	149.58 ± 31.58
โปรตีนกิน (กรัม)			0.20 ± 0.03	0.35 ± 0.06	0.50 ± 0.10	0.66 ± 0.14
NPR			2.68 ± 0.29	2.25 ± 0.22	1.89 ± 0.26	1.87 ± 0.18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 30 แสดงค่า Net Protein Ratio (NPR) ของเห็ดนางฟ้า

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดนางฟ้า	8	55.98 ± 2.57				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			22.04 ± 3.81	49.61 ± 7.27	67.62 ± 7.01	88.23 ± 11.45
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			93.44 ± 13.21	219.52 ± 32.21	341.73 ± 42.21	473.89 ± 57.14
โปรตีนกิน (กรัม)			10.18 ± 1.44	23.93 ± 3.51	37.24 ± 4.60	51.65 ± 6.23
อาหาร Zero Protein	12	55.24 ± 5.37				
น้ำหนักสัตว์ลด (กรัม)			7.52 ± 3.37	8.31 ± 1.68	13.12 ± 2.12	17.64 ± 2.76
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			44.53 ± 7.16	80.40 ± 13.22	114.90 ± 23.19	149.58 ± 31.58
โปรตีนกิน (กรัม)			0.20 ± 0.03	0.35 ± 0.06	0.50 ± 0.10	0.66 ± 0.41
NPR			2.98 ± 0.26	2.47 ± 0.14	2.17 ± 0.14	2.08 ± 0.09

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 แสดงค่า Net Protein Ratio (NPR) ของเห็ดนางนวล

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดนางนวล	10	50.52 ± 7.39				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			21.04 ± 4.08	36.65 ± 8.33	52.89 ± 9.83	70.09 ± 11.04
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			87.86 ± 7.54	187.36 ± 20.46	297.10 ± 38.83	426.56 ± 51.67
โปรตีนกิน (กรัม)			8.52 ± 0.73	18.17 ± 1.99	28.82 ± 3.77	41.38 ± 5.01
อาหาร Zero Protein	12	55.24 ± 5.37				
น้ำหนักสัตว์ลด (กรัม)			7.52 ± 3.37	8.31 ± 1.68	13.12 ± 2.12	17.64 ± 2.76
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			44.53 ± 7.16	80.40 ± 13.22	114.90 ± 23.19	149.58 ± 31.58
โปรตีนกิน (กรัม)			0.20 ± 0.03	0.35 ± 0.06	0.50 ± 0.10	0.66 ± 0.14
NPR			3.46 ± 0.62	2.52 ± 0.35	2.33 ± 0.22	2.17 ± 0.23

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 32 แสดงค่า Net Protein Ratio (NPR) ของเห็ดฟาง

การทดลอง	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
อาหารเห็ดฟาง	8	62.09 ± 3.45				
น้ำหนักสัตว์เพิ่ม (กรัม)			10.91 ± 2.34	26.16 ± 5.61	35.49 ± 7.41	43.21 ± 8.55
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			78.37 ± 7.82	155.06 ± 18.56	235.67 ± 31.72	311.13 ± 43.89
โปรตีนกิน (กรัม)			7.89 ± 0.79	15.62 ± 1.87	23.73 ± 3.01	31.33 ± 4.42
อาหาร Zero Protein	7	59.10 ± 8.04				
น้ำหนักสัตว์ลด (กรัม)			8.00 ± 2.88	12.37 ± 3.75	13.59 ± 4.35	16.44 ± 4.18
น้ำหนักอาหารกิน (กรัม)			51.62 ± 6.45	89.35 ± 18.51	118.39 ± 15.87	149.48 ± 22.62
โปรตีนกิน (กรัม)			0.21 ± 0.04	0.36 ± 0.07	0.49 ± 0.11	0.62 ± 0.14
NPR			2.48 ± 0.30	2.52 ± 0.15	2.11 ± 0.13	1.95 ± 0.15

แสดงค่า MEAN ± SD

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 33 สรุปค่า Net Protein Ratio (NPR) ของเห็ดแต่ละชนิดเมื่อให้เลี้ยงหนู (rat)

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น	NPR			
			7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
เห็ดกระดุม	10	56.49 ± 4.89	2.28 ± 0.74	1.84 ± 0.32	1.91 ± 0.28	1.86 ± 0.31[d]
เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล	8	56.31 ± 4.54	3.57 ± 0.55	3.03 ± 0.33	2.64 ± 0.50	2.49 ± 0.18[c]
เห็ดหอม	8	58.38 ± 2.95	3.16 ± 0.32	2.89 ± 0.21	2.61 ± 0.20	2.36 ± 0.23[d]
เห็ดเป๋าฮื้อ	12	52.10 ± 8.14	3.45 ± 0.63	2.62 ± 0.37	2.55 ± 0.30	2.30 ± 0.15[d]
เห็ดนางรม	9	56.06 ± 2.91	2.68 ± 0.29	2.25 ± 0.22	1.89 ± 0.26	1.87 ± 0.18[d]
เห็ดนางฟ้า	8	55.98 ± 2.57	2.98 ± 0.26	2.47 ± 0.14	2.17 ± 0.14	2.08 ± 0.09[d]
เห็ดนางนวล	10	50.52 ± 7.39	3.46 ± 0.62	2.52 ± 0.35	2.33 ± 0.22	2.17 ± 0.23[d]
เห็ดฟาง	8	62.09 ± 3.45	2.48 ± 0.30	2.52 ± 0.15	2.11 ± 0.13	1.95 ± 0.15[d]

แสดงค่า MEAN ± SD

c = ค่าแตกต่างจาก casein ($P < 0.01$)

d = ค่าแตกต่างจาก casein อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.0005$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 34 แสดงค่า Relative Net Protein Ratio (RNPR) ของเห็ดกระดุม

อาหาร	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน							
	7 วัน		14 วัน		21 วัน		28 วัน	
	NPR	RNPR	NPR	RNPR	NPR	RNPR	NPR	RNPR
Casein	4.18 ± 0.38	100	3.64 ± 0.47	100	3.28 ± 0.28	100	3.22 ± 0.20	100
เห็ดกระดุม	2.28 ± 0.74	54.51	1.84 ± 0.32	50.36	1.91 ± 0.28	58.26	1.86 ± 0.31	57.80

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 35 แสดงค่า Relative Net Protein Ratio (RNPR) ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล

อาหาร	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน							
	7 วัน		14 วัน		21 วัน		28 วัน	
	NPR	RNPR	NPR	RNPR	NPR	RNPR	NPR	RNPR
Casein	4.00 ± 0.54	100	3.41 ± 0.36	100	3.21 ± 0.41	100	2.88 ± 0.29	100
เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล	3.57 ± 0.55	89.18	3.03 ± 0.33	88.79	2.64 ± 0.50	82.05	2.49 ± 0.18	89.01

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 36 แสดงค่า Relative Net Protein Ratio (RNPR) ของเห็ดหอม

อาหาร	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน							
	7 วัน		14 วัน		21 วัน		28 วัน	
	NPR	RNPR	NPR	RNPR	NPR	RNPR	NPR	RNPR
Casein	4.43 ± 0.60	100	3.84 ± 0.43	100	3.48 ± 0.39	100	3.27 ± 0.39	100
เห็ดหอม	3.16 ± 0.32	71.33	2.89 ± 0.21	75.31	2.61 ± 0.20	74.92	2.36 ± 0.23	72.16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 37 แสดงค่า Relative Net Protein Ratio (RNPR) ของเห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม และเห็ดนางฟ้า

อาหาร	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน							
	7 วัน		14 วัน		21 วัน		28 วัน	
	NPR	RNPR	NPR	RNPR	NPR	RNPR	NPR	RNPR
Casein	4.27 ± 0.78	100	3.67 ± 0.42	100	3.28 ± 0.28	100	3.20 ± 0.25	100
เห็ดเป๋าฮื้อ	3.45 ± 0.03	80.83	2.62 ± 0.37	71.50	2.55 ± 0.30	77.59	2.30 ± 0.15	71.91
เห็ดนางรม	2.68 ± 0.29	62.89	2.25 ± 0.22	61.31	1.89 ± 0.26	57.62	1.87 ± 0.18	58.44
เห็ดนางฟ้า	2.98 ± 0.26	69.75	2.47 ± 0.14	67.25	2.17 ± 0.14	66.16	2.08 ± 0.09	65.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 38 แสดงค่า Relative Net Protein Ratio (RNPR) ของเห็ดนางนวล

อาหาร	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน							
	7 วัน		14 วัน		21 วัน		28 วัน	
	NPR	RNPR	NPR	RNPR	NPR	RNPR	NPR	RNPR
casein	4.27 ± 0.78	100	3.67 ± 0.42	100	3.28 ± 0.28	100	3.20 ± 0.25	100
เห็ดนางนวล	3.46 ± 0.62	81.16	2.57 ± 0.35	68.75	2.33 ± 0.22	71.16	2.17 ± 0.23	67.72

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 39 แสดงค่า Relative Net Protein Ratio (RNPR) ของเห็ดฟาง

อาหาร	เลี้ยงสัตว์ทดลอง (rat) นาน							
	7 วัน		14 วัน		21 วัน		28 วัน	
	NPR	RNPR	NPR	RNPR	NPR	RNPR	NPR	RNPR
Casein	4.22 ± 0.17	100	3.71 ± 0.09	100	3.21 ± 0.15	100	3.29 ± 0.15	100
เห็ดฟาง	2.48 ± 0.30	58.67	2.52 ± 0.15	68.10	2.11 ± 0.13	65.76	1.95 ± 0.15	59.18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และเห็ดนางฟ้า = 65.00 ตามลำดับ ค่า RNPR ของเห็ดนางนวล ได้แสดงไว้ในตารางที่ 38 พบว่าในวันที่ 28 ค่า RNPR ของเห็ดนางนวล = 67.72 และตารางที่ 39 แสดงค่า RNPR ของเห็ดฟางมีค่าเท่ากับ 59.18 เมื่อเลี้ยงสัตว์ทดลอง 28 วัน จากผลที่ได้สรุปได้ว่า RNPR ของเห็ดซึ่งเลี้ยงหนูด้วยอาหาร 10% โปรตีนของเห็ดมีค่าตั้งแต่ 58-72 ยกเว้นเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล ซึ่งเป็นอาหาร 4% โปรตีนเห็ด + 4% casein

Net Protein Utilization (NPU) ผลการทดลองหาค่า NPU ของreference casein ได้สรุปไว้ในตารางที่ 40 ค่า NPU ของ 10% casein มีค่าประมาณ 48-69 และค่า NPU ของเห็ดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 41 หลังจากการเลี้ยงสัตว์ทดลองนาน 28 วัน พบว่ามีค่า NPU ของเห็ดกระดุม = 27.31, เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 28.48, เห็ดหอม = 29.23, เห็ดเป๋าฮื้อ = 31.31, เห็ดนางรม = 31.46, เห็ดนางฟ้า = 34.30, เห็ดนางนวล = 29.38 และ เห็ดฟาง = 31.30 ตามลำดับ สรุปได้ว่าเห็ดที่นำมาทดลองมีค่า NPU ตั้งแต่ 27-34

True Digestibility (TD) การทดลองหาค่า TD ของ reference casein ได้แสดงไว้ในตารางที่ 42 ค่า TD ของ casein มีค่าประมาณ 86-88% และจากการทดลองกับเห็ดจะให้ค่า TD ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 43 ค่า TD ของเห็ดกระดุม = 68.69, เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 56.14, เห็ดหอม = 53.27, เห็ดเป๋าฮื้อ = 55.46, เห็ดนางรม = 61.24, เห็ดนางฟ้า = 59.84, เห็ดนางนวล = 57.85 และเห็ดฟาง = 74.39 อาจสรุปได้ว่าเห็ดมีค่า TD ประมาณ 53-74%

การทดลอง Protein Digestibility (in vitro) ของโปรตีนจากเห็ดในรูปของเห็ดสด เห็ดต้มสุกและเห็ดอบแห้งได้แสดงไว้ในตารางที่ 44 พบว่าเห็ดต้มสุกจะถูกย่อยได้ดีที่สุดพบมีค่า % digestibility (in vitro)ประมาณ 85% ในขณะที่เห็ดสดมีเปอร์เซ็นต์การย่อยน้อยกว่าคือประมาณ 70-75% ส่วนเห็ดอบแห้งจะถูกย่อยได้ดีกว่าเห็ดสดแต่น้อยกว่าเห็ดต้มสุกมีค่า % digestibility ประมาณ 73-77% ในขณะที่ % digestibility ของ casein เท่ากับ 90.00%

ตารางที่ 40

แสดงค่า Net Protein Utilization (NPU) ของ casein จากการทดลองในหนู (rat)

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	Total N ขากสัตว์ (กรัม)	Total N อาหารกิน (กรัม)	NPU
Zero Protein กลุ่ม 1	7	1.18 ± 0.13	0.09 ± 0.02	
Zero Protein กลุ่ม 2	12	1.04 ± 0.15	0.11 ± 0.02	
10% casein (ANRC)	8	3.93 ± 0.68	5.84 ± 0.72	48.71 ± 9.71 (1)
8% casein	7	2.38 ± 0.26	2.72 ± 0.14	53.14 ± 5.40 (2)
10% casein กลุ่ม 1	8	3.74 ± 0.50	5.50 ± 0.43	48.36 ± 9.28 (1)
10% casein กลุ่ม 2	6	4.98 ± 0.62	7.42 ± 0.67	52.15 ± 4.72 (1)
10% casein กลุ่ม 3	11	4.47 ± 0.53	6.25 ± 0.88	56.67 ± 4.07 (2)
10% casein กลุ่ม 4	10	4.19 ± 0.35	6.15 ± 0.55	53.00 ± 4.68 (2)
10% casein กลุ่ม 5	10	5.53 ± 0.67	6.41 ± 0.67	69.16 ± 6.67 (1)
10% casein + 1% Methionine	10	6.05 ± 0.67	7.27 ± 0.74	68.05 ± 3.87 (1)
15% casein + 1% Methionine	8	5.99 ± 0.46	9.35 ± 0.61	54.13 ± 4.75 (2)

(1) = คำนวณจาก Zero Protein กลุ่ม 1

(2) = คำนวณจาก Zero Protein กลุ่ม 2

แสดงค่า MEAN ± SD

ตารางที่ 41 แสดงค่า Net Protein Utilization (NPU) ของเห็ดชนิดต่าง ๆ จากการทดลองในหนู (rat)

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	Total N ซากสัตว์ (กรัม)	Total N อาหารกิน (กรัม)	NPU
Zero Protein กลุ่ม 1	7	1.18 ± 0.13	0.09 ± 0.02	
Zero Protein กลุ่ม 2	12	1.04 ± 0.15	0.11 ± 0.02	
เห็ดกระดุม	10	1.97 ± 0.21	3.81 ± 0.50	27.31 ± 4.80 (2)
เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล	8	2.21 ± 0.31	4.91 ± 0.88	28.48 ± 7.95 (2)
เห็ดหอม	8	2.79 ± 0.29	5.68 ± 0.59	29.23 ± 4.00 (1)
เห็ดเป๋าฮื้อ	12	2.72 ± 0.40	5.43 ± 0.72	31.31 ± 3.78 (2)
เห็ดนางรม	9	3.05 ± 0.12	6.74 ± 0.60	31.46 ± 2.04 (2)
เห็ดนางฟ้า	8	3.77 ± 0.37	8.27 ± 0.99	34.30 ± 1.52 (2)
เห็ดนางนวล	10	2.95 ± 0.33	6.83 ± 0.83	29.38 ± 2.27 (2)
เห็ดฟาง	8	2.65 ± 0.25	5.01 ± 0.71	31.30 ± 3.69 (1)

(1) = คำนวณจาก Zero Protein กลุ่ม 1

(2) = คำนวณจาก Zero Protein กลุ่ม 2

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 42 แสดงค่า Digestibility ของ casein ในสัตว์ทดลอง (rat)

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	N ในอาหารกิน (กรัม/ก.ก./วัน)	N ในอุจจาระ (กรัม/ก.ก./วัน)	True Digestibility (T.D) %
Zero Protein (กลุ่ม 1)	7	0.069 ± 0.015	0.051 ± 0.012	
Zero Protein (กลุ่ม 2)	12	0.082 ± 0.024	0.076 ± 0.021	
10% casein (ANRC)	8	1.550 ± 0.137	0.130 ± 0.029	88.286 ± 1.57 (1)
8% casein	7	1.308 ± 0.112	0.110 ± 0.021	85.780 ± 0.935 (2)
10% casein กลุ่ม 1	8	1.553 ± 0.134	0.115 ± 0.019	87.672 ± 0.887 (1)
10% casein กลุ่ม 2	6	1.839 ± 0.139	0.166 ± 0.016	86.248 ± 5.543 (1)
10% casein กลุ่ม 3	11	1.915 ± 0.154	0.165 ± 0.026	87.389 ± 0.952 (2)
10% casein กลุ่ม 4	10	1.706 ± 0.109	0.141 ± 0.032	87.262 ± 1.727 (2)
10% casein กลุ่ม 5	10	1.532 ± 0.181	0.158 ± 0.022	86.098 ± 2.342 (1)

(1) = คำนวณจาก Zero Protein กลุ่ม 1

(2) = คำนวณจาก Zero Protein กลุ่ม 2

แสดงค่า MEAN ± SD

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 43 แสดงค่า Digestibility ของเห็ดชนิดต่าง ๆ ในสัตว์ทดลอง (rat)

อาหาร	จำนวนสัตว์ทดลอง	N ในอาหารกิน (กรัม/ก.ก./วัน)	N ในอุจจาระ (กรัม/ก.ก./วัน)	True Digestibility (T.D) %
Zero Protein กลุ่ม 1	7	0.069 ± 0.015	0.051± 0.012	
Zero Protein กลุ่ม 2	12	0.082 ± 0.024	0.076 ± 0.021	
เห็ดกระดุม	10	1.779 ± 0.169	0.486 ± 0.137	68.696 ± 6.281(2)
เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล	8	1.803 ± 0.259	0.696 ± 0.092	56.144 ± 8.689(2)
เห็ดหอม	8	2.106 ± 0.169	0.937 ± 0.157	53.273 ± 4.906(1)
เห็ดเป๋าฮื้อ	12	2.013 ± 0.301	0.821 ± 0.166	55.460 ± 4.110(2)
เห็ดนางรม	9	2.578 ± 0.259	0.998 ± 0.160	61.244 ± 3.918(2)
เห็ดนางฟ้า	8	2.627 ± 0.140	1.051 ± 0.082	59.840 ± 2.844(2)
เห็ดนางนวล	10	2.655 ± 0.415	1.029 ± 0.174	57.852 ± 6.379(2)
เห็ดฟาง	8	1.895 ± 0.233	0.433 ± 0.078	74.396 ± 3.137(1)

(1) = คำนวณจาก Zero Protein กลุ่ม 1

(2) = คำนวณจาก Zero Protein กลุ่ม 2

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 44 Percent digestibility (in vitro) ของโปรตีนในเห็ด

ชื่อเห็ด	% digestibility (in vitro)*		
	ตัวอย่างสด	ตัวอย่างสดต้ม	ตัวอย่างอบแห้ง
เห็ดกระดุม	74.21	82.79	76.47
เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล	ND	ND	73.26
เห็ดหอม	75.27	85.12	76.92
เห็ดเป๋าฮื้อ	72.86	85.27	75.12
เห็ดนางรม	72.97	82.56	74.21
เห็ดนางฟ้า	71.05	87.52	73.76
เห็ดนางนวล	70.04	ND	76.13
เห็ดฟาง	71.51	84.59	73.99

ND = NOT DETERMINED

* % digestibility (in vitro)ของ ANRC Sodium Caseinate = 83.64 %
และ casein = 90.00%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 45 การเปรียบเทียบ Protein Digestibility ของเห็ดที่ทำในสัตว์ทดลองและในหลอดทดลอง

ตัวอย่างเห็ด	% digestibility (in vitro)	% True Digestibility (in vivo)
casein	90.00	86-88
เห็ดกระดุม	76.47	68.70
เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล	73.26	56.14
เห็ดหอม	76.92	53.27
เห็ดเป๋าฮื้อ	75.12	55.46
เห็ดนางรม	74.21	61.24
เห็ดนางฟ้า	73.76	59.84
เห็ดนางนวล	76.13	57.85
เห็ดฟาง	73.99	74.40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ได้เปรียบเทียบค่าการย่อย True digestibility (in vivo) ในสัตว์ทดลอง และ Digestibility (in vitro) ในหลอดทดลองไว้ในตารางที่ 45 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองในสัตว์ทดลองจะมีค่าต่ำกว่าการทดลองที่ทำภายนอกร่างกาย

Biological Value (BV) การทดลองหาค่า BV ของ reference casein ได้แสดงไว้ในตารางที่ 46 และ 47 ตารางที่ 46 แสดงค่า BV จากการคำนวณความสัมพันธ์ของ NPU และ TD พบว่า 10% casein มีค่า BV ประมาณ 55-80 ส่วนตารางที่ 47 เป็นตารางเปรียบเทียบค่า BV ของ casein จากการทดลองและจากการคำนวณซึ่งค่า BV จากการทดลองพบประมาณ 51-76

การทดลองหาค่า BV ของเห็ดที่นำมาวิจัยได้แสดงไว้ในตารางที่ 48 และ 49 ค่า BV จากการคำนวณความสัมพันธ์ของ NPU และ TD พบมีค่าตั้งแต่ 40-57 ดังตารางที่ 48 และในตารางที่ 49 ได้เปรียบเทียบค่า BV จากการทดลองกับค่าจากการคำนวณซึ่งจากการทดลองให้ค่า BV ของเห็ดตั้งแต่ 36-60

ผลของการประเมินคุณค่าของอาหารโปรตีนจากเห็ดที่นำมาทดลองทั้งหมดได้สรุปไว้ในตารางที่ 50 ได้แสดงค่าของดรรชนีต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของโปรตีนโดยวิธีการต่าง ๆ ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 46

Biological Value (BV), Net Protein Utilization (NPU) และ True Digestibility (TD) ของ casein

อาหาร	NPU	TD	BV
10% casein (ANRC)	48.71 ± 9.71	88.29 ± 1.57	55.30 ± 11.53
8% casein	53.14 ± 5.40	85.78 ± 0.95	61.93 ± 6.03
10% casein กลุ่ม 1	48.36 ± 9.28	87.67 ± 0.89	55.12 ± 10.36
10% casein กลุ่ม 2	52.15 ± 4.72	86.25 ± 5.54	60.64 ± 5.89
10% casein กลุ่ม 3	56.67 ± 4.07	87.39 ± 0.95	64.87 ± 4.88
10% casein กลุ่ม 4	53.00 ± 4.68	87.26 ± 1.73	62.38 ± 7.75
10% casein กลุ่ม 5	69.16 ± 6.67	86.10 ± 2.34	80.32 ± 7.18
10% casein + 1% Methionine	68.05 ± 3.87	88.69 ± 1.11	78.73 ± 4.54
15% casein + 1% Methionine	54.13 ± 4.75	88.91 ± 0.94	60.91 ± 5.56

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 46

Biological Value (BV), Net Protein Utilization (NPU) และ True Digestibility (TD) ของ casein

อาหาร	NPU	TD	BV
10% casein (ANRC)	48.71 ± 9.71	88.29 ± 1.57	55.30 ± 11.53
8% casein	53.14 ± 5.40	85.78 ± 0.95	61.93 ± 6.03
10% casein กลุ่ม 1	48.36 ± 9.28	87.67 ± 0.89	55.12 ± 10.36
10% casein กลุ่ม 2	52.15 ± 4.72	86.25 ± 5.54	60.64 ± 5.89
10% casein กลุ่ม 3	56.67 ± 4.07	87.39 ± 0.95	64.87 ± 4.88
10% casein กลุ่ม 4	53.00 ± 4.68	87.26 ± 1.73	62.38 ± 7.75
10% casein กลุ่ม 5	69.16 ± 6.67	86.10 ± 2.34	80.32 ± 7.18
10% casein + 1% Methionine	68.05 ± 3.87	88.69 ± 1.11	78.73 ± 4.54
15% casein + 1% Methionine	54.13 ± 4.75	88.91 ± 0.94	60.91 ± 5.56

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 47 สรุปค่า Biological Value จากการทดลองและจากการคำนวณโดยความสัมพันธ์ของ NPU และ TD ของ casein

อาหาร	BV tested	BV Calculated
10% casein (ANRC)	52.32 ± 10.58	55.30 ± 11.53
8% casein	56.03 ± 5.12	61.93 ± 6.03
10% casein กลุ่ม 1	51.22 ± 9.64	55.12 ± 10.36
10% casein กลุ่ม 2	57.03 ± 5.37	60.64 ± 5.89
10% casein กลุ่ม 3	61.74 ± 4.45	64.87 ± 4.88
10% casein กลุ่ม 4	57.01 ± 5.32	62.38 ± 7.75
10% casein กลุ่ม 5	76.36 ± 7.24	80.32 ± 7.18

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 48 Biological Value (BV), Net Protein Utilization (NPU) และ True Digestibility (TD) ของเห็ด

อาหาร	NPU	TD	BV
เห็ดกระดุม	27.31 ± 4.80	68.70 ± 6.28	39.71 ± 5.28
เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล	28.48 ± 7.95	56.14 ± 8.69	53.37 ± 20.74
เห็ดหอม	29.23 ± 4.00	53.27 ± 4.91	56.61 ± 9.79
เห็ดเป๋าฮื้อ	31.31 ± 3.78	55.46 ± 4.11	56.66 ± 7.30
เห็ดนางรม	31.46 ± 2.04	61.24 ± 3.92	51.51 ± 4.43
เห็ดนางฟ้า	34.30 ± 1.52	59.84 ± 2.84	57.46 ± 3.89
เห็ดนางนวล	29.38 ± 2.27	57.85 ± 6.38	51.25 ± 5.70
เห็ดฟาง	31.30 ± 3.69	74.40 ± 3.14	42.02 ± 4.03

แสดงค่า MEAN ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 49

สรุปค่า Biological Value จากการทดลองและจากการคำนวณโดยความสัมพันธ์ของ NPU และ TD ของเห็ด

อาหาร	BV tested	BV calculated
เห็ดกระดุม	36.08 ± 4.75	39.71 ± 5.28[a]
เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล	47.78 ± 17.33	53.37 ± 20.74[a]
เห็ดหอม	57.78 ± 11.60	56.61 ± 9.79[a]
เห็ดเป๋าฮื้อ	55.73 ± 10.58	56.66 ± 7.30[c]
เห็ดนางฟ้า	60.81 ± 6.56	57.46 ± 3.89[a]
เห็ดนางรม	53.07 ± 5.31	51.51 ± 4.43[b]
เห็ดนางนวล	46.16 ± 5.08	51.25 ± 5.70[c]
เห็ดฟาง	40.14 ± 3.58	42.02 ± 4.03[a]

แสดงค่า MEAN ± SD

a = มี correlation coefficient (r) = 0.9

b = มี correlation coefficient(r) = 0.8

c = มี correlation coefficient(r) = 0.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 50 สรุปค่าดรรชนีแสดงคุณภาพของโปรตีนในเห็ด[1]

ชื่อเห็ด	CHEMICAL[2] SCORE	TD	PER[3] Adjusted	RPER[4]	NPR	RNPR[5]	NPU	BV
เห็ดกระดุม	46.2 (LYS)	68.7	1.0	42	1.86	57.80	27.31	39.71
เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล	46.6 (MET)	56.14	2.6	106	2.49	89.01	28.48	53.37
เห็ดหอม	41.7 (MET)	53.27	1.7	67	2.36	72.16	29.23	56.61
เห็ดเป๋าฮื้อ	59.1 (MET)	55.46	1.6	64	2.30	71.91	31.31	56.66
เห็ดนางรม	67.1 (MET)	61.24	1.3	53	1.87	58.44	31.46	51.51
เห็ดนางฟ้า	60.0 (LEU)	59.84	1.6	64	2.08	65.00	34.30	57.46
เห็ดนางนวล	46.3 (MET)	57.85	1.6	63	2.17	67.72	29.38	51.25
เห็ดฟาง	33.4 (MET)	74.40	1.2	50	1.95	59.18	31.30	42.02

1 อาหารทดลองประกอบด้วย 10% โปรตีนจากเห็ด ยกเว้นเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาลประกอบด้วย 4% โปรตีนจากเห็ด + 4% casein

2 ในวงเล็บเป็น limiting amino acid (7)

3 ปรับค่าให้ casein = 2.5

4 ปรับค่าให้ casein = 100

5 ปรับค่าให้ casein = 100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิจารณ์

ในการศึกษาถึงแหล่งโปรตีนในอาหารพบว่าโปรตีนที่สำคัญมีคุณค่าทางอาหารดี ส่วนใหญ่จะได้มาจากสัตว์ โปรตีนจากพืชมักพบว่ามีคุณภาพด้อยกว่าโปรตีนจากสัตว์ (3) แม้ว่าพืชบางชนิด เช่น พืชพวกถั่วและธัญพืชจะให้โปรตีนสูงใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์ก็ตาม ในประเทศด้อยพัฒนาอาหารโปรตีนมักได้จากพืชเป็นส่วนใหญ่เพราะเป็นอาหารที่มีราคาถูกกว่าโปรตีนสัตว์จึงมักพบปัญหาการขาดอาหารโปรตีนของประชากรในประเทศด้อยพัฒนาหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย การขาดอาหารโปรตีนจะเป็นสาเหตุของโรค kwashiorkor มักพบในเด็กหลังอดนมจะมีอาการของกล้ามเนื้อลีบเล็ก ร่างกายไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร มีอาการบวมน้ำ ท้องมาน และโลหิตจาง เป็นต้น การรักษาต้องให้อาหารผู้ป่วยที่ประกอบด้วยพลังงาน วิตามิน เกลือแร่ เพียงพอ รวมทั้งให้โปรตีนคุณภาพดีและย่อยง่าย ได้แก่ dried skimmed milk ซึ่งเป็นอาหารที่มีประโยชน์ที่สุดใช้รักษา kwashiorkor (4)

เนื่องจากพืชเป็นอาหารโปรตีนที่มีราคาถูกกว่า เพราะต้นทุนของการปลูกพืชจะต่ำกว่าการเลี้ยงสัตว์มาก อัตราส่วนของพลังงานที่ได้ : พลังงานที่ต้องใช้ในการผลิตอาหารโปรตีนจากพืชมักสูงกว่า 1 ในขณะที่การผลิตอาหารโปรตีนจากสัตว์จะน้อยกว่า 1 มาก (4) จึงมีนักวิจัยหลายกลุ่มพยายามพัฒนาพืชที่จะให้โปรตีนสูงและคุณภาพดีมาใช้เป็นอาหาร เช่นได้มีการพัฒนาพืชพวกข้าวโดยการผสมพันธุ์ข้าวสาลี (wheat) กับข้าวไรย์ (rye) ได้เป็น tritical (28) ซึ่งสามารถให้ผลผลิตดี ปริมาณโปรตีนสูงและมีคุณภาพของโปรตีนดีขึ้น (25) การพัฒนาหาแหล่งโปรตีนราคาถูกได้มีการค้นคว้ากันมานาน มีการทำโปรตีนสกัดจากพืชทำให้มีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ คือ textured vegetable protein (TVP) เพื่อมาใช้แทนโปรตีนเนื้อสัตว์ การค้นคว้าทำ single cell protein และหาแหล่งโปรตีนจากสาหร่ายและยีสต์ (4,5,12) เป็นต้น เป็นที่ทราบแล้วว่าเห็ดเป็นพืชชั้นต่ำพวกรา เห็ดสามารถเพาะเลี้ยงได้ง่ายเจริญเติบโตเร็วและให้ผลผลิตสูง (6) สามารถเพาะขึ้นได้จากวัสดุเหลือใช้จากพืชต่าง ๆ และปุ๋ยที่ได้จากมูลสัตว์ เป็นต้น ดังนั้นผลผลิตจากเห็ดจึงมีราคาถูก และพบว่าเห็ดมีส่วนประกอบของโปรตีนในปริมาณสูง (7,8) เห็ดสดส่วนใหญ่มีโปรตีน 2-4% ในขณะที่เห็ดแห้งจะมีโปรตีนถึง 20-40% ดังนั้นเห็ดอาจเป็นแหล่งโปรตีนราคาถูกที่ดีแหล่งหนึ่ง การศึกษาถึงคุณค่าทางอาหารของเห็ดโดยละเอียดจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ มีเห็ดหลายพันธุ์ที่นำมาเพาะเลี้ยงเพื่อใช้เป็นอาหาร ได้แก่

เห็ดกระดุม เห็ดหอม เห็ดหูหนู เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม (ภูฐาน) เห็ดนางนวล และเห็ดฟาง เป็นต้น

เห็ดกระดุมหรือเห็ดแชมปิยอง (Agaricus bisporus) จะพบว่ามีการเพาะเลี้ยงมากทางอเมริกาและยุโรป เป็นเห็ดที่ขึ้นได้ดีในประเทศหนาว เห็ดกระดุมสามารถเพาะเลี้ยงได้ทางภาคเหนือของประเทศไทย เห็ดจะขึ้นในช่วงฤดูหนาว เห็ดหอม (Lentinus edodes) เป็นเห็ดที่มีความนิยมสูงสุดชนิดหนึ่ง มีการเพาะเลี้ยงกันมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในต่างประเทศเพราะได้ราคาดี ในประเทศไทยมีการเพาะเลี้ยงเห็ดหอมกันทางภาคเหนือ เห็ดจะเจริญได้ดีในพื้นที่ที่มีอากาศเย็น การรับประทานเห็ดหอมส่วนใหญ่มักไม่ได้คำนึงถึงในเรื่องคุณค่าของอาหารโปรตีนในเห็ดเท่าใดนัก แต่จะพอใจในกลิ่นและรสชาติของเห็ดหอมมากกว่า ในปัจจุบันคนเริ่มให้ความสนใจและเชื่อถือในสรรพคุณอื่น ๆ ของเห็ดหอมที่มีการรายงานว่าเห็ดมีสรรพคุณในการบำบัดรักษาโรคมะเร็ง (29) สารในเห็ดหอมสามารถใช้เป็นยาต้านไวรัส (30) และช่วยลดความดันและลดโคเลสเตอรอล (31,32,33,34) เป็นต้น

เห็ดเพาะเลี้ยงอื่น ๆ สามารถเพาะเลี้ยงได้ทั่ว ๆ ไปตามภาคต่าง ๆ ของประเทศ ที่เห็นทั่วไปตามท้องตลาด ได้แก่เห็ดหูหนู เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม (ภูฐาน) และเห็ดฟาง เป็นต้น ส่วนเห็ดนางนวลจะมีดอกเห็ดเป็นสีชมพูอ่อนจึงทำให้ไม่เป็นที่นิยมรับประทานและมักไม่ค่อยพบเห็นขายตามท้องตลาด เช่นเห็ดอื่น ๆ ดังกล่าว

การศึกษาคุณค่าทางอาหารในแง่ของส่วนประกอบทางเคมีของอาหารของเห็ดเพาะเลี้ยงและเห็ดกินได้ที่ขึ้นเองตามธรรมชาติในประเทศไทยได้มีการศึกษาไว้แล้ว (7,8) รายงานครั้งนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของโปรตีนในเห็ดเพาะเลี้ยง 8 ชนิด ได้แก่เห็ดกระดุม เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล เห็ดหอม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดนางนวล และเห็ดฟาง ซึ่งมีรายชื่อเห็ดภาษาไทย ชื่อสามัญ และชื่อวิทยาศาสตร์ รวบรวมไว้ในตารางที่ 1

<u>การประเมินคุณค่าของโปรตีนในเห็ด</u>

อาหารโปรตีนจากแหล่งต่าง ๆ ควรได้รับการประเมินคุณค่าของโปรตีน แม้ว่าจะเป็นที่ทราบดีแล้วว่าโปรตีนจากสัตว์มักจะมีคุณภาพของโปรตีนดีกว่าโปรตีนจากแหล่งอื่น ๆ ก็ตาม

โปรตีนที่จะใช้เป็นอาหารทุกชนิดควรได้รับการประเมินเพื่อจะได้ทราบถึงคุณค่าทางอาหารของโปรตีนนั้น ทำให้นำมารับประทานได้อย่างถูกต้องและได้รับคุณค่าของอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ การประเมินคุณค่าของโปรตีน โดยการวิเคราะห์ทางเคมีได้แก่การวิเคราะห์หาส่วนประกอบของกรดอมิโน และการคำนวณหาค่า Amino Acid Score หรือ Chemical Score (3,35) ของโปรตีน การวิเคราะห์ทางชีวเคมีเพื่อศึกษาการย่อยของโปรตีน (protein digestibility) ภายนอกร่างกายโดยใช้เอ็นซัยม์หลายชนิด (26,27) ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้ได้ใช้เป็นดรรชนีเบื้องต้นของการประเมินคุณค่าของโปรตีน ที่สามารถทำได้ง่ายภายในเวลาอันรวดเร็ว แต่ข้อมูลที่ได้มักไม่เพียงพอจึงต้องมีการประเมินโดยละเอียดโดยวิธี Animal Bioassay เพื่อดูการเจริญเติบโตของสัตว์วัยอ่อน หรือโปรตีนที่ถูกนำไปเก็บไว้ใช้ในร่างกายของสัตว์ทดลอง เป็นต้น การทดลองทั่ว ๆ ไปมักทำในหนูขาว (rat) อย่างไรก็ดีผู้วิจัยบางคนได้พยายามใช้สัตว์ทดลองอื่น เช่นหนูถีบจักร (mice) แทน (36) เพราะเป็นสัตว์ที่เล็กกว่า ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่า และอาจลดระยะเวลาให้สั้นลงได้ด้วยแต่ยังไม่เป็นวิธีที่นิยม

การประเมินคุณภาพโปรตีนโดยวิธี Animal Bioassay

เป็นวิธีการที่ใช้ในการประเมินคุณค่าของโปรตีนโดยทั่ว ๆ ไปในสัตว์ทดลองโดยให้สัตว์กินอาหารโปรตีนที่ต้องการวิเคราะห์การทดลองมีหลักการสำคัญดังนี้คือ

1. การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก (weight change) ของสัตว์ทดลองวัยอ่อน

2. การสะสมไนโตรเจนไว้ในร่างกาย (nitrogen retention) ของสัตว์ทดลอง

ได้ทำการทดลองในหนูขาว (rat) วัยอ่อนหลังอดนมหรือมีอายุ 21-22 วัน นำมาเลี้ยงอาหารโปรตีนของเห็ดและเฝ้าดูการเจริญเติบโตของสัตว์ทดลองหรือวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนจากซากสัตว์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ดังมีดรรชนีต่าง ๆ ที่ใช้ประเมินดังต่อไปนี้

Protein Efficiency Ratio (PER) ทำการทดลองโดยใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสัตว์ทดลองเมื่อให้สัตว์ทดลองวัยอ่อนรับประทานอาหารโปรตีนทดลองโดยทำการวัดอัตราการเจริญเติบโตคือน้ำหนักที่เพิ่มต่อปริมาณของโปรตีนที่กิน ได้เป็นค่าของ PER ซึ่งใช้เป็นดรรชนีในการแสดงคุณภาพของโปรตีน และเป็นวิธีการที่ยอมรับให้ใช้เป็นวิธีมาตรฐานในการประเมินคุณภาพของโปรตีนของ AOAC : Official Method of Analysis ใน

ปัจจุบัน

การทดลองใช้อาหารที่มี 10% โปรตีน เลี้ยงสัตว์ทดลองนาน 28 วัน ผลของการทดลองโดยใช้ reference casein 10% พบว่าได้ค่า PER เท่ากับ 2.7 ในวันที่ 28 ในขณะที่การเลี้ยงด้วย 8% casein จะให้ค่า PER เพียง 1.7 และการเลี้ยงด้วย 15%casein ให้ค่า PER เท่ากับ 2.7 ซึ่งไม่ต่างจากอาหาร 10% casein (ตารางที่ 8) จะสังเกตได้ว่าการทดลองในทุก 7 วัน พบว่าค่า PER จะสูงใน 7 วันแรก (3.26) และค่าจะลดลงมาในวันที่ 14 (3.00) และวันที่ 21 (2.80) ได้ค่าต่ำสุดในวันที่ 28 (2.75) โดยค่า PER ในวันที่ 21 และ วันที่ 28 ไม่มีความแตกต่างกันมาก

จากการทดลองกับอาหารที่เตรียมให้มีโปรตีนจากเห็ด 10% เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 28 วัน ได้ค่า PER ของเห็ดที่ทดลองดังนี้คือ เห็ดกระดุม = 1.13, เห็ดหอม = 1.85, เห็ดเป๋าฮื้อ = 1.73, เห็ดนางรม = 1.42, เห็ดนางฟ้า = 1.71, เห็ดนางนวล = 1.70 และเห็ดฟาง = 1.37 ดังได้แสดงสรุปไว้ในตารางที่ 17 สำหรับการทดลองกับเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล เมื่อให้อาการที่มีเห็ดล้วน ๆ มีโปรตีนจากเห็ด 6.88% ให้สัตว์กินปรากฏว่าสัตว์ทดลองตายหมดภายใน 4-5 วัน หลังจากกินอาหาร ที่เป็นเช่นนี้เข้าใจว่าคุณสมบัติการพองน้ำมากของเห็ดทำให้เกิดปัญหาการย่อยและการขับถ่ายในสัตว์ทดลอง เพราะเมื่อผ่าตัดดูสัตว์ที่ตายพบว่ามีอาหารแน่นเต็มกระเพาะและทางเดินอาหาร ผลที่ได้หลังจากทำการทดลองใหม่โดยเตรียมอาหารประกอบด้วยอาหารผสม 4% โปรตีนเห็ดหูหนูและ 4% casein ดังมีส่วนผสมในตารางที่ 2 เมื่อใช้เลี้ยงสัตว์มทดลองเป็นเวลา 28 วันจะได้ค่า PER ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 1.80 (ตารางที่ 10,17) การทดลองในเห็ดส่วนใหญ่พบว่าค่า PER ในวันที่ 7 จะมีค่าสูงกว่าและลดลงในวันที่ 14 และ 21 ตามลำดับ ยกเว้นเห็ดกระดุมจะต่างไปอย่างตรงกันข้าม เช่นเดียวกับที่มีผู้รายงานไว้แล้วในการทดลองหาค่า PER ของ casein พบว่ามีค่าสูงสุดในวันที่ 7 และลดลงมาเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 28 ซึ่งพบว่าการทดลองแต่ละครั้งอาจมีค่าแตกต่างกันได้ (15) การทดลองนี้ได้ค่า PER ของ casein ตั้งแต่ 3.15-2.68 ซึ่งสอดคล้องกับที่มีรายงานไว้แล้ว (15,37,38)

จากการคำนวณหาค่า PER Adjusted โดยการปรับค่า PER ของ casein ให้เป็นค่าคงที่มาตรฐานค่าหนึ่งเท่ากับ 2.5 เป็น PER Adjusted ของ casein และการ

คำนวณค่า Relative PER (RPER) โดยปรับค่า casein เป็น 100 พบว่าค่า PER Adjusted ของเห็ดกระดุม = 1.0, เห็ดหอม = 1.7, เห็ดเป๋าฮื้อ = 1.6, เห็ดนางรม = 1.3, เห็ดนางฟ้า = 1.6, เห็ดนางนวล = 1.6, เห็ดฟาง = 1.2 และเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 2.6 ส่วนค่า RPER ของเห็ดกระดุม = 42, เห็ดหอม = 67, เห็ดเป๋าฮื้อ = 64, เห็ดนางรม = 53, เห็ดนางฟ้า = 64, เห็ดนางนวล = 63, เห็ดฟาง = 50 และเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 106 (ตารางที่ 18, 19) เพื่อให้การรายงานสามารถเปรียบเทียบกันได้ในแต่ละการทดลองจากห้องทดลองต่างๆ จึงนิยมให้รายงานเป็นค่า RPER หรือ PER Adjusted ดังมีรายงานค่า PER Adjusted ของโปรตีนพืชที่มีผู้ทดลองได้แก่ โปรตีนจากขนมปังแป้งข้าวสาลี = 0.90 (15), ถั่วเหลือง = 2.5, ข้าวเจ้า = 1.0, ข้าวสาลี = 1.0, ขนมปัง = 0.5, แป้งข้าวโพด = 0 (12) โปรตีนแยกจากถั่วเหลือง (soy protein isolate) = 1.20 (37) ข้าวสาลี = 1.50, ข้าวโพด = 1.35, และ tritical = 1.69 (25) โปรตีนจากถั่วลิสง = 0.47, โปรตีนจากข้าวสาลี = 0.54 (38) เป็นต้น เมื่อพิจารณาค่า PER Adjusted ของเห็ดจากการทดลองนี้ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1.0-1.7 จะเห็นได้ว่าค่า PER ของเห็ดโดยทั่ว ๆ ไปจะสูงกว่าค่า PER ของพืชอื่น ๆ หลายชนิดที่กล่าวแล้ว

จะสังเกตได้ว่าปริมาณการกินอาหารของสัตว์ทดลองเมื่อให้กินอาหารเห็ด (ตารางที่ 9-16) หนูจะกินอาหารได้มากใกล้เคียงกับที่หนูกินอาหาร casein (กินอาหารประมาณ 400 กรัม คิดเป็นประมาณ 40 กรัมโปรตีนใน 28 วัน ดังตารางที่ 4-7) ยกเว้นเห็ดกระดุมและเห็ดฟาง ซึ่งสัตว์กินได้น้อย แสดงว่าสัตว์ทดลองพอใจอาหารที่ทดลองและกินอาหารได้ปกติ และค่า PER ของเห็ดต่ำกว่า casein มิได้เนื่องจากสัตว์กินอาหารได้น้อย แต่อาจเป็นเพราะความสามารถการย่อยและการดูดซึมอาหารได้น้อยทำให้การเพิ่มน้ำหนักของสัตว์ทดลองน้อยกว่าที่เลี้ยงด้วย casein อย่างไรก็ดีอาหารโปรตีนพืช เมื่อให้ร่วมกับโปรตีนอื่น ๆ สามารถช่วยดึงค่า PER และ RPER ให้สูงขึ้นได้ (15) จากการทดลองของ Vega et al. (39) หาค่า PER ของพืชพวกถั่ว (velvet bean) พบมีค่าเพียง 0.20 แต่เมื่อให้ร่วมกับ 0.6% Methionine หรือให้ร่วมกับแป้งข้าวสาลีสามารถดึงค่า PER ขึ้นมาเป็น 1.45 และ 2.10 ตามลำดับ แสดงว่าการเพิ่มพวกกรดอมิโนที่มักขาดในพืชเหล่านั้น สามารถทำให้มีคุณค่าของโปรตีนเพิ่มขึ้นได้ จากผลการวิเคราะห์กรดอมิโนของเห็ดเหล่านี้ พบว่าเห็ดมักขาดกรดอมิโนพวก methionine และ

cysteine (7,8) ดังนั้นอาจเสนอแนะได้ว่าการรับประทานเห็ดร่วมกับพืชอื่นที่มีกรดอมิโน methionineและ cysteine สูง เช่นเมล็ดงา (40,41) อาจช่วยดึงคุณค่าอาหารของเห็ดให้สูงขึ้นได้ และจากการทดลองกับอาหารเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาลที่ผสมอาหาร 4% โปรตีนเห็ด กับ 4% casein พบว่าให้ค่า PER Adjusted เท่ากับ 2.6 ซึ่งสูงกว่าค่าของ casein (ตารางที่ 19)

อย่างไรก็ตามยังมีผู้วิจัยบางคนให้ข้อโต้แย้งการใช้ค่า PER เป็นมาตรฐานในการประเมินคุณค่าของโปรตีน เนื่องจากมีข้อเสียของความผันแปรของค่า PER ขึ้นกับปริมาณของโปรตีนที่กิน ค่า PER จะสูงเมื่อสัตว์ทดลองกินอาหารได้มาก และค่า PER จะต่ำเมื่อสัตว์ทดลองกินอาหารได้น้อย (12,42) ดังนั้นการวิจัยเพื่อศึกษาคุณภาพของโปรตีนจึงมักใช้วิธีการประเมินอื่น ๆ ที่ให้ค่าผันแปรได้น้อยกว่าได้แก่ NPR และ NPU มาเปรียบเทียบกับค่า PER

Net Protein Ratio (NPR) วิธีการทดลองมีหลักการเช่นเดียวกับ PER ทำโดยวัดอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์ทดลองวัยอ่อน การทดลองจะคำนึงถึงการนำโปรตีนไปใช้ในการดำรงชีวิตตามปกติ (maintenance) ของสัตว์ทดลองด้วย โดยการเพิ่มกลุ่มสัตว์ทดลองที่ให้กินอาหารปราศจากโปรตีน วิธีการนี้จะได้ค่า NPR ใช้เป็นดรรชนีในการประเมินคุณค่าของโปรตีนวิธีหนึ่งที่ให้ค่าที่มีความผันแปรน้อยกว่าค่า PER (12,14) จากการทดลองหาค่า NPR ของ 10% casein มีค่าเท่ากับ 3.2 ในการทดลอง 28 วัน การเลี้ยงด้วย 15% caseinไม่ได้ทำให้มีค่า NPR เพิ่มขึ้น ส่วนการเลี้ยงด้วย 8% caseinจะได้ค่า NPR เพียง 2.9 และเช่นเดียวกัน ค่า NPR จะสูงในวันที่ 7 และลดลงในวันที่ 14 วันที่ 21 และวันที่ 28 ตามลำดับ (ตารางที่ 24) เมื่อเปรียบเทียบค่า NPR ของ casein ในวันที่ 28 จะสอดคล้องกับค่า NPR ของ casein ที่มีรายงานไว้แล้วเท่ากับ 3.39 (15) และ 3.30 (25) เป็นต้น จะเห็นว่าค่า NPR ในการทดลองแต่ละครั้งมีค่าผันแปรน้อยกว่าค่า PER จากการทดลองด้วยอาหารตัวอย่างเห็ดมีค่า NPR ดังนี้คือ เห็ดกระดุม = 1.86, เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 2.49, เห็ดหอม = 2.36, เห็ดเป๋าฮื้อ = 2.30, เห็ดนางรม = 1.87, เห็ดนางฟ้า = 2.08, เห็ดนางนวล = 2.17 และ เห็ดฟาง = 1.95 (ตามรางที่ 33) การคำนวณค่า RNPR โดยเทียบค่า RNPR ของ casein เป็น 100 จะได้ค่า RNPR ดังนี้คือ

เห็ดกระดุม = 57.80, เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 89.01, เห็ดหอม = 72.16 เห็ดเป๋าฮื้อ = 71.91, เห็ดนางรม = 58.44, เห็ดนางฟ้า = 65.00, เห็ดนางนวล = 62.72, และเห็ดฟาง 59.18 เมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 28 (ตารางที่ 34-39)

เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนพืชอื่น ๆ ได้แก่โปรตีนจากขนมปังแป้งข้าวสาลีมีค่า NPR เพียง 1.57 และมีค่า RNPR เท่ากับ 46 เมื่อปรับค่า RNPR ของ casein เท่ากับ 100 และการให้โปรตีนอื่นร่วมด้วยจะช่วยทำให้มีค่า RNPR เพิ่มขึ้นได้ (15) พืชพวกข้าวโพดและข้าวสาลี มีผู้รายงานว่า มีค่า NPR เท่ากับ 2.12 และ 2.48 ตามลำดับ (25) จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกับเห็ดหลายชนิดที่นำมาทดลองในครั้งนี้

Net Protein Utilization (NPU) ทำการทดลองโดยใช้หลักการของการเก็บสะสมไนโตรเจนไว้ในร่างกาย เมื่อให้สัตว์ทดลองวัยอ่อนรับประทานอาหารโปรตีนที่ต้องการทดลองโดยทำการวัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจากซากสัตว์ทดลอง (carcass N) ที่สัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนจากอาหารที่กิน (16) ซึ่งการทดลองเป็นเทคนิคการวัดสมดุลย์ของไนโตรเจน (N balance technique) โดยการทดลองได้คำนึงถึงการใช้สารอาหารไปเพื่อการดำรงชีวิตตามปกติด้วย จึงต้องเพิ่มกลุ่มของสัตว์ทดลองที่ให้กินอาหารปราศจากโปรตีน (zero protein) อีก 1 กลุ่ม วัดผลเป็นค่า NPU ซึ่งพบว่าเป็นค่าที่มีความแน่นอนกว่า แต่วิธีการค่อนข้างยุ่งยากและต้องมีการฆ่าสัตว์ทดลอง จากการทดลองได้ค่า NPU ของอาหาร 10% casein ประมาณ 48-69 (ตารางที่ 40)

การทดลองหาค่า NPU ของอาหารเห็ดต่าง ๆ ที่นำมาวิจัยพบว่าได้ค่า NPU ของเห็ดกระดุม = 27.31, เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 28.48, เห็ดหอม = 29.23, เห็ดเป๋าฮื้อ = 31.31, เห็ดนางรม = 31.46, เห็ดนางฟ้า = 34.30, เห็ดนางนวล = 29.38 และเห็ดฟาง = 31.30 (ตารางที่ 41) จากผลการทดลองนี้พบว่า ค่า NPU ของอาหารเห็ดมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับผลการทดลองของ PER และ NPR เมื่อเปรียบเทียบค่า Chemical Score กับ NPU ในตารางที่ 50 จะสังเกตได้ว่าค่าของ NPU ของเห็ดทุกชนิดที่ทดลองให้ค่าต่ำกว่า

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่า Chemical Score ซึ่งเป็นค่าของ Amino Acid Score ของกรดอมิโนที่ให้ค่าต่ำสุดในเห็ด ที่คำนวณมาจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบกรดอมิโน Chemical Score มีค่าตั้งแต่ 33 ถึง 67 ในขณะที่ NPU มีค่าตั้งแต่ 27 ถึง 34 ซึ่งผลที่ได้นี้นับว่าสอดคล้องตามข้อคิดเห็นที่ว่าค่า Chemical Score หรือ Amino Acid Score ของโปรตีน เป็นวิธีการประเมินคุณภาพของโปรตีนที่ถือว่าโปรตีนทั้งหมดถูกย่อยได้และถูกนำไปใช้ได้ทั้งหมด แต่ความเป็นจริงไม่เป็นเช่นนั้น จึงทำให้พบว่า Amino Acid Score มักมีค่าสูงกว่าค่า NPU เสมอ (3) เนื่องจาก NPU เป็นค่าที่ได้จากการวัดไนโตรเจนที่ถูกดูดซึมเข้าไปเก็บสะสมไว้ใช้ในร่างกายหลังจากโปรตีนนั้นถูกย่อยแล้ว และจากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าเห็ดชนิดที่มีค่าการย่อย (TD) ประมาณ 55-65% จะมี Chemical Score ของมันมีค่าเป็นประมาณ 1.6-2.0 เท่าของค่า NPU สำหรับเห็ดฟางที่มีค่า TD 74% พบว่ามีค่า Chemical Score เป็น 1.07 เท่าของค่า NPU ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าความสามารถการย่อยมากหรือน้อยจะมีผลต่อค่า NPU ด้วย

True Digestibility (TD) การทดลองใช้หลักการของการเก็บสะสมไนโตรเจนไว้ในร่างกาย ทำโดยการวัดปริมาณของไนโตรเจนในอาหารที่กินและที่ขับถ่ายถ้าสัตว์ทดลองไม่สามารถย่อยอาหารที่กินได้มันก็จะถูกขับถ่ายออกมาทั้งหมด จากการทดลองดูการย่อย casein ในสัตว์ทดลองพบว่ามีค่าประมาณ 86-88% (ตารางที่ 42) ส่วนอาหารเห็ดมีค่า TD พบอยู่ในช่วงตั้งแต่ 53-74% (ตารางที่ 43) ในขณะที่การทดลอง Digestibility (in vitro) พบมีค่าประมาณ 74-77% (ตารางที่ 45) พบว่าอัตราการกินอาหารและการขับถ่ายออกของ casein จะมีการขับถ่ายประมาณ 8% ของอาหารที่กินแสดงว่าอาหารส่วนใหญ่ถูกดูดซึมเอาไปใช้ในขณะที่อัตราการขับถ่ายของอาหารเห็ดพบว่าขับถ่ายถึง 25-40% ของอาหารที่กินแสดงว่าอาหารเห็ดถูกย่อยได้น้อยกว่าและส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะไม่ดูดซึมซึ่งในที่สุดจะถูกขับถ่ายออกมาหมด มีรายงานวิจัยของการย่อยโปรตีนของเห็ดหอมในคนโดยนักวิจัยชาวญี่ปุ่น (43) พบว่ามีค่าประมาณ 68 $\pm$ 36 ซึ่งค่อนข้างผันแปรมาก แต่จากการทดลองในหนูครั้งนี้ได้ค่า 53.27 $\pm$ 4.90 (ตารางที่ 43)

Protein Digestibility (in vitro) เป็นวิธีการทดลองภายนอกร่างกายเพื่อหาค่าการย่อยของโปรตีน วิธีนี้นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการประเมินคุณภาพของโปรตีนทาง

ชีวเคมี เพราะสามารถทำได้ง่ายในเวลาอันรวดเร็ว สิ้นเปลืองแรงงานและค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการทดลองโดยวิธี animal bioassay ได้มีการพัฒนาวิธีการโดยใช้เอ็นซัยม์ย่อยโปรตีนหลายชนิด เริ่มจากการทดลองของ Akeson และ Stahmann (44) ใช้เอ็นซัยม์ pepsin-pancreatin พบว่าสามารถประมาณผลการย่อยของโปรตีนได้ดี Ford และSalter (45) ใช้เอ็นซัยม์จากเชื้อ Streptomyces griseus พบว่าใช้ได้ผลดีในการคาดคะเนการย่อยของโปรตีน Saunder et al (46) ได้พัฒนาการใช้เอ็นซัยม์ร่วมของ papain-trypsin พบว่าใช้ได้ผลดีกว่าการใช้เอ็นซัยม์ย่อยโปรตีน papain เพียงตัวเดียว (47,48) ในการทดลองแบบ in vitro system การทดลองของ Maga et al (49) ให้ข้อสังเกตว่าการวัดที่ initial rate ของการทำงานของเอ็นซัยม์จะให้ค่าที่ถูกต้องดีกว่า จนกระทั่งในที่สุดได้มีการพัฒนาใช้เอ็นซัยม์หลายตัวร่วมกัน (multienzyme system) โดย Hsu et al (22) และ Satterlee et al (26) และมีวิธีการทดลองที่ยุ่งยากน้อยลง มีการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ In vitro protein digestibility โดยใช้เอ็นซัยม์หลายตัว พบว่าให้ผลที่มีสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ดีกับการทดลองในหนูและในคน (27) เช่นเดียวกับการใช้เอ็นซัยม์จากหนูและคน (50,51) ในปัจจุบันวิธีการ In Vitro Protein Digestion ในการย่อยโปรตีนได้ยอมรับเข้าไว้เป็นวิธีการมาตรฐานวิธีหนึ่งของ AOAC : Official Methods of Analysis ในปี 1984 (52) ในการประเมินคุณค่าโปรตีน เพื่อหาค่า PER โดยการคำนวณ การทดสอบการย่อยโปรตีนของเห็ดภายนอกร่างกาย ได้ทำตามวิธีที่เสนอแนะขึ้นโดย Satterlee et al (26) และปรับปรุงตามวิธีของ Marshall et al (50)และ Bodwell et al (27) ได้ทำการย่อยโปรตีนจากตัวอย่างของเห็ดที่มีทั้งตัวอย่างสด, ต้มสุก และตัวอย่างสุกอบแห้ง จากผลการทดลองในตารางที่ 44 แสดงให้เห็นว่าค่าการย่อยของโปรตีนในเห็ดสดจะต่ำกว่าการย่อยได้ในเห็ดต้มสุกซึ่งพบมีการย่อยประมาณ 70-75% และ 82-85% ตามลำดับ ส่วนเห็ดต้มสุกอบแห้งจะมีการย่อยได้ดีกว่าเห็ดสดแต่น้อยกว่าเห็ดต้มสุกโดยพบมีค่าการย่อยประมาณ 73-77% ในขณะที่โปรตีนมาตรฐาน ANRC casein และ Sodium Caseinate จะถูกย่อยได้ 90.00% และ 83.64% ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้ที่พบว่าเห็ดสดมีค่าการย่อยต่ำกว่าเห็ดต้มสุกอาจเกิดจากสาเหตุที่เป็นไปได้ 2 ประการคือ

1. ความร้อนอ่อน ๆ จากการต้มเห็ดจะทำให้โปรตีนเปลี่ยนสภาพไปและช่วยให้มันถูกย่อยด้วยเอ็นซัยม์ได้ดีขึ้น (4)

2. ในเห็ดสดอาจมีสารพวก trypsin inhibitor ซึ่งสามารถถูกทำลายไปได้โดยความร้อน จึงทำให้มีการย่อยเกิดขึ้นได้ดีกว่าในเห็ดสด สาร trypsin inhibitor สามารถพบได้เสมอในพืชพวกถั่วและธัญพืชหลายชนิด (53) สารนี้ควรได้มีการตรวจสอบในเห็ดเพื่อยืนยันต่อไป

การที่เห็ดอบแห้งถูกย่อยได้น้อยกว่าเห็ดต้มสุกอาจเกิดจากเหตุผลที่ว่าความร้อนที่ให้มากและนานเกินไปจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบางอย่างของกรดอมิโนของโปรตีน เช่นการเกิด Maillard Reaction และทำให้เปลี่ยนแปลงที่กรดอมิโนหลายชนิดจนทำให้การย่อยของโปรตีนเห็ดอบแห้งลดลง

เมื่อเปรียบเทียบการย่อยของเห็ดที่ทำการทดลอง in vitro และ in vivo (โดย rat bioassay) จะเห็นได้จากตารางที่ 45 ว่าเห็ดส่วนใหญ่จะให้ค่าการย่อยที่ทำในสัตว์ทดลองต่ำกว่าการย่อยในหลอดทดลอง ยกเว้นเห็ดฟางค่าที่ได้เท่ากับ 73.99% และ 74.40% เมื่อทำใน in vitro และ in vivo ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จะไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

Biological Value (BV) การทดลองใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในร่างกาย ทำการทดลองโดยวัดไนโตรเจนของซากสัตว์ที่ได้มาจากอาหารที่กินและถูกดูดซึมเข้าไปเก็บสะสมไว้ในร่างกายหลังจากถูกย่อยได้ในทางเดินอาหาร ที่สัมพันธ์กับความแตกต่างระหว่างอาหารที่กินและที่ถูกขับถ่าย BV คือค่าของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ถูกดูดซึมเข้าไปเก็บสะสมไว้ในร่างกาย ดังนั้น BV จึงเป็นค่าของ NPU หารด้วย TD (11,24) จากการทดลองหาค่า BV ของ casein พบมีค่าตั้งแต่ 51-76 (ตารางที่ 47) และค่า BV ที่หาจากความสัมพันธ์ของ NPU และ TD มีค่าตั้งแต่ 55-80 (ตารางที่ 46, 47) มีรายงานค่า BV ของ casein ไว้ว่ามีค่า 0.7 หรือ 70 (12) จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าค่า BV ของ casein ในแต่ละกลุ่มส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่า 70 แต่จะอยู่ในช่วงประมาณ 55-65

การทดลองหาค่า BV ของเห็ดโดยวิธีหาความสัมพันธ์ของ NPU และ TD ได้ค่า BV ดังนี้คือ เห็ดกระดุม = 39.71, เห็ดหูหนู = 53.37, เห็ดหอม = 56.61, เห็ดเป๋าฮื้อ = 56.66, เห็ดนางรม = 51.51, เห็ดนางฟ้า = 57.46, เห็ดนางนวล = 51.25, และเห็ดฟาง = 42.02 (ตารางที่ 48) ส่วนค่า BV จากการทดลอง (ตารางที่ 49) มีค่าดังนี้ เห็ดกระดุม = 36.08, เห็ดหูหนู = 47.78, เห็ดหอม = 57.78, เห็ดเป๋าฮื้อ = 55.73, เห็ดนางฟ้า = 60.81, เห็ดนางรม = 53.07, เห็ดนางนวล = 46.16 และเห็ดฟาง = 40.14 จะเห็นได้ว่าเห็ดที่นำมาทดลองมีค่า BV ต่ำกว่า 60 ซึ่งคล้ายกับที่พบในพืชพวกธัญพืชและถั่วส่วนใหญ่ (4,12) ดังนั้นร่างกายอาจไม่ได้รับสารอาหารโปรตีนอย่างเพียงพอถ้าจะรับประทานพืชพวกนี้ชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว (12) เนื่องจากพืชเหล่านี้มักมีกรดอมิโนบางตัวประกอบอยู่อย่างจำกัด อย่างไรก็ตามการรับประทานอาหารโปรตีนพืชร่วมกับโปรตีนจากสัตว์เพียงเล็กน้อยหรือร่วมกับโปรตีนจากพืชอื่น ๆ ในอาหารแต่ละมื้อจะช่วยเพิ่มคุณภาพของโปรตีนพืชเหล่านี้ได้ (15,39)

จากการทดลองนี้เป็นที่น่าสังเกตว่าในการทดลองหาคุณค่าอาหารของเห็ดหูหนู พบว่าเมื่อใช้เห็ดหูหนูล้วน ๆ ทำการทดลองไม่ได้ผล เพราะสัตว์ตายหมดก่อนสิ้นสุดการทดลอง แต่เมื่อทำการทดลองใหม่โดยใช้อาหารผสมของเห็ดหูหนูให้มี 4% ของโปรตีนจากเห็ดผสมกับ 4% casein ปรากฏว่าหนูกินอาหารได้และให้ค่า RPER และ RNPR เท่ากับ 106 และ -89.01 ตามลำดับ เมื่อเทียบ RPER และ RNPR ของ casein มีค่าเป็น 100 (ตารางที่ 50)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นได้ว่าเห็ดมีคุณค่าทางอาหารดีพอควร อาจดีกว่าพืชผักอื่น ๆ หลายชนิดในแง่ของส่วนประกอบสารอาหารและปริมาณโปรตีนของเห็ดพบมีในระดับค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ดีคุณภาพของโปรตีนจากเห็ดยังนับว่าต่ำกว่าคุณภาพของโปรตีนจากสัตว์ประมาณเกือบเท่าตัว ทั้งนี้เพราะเห็ดมีกรดอมิโนบางตัวได้แก่ MET LYS และ LEU ในจำนวนจำกัด และความสามารถการย่อยเห็ดไม่ดีนัก ทำให้กรดอมิโนไม่ถูกนำไปใช้ได้ทั้งหมด อย่างไรก็ดีจุดอ่อนเหล่านี้แก้ไขให้ดีได้โดยการรับประทานโปรตีนจากแหล่งอื่น ๆ เพิ่มเข้าไปในแต่ละมื้อโดยเฉพาะอย่างยิ่งการรับประทานโปรตีนจากเนื้อสัตว์ที่ถือเป็นพวก complete

protein หรือรับประทานโปรตีนพืชอื่น ๆ ที่มีกรดอมิโนที่ขาดในเห็ดได้แก่ เมล็ดงา ซึ่งเป็นแหล่งที่ให้ MET และ CYS ที่ดี (40,41) ก็จะทำให้ช่วยเพิ่มคุณภาพของโปรตีนของเห็ดได้ หรือการรับประทานเห็ดหลาย ๆ ชนิดรวมกันโดยการเลือกเห็ดชนิดที่จะเพิ่มกรดอมิโนตัวที่ขาดของเห็ดอีกชนิดหนึ่ง ร่วมกันในอาหารแต่ละมื้อ ก็ควรจะช่วยให้โปรตีนของเห็ดถูกนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพได้

มีวิธีที่ช่วยแก้ไขการขาดอาหารโปรตีนของประเทศด้อยพัฒนาซึ่งคนมักจะรับประทานพืชเป็นอาหารหลัก และพืชมักมีคุณภาพของโปรตีนต่ำกว่าเนื้อสัตว์ ดังนั้นการจะรับประทานอาหารเหล่านี้เพื่อให้ร่างกายได้รับโปรตีนอย่างเพียงพอจะต้องคำนึงถึงคุณภาพของโปรตีนว่าสามารถย่อยได้ทั้งหมดและกรดอมิโนสามารถถูกดูดซึมไปใช้ได้ทั้งหมดหรือไม่ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงมักจะแนะนำให้รับประทานเกินความต้องการต่ำสุดเพื่อป้องกันการขาด เช่น ผู้ใหญ่ปกติต้องการโปรตีนประมาณ 30-40 กรัม/วัน (0.6 กรัม/ก.ก.น้ำหนักตัว) ควรจะรับประทานอาหารให้มีโปรตีนประมาณ 36-46 กรัม/วัน แต่ถ้าอาหารโปรตีนมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน เช่นมีค่า BV ประมาณ 60% จะต้องเพิ่มปริมาณการรับประทานเพิ่มขึ้นเป็น 48-62 กรัม/วัน (12) เป็นต้น เพื่อที่ร่างกายจะได้รับโปรตีนเพียงพอแก่ความต้องการในแต่ละวัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเห็ดเป็นพืชพวกหนึ่งที่พบว่าให้ค่า Chemical Score และ BV ประมาณ 50-60% จึงอาจเสนอแนะได้ว่า การรับประทานเห็ดสดประมาณวันละ 2 กิโลกรัม อาจทำให้ได้รับปริมาณโปรตีนเพียงพอแก่ความต้องการของร่างกายได้ อย่างไรก็ดีการรับประทานเห็ดร่วมไปกับโปรตีนเนื้อสัตว์ ไข่ และนมเพียงวันละประมาณ 100 กรัม จะช่วยเพิ่มคุณภาพของโปรตีนเห็ดให้สูงขึ้นและอาจไม่จำเป็นต้องรับประทานเห็ดมากถึงวันละ 2 กิโลกรัม อาจกล่าวได้ว่าเห็ดอาจเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่ดีอีกแหล่งหนึ่งสำหรับผู้ที่ไม่รับประทานเนื้อสัตว์เช่นเดียวกับพืชจำพวกธัญพืชและถั่วต่าง ๆ ที่ใช้รับประทานกันเป็นประจำอยู่แล้ว

จากข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ทำให้มีข้อเสนอแนะได้ว่าในกรณีที่จะใช้เห็ดเป็นแหล่งอาหารที่ให้โปรตีนเพียงแหล่งเดียว ในผู้ใหญ่ปกติควรจะรับประทานเห็ดสดต่าง ๆ วันละประมาณ 2 กิโลกรัม ร่างกายควรจะได้รับโปรตีนพอเพียงแก่ความต้องการ หรือการรับประทานเห็ดสดเพียงวันละประมาณ 1 กิโลกรัม หรือต่ำกว่าร่วมกับโปรตีนสัตว์ เช่นเนื้อ หรือไข่เพียง 100 กรัม (มีประมาณ 20-30 กรัมโปรตีน) ก็ควรจะได้รับโปรตีนเพียงพอ ทั้งนี้ยังไม่รวมถึงโปรตีนที่จะ

ได้รับจากแหล่งอื่นเช่นข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักที่ใช้รับประทานเป็นประจำอยู่แล้ว ซึ่งข้าวสวย 100 กรัม จะให้โปรตีนประมาณ 2-2.5 กรัม (9) การรับประทานข้าวสวยวันละ 3 ถ้วย (500-600 กรัม) ร่างกายจะได้รับโปรตีน 10-15 กรัม โดยประมาณ ดังนั้นโปรตีนทั้งหมดที่ได้รับจากการกินอาหารเช่นนี้ จึงควรจะพอเพียงแก่ความต้องการของร่างกายตามปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุป

การประเมินคุณภาพของโปรตีนโดยวิธี Animal Bioassay และโดยวิธีทางชีวเคมี โดยใช้เอ็นซัยม์ย่อยโปรตีนภายนอกร่างกาย ของเห็ดเพาะเลี้ยงทั้งหมด 8 พันธุ์ได้แก่ เห็ดกระดุม เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล เห็ดหอม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดนางนวล และเห็ดฟาง ได้ทำการศึกษาค่าดรรชนีต่าง ๆ ที่ใช้แสดงคุณภาพของโปรตีนโดยวิธีวิเคราะห์ในสัตว์ทดลองได้แก่ PER, NPR, NPU, BV และ TD และการศึกษาการย่อยโดยวิธีทางชีวเคมี โดยใช้เอ็นซัยม์ย่อยโปรตีนภายนอกร่างกาย หาค่า Protein Digestibility ของเห็ดที่นำมาวิจัยทั้งหมดดังกล่าวได้ผลการทดลองสรุปได้ดังต่อไปนี้

เห็ดกระดุมหรือเห็ดแชมปิยอง (Agaricus bisporus) หรือเรียกว่า Champignon หรือ Botton mushroom นำมาเตรียมอาหารที่มี 10% โปรตีนเห็ด เลี้ยงหนูวัยอ่อนเป็นเวลา 28 วัน พบมีค่า PER = 1.13 $\pm$ 0.16 (10% casein = 2.70) RPER = 42, PER Adjusted = 1.0, ค่า NPR เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 28 วันมีค่าเท่ากับ 1.86 $\pm$ 0.31 (10% casein= 3.22), RNPR = 57.80, NPU ของเห็ดกระดุม = 27.31 $\pm$ 4.80 และ BV = 39.71 $\pm$ 5.28 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 28 วัน ค่า TD ของเห็ดกระดุม = 68.70 $\pm$ 6.28 และมี protein digestibility (in vitro) = 76.47 เห็ดกระดุม มีค่า Chemical Score = 46.2 (LYS) มี lysineเป็น limiting amino acid

เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล (Auricularia polytricha) หรือเรียกว่า Jew's ear mushroom นำมาเตรียมอาหารที่มี 6.88% โปรตีนเห็ด ซึ่งเป็นอาหารที่มีเห็ดล้วน ๆ ผสมกับไขมันและวิตามินครบตามกำหนดในสูตรอาหารมาตรฐานโดยไม่มีการเติมแป้งและน้ำตาลอีก เมื่อใช้เลี้ยงหนูสัตว์ทดลองจะตายหมดภายใน 4-5 วัน แต่เมื่อเตรียมสูตรอาหารเห็ดหูหนูที่มี 4% โปรตีนเห็ดผสม 4% casein เลี้ยงสัตว์ทดลองวัยอ่อนเป็นเวลา 28 วัน พบมีค่า PER = 1.80 $\pm$ 0.14 (8% casein = 1.70), RPER = 106, PER Adjusted = 2.6 ค่า NPR หลังจากสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 28 มีค่า 2.49 $\pm$ 0.18 (8% casein = 2.88), RNPR = 89.01, NPU ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 28.48 $\pm$ 7.95 และ BV = 53.37

± 20.74 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 28 วัน ค่า TD ของเห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล = 56.14 ± 8.68 และมี protein digestibility (in vitro) = 73.26 เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาลมีค่า Chemical Score = 46.6 (MET) มี methionine เป็น limiting amino acid

เห็ดหอม (Lentinus edodes) หรือเรียกว่า Shiitake นำมาเตรียมอาหาร 10% โปรตีนเห็ด เลี้ยงสัตว์ทดลองคือหนูวัยอ่อนเป็นเวลา 28 วัน ได้ค่า PER = 1.85 ± 0.21 (10% casein = 2.75), RPER = 67, PER Adjusted = 1.7, ค่า NPR เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 28 วันมีค่า = 2.36 ± 0.23 (10% casein= 3.27), RNPR = 72.16, NPU ของ เห็ดหอม = 29.23, และ BV = 56.61 ± 9.79 เมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 28 ค่า TD ของเห็ดหอม = 53.27 ± 4.91 และมีค่า protein digestibility (in vitro) = 76.92 เห็ดหอมมีค่า Chemical Score = 41.7 (MET) มี methionine เป็น limiting amino acid

เห็ดเป๋าฮื้อหรือเห็ดหอยโข่งทะเล (Pleurotus cystidiosus) หรือเรียกว่า Abalone mushroom เตรียมอาหารที่มี 10% โปรตีนเห็ดเลี้ยงหนูวัยอ่อน เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 28 วัน ให้ค่า PER = 1.73 ± 0.14 (10% casein = 2.68), RPER = 64, PER Adjusted = 1.6, ค่า NPR เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 28 วัน มีค่า = 2.30 ± 0.15 (10% casein= 3.20), RNPR = 71.91 , NPU ของเห็ดเป๋าฮื้อ = 31.31 ± 3.78 และ BV = 56.66 ± 7.30 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 28 วัน ค่า TD ของเห็ดเป๋าฮื้อ = 55.46 ± 4.11 และมีค่า protein digestibility (in vitro) = 75.12 เห็ดเป๋าฮื้อมีค่า Chemical Score = 59.1 (MET) มี methionine เป็น limiting amino acid

เห็ดนางรมหรือเห็ดหอยนางรม (Pleurotus ostreatus) หรือเรียกว่า Oyster mushroom นำมาเตรียมอาหาร 10% โปรตีนเห็ด เลี้ยงหนูวัยอ่อนเป็นเวลา 28 วัน มีค่า PER = 1.42 ± 0.16 (10% casein = 2.68), RPER = 53, PER Adjusted = 1.3, ค่า NPR เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 28 วันมีค่า = 1.87 ± 0.18 (10% casein= 3.20), RNPR = 58.44, NPU ของเห็ดนางรม = 31.46 ± 2.04 และ BV = 51.51 ± 4.43 หลังจากสิ้นสุดการทดลองนาน 28 วัน ค่า TD ของเห็ดนางรม = 61.24 ± 3.92, และมีค่า

protein digestibility (in vitro) = 74.21 เห็ดนางรม มีค่า Chemical Score = 67.1 (MET) มี methionine เป็น limiting amino acid

เห็ดนางฟ้า (Pleurotus sajor-caju) หรือเรียกว่า Indian oyster mushroom นำมาเตรียมอาหารที่มี 10 % โปรตีนเห็ด เลี้ยงหนูวัยอ่อนในการทดลอง 28 วัน ได้ค่า PER = 1.71 ± 0.08 (10% casein = 2.68), RPER = 64, PER Adjusted = 1.6, ค่า NPR หลังจากสิ้นสุดการทดลอง 28 วัน มีค่า 2.08 ± 0.09 (10% casein = 3.20), RNPR = 65, NPU ของเห็ดนางฟ้า = 34.30 ± 1.52 และ BV = 57.46 ± 3.89 หลังสิ้นสุดการทดลอง 28 วัน ค่า TD ของเห็ดนางฟ้า = 59.84 ± 2.84 และค่า protein digestibility (in vitro) = 73.76 เห็ดนางฟ้ามีค่า Chemical Score = 60.0 (LEU) มี leucine เป็น limiting amino acid

เห็ดนางนวล (Pleurotus sp.) เมื่อเตรียมอาหารมี 10% โปรตีนเห็ด เลี้ยงหนูวัยอ่อน เป็นเวลานาน 28 วัน พบมีค่า PER = 1.70 ± 0.21 (10% casein = 2.68), RPER = 63, PER Adjusted = 1.6, ค่า NPR เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 28 วัน มีค่า = 2.17 ± 0.23 (10% casein= 3.20), RNPR = 67.72, ค่า NPU ของเห็ดนางนวล = 29.38 ± 2.27 และ BV = 51.25 ± 5.70 หลังสิ้นสุดการทดลอง 28 วัน ค่า TD ของเห็ดนางนวล = 57.85 ± 6.38 และมีค่า protein digestibility (in vitro)= 76.13 เห็ดนางนวลมีค่า Chemical Score = 46.3 (MET) มี methionine เป็น limiting amino acid

เห็ดฟางหรือเห็ดบัว (Volvariella volvacea) หรือเรียกว่า Chinese mushroom หรือ Straw mushroom เตรียมอาหารให้มี 10% โปรตีนเห็ด เลี้ยงหนูวัยอ่อนในการทดลอง 28 วัน ได้ค่า PER = 1.37 ± 0.14 (10% casein = 2.75), RPER = 50, PER Adjusted = 1.2 ค่า NPR เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 28 วัน มีค่า 1.95 ± 0.15 (10% casein = 3.29), RNPR = 59.18 ค่า NPU ของเห็ดฟาง = 31.30 ± 3.69 และค่า BV = 42.02 ± 4.03 หลังสิ้นสุดการทดลอง 28 วัน ค่า TD ของเห็ดฟาง = 74.40 ± 3.14 และมีค่า protein digestibility (in vitro)= 73.99

เห็ดฟางมีค่า Chemical Score = 33.4 (MET) มี methionine เป็น limiting amino acid

จากผลการวิจัยที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าโปรตีนของเห็ดมีคุณภาพคล้ายกับโปรตีนพืชทั่ว ๆ ไปคือโปรตีนของเห็ด จะมีคุณภาพด้อยกว่าโปรตีนจากสัตว์ซึ่งการทดลองนี้ใช้ casein เป็นโปรตีนมาตรฐาน ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่าโปรตีนของเห็ดมีกรดอมิโนจำเป็นบางตัวในจำนวนจำกัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกกรดอมิโนที่มีซัลเฟอร์คือ methionine และ cysteine ซึ่งมักมีน้อยในเห็ดเกือบทุกชนิด อย่างไรก็ตามพบว่าเห็ดนางฟ้าและเห็ดนางรม มีกรดอมิโนพวกนี้มากกว่าเห็ดอื่น ๆ อาจกล่าวได้ว่าขาดเพียงเล็กน้อย ส่วนกรดอมิโนอื่น ๆ ที่พบมีจำกัดได้แก่ lysine และ leucine เป็นต้น การมีอยู่น้อยของกรดอมิโนดังกล่าวนี้เองที่ทำให้คุณค่าทางอาหารของโปรตีนเห็ดด้อยลงไป เช่นเดียวกับที่พบในพืชพวกถั่วและธัญพืชหลายชนิด จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการวิจัยนี้ อาจเสนอแนะได้ว่าเห็ดเพาะเลี้ยงต่าง ๆ เหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนได้ และเพื่อให้ร่างกายได้รับคุณค่าของโปรตีนจากเห็ดอย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพจึงควรจะรับประทานเห็ดหลาย ๆ ชนิดร่วมกันในอาหารแต่ละมื้อ หรือรับประทานเห็ดร่วมกับพืชอื่น ๆ ที่มีกรดอมิโนพวก methionine และ cysteine สูง เช่น เมล็ดงา หรืออาจรับประทานเห็ดต่าง ๆ ร่วมกับโปรตีนจากสัตว์เพียงเล็กน้อยจะทำให้ร่างกายได้รับโปรตีนเพียงพอ มีอัตราส่วนของกรดอมิโนที่เหมาะสมและถูกนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

<u>ข้อเสนอแนะอื่น ๆ</u>

การวิจัยครั้งนี้ได้ให้ข้อสังเกตหลายอย่างที่ควรจะได้มีการศึกษาเพิ่มเติมได้แก่

1. การศึกษาสาร trypsin inhibitor ในเห็ดว่ามีอยู่จริงหรือไม่ การมีสารพวกนี้ในเห็ดสดจะทำให้มีข้อควรระวังในการรับประทานเห็ดสดเพราะอาจไปทำให้ระบบการย่อยตามปกติของร่างกายถูกทำลายไปได้

2. การศึกษาคุณภาพของโปรตีนของเห็ดเพิ่มเติมโดยทำการทดลองใช้อาหารผสมของเห็ดกับโปรตีนจากสัตว์ เช่น casein หรือให้ผสม methionine หรือทดลองอาหารผสมโปรตีนเห็ดกับโปรตีนพืชอื่น ๆ เช่นเมล็ดงาเพื่อเปรียบเทียบค่าดรรชนีต่าง ๆ ที่ใช้แสดงคุณภาพ

โปรตีนให้เห็ดชัดเจนยิ่งขึ้น

3. การศึกษาสรรพคุณของเห็ดที่อาจมีผลเป็นประโยชน์ทางการแพทย์ เช่น ความสามารถช่วยลดโคเลสเตอรอลและการรักษามะเร็ง เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. โรคขาดธาตุอาหารในประเทศไทย พ.ศ. 2500 แถลงการณ์สาธารณสุข 34, 12-30 (2507)

2. ปัญหาโภชนาการและการขาดสารอาหาร แถลงการณ์สาธารณสุข 38, 1-12 (2513)

3. Krause, M.V. and Mahan, L.K. (1979), Food, Nutrition and Diet Therapy, 6th ed. W.B. Sauders Co, Philadelphia, p. 74-77

4. Gaman, P.M. and Scherringtor, K.B. (1981) Proteins. In the Science of Food 2nd ed. Pergamon Press. N.Y. p. 71-85

5. Kihlberg, R. (1972) The Microbe as a Source of Food. In Annual Review of Microbiology (ed. by Clifton, C.E., Raffel, S. and Starr, M.P.) 26, 427-466 Palo Alto, Calif : Annual Reviews, Inc.

6. ดีพร้อม ไชยวงค์เกียรติ (2519) การเพาะเห็ดและเห็ดบางชนิดในประเทศไทย ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ.

7. สุนันท์ พงษ์สามารถ และคณะ (2528) การสำรวจคุณค่าอาหารของเห็ด รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ส่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. สุนันท์ พงษ์สามารถ และคณะ (2529) การประเมินทางชีวเคมีและทางชีวภาพของคุณค่าทางโภชนาการของเห็ด รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ส่งคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

9. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม กองโภชนาการ กรมอนามัย กรกฎาคม 2521

10. Osborne, T.B., Mendel, L.B. and Ferry, E.L. (1919) A Methods of Expressing Numerically the Growth Promoting Value of Protein. J. Biol. Chem. 37:223

11. Bender, A.E. (1978) Protein. In Food Processing and Nutrition, Academic Press, N.Y. p. 59-79

12. Bender, A.E. (1982) Nutritional Value of Proteins and Its Assessment, in Food Proteins. Fox, P.F. and Condon, J.J. eds. Applied Science Publisher, London. p. 121-131

13. Bender, A.E., and Doell, B.H. (1957). Biological Evaluation of Proteins : a new aspect. Brit. J. Nutr. 11, 140-148

14. McLaughlan, J.M., Manderson, G.H., Hackler, L.R., Hill, D.C., Jansen, G.R., Keith. M.O., Sarwar, G., and Sosulski, F.W., (1980). Assessment of rat growth methods for estimating protein quality: interlaboratory study. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 63:462

15. Sarwar, G., McLaughlan, J.M. (1981). Relative Net Protein Ratio Method for Evaluating Protein Quality. Nutr. Rep. Int. 23(6) : 1157-1166

16. Miller, D.S. and Bender, A.E., (1955) The Determination of the Net Utilization of Proteins by a Shortened Method. Br. J. Nutr. 9, 382-388

17. Hegsted, D.M., Chang, Y.O. (1965). Protein Utilization in Growing Rats. J. Nutr. 85:159-168.

18. Mitchell, H.H. (1923). A Method of Determining the Biological Value of Protein. J. Biol. Chem. LVIII (3):873-903

19. Osborne, D.R. and Voogt, P. (1978) The Analysis of Nutrient in Food, Academic Press, N.Y. p. 113-116

20. AOAC : Official Methods of Analysis (1980) 12th ed. Assn. Offic. Anal. Chem. Washington D.C. p. 14-15

21. AOAC : Official Method of Analysis (1984) 14th ed. Association of Official Analytical Chemists Inc. Washington D.C. p. 877-878

22. Hsu, H.W., Vavak, D.L., Satterlee, L.D. and Miller, G.A. (1977) A Multienzyme Technique for Estimation Protein Digestibility. J. Food. Sci. 42, 1269-1273

23. FAO/WHO (1965) World Health Organization Tech. Rep. Ser. 301 Geneva; Food and Agric. Org.Rep. Ser. No. 37 Rome

24. Bender, A.E. and Miller, D.S. (1953) New Brief Method of Estimating Net Protein Values. Biochem. J. 53:vii

25. Rao, D.R., Patel, G. and Nishimuta, J.F. (1980) Comparison of Protein Quality of Corn, Tritical and Wheat. Nutr. Rep. Int. 21(6) : 923-929

26. Satterlee, L.D., Marshall, H.F. and Tennyson, J.M. (1979) Measuring Protein Quality. J.A.O.C.S. 56, 103-109

27. Bodwell, C.E., Satterlee, L.D. and Hackler, L.R. (1980) Protein Digestibility by Human and Rat Assays and by In Vitro Enzymic Digestion Methods. Am. J. Clin. Nutr. 33, 677-686

28. Villegas, E. and Bauer, R. (1974) Protein and Lysine Content of Improved Tritical. In Triticale: First Man-Maid Cereal. Ed. C.C. Tsen. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN. p. 150

29. Ikekawa, T., Uehara, N., Maeda, Y., Nakamishi, M., and Fukuoka, F. (1969) Antitumor Activity of Aqueous Extracts of Some Edible Mushrooms. Cancer Res. 29, 734-735

30. Suzuki, F., Koide, T., Tsunoda, A., and Ishida, N., (1976) Mushroom Extract as an Interferon Inducer. I. Biological and Physio-Chemical Properties of Spore Extracts of Lentinus edodes. Mushroom Sci. 9, (Part 1), 509-520

31. Suzuki, S., and Oshima, S. (1976) Influence of Shii-ta-ke (Lentinus edodes) on Human Serum Cholesterol. Mushroom Sci. 9, (Part 1) 463-367

32. Tokuda, S. and Kaneda, T. (1976) Reducing Mechanism of Plasma Cholesterol by Shii-ta-ke. Mushroom Sci. 9, (Part 1), 445-462

33. Takashima, K., Izami, K., Iwai, H., and Tekeyama, S. (1973). The Hypocholesterolemic Action of Eritadenine in the Rat. Atherosclerosis 17, 491-502

34. Takashima, K., Sato, C., Sasaki, Y., Morita, T., and Takeyama, S. (1974). Effect of Eritadenine on Cholesterol Metabolism in the Rat. Biochem. Pharmacol. 23, 433-438.

35. Food and Agriculture Organization (1973) Energy and Protein Requirements. Report of a Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Food Nutr. Meet. Rep. Ser. No. 52 Food Agric Organ. U.N., Rome

36. Cossack, Z.T., and Weber, C.W. (1983) A Proposed Bioassay for The Evaluation of Protein Quality Using Mice. Nutr. Rep. Int. 28(1) : 203-218

37. Jenkins, M.Y. and Mitchell, G.V. (1981) Biological and Biochemical Evaluation of Commercial powdered Protein Products. Nutr. Rep. Int. 24(3) : 499-511

38. Temler, R.S., Dormond, Ch.A. and Finot, P.A. (1983) Biological Assessment of Proteins From Different Sources by Protein Efficiency Ratio (PER) and by Nitrogen Retention, Nutr. Rep. Int 28(2) : 267-276

39. Vega, A., Giral, F. and Sotelo. A. (1981) Nutritional Evaluation of the Velvet Bean(Stizolobium cinerium) alone and Supplemented With Methionine or Wheat Flour. Nutr. Rep. Int. 24(4) : 817-823

40. Food Composition Table for Use in East Asia (1972), A Research Project by U.S. Department of Health Education and Walfare, Public Heath Service, National Institutes of Health, Food and Agriculture Organization of the United Nations

41. สุภาพ สวนปาน (2518) ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของกรดอมิโนในอาหารไทย, โภชนาสาร 9(1), 41-48

42. Bender, A.E., (1956) Relation Between Protein Efficiency Ratio and Net Protein Utilization. Brit. J. Nutr. 10:135

43. Kishi, K., Inoue, F., Yoshida, A., Fuwa, H., Koishi, H., Koike, G., Miyoshi, T., Inoue, T., Yoshida, M. and Omori, A. (1982) Digestibility and Energy Availability of Sea Vegetables and Fungi in Man. Nut. Rep. Int. 26(2) : 183-192

44. Akeson, W.R. and Stahman, M.A. (1964) A pepsin-pancreatin Digest Index of Protein Quality. J. Nutr. 83, 257

45. Ford, J.E. and Salter, D.N. (1966) Analysis of Enzymatically Digested Food Proteins by Sephadex-gel Filtration. Brit. J. Nutr. 20, 843

46. Saunder, R.M., Connor, M.A, Booth, A.N., Bickoff, E.M. and Koehler, G.O. (1973) Measurement of Digestibility of Alfalfa Concentrates by In vivo and In vitro Methods. J. Nutr. 103, 530

47. Buchanan,R.A. (1969) In vivo and In vitro Methods of Measuring Nutritive Value of Leaf Protein Concentrates. Brit. J. Nutr. 23, 533.

48. Buchanan,R.A. and Byers, M. (1969) Interference by Cyanide with the Measurement of Papain Hydrolysis. J. Sci. Food. Agri. 20, 364

49. Maga, J.A., Lorenz, K. and Onayemi, O. (1973) Digestive Acceptability of Proteins as Measured by the Initial Rate in vitro Proteolysis. J. Food. Sci. 38, 173

50. Marshall, H.F., Jr., Wallace, G.W., and Satterlee, L.A. (1979) Prediction of Protein Digestibility by an In Vitro Procedure Using Human, porcine and Rat Pancreatin Preparation. Nutr. Rep. Int. 19, 901-913

51. Rich, N., Satterlee, L.D. and Smith, J.L. (1980) A Comparison of In Vivo Apparent Protein Digestibility in Man and Rat to In Vitro Protein Digestibility as Determined Using Human and Rat Pancreatins and Commercially Available Protease. Nutr. Rep. Int. 21, 285-300

52. AOAC : Official Methods of Analysis (1984) 14th ed., Williams, S. ed. Association of Official Analytical Chemists Inc. Washington D.C. p. 878-880

53. Hegarty, P.V., (1982) Influence of Food Processing on Nutritive Value of Protein. In Food Protein (Fox, P.F. and Condon, J.J., eds.) Applied Science Publisher, London. p. 145-154.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

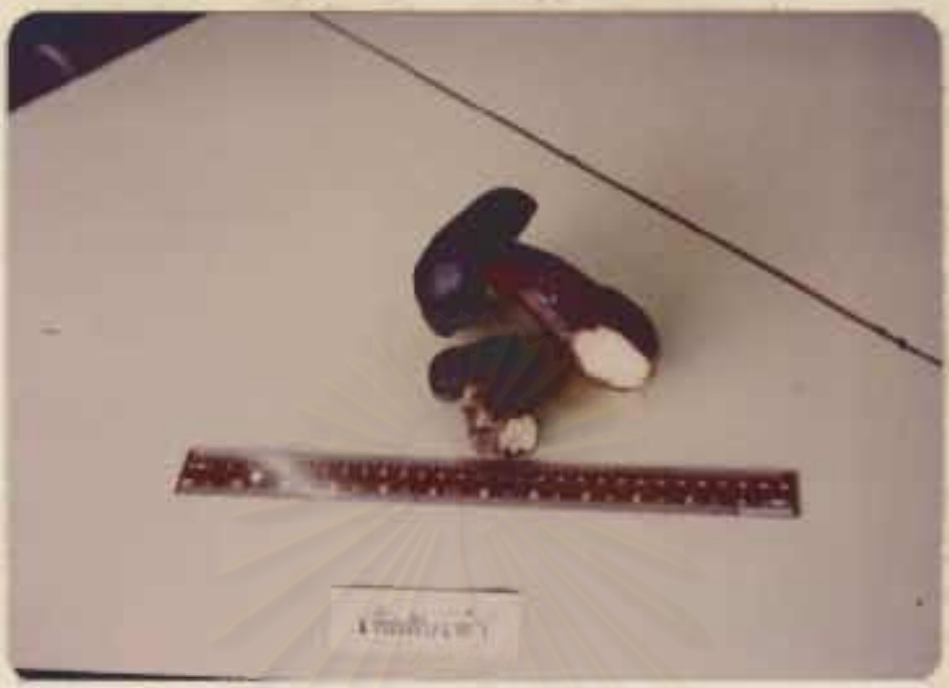
ภาคผนวก

คณะนิเทศศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เห็ดกระดุมหรือเห็ดแชมปิยอง
(Button mushroom, Champinons)
Agaricus bisporus (Lang.) Sing.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เห็ดหูหนูหนาดอกน้ำตาล
(Jew's ear mushroom)
Auricularia polytricha (Mont.) Sacc. Mon-leh.



เห็ดตับเต่า
(Bolete)
Boletus sp.

เห็ดหอม
(Shiitake)
Lentinus edodes

เห็ดเป๋าฮื้อหรือเห็ดหอยโข่งทะเล
(Abalone mushroom)
Pleurotus cystidiosus

เห็ดนางรมหรือเห็ดหอยนางรม
(Oyster mushroom)
Pleurotus ostreatus (Fr.) Quel.

เห็ดนางฟ้า
(Nangfa mushroom, Indian oyster mushroom)
Pleurotus sajor-caju (Fr.) Sing.

เห็ดนางนวล

Pleurotus sp.

เห็ดโคนหรือเห็ดปลวก

Termitomyces sp.