

(17) รหัสตำแหน่งพิกัด: 069 - 075

พิกัด X	693602
พิกัด Y	1866690
ความสูงของพื้นที่	454 เมตร
ชนิดป่าไม้	รอยต่อป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ
สภาพพื้นที่	เป็นที่ลาดชัน มีหินก้อนใหญ่ กระจายตัว มีไฟป่าเข้า

(18) รหัสตำแหน่งพิกัด: 083

พิกัด X	693572
พิกัด Y	1866782
ความสูงของพื้นที่	446 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH10
ชนิดพันธุ์พืช	เห็ดมีสีขาว ตรงกลางดอกสีน้ำตาลแดง พบขึ้นมากมาย เกิน 10 ต้น เป็นกลุ่มๆ กว้าง 5 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าเต็งรัง (รังขึ้นเป็นไม้เด่น)
สภาพพื้นที่	ที่ลาดชัน มีหินอยู่ปะปนจำนวนมาก
ภาพประกอบ	



(19) รหัสตำแหน่งพิกัด: 084

พิกัด X	693575
พิกัด Y	1866784
ความสูงของพื้นที่	448 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH11
ชนิดพันธุ์พืช	เห็ดขิง Peppery milk cap – กลุ่มเห็ดครีบวงศ์ Russulaceae ชื่อวิทยาศาสตร์: <i>Lactarius piperatus</i> (Scop. Ex Fr.) S.F. Gray
ลักษณะพันธุ์พืช	เห็ดสีขาวดอกใหญ่ พบเห็นทั่วไปมากมาย มีจุดสีน้ำตาลอ่อน กว้าง 9 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าเต็งรัง
สภาพพื้นที่	พื้นที่ลาดชัน มีหินปะปนในพื้นที่มาก
ภาพประกอบ	



(20) รหัสตำแหน่งพิกัด: 090

พิกัด X	693620
พิกัด Y	1866772
ความสูงของพื้นที่	463 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH12
ชนิดพันธุ์พืช	ดอกเห็ดสีเขียวยี่มัว ก้านสีขาว พบบนดิน
ชนิดป่าไม้	ป่าเต็งรัง (รังขึ้นเป็นไม้เด่น)
สภาพพื้นที่	พื้นที่ลาดชัน หินมาก

ภาพประกอบ



(21) รหัสตำแหน่งพิกัด: 100

พิกัด X

693731

พิกัด Y

1866698

ความสูงของพื้นที่

472 เมตร

ชนิดป่าไม้

ป่าเต็งรัง (รังขึ้นเป็นไม้เด่น)

สภาพพื้นที่

ยอดเขา มีต้นก่อ เหียง เต็ง ป่าถูกตัด พบต่อไม้ DBH 100 เซนติเมตร
เรือนยอดปกคลุม 60 % ส่วนใหญ่เป็นไม้หนุ่ม DBH 24 – 15
เซนติเมตร

3.1.8 เส้นทางเดินสำรวจที่ 8 และแปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจ

ข้อมูลทั่วไป

สถานที่: เส้นทางไปทุ่งนางพญา ตำบลหนองแม่นา อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

วันที่สำรวจ: มิถุนายน 2551

ชนิดป่าไม้ตลอดเส้นทางสำรวจ: ป่าเต็งรัง (ไม้เหमीดเด่น) มีหญ้าเพ็ก เปรี้ยน ขึ้นปกคลุมเป็นพืชพื้นล่าง ป่าดิบแล้ง ป่าสนเขา (สนสองใบ) ป่าเต็งรังผสมสน (สนสองใบ เหमीด)

ความสูงจากตลอดเส้นทางสำรวจ : 913 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

ข้อมูลตำแหน่งพิกัดชนิดพันธุ์พืชที่พบในเส้นทางเดินสำรวจที่ 8

(1) รหัสตำแหน่งพิกัด: 131

พิกัด X 698771

พิกัด Y 1834730

ความสูงของพื้นที่ 770 เมตร

ชนิดป่าไม้ ทุ่งหญ้าสะวันนา (เหमीดเป็นไม้เด่น)

สภาพพื้นที่ เพ็กเป็นพืชปกคลุมพื้น

ภาพประกอบ



(2) รหัสตำแหน่งพิกัด: 134

พิกัด X 698470

พิกัด Y 1834555

ความสูงของพื้นที่ 785 เมตร

ชนิดป่าไม้ ป่าเต็งรัง (เหียงเป็นไม้เด่น)

ภาพประกอบ



(3) รหัสตำแหน่งพิกัด: 135

พิกัด X	698381
พิกัด Y	1834521
ความสูงของพื้นที่	792 เมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าเต็งรัง (เหียงเป็นไม้เด่น)
สภาพพื้นที่	รอยต่อป่าเต็งรังกับทุ่งหญ้า

(4) รหัสตำแหน่งพิกัด: 137

พิกัด X	698300
พิกัด Y	1834510
ความสูงของพื้นที่	806
ชนิดป่าไม้	ป่าเต็งรังผสมดินแล้ง
สภาพพื้นที่	ป่าแน่นทึบ
ภาพประกอบ	



(5) รหัสตำแหน่งพิกัด: 141

พิกัด X	698225
พิกัด Y	1834447
ความสูงของพื้นที่	814 เมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าเต็งรังผสมสนสองใบ
สภาพพื้นที่	มีเหมีอด เหียง สนสองใบ เรือนยอด 50%

(6) รหัสตำแหน่งพิกัด: 147

พิกัด X	698001
พิกัด Y	1834138
ความสูงของพื้นที่	859 เมตร
ชนิดป่าไม้	สนสองใบ
สภาพพื้นที่	ป่าสนผสมป่าดิบแล้ง แฉ่นทึบ เรือนยอด 80%

(7) รหัสตำแหน่งพิกัด: 159

พิกัด X	697525
พิกัด Y	1833614
ความสูงของพื้นที่	903 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH20_01
ชนิดพันธุ์พืช	ดอกเห็ดสีเหลือง เห็ดมีความอุดมสมบูรณ์ มีโคนยาวสีขาวและลึกเข้าไปในเนื้อไม้ ขึ้นบนขอนไม้สน ดอกกว้าง 14 เซนติเมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าสน

ภาพประกอบ



(8) รหัสตำแหน่งพิกัด: 160

พิกัด X 697523

พิกัด Y 1833690

ความสูงของพื้นที่ 902

รหัสพันธุ์ไม้ MH20_02

ชนิดพันธุ์พืช ดอกเห็ดกว้าง 3 เซนติเมตร ดอกมีสีน้ำตาลเข้ม ขึ้นบนขอนไม้สน มี
โคนเห็ดขนาดสั้น

ชนิดป่าไม้ ป่าสน

ภาพประกอบ



(9) รหัสตำแหน่งพิกัด: 161

พิกัด X 697518

พิกัด Y 1833604

ความสูงของพื้นที่ 900 เมตร

ชนิดป่าไม้ ป่าสน

สภาพพื้นที่ ป่าสน เฟิร์นพื้นล่าง

(10) รหัสตำแหน่งพิกัด: 163

พิกัด X 697487

พิกัด Y 1833442

ความสูงของพื้นที่ 896 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้ MH20_03

ชนิดพันธุ์พืช เห็ดขึ้นบนขอนไม้สน ขอบนอกมีสีขาวขุ่น (โคนสีดำ) ขอบตรงกลางสีน้ำตาลเข้ม ขอบในสุดสีน้ำตาลอ่อน ความกว้าง 3 เซนติเมตร

ชนิดป่าไม้ ป่าสน

ภาพประกอบ



(11) รหัสตำแหน่งพิกัด: 163

พิกัด X 697487

พิกัด Y 1833442

ความสูงของพื้นที่ 896 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้ MH20_04

ชนิดพันธุ์พืช ดอกเห็ดมีความกว้างของดอก 5 เซนติเมตร สีน้ำตาลอ่อน มีลักษณะคล้ายร่ม โคนดอกยาว 3 เซนติเมตร โคนดอกสีขาวน้ำตาลอ่อนๆ มีครีบขนาดใหญ่และเล็กได้ดอกเห็ด

ชนิดป่าไม้ ป่าสน

ภาพประกอบ



(12) รหัสตำแหน่งพิกัด: 167

พิกัด X	697466
พิกัด Y	1833328
ความสูงของพื้นที่	929 เมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าสน
สภาพพื้นที่	ป่าสน พบเห็ดเป็นไม้เด่น

(13) รหัสตำแหน่งพิกัด: 184

พิกัด X	697539
พิกัด Y	1832232
ความสูงของพื้นที่	898 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH20_05
ชนิดพันธุ์พืช	เห็ดพบขึ้นบนขอนไม้สน ขนาด 6 เซนติเมตร ดอกเห็ดมีสีครีม ขึ้นเป็นกลุ่ม เป็นช่อ พบจำนวนมากในป่าสนผสมป่าดิบแล้ง ดันอ่อนจะมีสีขาว
ชนิดป่าไม้	ป่าสนผสมป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(14) รหัสตำแหน่งพิกัด: 203

พิกัด X	697818
พิกัด Y	1831461
ความสูงของพื้นที่	887 เมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าดิบแล้ง
สภาพพื้นที่	ป่าดิบแล้ง
ภาพประกอบ	



(15) รหัสตำแหน่งพิกัด: 203

พิกัด X	697818
พิกัด Y	1831461
ความสูงของพื้นที่	887
รหัสพันธุ์ไม้	MH20_06
ชนิดพันธุ์พืช	เห็ดนิ้วมือคนตาย, เห็ดนิ้วดำ- Dead man's finger, Wood club fungus – กลุ่มเห็ดนิ้วมือคนตายวงศ์ Xylariaceae ชื่อวิทยาศาสตร์: <i>Xylaria polymorpha</i> (Pers.) Grev. ดอกเห็ดมีขนาด 3 เซนติเมตร ขึ้นบนขอนไม้ มีสีเทา ขึ้นกระจัด
ลักษณะพันธุ์พืช	กระจาย มีผงสีขาวที่ตัวเห็ด เห็ดมีลักษณะเป็นแท่งยาว 5 เซนติเมตร คล้ายวงช้าง
ชนิดป่าไม้	ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(16) รหัสตำแหน่งพิกัด: 203

พิกัด X	697818
พิกัด Y	1831461
ความสูงของพื้นที่	887 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH20_07
ชนิดพันธุ์พืช	เห็ดมีสีขาวขึ้นเป็นแผงบนขอนไม้ แข็งกรอบ
ชนิดป่าไม้	ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(17) รหัสตำแหน่งพิกัด: 203

พิกัด X 697818

พิกัด Y 1831461

ความสูงของพื้นที่ 887 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้ MH20_08

ชนิดพันธุ์พืช เห็ดมีลักษณะเป็นเชื้อสีขาว ขึ้นเป็นแพบนกิ่งไม้ คล้ายๆ ฟองน้ำ

ชนิดป่าไม้ ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(18) รหัสตำแหน่งพิกัด: 203

พิกัด X 697818

พิกัด Y 1831461

ความสูงของพื้นที่ 887

รหัสพันธุ์ไม้ MH20_09

ชนิดพันธุ์พืช เห็ดพบขึ้นบนดิน คล้ายร่ม สีขาว ขนาดดอก 4 เซนติเมตร ขอบ

ใบหยัก สูงจากโคนถึงต้น 7 เซนติเมตร มีกลีบได้ดอก

ชนิดป่าไม้ ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(19) รหัสตำแหน่งพิกัด: 207

พิกัด X 697821

พิกัด Y 1831360

ความสูงของพื้นที่ 884 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้ MH20_010

ชนิดพันธุ์พืช เห็ดพบขึ้นบนขอนไม้พบจำนวนมาก ขนาดดอก ตั้งแต่ 3-7 เซนติเมตร
ขึ้นกระจุกกระจายไม่มีโคน

ชนิดป่าไม้ ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(20) รหัสตำแหน่งพิกัด: 208

พิกัด X 697811

พิกัด Y 1831350

ความสูงของพื้นที่ 883 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้ MH20_11

ชนิดพันธุ์พืช เห็ด พบขึ้นบนขอนไม้ ดอกสีเหลือง ลักษณะขึ้นเป็นกระจุกบนขอน
ไม้เป็นแผง เป็นดอกเล็กๆ จำนวนมาก ความกว้างของดอก 2
เซนติเมตร

ชนิดป่าไม้ ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(21) รหัสตำแหน่งพิกัด: 209

พิกัด X

697812

พิกัด Y

1831344

ความสูงของพื้นที่

868 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้

MH20_12

ชนิดพันธุ์พืช

เห็ดมีสีน้ำตาลขุ่น มีโคนยาว 10 เซนติเมตร โคนสีขาว คล้ายร่ม ดอก
เห็ดมีลักษณะแหลม ขึ้นบนดิน

ชนิดป่าไม้

ป่าดิบแล้ง

สภาพพื้นที่

พบข่าป่าอยู่จำนวนมาก

ภาพประกอบ



(22) รหัสตำแหน่งพิกัด: 209

พิกัด X	697812
พิกัด Y	1831344
ความสูงของพื้นที่	868 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH20_13
ชนิดพันธุ์พืช	เห็ดขึ้นบนกิ่งไม้ ดอกกว้าง 0.5 เซนติเมตร สีครีม ดอกมีขนาดเล็กมาก มีจำนวนมากไม่มีโคน (มีขาป่าขึ้นเยอะ)
ชนิดป่าไม้	ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(23) รหัสตำแหน่งพิกัด: 210

พิกัด X	697824
พิกัด Y	1831306
ความสูงของพื้นที่	867 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH20_14
ชนิดพันธุ์พืช	เห็ดประทัดจีน – กลุ่มเห็ดครีบวงศ์ Hygrophoraceae ชื่อวิทยาศาสตร์: Hygrocybe firma (Berk. & Br.) Sing.
ลักษณะพันธุ์พืช	มีดอกสีแสด ขึ้นบนดิน มีสีแสดตั้งแต่โคนถึงดอก ความกว้าง 1 เซนติเมตร โคนสูง 5 เซนติเมตร มีจำนวนไม่มาก
ชนิดป่าไม้	ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(24) รหัสตำแหน่งพิกัด: 212

พิกัด X 697833

พิกัด Y 1831248

ความสูงของพื้นที่ 871 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้ MH20_15

ชนิดพันธุ์พืช เห็ดดอกสีเหลือง ขึ้นบนขอนไม้ ความกว้างดอก 6 เซนติเมตร คล้ายฟองน้ำ มีลักษณะนุ่มมือ

ชนิดป่าไม้ ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(25) รหัสตำแหน่งพิกัด: 213

พิกัด X 697828

พิกัด Y 1831241

ความสูงของพื้นที่ 878 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้ MH20_16

ชนิดพันธุ์พืช เห็ดขึ้นบนขอนไม้ ความกว้างดอก 6 เซนติเมตร มีโคนสั้น ดอกมีความเปื่อยขึ้น ชุ่มตรงกลางดอกมีสีน้ำตาลเข้ม ขอบมีสีน้ำตาลอ่อน

ชนิดป่าไม้ ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(26) รหัสตำแหน่งพิกัด: 213

พิกัด X

697828

พิกัด Y

1831241

ความสูงของพื้นที่

878 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้

MH20_17

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีขาว ขึ้นบนขอนไม้ ความกว้างดอก 3 เซนติเมตร มีโคนเล็กน้อย

ชนิดป่าไม้

ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(27) รหัสตำแหน่งพิกัด: 214

พิกัด X	697823
พิกัด Y	1831267
ความสูงของพื้นที่	885 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH20_18
ชนิดพันธุ์พืช	ดอกเห็ดมีสีน้ำตาล ขอบเห็ดมีลักษณะมน ขอบไม่มีรอยหยัก มีโคนเล็กน้อย โคนสีขาว ความกว้างดอก 4 เซนติเมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(28) รหัสตำแหน่งพิกัด: 214

พิกัด X	697823
พิกัด Y	1831267
ความสูงของพื้นที่	885 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH20_19
ชนิดพันธุ์พืช	เห็ด ดอกมีขอบมีสีขาว ด้านในมีสีน้ำตาลอ่อน ดอกกว้าง 5 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร ขึ้นบนขอนไม้ มีขอบเป็นคลื่นๆ หยักๆ มีลักษณะและ
ชนิดป่าไม้	ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(29) รหัสตำแหน่งพิกัด: 216

พิกัด X	697846
พิกัด Y	1831236
ความสูงของพื้นที่	873 เมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าดิบแล้ง
สภาพพื้นที่	ป่าดิบแล้ง เรือนยอดปกคลุม 80%
ภาพประกอบ	



(30) รหัสตำแหน่งพิกัด: 225

พิกัด X	698086
พิกัด Y	1830863
ความสูงของพื้นที่	885 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH20_20
ชนิดพันธุ์พืช	เห็ด ดอกสีขาว ขึ้นบนขนุน ไม้ ดอกมีลักษณะเป็นเม็ด มีสีขาวตั้งแต่โคนถึงดอก โคนกับดอกมีความแข็งแรงมาก
ชนิดป่าไม้	ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(31) รหัสตำแหน่งพิกัด: 226

พิกัด X

698107

พิกัด Y

1830846

ความสูงของพื้นที่

890 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้

MH20_21

ชนิดพันธุ์พืช

เห็ด ดอกมีสีน้ำตาล ด้านล่างของดอกมีสีน้ำตาลเหลือง บนดอกเป็น
ขน สูง 10 เซนติเมตรกว้าง 7 เซนติเมตร ด้านล่างดอกขรุขระ

ชนิดป่าไม้

ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(32) รหัสตำแหน่งพิกัด: 235

พิกัด X	698216
พิกัด Y	1830685
ความสูงของพื้นที่	885 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH20_22
ชนิดพันธุ์พืช	เห็ดพบขึ้นบนขอนไม้ ขึ้นเป็นแผง ความกว้าง 3-4 เซนติเมตร ดอก เห็ดมีสีขาวไม่มีโคน มีความแข็งแรงปานกลางขอบดอกเป็นหยักๆ
ชนิดป่าไม้	ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(33) รหัสตำแหน่งพิกัด: 236

พิกัด X	698194
พิกัด Y	1830758
ความสูงของพื้นที่	982 เมตร
รหัสพันธุ์ไม้	MH20_23
ชนิดพันธุ์พืช	เห็ด พบขึ้นบนขอนไม้ กว้าง 2-2.5 เซนติเมตร ดอกมีขนาดเล็กตรง กลางดอกมีสีขาวเข้ม มีโคนเล็กน้อย ลักษณะคล้ายร่ม
ชนิดป่าไม้	ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(34) รหัสตำแหน่งพิกัด: 241

พิกัด X

698173

พิกัด Y

1830437

ความสูงของพื้นที่

961 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้

MH20_24

ชนิดพันธุ์พืช

เห็ด พบขึ้นบนเปลือกไม้สน ดอกกว้าง 6 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร
มีสีน้ำตาลดำ ขอบดอกมีความหนา

ชนิดป่าไม้

ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(35) รหัสตำแหน่งพิกัด: 293

พิกัด X	697022
พิกัด Y	1829356
ความสูงของพื้นที่	903 เมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าสน
สภาพพื้นที่	พบเหียงเป็นไม้เด่น เรือนยอดปกคลุม 50%
ภาพประกอบ	

(36) รหัสตำแหน่งพิกัด: 300

พิกัด X	697198
พิกัด Y	1829085
ความสูงของพื้นที่	901 เมตร
ชนิดป่าไม้	ทุ่งหญ้า
สภาพพื้นที่	ทุ่งหญ้า

(37) รหัสตำแหน่งพิกัด: 301

พิกัด X	697234
พิกัด Y	1829048
ความสูงของพื้นที่	902 เมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าสน
สภาพพื้นที่	จุดชมวิวกู่หว่งนางพญา พบต้นเหมือด

(38) รหัสตำแหน่งพิกัด: 340

พิกัด X	697032
พิกัด Y	1827688
ความสูงของพื้นที่	925 เมตร
ชนิดป่าไม้	ทุ่งหญ้า
สภาพพื้นที่	ทุ่งหญ้า พบเฟิร์นเป็นไม้พื้นล่าง

(39) รหัสตำแหน่งพิกัด: 351

พิกัด X	696641
พิกัด Y	1827572
ความสูงของพื้นที่	917 เมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าสน
สภาพพื้นที่	ป่าสน มีเรือนยอดปกคลุม 50%

(40) รหัสตำแหน่งพิกัด: 393

พิกัด X	695715
พิกัด Y	1827392
ความสูงของพื้นที่	935 เมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าสน
สภาพพื้นที่	ป่าสน เฟิร์นเป็นไม้พื้นล่าง

(41) รหัสตำแหน่งพิกัด: 420

พิกัด X	695808
พิกัด Y	1826207
ความสูงของพื้นที่	939 เมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าสนผสมเต็งรัง
สภาพพื้นที่	ป่าสนผสมป่าเต็งรัง พบเหมีอดเป็นไม้เด่น

(42) รหัสตำแหน่งพิกัด: 428

พิกัด X	695626
พิกัด Y	1825923
ความสูงของพื้นที่	941 เมตร
ชนิดป่าไม้	ป่าสน
สภาพพื้นที่	ป่าสน พบต้นเหมีอดและเฟิร์น มีเรือนยอดปกคลุม 30%

(43) รหัสตำแหน่งพิกัด: 442

พิกัด X	695242
พิกัด Y	1825555
ความสูงของพื้นที่	957 เมตร
ชนิดป่าไม้	ทุ่งหญ้า,
สภาพพื้นที่	ทุ่งหญ้าผสมสน เรือนยอดปกคลุม 10%
ภาพประกอบ	



(44) รหัสตำแหน่งพิกัด: 453

พิกัด X	694825
พิกัด Y	1825386
ความสูงของพื้นที่	949 เมตร
ชนิดป่าไม้	ทุ่งหญ้า

สภาพพื้นที่
ภาพประกอบ

ทุ่งหญ้าผสมสน และพุดต้นเหมือด



(45) รหัสตำแหน่งพิกัด: 460

พิกัด X 694831

พิกัด Y 1825189

ความสูงของพื้นที่ 946 เมตร

ชนิดป่าไม้ ป่าดิบแล้ง

สภาพพื้นที่ ป่าดิบแล้ง มีลำธาร เรือนยอดปกคลุม 90% พบหวาย ไข่ และสะบ้า

ภาพประกอบ



(46) รหัสตำแหน่งพิกัด: 461

พิกัด X 694837

พิกัด Y 1825176

ความสูงของพื้นที่ 940 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้ MH20_25

เห็ดพบในลำธาร ขึ้นอยู่บนขอนไม้ ไม่มีโคน ขอบนอกสีน้ำตาลเข้ม

ชนิดพันธุ์พืช ขอบในสีน้ำตาลแก่ ได้ดอกสีขาว ความกว้าง 2-2.5 เซนติเมตร ขอบมี

ลักษณะเป็นหยักๆ

ชนิดป่าไม้ ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(47) รหัสตำแหน่งพิกัด: 461

พิกัด X 694837

พิกัด Y 1825176

ความสูงของพื้นที่ 940 เมตร

รหัสพันธุ์ไม้ MH20_26

ชนิดพันธุ์พืช เห็ด ถ้าสดจะเป็นสีน้ำตาลอ่อน แต่ถ้าแห้งจะเป็นสีดำ ขึ้นเป็นชั้นๆ ขึ้นอยู่บนต้นไม้ที่ยังไม่ตาย ได้ดอกสีเหลือง น้ำตาล มีความเหนียว

ชนิดป่าไม้ ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(48) รหัสตำแหน่งพิกัด: ไม่สามารถระบุตำแหน่งพิกัดได้

รหัสพันธุ์ไม้ MH20_27

ชนิดพันธุ์พืช เห็ดขอนแดง Cinnabar bracket – กลุ่มเห็ดหิ้งวงศ์ Coriolaceae
ชื่อวิทยาศาสตร์: *Pycnoporus cinnabarinus* (Jacq.:Fr.) Karst.

ชนิดป่าไม้ ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(49) รหัสตำแหน่งพิกัด: ไม่สามารถระบุตำแหน่งพิกัดได้

รหัสพันธุ์ไม้

MH20_28

ชนิดพันธุ์พืช

เห็ดมีสีน้ำตาลอ่อน มีลายเป็นขอบเป็นสีน้ำตาลเข้ม ขึ้นบนขอนไม้

ชนิดป่าไม้

ภาพประกอบ



(50) รหัสตำแหน่งพิกัด: ไม่สามารถระบุตำแหน่งพิกัดได้

รหัสพันธุ์ไม้

MH20_29

ชนิดพันธุ์พืช

Jelly mushroom - กลุ่มเห็ดวุ้นวงศ์ Dacrymycetaceae

ชนิดป่าไม้

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Dacryopinax spathularia* (Schweinitz) Martin

ภาพประกอบ



แปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจที่ 8

สภาพทั่วไปของพื้นที่ : ป่าสนเด่น ไม้พื้นล่างแน่น

ตำแหน่งพิกัดที่: 245
 พิกัด X 698152
 พิกัด Y 1830316
 ความสูงของพื้นที่ 953 เมตร

(1) แปลงขนาด 20x20 เมตร

ชนิดพันธุ์ไม้	เส้นรอบวง DBH (cm.)	ความสูง (m.)
สนสองใบ	178	28
สนสองใบ	190	29
สนสองใบ	150	28
สนสองใบ	125	27
สนสองใบ	250	29
ช้างน้ำว	48	8
ช้างน้ำว	80	12
ช้างน้ำว	36	6
ช้างน้ำว	10	2
กระบก	30	11

แปลงขนาด 20x20 เมตร (ต่อ)

ชนิดพันธุ์ไม้	เส้นรอบวง DBH (cm.)	ความสูง (m.)
มะขามป้อม	66	14
กระบก	10	4
ยางจืด	61	15
เหมีด	17	7
กระบก	19	20
เหมีด	18	5
เหมีด	43	15
สน	166	25
สน	183	27
ยางจืด	11	2.7
ยางจืด	10	2.5
สน	156	27
สน	145	23
สน	105	25
เหมีด	10	2.5
เหมีด	15	3
เหมีด	10	2.5
สน	135	26
สน	180	29
สน	151	30

(2) แปลงขนาด 10x10 เมตร: สำรวจชนิดและจำนวนของไม้หนุ่ม

ชนิดพันธุ์ไม้	เส้นรอบวง DBH (cm.)	Height (m.)
ช้างน้ำว	9	2
ดัดเต่าตัน	7	2
เหมือด	7	1.8
เหมือด	5	1.6
กางจุ่มด	7	2
เหมือด	5	1.5
ช้างน้ำว	9	3
เหมือด	5	2
มะขามป้อม	5	2
เหมือด	5	2
เหมือด	7	2.5
มะขามป้อม	5	2.5
เหมือด	4	1.5
เหมือด	6	2.5
เหมือด	7	2.5
ดัดเต่าตัน	9	2
ดัดเต่าตัน	9	2.5
ดัดเต่าตัน	8	2
เหมือด	7	1.7
เหมือด	8	1.9
เหมือด	6	1.5
เหมือด	5	1.5
เหมือด	7	1.9
เหมือด	7	2.5
เหมือด	8	2.7

(2) แปลงขนาด 20x20 เมตร: สำรวจชนิดและจำนวนของลูกไม้

ชนิดพันธุ์ไม้	จำนวน (ต้น)
มะขามป้อม	11
กางจืด	32
เหมีอด	35

(3) แปลงขนาด 1x1 เมตร: สำรวจชนิดและจำนวนของพืชพื้นล่าง และลูกไม้

ชนิดพันธุ์ไม้	จำนวน (ต้น)
จิงป่า	1
หญ้า 1 (ใบแดง)	12
หญ้า 2 (ใบมีขน)	6
Unknown 10	1
Unknown 11	1
มะขามป้อม	1
เหหัวหมู	2
เหมีอด	1

ภาพประกอบ พรรณไม้ในแปลงศึกษาในเส้นทางสำรวจที่ 8

ชื่อพรรณไม้	ภาพประกอบ	ชื่อพรรณไม้	ภาพประกอบ
สภาพหน้าดินเป็นดินร่วน		เห็ดที่พบในแปลงตัวอย่าง	
เห็ดที่พบในแปลงตัวอย่าง		ป่าสนสองใบ	

3.1.9 เส้นทางเดินสำรวจที่ 9 และแปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจ

ข้อมูลทั่วไป

สถานที่: ฐานแตก หมู่บ้านร่มเกล้า หน่วยพิทักษ์ป่ารักษไทย ตำบลชมพู อำเภอนิคมบ่งพร่าง จังหวัดพิษณุโลก

วันที่สำรวจ: กรกฎาคม 2551

ชนิดป่าไม้ตลอดเส้นทางสำรวจ: ป่าเบญจพรรณ ป่าไผ่ ป่าดิบแล้ง และทุ่งหญ้า

ความสูงจากตลอดเส้นทางสำรวจ : 400-580 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

ข้อมูลตำแหน่งพิกัดชนิดพันธุ์พืชที่พบในเส้นทางเดินสำรวจที่ 9

หมายเหตุ: ไม่สามารถระบุตำแหน่งพิกัดของเส้นทางสำรวจได้ เนื่องจากสภาพอากาศปกคลุมไปด้วยเมฆทำให้เครื่องระบุพิกัดตำแหน่งพื้นโลกสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้

(1)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_01

ชนิดพันธุ์พืช

เห็ดระโงกขาว, เห็ดไข่นก, เห็ดไข่นกนาง

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Amanita princeps* Corner & Bas.

ลักษณะของพันธุ์พืช

ดอกเห็ดกว้างประมาณ 8 เซนติเมตร ก้านดอกยาว 12 เซนติเมตร ดอกเห็ดมีสีครีม ด้านบนของดอกมีสีน้ำตาลอ่อน ครีบดอกด้านล่างสีจาว พบขึ้นบนดิน

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณ

สภาพพื้นที่

เห็ดระโงก พบมากในป่าไผ่ ป่าสน 2 ใบ

ภาพประกอบ



(2)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMDO1_02

ชนิดพันธุ์พืช

Asian Gray Powder lepidella เห็ดเมา

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Amanita griseofrinosa* Hongo

ลักษณะของพันธุ์พืช

ดอกเห็ดสีขาว หมวกเห็ดมีปุยสีขาวปกคลุม ครีบกอกกว้างประมาณ 7-9 เซนติเมตร ก้านดอกยาว 8-9 เซนติเมตร พบขึ้นบนดิน

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณ

สภาพพื้นที่

สวนป่าไม้ผสมสน 2 ไร่ พบต้นตะเคียน ประดู่ มะค่า สัก และไม้แดง อยู่ห่างจากหน่วยพิทักษ์รักษไทยประมาณ 200 เมตร

ภาพประกอบ



(3)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMDO1_03

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดสีน้ำตาลขึ้นบนขอนไม้ ดอกเห็ดกว้างประมาณ 10 เซนติเมตร ด้านล่างของดอกมีสีครีม-น้ำตาลอ่อน

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณ

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณทดแทน

ภาพประกอบ



(4)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_04

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีครีม มีความสูงจากก้านถึงดอกประมาณ 1 เซนติเมตร พบ
ขึ้นบนขอนไม้อยู่กันเป็นกลุ่ม

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณ

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณ

ภาพประกอบ



(5)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_05

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีเทาเข้ม – ดำ มีความสูงประมาณ 1 เซนติเมตร พบขึ้นบน
ขอนไม้

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณ

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณ

ภาพประกอบ



(6)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_06

ชนิดพันธุ์พืช

Jelly mushroom กลุ่มเห็ดวุ้นวงศ์ Dacrymycetaceae

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Dacryopinax spathularia* (Schweinitz) Martin

ลักษณะของพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีเหลือง มีความสูงประมาณ 1.5-2 เซนติเมตร พบขึ้นบน
ขอนไม้ที่ไหม้ไฟ และขึ้นเป็นกลุ่ม

ชนิดป่าไม้
สภาพพื้นที่
ภาพประกอบ

ป่าเบญจพรรณ
ป่าเบญจพรรณ



(7)

รหัสพันธุ์ไม้
ชนิดพันธุ์พืช

MHMD01_07

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาล-ครีม ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 เซนติเมตร

โคนดอกสีเหลือง พบขึ้นบนดิน

ชนิดป่าไม้
สภาพพื้นที่
ภาพประกอบ

ป่าเบญจพรรณ

ป่าเบญจพรรณ



(8)

รหัสพันธุ์ไม้
ชนิดพันธุ์พืช

MHMD01_08

ดอกเห็ดมีขาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดอกประมาณ 3 เซนติเมตร พบขึ้นบนขอนไม้ที่ไหม้ไฟ

ชนิดป่าไม้
สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณ

ป่าเบญจพรรณ

ภาพประกอบ



(9)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_09

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีเหลืองส้ม พบขึ้นบนดินใกล้กับกอไผ่ ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7-8 เซนติเมตร ก้านดอกยาวประมาณ 7-9 เซนติเมตร

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(10)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_10

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลครีม ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร ก้านดอกยาวประมาณ 4-5 เซนติเมตร พบขึ้นบนพื้นดิน

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(11)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_11

ชนิดพันธุ์พืช

เห็ดกระดุม – กลุ่มเห็ดครีบวงศ์ Agaricaceae

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Agaricus trisulphuratus* Berk.

ลักษณะของพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีส้ม ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 เซนติเมตร

ความสูงดอกประมาณ 5 เซนติเมตร โคนดอกมีลักษณะเป็นเกล็ดมีสีส้ม

ครีบอกด้านล่างมีสีน้ำตาล-เทา พบขึ้นบนดิน

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(12)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_12

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีเหลืองครีม มีลักษณะเป็นกลีบคล้ายดอกไม้ม พบขึ้นบน

พื้นดินได้ทั่วไป ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 เซนติเมตร

ก้านดอกยาวประมาณ 1 เซนติเมตร

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(13)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMDO1_13

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีขาว มีลักษณะเป็นแขนงคล้ายปะการัง ดอกมีความสูงประมาณ 5 เซนติเมตร พบขึ้นบริเวณโคนต้นไม้ที่ตายแล้ว

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(14)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMDO1_14

ชนิดพันธุ์พืช

กลุ่มเห็ดปะการังวงศ์ Ramariaceae

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Ramaria* sp.

ลักษณะของพันธุ์พืช

เห็ดปะการังสีน้ำตาล เห็ดมีความสูงประมาณ 4-5 เซนติเมตร พบขึ้นบนดินในป่าไผ่

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(15)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMDO1_15

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดอ่อนมีลักษณะเป็นกรวย สีน้ำตาล-ครีม ดอกเห็ดแก่มีลักษณะคล้ายหิง มีสีน้ำตาล-ส้ม ใต้ออกมีลักษณะเป็นครีบละเอียดสีน้ำตาลเข้ม มีขอบสีขาว ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร พบขึ้นตามต้นไผ่

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(16)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMDO1_16

ชนิดพันธุ์พืช

หมวกดอกเห็ดอ่อนมีสีแดง หมวกดอกเห็ดที่โตเต็มที่แล้วมีสีน้ำตาล ครีบอกมีสีครีม ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร ดอกมีความสูงประมาณ 2 เซนติเมตร พบขึ้นบนกิ่งไผ่แห้ง

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(17)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_17

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาล-ส้ม ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5-3 เซนติเมตร ดอกมีความสูงประมาณ 4 เซนติเมตร พบขึ้นบนดินป่าไผ่

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(18)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_18

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีขาวอมเหลือง ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร ดอกมีความสูงประมาณ 2.5 เซนติเมตร ขึ้นบนดินป่าไผ่

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(19)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMDO1_19

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีขาวลักษณะคล้ายเข็ม ดอกมีความสูงประมาณ 3 เซนติเมตร พบขึ้นบนดินในป่าไผ่ พบได้ทั่วไปโดยขึ้นอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหนาแน่น

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(20)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMDO1_20

ชนิดพันธุ์พืช

เห็ดถ่านใหญ่, เห็ดโกโก้; Blackening russula, Black russula

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Russula nigricans* (Bull.) Fr.

ลักษณะของพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลเข้ม-เทา คล้ายสีถ่าน ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-11 เซนติเมตร ก้านดอกสีเทา ครีบได้ดอกสีน้ำตาลเข้ม ก้านดอกยาว 6-7 เซนติเมตร พบขึ้นบนดินในป่าไผ่ในบริเวณพื้นที่ ๆ ได้รับไฟไหม้

ชนิดป่าไม้

ไร่เลื่อนลอย

สภาพพื้นที่

ไร่มันสำปะหลังใกล้ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(21)

รหัสพันธุ์ไม้

ชนิดพันธุ์พืช

ชนิดป่าไม้

สภาพพื้นที่

ภาพประกอบ

MHMD01_21

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาล-เหลือง ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ครีบดอกหักเป็นคลื่น ครีบใต้ดอกมีสีน้ำตาล ก้านดอกมีความยาว 4 เซนติเมตร พบขึ้นบนดินบริเวณไร่นาสำปะหลัง ไร่เลื่อนลอย

ไร่นาสำปะหลังใกล้ป่าไผ่



(22)

รหัสพันธุ์ไม้

ชนิดพันธุ์พืช

ชนิดป่าไม้

สภาพพื้นที่

ภาพประกอบ

MHMD01_22

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลเข้ม-เหลือง ก้านดอกมีสีขาวปนน้ำตาล ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร ดอกมีความสูง 10 เซนติเมตร ครีบดอกงอนขึ้น พบขึ้นบนดินบริเวณป่าดิบแล้ง ป่าดิบแล้ง

ป่าดิบแล้งใกล้ไร่ข้าวโพด มีเรือนยอดปกคลุมประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์



(23)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_23

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลอ่อน ด้านล่างของดอกมีสีน้ำตาล-ส้ม ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 19 เซนติเมตร พบขึ้นบนขอนไม้ที่ไหม้ไฟ

ชนิดป่าไม้

ป่าดิบแล้ง

สภาพพื้นที่

ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(24)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_24

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีเทา ใต้ดอกมีสีน้ำตาลเข้ม-ดำ เนื้อในของเห็ดมีสีน้ำตาลอมส้ม ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12-15 เซนติเมตร พบขึ้นบนขอนไม้ผุ

ชนิดป่าไม้

ป่าดิบแล้ง

สภาพพื้นที่

ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(25)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_25

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีแสดเหลือง ดอกเห็ดมีลักษณะนุ่มคล้ายเห็ดหูหนู ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.5 เซนติเมตร พบขึ้นบนโคนต้นไม้

ชนิดป่าไม้

ป่าดิบแล้ง

สภาพพื้นที่

ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(26)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_26

ชนิดพันธุ์พืช

กลุ่มเห็ดครีบบวก Tricholomataceae

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Tricholoma infundibuliformis* Berk. & Br.

ลักษณะของพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีขาวครีม ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7 เซนติเมตร ดอกเห็ดสูง 9 เซนติเมตร ก้านดอกสีน้ำตาล พบขึ้นบนดิน

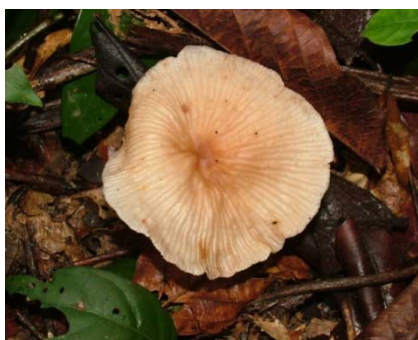
ชนิดป่าไม้

ป่าดิบแล้ง

สภาพพื้นที่

ป่าดิบแล้ง พบต้นเต็งตานี ต้นยมหิน และต้นยาง

ภาพประกอบ





(27)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_27

ชนิดพันธุ์พืช

เห็ดหูหนูป่า Wood ear กลุ่มเห็ดวุ้นวงศ์ Auriculariaceae

ชื่อวิทยาศาสตร์: Auricularia sp.

ลักษณะของพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีเหลืองอมน้ำตาล ดอกมีลักษณะเหมือนวุ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9-10 เซนติเมตร พบขึ้นบนขอนไม้

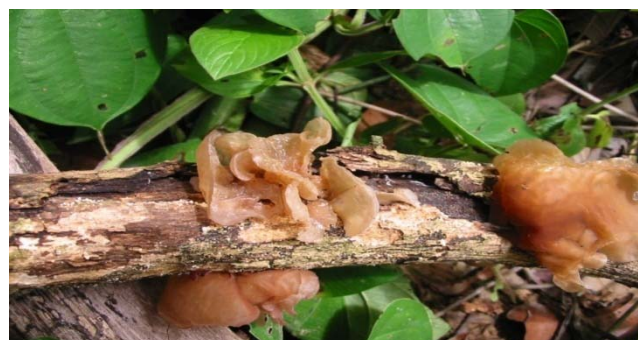
ชนิดป่าไม้

ป่าดิบแล้ง

สภาพพื้นที่

ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(28)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMD01_28

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลอ่อน ดอกเห็ดมีลักษณะคล้ายปากแตร โคนเห็ดเป็นจุดขาว ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-5 เซนติเมตร มีความสูงประมาณ 1-3 เซนติเมตร พบขึ้นบนกิ่งไม้

ชนิดป่าไม้

ป่าดิบแล้ง

สภาพพื้นที่

ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(29)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMDO1_29

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีเทา-ขาว ดอกมีความสูงประมาณ 9-10 เซนติเมตร ครีบกอกด้านล่างมีลักษณะปุย ก้านดอกสีขาว พบขึ้นบนโคนต้นไม้ที่ขึ้นติดอยู่กับไร่ข้าวโพดและไร่มันสำปะหลัง

ชนิดป่าไม้

ป่าดิบแล้ง

สภาพพื้นที่

ป่าดิบแล้ง อยู่ใกล้บริเวณไร่ข้าวโพดและไร่มันสำปะหลัง

ภาพประกอบ



(30)

รหัสพันธุ์ไม้

MHMDO1_30

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาล ดอกเห็ดมีลักษณะนุ่ม ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-1.5 เซนติเมตร พบขึ้นบนขอนไม้

ชนิดป่าไม้

ป่าดิบแล้ง

สภาพพื้นที่

ป่าดิบแล้ง

ภาพประกอบ



(31)

รหัสพันธุ์ไม้

ชนิดพันธุ์พืช

ลักษณะของพันธุ์พืช

ชนิดป่าไม้

สภาพพื้นที่

ภาพประกอบ

เห็ดหูหนูเสวย Wood ear กลุ่มเห็ดวุ้นวงศ์ Auriculariaceae

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Auricularia delicata* (Fr.) P. Henn.

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาล ดอกเห็ดมีลักษณะนุ่ม

ป่าดิบแล้ง

ป่าดิบแล้ง



(32)

รหัสพันธุ์ไม้

ชนิดพันธุ์พืช

ชนิดป่าไม้

สภาพพื้นที่

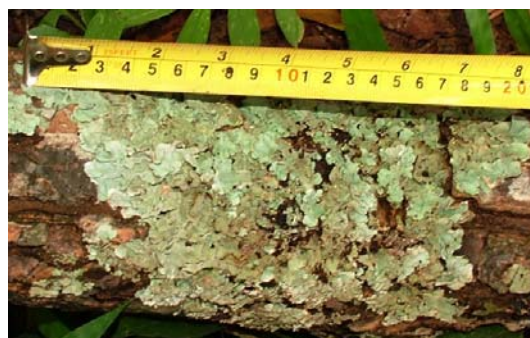
ภาพประกอบ

LCMDO1_01

ไลเคนสีเขียวอ่อนขึ้นเป็นกลุ่มบนขอนไม้

ป่าดิบแล้ง

ป่าดิบแล้ง



แปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจที่ 8

สภาพทั่วไปของพื้นที่ : ป่าสนเด่น ไม้พื้นล่างแน่น

ตำแหน่งพิกัดที่:

พิกัด X

พิกัด Y

ความสูงของพื้นที่ ประมาณ 400 เมตร

(1) แปลงขนาด 20x20 เมตร

ชนิดพันธุ์ไม้	เส้นรอบวง DBH (cm.)	ความสูง (m.)
คูณ	85	12
ถ่อน	75	10

(2) แปลงขนาด 10x10 เมตร: ไม้พุ่มไม้หนุ่ม

(3) แปลงขนาด 1x1 เมตร: สำรวจชนิดและจำนวนของพืชพื้นล่าง และลูกไม้

ชนิดพันธุ์ไม้	จำนวน (ต้น)
สาบเสือ	149
หญ้าคา	188
มันเถา	1
ผักกาด	5
พง	6
เลื้อยหอบ	1

ภาพประกอบ พรรณไม้ในแปลงศึกษาในเส้นทางสำรวจที่ 9

ชื่อพรรณไม้	ภาพประกอบ	ชื่อพรรณไม้	ภาพประกอบ
สภาพแปลง ตัวอย่าง		สภาพ แปลง ตัวอย่าง แบบทุ่ง หญ้า	
สภาพแปลง ตัวอย่างแบบทุ่ง หญ้า		ต้นคูณที่ พบใน แปลง ตัวอย่าง	

3.1.10 เส้นทางเดินสำรวจที่ 10 และแปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจ ข้อมูลทั่วไป

สถานที่: เส้นทางศึกษาธรรมชาติเทพธาร

วันที่สำรวจ: กันยายน 2551

ชนิดป่าไม้ตลอดเส้นทางสำรวจ: ป่าไผ่ ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบแล้ง

ความสูงจากตลอดเส้นทางสำรวจ : 420-580 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

ข้อมูลตำแหน่งพิกัดชนิดพันธุ์พืชที่พบในเส้นทางเดินสำรวจที่ 10

หมายเหตุ: ไม่สามารถระบุตำแหน่งพิกัดของเส้นทางสำรวจได้ เนื่องจากสภาพอากาศปกคลุมไปด้วย
เมฆทำให้เครื่องระบุพิกัดตำแหน่งพื้นโลกสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้

(1) รหัสตำแหน่งพิกัด:

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_01

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีขาว ลักษณะเป็นเส้น พบเห็นได้ทั่วไปโดยชอบขึ้นบน
หน่อไม้อ่อนและบนโคนกอไผ่

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

ภาพประกอบ



(2)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_02

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีครีม-ขาว ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ
5 เซนติเมตร ความสูงดอกประมาณ 4 เซนติเมตร ขึ้นบนดินใกล้กอไผ่

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

ภาพประกอบ



(3)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_00_00

ชนิดพันธุ์พืช

เห็ดหิ่ง

ลักษณะพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีลักษณะเป็นลายสีขาว อีกด้านของดอกเห็ดมีสีน้ำตาลเข้ม ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 เซนติเมตร พบขึ้นบนกิ่งไม้แห้ง

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

ภาพประกอบ



(4)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_03

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาล ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 เซนติเมตร ความสูงดอกประมาณ 5-6 เซนติเมตร พบขึ้นบนดิน

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

ภาพประกอบ



(5)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_04

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีครีมน้ำตาล ดอกเห็ดมีขนาดเล็ก ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 เซนติเมตร ความสูงดอกประมาณ 2-3 เซนติเมตร พบขึ้นบนใบไม้แห้งที่ทับถมอยู่บนพื้นดิน

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

ภาพประกอบ



(6)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_05

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีส้ม ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร ความสูงดอกประมาณ 5 เซนติเมตร พบขึ้นบนใบไม้แห้งที่ทับถมอยู่บนพื้นดิน

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

ภาพประกอบ



(7)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_06

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีขาว ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร ความสูงดอกประมาณ 5 เซนติเมตร พบขึ้นบนดินใกล้กับเห็ดอีกชนิดหนึ่งที่มีดอกสีน้ำตาล

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

ภาพประกอบ



(8)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_07

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาล หมวกดอกเห็ดมีลักษณะคล้ายเห็ดโคน ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เซนติเมตร ความสูงดอกประมาณ 3 เซนติเมตร พบขึ้นบนดิน

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

ภาพประกอบ



(9)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_08

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลอ่อน ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร ความสูงดอกประมาณ 2-3 เซนติเมตร พบขึ้นบนดินที่มีมอสขึ้นปกคลุม

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

ภาพประกอบ



(10)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_09

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลอ่อน-ม่วง ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 เซนติเมตร ความสูงดอกประมาณ 5-6 เซนติเมตร พบขึ้นบนดินดินทรายในป่าไผ่

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

ภาพประกอบ



(11)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_10

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีขาว ลักษณะคล้ายปะการัง ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4-5 เซนติเมตร ความสูงดอกประมาณ 4 เซนติเมตร พบขึ้นบนเศษไม้ที่ถูกเผา

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(12)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_11

ลักษณะพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลขนาดเล็ก ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 เซนติเมตร พบขึ้นบนกิ่งไม้ผุขึ้น

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(13)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_12

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีเหลืองน้ำตาล ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-6 เซนติเมตร พบขึ้นบนกอไผ่

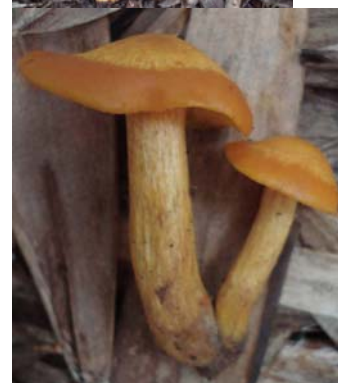
ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(14)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_13

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลอ่อน ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6-6.5 เซนติเมตร พบขึ้นบนกอไผ่

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(15)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_14

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลเข้ม ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร ดอกเห็ดมีความสูงประมาณ 4 เซนติเมตร พบขึ้นบนดิน

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



(16)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_15

ชนิดพันธุ์พืช

เห็ดหู

ลักษณะพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลเข้ม ใต้ดอกมีสีขาว ผิวดอกเห็ดมีขนนุ่มคล้าย
กำมะหยี่ ขอบดอกสีขาว ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ
3-5 เซนติเมตร พบขึ้นเป็นแผงติดกัน

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่ พื้นที่เป็นหินทรายและเป็นบริเวณที่มีไฟป่า
เกิดขึ้นประจำ

ภาพประกอบ



(17)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_16

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีขาว ลักษณะดอกกลม คล้ายหมวก ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลางประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร ความสูงดอกประมาณ
5 เซนติเมตร พบขึ้นบนดิน

ชนิดป่าไม้

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าเบญจพรรณผสมไผ่ พื้นที่เป็นหินทรายและเป็นบริเวณที่มีไฟป่า
เกิดขึ้นประจำ

ภาพประกอบ



(18)

รหัสพันธุ์ไม้

DEF20_17

ชนิดพันธุ์พืช

ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลอ่อน ลักษณะคล้ายร่ม ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร ความสูงดอกประมาณ 5.5-6 เซนติเมตร พบขึ้นบนกอไผ่ที่ไหม้ไฟ

ชนิดป่าไม้

ป่าไผ่

สภาพพื้นที่

ป่าไผ่

ภาพประกอบ



3.2 การศึกษาระบบนิเวศวิทยาและความหลากหลายทางชีวภาพในแปลงศึกษาพื้นที่อุทยานแห่งชาติทุ่ง แสงหลวง

การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของพืชพรรณป่าไม้แต่ละชนิด ซึ่งได้ทำการวางแผนแปลงตัวอย่างในพื้นที่ป่า 5 ชนิด ได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง ป่าสน และ ทุ่งหญ้าและสะวันนา จำนวน 9 เส้นทางสำรวจ โดยแปลง 20 x 20 ตารางเมตร หรือ 0.04 เฮกแตร์ ทำการวัดขนาดของไม้ยืนต้นทุกต้นที่มีขนาดเส้นรอบวงที่ระดับอก (GBH: Girth at Breast Height) ความสูงมากกว่า 130 เซนติเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง หรือ DBH. ตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตร (GBH ประมาณ 15 เซนติเมตร) และทำการวางแผนย่อยขนาด 10 x 10 ตารางเมตร (0.01 เฮกแตร์) เพื่อวัดขนาดของไม้รุ่นหรือไม้หนุ่ม (Sapling) ทุกต้นที่มีขนาด DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และมีความสูงมากกว่า 1.30 เมตร สำหรับแปลงย่อยขนาด 1 x 1 ตารางเมตร ทำการนับจำนวนของกล้าไม้ (Seedlings) และไม้พื้นล่าง (understorey) ทุกชนิด โดยวางแผนให้อยู่ที่มุมล่างขวาของแปลงขนาด 20 x 20 ตารางเมตร ผลการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของพรรณไม้ในแปลงตัวอย่างของแต่ละเส้นทางสำรวจมีดังต่อไปนี้

3.2.1 แปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจที่ 1

แปลงศึกษาชนิดพันธุ์ไม้อยู่บริเวณพื้นที่ป่าไม้ทางเข้าน้ำตกแก่งโสภา บ้านแยง ตำบลบ้านแยง อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก มีสภาพทั่วไปเป็นป่าเต็งรังชั้นที่สอง (secondary forest) บนพื้นราบ ที่เคยถูกบุกรุกทำลายมาก่อน มีการทำแนวกันไฟ แต่มีไฟไหม้ในบางปี โดยมีระดับความสูงของพื้นที่ประมาณ 440 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง พบไม้พื้นล่างเป็นไผ่เพ็ก (*Arundinaria pusilla* (Chevalier & A. Camus) Nguyen) สูงประมาณ 1.5 ถึง 1.8 เมตร ขึ้นปกคลุมพื้นล่างหนาแน่น การปกคลุมของเรือนยอดประมาณ 50% ของพื้นที่

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแปลงศึกษาในเส้นทางที่ 1 (ตารางที่ 3) พบว่า พบไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (GBH มากกว่า 15 เซนติเมตรขึ้นไป) จำนวน 15 ชนิด ความหนาแน่นของไม้ใหญ่รวม 775 ต้น/เฮกแตร์ โดยไม้พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.) มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงที่สุด เท่ากับ 16.13 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm.ex.Miq.) และ แดง (*Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub) มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์รองลงมาตามลำดับ พันธุ์ไม้ที่มีความเด่นสัมพัทธ์สูงสุดคือ ไม้พลวง (18.35 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาได้แก่ เหียง ประดู่เลือด (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz T.) และ มะม่วงป่า (*Mangifera caloneura* Kurz.) คือมีค่าเท่ากับ 17.65, 14.99 และ 11.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อรวมค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของพันธุ์ไม้ (ยกเว้นค่าความถี่สัมพัทธ์สูงสุด) พบว่า ชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่ที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด คือ

ไม้พลวง รองลงมาได้แก่ เหียง กับประดู่เลือด คือมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 34.48, 30.55 และ 21.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ไม้พลวง เป็นพันธุ์ไม้ที่มีความสำคัญมากที่สุดในป่าเต็งรังชั้นที่สอง (เคยถูกบุกรุกทำลาย) บนที่ราบความสูงระดับประมาณ 400 ถึง 500 เมตร ซึ่งมีความเด่นสัมพัทธ์ที่แสดงถึงการมีอิทธิพลในการบดบังแสงสว่างและมีอิทธิพลต่อสมบัติของดินมากที่สุด สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ (Species biodiversity index; H') ไม้ใหญ่ในพื้นที่ป่าเต็งรังชั้นที่สองของแปลงศึกษาในเส้นทางที่ 1 มีค่าเท่ากับ 3.628

สำหรับไม้รุ่น (Sapling) ซึ่งเป็นพรรณไม้ป่าที่มีขนาดวัดรอบเพียงอก (GBH) น้อยกว่า 15 เซนติเมตร แต่มีความสูงมากกว่า 1.30 เมตร ในแปลงขนาด 10 x 10 ตารางเมตร จากผลการศึกษาในตารางที่ 4 พบว่า ไม้รุ่นในป่าเต็งรังชั้นที่สองแห่งนี้ ที่มีความหนาแน่นมากที่สุดคือ เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm.ex.Miq.) มีค่าเท่ากับ 33.33 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ก่อ่น้ำ (*Lithocarpus annamensis* A. Camus) และ เปล้าเลือด (*Croton robustus* Kurz.) มีค่าเท่ากับ 12.50 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน ชนิดพันธุ์ไม้รุ่นที่มีความเด่นสัมพัทธ์สูงสุดคือ ไม้เหียง (64.36 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาได้แก่ เปล้าเลือด มีค่าเท่ากับ 22.31 เปอร์เซ็นต์ ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของพันธุ์ไม้ พบว่า ชนิดพันธุ์ไม้รุ่นที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด คือ เหียง มีค่าเท่ากับ 97.69 รองลงมาได้แก่ เปล้าเลือด และ หนามกาย-ปู้เจ้า มีค่าเท่ากับ 34.81 และ 15.07 ตามลำดับ สำหรับค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของชนิดพันธุ์ไม้รุ่น พบว่า ไม้เหียง เป็นไม้รุ่นที่มีความสำคัญมากที่สุดของป่าเต็งรังชั้นที่สองบนที่ราบปานกลางที่มีระดับความสูงประมาณ 400 ถึง 500 เมตร ในบริเวณพื้นที่อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง โดยที่ค่าเท่ากับ 97.69 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ไม้รุ่นที่มีค่าความสำคัญทางนิเวศวิทยา รองลงมาได้แก่ เปล้าเลือด มีค่าเท่ากับ 34.81 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชไม้รุ่นในพื้นที่ป่าเต็งรังชั้นที่สองของแปลงศึกษาในเส้นทางที่ 1 มีค่าเท่ากับ 2.991

ตารางที่ 5 แสดงค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้ในป่าเต็งรังชั้นที่ 2 บนเส้นทางสำรวจที่ 1 พบว่า มะพอก (*Parinari anamensis* Hance.) มีจำนวนกล้าไม้มากที่สุด ในขณะที่ ไม้แพ็ก (*Arundinaria pusilla* (Chevalier & A. Camus) Nguyen) เป็นพืชพื้นล่างที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงสุด สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์กล้าไม้และไม้พื้นล่างในป่าเต็งรังชั้นที่สองของแปลงศึกษาในเส้นทางที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1.335

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้ใหญ่ในป่าเต็งรังของเส้นทางสำรวจที่ 1

No.	Species	Tree (No.)	Dens (Tree/ha)	Rel.Dens (%)	B.A. (m ²)	Spp.Domin	Rel.Domin (%)	IVI (%)	Shannon Index
1	สมอไทย	2	50	6.45	0.20	0.20	0.39	6.85	-0.255
2	ประดู่เลื้อย	2	50	6.45	7.76	7.76	14.99	21.44	-0.255
3	เปล้าเลือด	3	75	9.68	0.58	0.58	1.13	10.81	-0.326
4	เหียง	4	100	12.90	9.13	9.13	17.65	30.55	-0.381
5	เกร็ดดำ	3	75	9.68	3.94	3.94	7.61	17.29	-0.326
6	เกร็ดแดง	1	25	3.23	1.00	1.00	1.94	5.16	-0.160
7	เต็ง	1	25	3.23	0.03	0.03	0.05	3.28	-0.160
8	พลวง	5	125	16.13	9.49	9.49	18.35	34.48	-0.425
9	กระโดน	1	25	3.23	1.30	1.30	2.52	5.75	-0.160
10	แดง	4	100	12.90	2.94	2.94	5.67	18.58	-0.381
11	มะกอกกล่อม	1	25	3.23	0.22	0.22	0.42	3.64	-0.160
12	มะปอก	1	25	3.23	3.41	3.41	6.60	9.82	-0.160
13	มะม่วงป่า	1	25	3.23	6.09	6.09	11.77	15.00	-0.160
14	กอน้ำ	1	25	3.23	3.68	3.68	7.11	10.33	-0.160
15	ติ้วขน	1	25	3.23	1.97	1.97	3.80	7.03	-0.160
		31	775	100.00	51.74	51.74	100.00	200	-3.628

ตารางที่ 4 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้รุ่นในป่าเต็งรังของเส้นทางสำรวจที่ 1

No.	Species	Tree (No.)	Dens (Tree/ha)	Rel.Dens (%)	B.A. (m ²)	Spp.Domin	Rel.Domin (%)	IVI (%)	Shannon Index
1	เต็ง	1	100	4.17	0.0336	0.0336	1.9650	6.13	-0.1910
2	มะดุก	1	100	4.17	0.0286	0.0286	1.6743	5.84	-0.1910
3	เปิ้ล้าเลือด	3	300	12.50	0.3815	0.3815	22.3057	34.81	-0.3750
4	ตับเต่าตัน	1	100	4.17	0.0127	0.0127	0.7441	4.91	-0.1910
5	กอน้ำ	3	300	12.50	0.0368	0.0368	2.1505	14.65	-0.3750
6	สมอไทย	1	100	4.17	0.0241	0.0241	1.4069	5.57	-0.1910
7	เหียง	8	800	33.33	1.1008	1.1008	64.3596	97.69	-0.5283
8	หนามกาย- ปู่เจ้า	3	300	12.50	0.0548	0.0548	3.2039	15.70	-0.3750
9	มะพอก	1	100	4.17	0.0241	0.0241	1.4069	5.57	-0.1910
10	ดิวขน	1	100	4.17	0.0072	0.0072	0.4186	4.59	-0.1910
11	หลวง	1	100	4.17	0.0062	0.0062	0.3646	4.53	-0.1910
		24	2400	100	1.71	1.71	100	200	-2.991

ตารางที่ 5 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้ในป่าเต็งรังของเส้นทางสำรวจที่ 1

No.	Species	Tree (No.)	Rel.Dens (%)	Pi	Shannon-Wiener Index
1	กอน้ำ	3	4.55	0.045	-0.203
2	มะขามป้อม	1	1.52	0.015	-0.092
3	ตะแบกเลือด	2	3.03	0.030	-0.153
4	เพ็ก	51	77.27	0.773	-0.287
5	เหียง	2	3.03	0.030	-0.153
6	เต็ง	3	4.55	0.045	-0.203
7	มะพอก	4	6.06	0.061	-0.245
		66	100.00	1	-1.335

3.2.2 แปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจที่ 2

แปลงศึกษาชนิดพันธุ์ไม้ในเส้นทางเดินสำรวจที่ 2 อยู่ใกล้กับชุมชนฐานแตก บ้านร่มเกล้า ตำบลชมพู อำเภอนิคมบ่งพร จังหวัดพิษณุโลก สภาพทั่วไปในปัจจุบันเป็นทุ่งหญ้า พบไม้ใหญ่ขึ้นกระจายน้อยมาก โดยพื้นที่แห่งนี้เคยเป็นไร่เลื่อนลอยมาก่อนและได้ถูกทิ้งร้างประมาณ 10 ถึง 15 ปี โดยมีระดับความสูงของพื้นที่ ประมาณ 503 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง พบไม้พื้นล่างเป็นหญ้าพง (*Neyraudia reynaudiana* (Kunth) H. Keng ex Hitchc.) หญ้าคา (*Imperata cylindrica* (Linn.) Beauv.) และสาบเสือ (*Eupatorium odoratum* Linn.) ขึ้นปกคลุมพื้นล่างสูงประมาณ 20 ถึง 40 เซนติเมตร และพบว่าไม้ไฟป่าไหม้ในพื้นที่ทุกปี การปกคลุมของเรือนยอดประมาณ 5% ของพื้นที่

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแปลงศึกษาในเส้นทางที่ 2 (ตารางที่ 6) พบว่า ถ่อน (*Albizia procera* Roxb.) เป็นไม้ใหญ่เพียงชนิดเดียวที่พบในแปลงสำรวจ โดยมีความหนาแน่นรวม 75 ต้น/เฮกเตอร์ มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีความเด่นสัมพัทธ์ เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าผลรวมดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของพันธุ์ไม้ (ยกเว้นค่าความถี่สัมพัทธ์สูงสุด) เท่ากับ 200 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอาจบ่งชี้ได้ว่า ถ่อน เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของพื้นที่ที่ถูกปล่อยทิ้งร้าง ซึ่งสภาพเดิมเคยปลูกพืชไร่ติดต่อกันมานานมาก่อนหลายสิบปี อาจส่งผลให้ดินเสื่อมโทรมขาดความอุดมสมบูรณ์ ประกอบกับมีไฟป่าไหม้ในพื้นที่ทุกปี จึงเป็นสาเหตุให้มีความแตกต่างของชนิดพันธุ์ไม้เล็กน้อย โดยค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่มีค่าเท่ากับ ศูนย์ สำหรับจำนวนและชนิดของไม้รุ่น (Sapling) ไม่พบในแปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชของเส้นทางสำรวจที่ 2

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้และพืชพื้นล่างในทุ่งหญ้าบนเส้นทางสำรวจที่ 2 แสดงรายละเอียดในตารางที่ 7 พบว่า หญ้าคา เป็นพืชพื้นล่างที่ขึ้นปกคลุมพื้นที่ที่มีจำนวนมากที่สุด โดยมีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 80.77 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่หญ้าพงและสาบเสือ มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 16.77 และ 2.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชพื้นล่างในทุ่งหญ้าที่เคยเป็นไร่เลื่อนลอยมาก่อนในเส้นทางที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.815

ตารางที่ 6 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้ใหญ่ในทุ่งหญ้า ของเส้นทางสำรวจที่ 2

No.	Species	Tree (No.)	Dens (Tree/ha)	Rel.Dens (%)	B.A. (m ²)	Spp.Domin	Rel.Domin (%)	IVI (%)	Shannon- Wiener Index
1	ถ่อน	3	75	100.00	6.55	6.55	100.00	200	0
		3	75	100.00	6.55	6.55	100.00	200	0

ตารางที่ 7 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้ในทุ่งหญ้า ของเส้นทางสำรวจที่ 2

No.	Species	Tree (No.)	Rel.Dens (%)	Pi	Shannon-Wiener Index
1	พง	13	16.67	0.167	-0.431
2	หญ้าคา	63	80.77	0.808	-0.249
3	สาบเสือ	2	2.56	0.026	-0.136
		78	100.00	1	-0.8152

3.2.3 แปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจที่ 3

แปลงศึกษาชนิดพันธุ์ไม้ในเส้นทางเดินสำรวจที่ 3 อยู่ระหว่างเส้นทางเดินศึกษาธรรมชาติทุ่งนา ผกค. ไปผืนป่าเต็งรังผสมสนสองใบ ในบริเวณหนองแม่นา ตำบลหนองแม่นา อำเภอเขาค้อ จังหวัด เพชรบูรณ์ โดยสภาพทั่วไปของแปลงศึกษาเป็นบริเวณยอดเขาสูง ซึ่งมีความสูงประมาณ 786 เมตร พื้นที่ปกคลุมไปด้วยพรรณไม้ในป่าเต็งรังขึ้นผสมปะปนกับไม้สนสองใบขนาดใหญ่ มีเรือนยอดปกคลุม พื้นที่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ และมีผักกาดคง (*Gynura pseudo-china* DC.) หญ้าคมบาง (*Carex slramentita* Bott ex Boeck) หญ้าคา (*Imperata cylindrica* (Linn.) Beauv.) หญ้าข้าวนก (*Echinochloa Colomum* (L.) Link.) และต้นเป้ง (*Olea maritima* Wall) ขึ้นเป็นพรรณพืชพื้นล่าง

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของชนิดพันธุ์พืชในแปลงศึกษาของ เส้นทางที่ 3 (ตารางที่ 8) พบว่า มีชนิดพันธุ์ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm.ex.Miq.) สนสองใบ (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) และ เหมือดโลด (*Aporusa villosa* Baill.) โดย เหียง เป็นไม้ใหญ่ที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 60 ต้น/เฮกแตร์ และมีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงที่สุด เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสนสองใบ เป็นชนิด พันธุ์ไม้ที่มีความเด่นสัมพัทธ์สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 80.34 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ เหียง และเหมือด มีความ

เด่นสัมพัทธ์เท่ากับ 19.58 และ 0.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของพันธุ์ไม้ (ยกเว้นค่าความถี่สัมพัทธ์สูงสุด) พบว่า ชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่ที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุดในระบบนิเวศป่าเต็งรังผสมสนสองใบ บริเวณพื้นที่หนองแม่นา คือ สนสองใบ รองลงมาได้แก่ เหียง โดยมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 100.34 และ 79.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชไม้ใหญ่ในพื้นที่ป่าเต็งรังผสมสนสองใบของแปลงศึกษาในเส้นทางที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1.371 สำหรับจำนวนและชนิดของไม้รุ่น (Sapling) ไม่พบในแปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชของเส้นทางสำรวจที่ 3

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้และพืชพื้นล่างในป่าเต็งรังผสมสนสองใบบนเส้นทางที่สำรวจที่ 3 แสดงรายละเอียดในตารางที่ 9 พบว่า หญ้าคา (*Imperata cylindrica* Beauv.) เป็นพืชพื้นล่างที่ขึ้นปกคลุมพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงสุด มีค่าเท่ากับ 71.43 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่หญ้าคมบาง มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 28.57 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชพื้นล่างในป่าเต็งรังผสมสนสองใบของเส้นทางที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.863

ตารางที่ 8 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้ใหญ่ในป่าเต็งรังผสมสนสองใบของเส้นทางสำรวจที่ 3

No.	Species	Tree (No.)	Dens (Tree/ha)	Rel.Dens (%)	B.A. (m ²)	Spp.Domin	Rel.Domin (%)	IVI (%)	Shannon Index
1	สนสองใบ	1	25	20.00	19.86	19.86	80.34	100.34	-0.464
2	เหียง	3	75	60.00	4.84	4.84	19.58	79.58	-0.442
3	เหมือดโสด	1	25	20.00	0.02	0.02	0.08	20.08	-0.464
		5	125	100.00	24.72	24.72	100.00	200	-1.371

ตารางที่ 9 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้ในป่าเต็งรังผสมสนสองใบของเส้นทาง
สำรวจที่ 3

No.	Species	Tree (No.)	Rel.Dens (%)	Pi	Shannon-Wiener Index
1	หญ้าคา	25	71.43	0.7143	-0.3467
2	หญ้าคมบาง	10	28.57	0.2857	-0.5164
		35	100.00	1.00	-0.8631

3.2.4 แปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจที่ 4

แปลงศึกษาชนิดพันธุ์ไม้ในเส้นทางเดินสำรวจที่ 4 อยู่บนเส้นทางทุ่งนางพญา-ลานกางเต็นท์ที่ 1 ในเขตหนองแม่นา ตำบลหนองแม่นา อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยสภาพทั่วไปของแปลงศึกษาเป็นบริเวณพื้นที่ราบสูง มีความสูงประมาณ 750 เมตร ปกคลุมไปด้วยพรรณไม้ในป่าสนเขาขึ้นปะปนกับไม้เหียงและเหมือด การปกคลุมเรือนยอดประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และสภาพพื้นล่างปกคลุมด้วยหญ้าและกล้าไม้หลายชนิดขึ้นแน่นทึบ

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแปลงศึกษาในเส้นทางที่ 4 (ตารางที่ 10) พบว่า พบไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (GBH มากกว่า 15 เซนติเมตรขึ้นไป) จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ สนสองใบ (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm.ex.Miq.) และเหมือดโลด (*Aporosa villosa* Baill.) มีความหนาแน่นของไม้ใหญ่รวม 325 ต้น/เฮกแตร์ โดยไม้สนสองใบ มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงที่สุด เท่ากับ 38.46 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ ไม้เหียงและ เหมือด มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากันที่ 30.77 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์ไม้ที่มีความเด่นสัมพัทธ์สูงสุด คือ สนสองใบ (87.91 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาได้แก่ เหียง และ เหมือด มีค่าเท่ากับ 9.63 และ 2.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อรวมค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของพันธุ์ไม้ (ยกเว้นค่าความถี่สัมพัทธ์สูงสุด) พบว่า ชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่ที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด คือ สนสองใบ รองลงมาได้แก่ เหียง และ เหมือด คือมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 126.37, 40.40 และ 33.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ไม้สนสองใบ เป็นพันธุ์ไม้ที่มีความสำคัญมากที่สุดในพื้นที่ป่าสนเขาผสมเหียงที่มีระดับความสูงประมาณ 700-800 เมตร สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่ในพื้นที่ป่าสนเขาผสมเหียงบริเวณทุ่งนางพญาของแปลงศึกษาในเส้นทางที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1.577

สำหรับไม้รุ่ม (Sapling) ที่สำรวจในแปลงขนาด 10 x 10 ตารางเมตร พบว่า ไม้รุ่มในป่าสนเขาผสมเหียงแห่งนี้ ที่มีความหนาแน่นมากที่สุดคือ กระพี้เขาควาย (*Dalbergia cultrata* Grah. ex Benth.) มีค่าเท่ากับ 60.83 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm.ex.Miq.) และเหมือดโลด (*Aporosa villosa* Baill.) มีค่าเท่ากับ 22.92 และ 13.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชไม้รุ่มในพื้นที่ป่าสนเขาผสมเหียงของแปลงศึกษาในเส้นทางที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1.466 (ตารางที่ 11)

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้และพืชพื้นล่างในป่าสนเขาผสมเหียงบริเวณทุ่งนางพญา แสดงรายละเอียดในตารางที่ 12 พบว่า หญ้าคมบาง (*Carex slramentita* Bott ex Boeck) เป็นพืชพื้นล่างที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 76.60 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่เฟิร์นกูดช้าง หรือ ผักกูดช้าง (*Thelypteris interrupta* K. Iwats.) มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 6.38 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กล้าไม้ที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงที่สุด คือ เหมือดโลด มีค่าเท่ากับ 8.51 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ ช้างน้ำว (*Gomphia serrata* Kanis) และ กระพี้เขาควาย มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์รองลงมา สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของกล้าไม้และชนิดพันธุ์พืชพื้นล่างในป่าสนเขาผสมเหียงบริเวณทุ่งนางพญา มีค่าเท่ากับ 1.2382

ตารางที่ 10 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้ใหญ่ในป่าสนเขาผสมเหียง ของเส้นทาง

สำรวจที่ 4

No.	Species	Tree (No.)	Dens (Tree/ha)	Rel.Dens (%)	B.A. (m ²)	Spp.Domin	Rel.Domin (%)	IVI (%)	Shannon Index
1	สนสองใบ	5	125	38.46	65.52	65.52	87.91	126.37	-0.5302
2	เหียง	4	100	30.77	7.18	7.18	9.63	40.40	-0.5232
3	เหมือดโลด	4	100	30.77	1.83	1.83	2.46	33.23	-0.5232
		13	325	100.00	74.53	74.53	100.00	200	-1.577

ตารางที่ 11 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้รุ่มในป่าสนเขาผสมเหียง ของเส้นทางสำรวจที่ 4

No.	Species	Tree (No.)	Rel.Dens (%)	Shannon-Wiener Index
1	กระพี้เขาควาย	146	60.83	-0.4362
2	เหมือดโลด	33	13.75	-0.3936
3	เหียง	55	22.92	-0.4871
4	ส้านใหญ่	1	0.42	-0.0329
5	ซังนาว	5	2.08	-0.1164
		24	100	-1.466

ตารางที่ 12 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้และไม้พื้นล่างในป่าสนเขาผสมเหียงของเส้นทางสำรวจที่ 4

No.	Species	Tree (No.)	Rel.Dens (%)	Shannon-Wiener Index
1	เฟิร์นกุชช้าง	3	6.38	-0.2534
2	กระพี้เขาควาย	2	4.26	-0.1938
3	เหมือดโลด	4	8.51	-0.3025
4	หญ้ามอบาง	36	76.60	-0.2946
5	ซังนาว	2	4.26	-0.1938
		47	100	-1.2382

3.2.5 แปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจที่ 5

แปลงศึกษาชนิดพันธุ์ไม้ในเส้นทางเดินสำรวจที่ 5 อยู่บนเส้นทางแก่งวังน้ำเย็น-ป่าดิบแล้ง-ป่าสนเขา ในเขตหนองแม่นา ตำบลหนองแม่นา อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยสภาพทั่วไปของแปลงศึกษาเป็นบริเวณทุ่งหญ้าบนพื้นที่ราบ มีความสูงประมาณ 724 เมตร เคยเป็นทุ่งนาเก่าที่ถูกทิ้งร้างไว้ประมาณ 20 ปี และพบว่ามีไฟไหม้ทุกปี การปกคลุมเรือนยอดของต้นไม้ขนาดใหญ่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ และสภาพพื้นล่างมีหญ้าคา (*Imperata cylindrica* (Linn.) Beauv.) สาบเสือ (*Eupatorium odoratum* Linn.) หญ้าพง (*Sorghum propinquum* Hitchc. var. *siamensis* Snowden) หญ้า

ขน (*Coelorachis striata* A. Camus) และ หญ้าข้าวนก (*Echinochloa colonum* Link.) ขึ้นปกคลุม สูงประมาณ 10 ถึง 40 เซนติเมตร

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแปลงศึกษาในเส้นทางที่ 5 (ตารางที่ 13) พบว่า พบไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (GBH มากกว่า 15 เซนติเมตรขึ้นไป) จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica* Linn.) และ กระพี้จั่น (*Millettia brandisiana* Kurz) มีความหนาแน่นของไม้ใหญ่รวม 50 ต้น/เฮกแตร์ โดยไม้ทั้งสองชนิดดังกล่าว มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยที่มะขามป้อมมีความเด่นสัมพัทธ์ เท่ากับ 80.62 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กระพี้จั่นมีความเด่นสัมพัทธ์ เท่ากับ 19.74 เปอร์เซ็นต์ การวิเคราะห์ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของพันธุ์ไม้ใหญ่ในทุ่งหญ้าที่เคยเป็นทุ่งนาเก่า พบว่า มะขามป้อม มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 130.26 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กระพี้จั่นมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 69.74 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่ในทุ่งหญ้าที่เคยเป็นทุ่งนาเก่าบริเวณหนองแม่นา มีค่าเท่ากับ 1.00

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้รุ่ม กล้าไม้ และพืชพื้นล่างในทุ่งหญ้าที่เคยเป็นทุ่งนาเก่าบนเส้นทางสำรวจที่ 5 แสดงรายละเอียดในตารางที่ 14 พบว่า ไม่มีการปรากฏของไม้รุ่มและกล้าไม้ของชนิดพันธุ์ไม้ยืนต้นหรือไม้พุ่ม ส่งผลให้การผกผันภายในสังคมพืชไม่สูงมากนัก ซึ่งอาจเนื่องมาจากสังคมทุ่งหญ้าที่กำลังพัฒนาไปเป็นสังคมถาวรที่ถูกกำหนดด้วยไฟ (pyric climax) สำหรับพืชพื้นล่าง พบว่า หญ้าคา เป็นพืชพื้นล่างที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 87.5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่หญ้าพง หญ้าขน สาบเสือ และหญ้าข้าวนก มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 4.46, 3.57, 2.68 และ 1.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของกล้าไม้และชนิดพันธุ์พืชพื้นล่างในป่าสนเขาพสมเหียงของเส้นทางที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.784

ตารางที่ 13 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้ใหญ่ในทุ่งหญ้า ของเส้นทางสำรวจที่ 5

No.	Species	Tree (No.)	Dens (Tree/ha)	Rel.Dens (%)	B.A. (m ²)	Spp.Domin	Rel.Domin (%)	IVI (%)	Shannon Index
1	มะขามป้อม	1	25.00	50.00	2.91	2.91	80.26	130.26	-0.500
2	กระพี้จั่น	1	25.00	50.00	0.72	0.72	19.74	69.74	-0.500
		2	50	100.00	3.63	3.63	100.00	200	-1.000

ตารางที่ 14 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้และไม้พื้นล่างในทุ่งหญ้า ของเส้นทาง
สำรวจที่ 5

No.	Species	Tree (No.)	Rel.Dens (%)	Pi	Shannon-Wiener Index
1	สาบเสือ	3	2.68	0.027	-0.1399
2	หญ้าคา	98	87.5	0.875	-0.1686
3	หญ้าขน	4	3.57	0.036	-0.1717
4	หญ้าพง	5	4.46	0.045	-0.2002
5	หญ้าข้าวนก	2	1.79	0.018	-0.1037
		112	100.0	1.00	-0.7841

3.2.6 แปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจที่ 6

แปลงศึกษาชนิดพันธุ์ไม้ในเส้นทางเดินสำรวจที่ 6 อยู่บนเส้นทางจากชุมชนฐานแตก (ตำบล
ชมพู อำเภอนิคมบ่งพร จังหวัดพิษณุโลก) ไปทุ่งโนนสน เป็นระยะทางประมาณ 9 กิโลเมตร ซึ่งสภาพ
สังคมป่าไม้ตลอดเส้นทางสำรวจพบได้ตั้งแต่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ ป่าเบญจพรรณผสมไผ่บง
(*Bambusa natans* Wall.) และป่าสนเขา สำหรับสภาพโดยทั่วไปของแปลงศึกษาบริเวณทุ่งโนนสน มี
ลักษณะเป็นที่ราบทุ่งหญ้าแบบสะวันนาที่มีต้นสนสองใบ (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) ขนาด
ใหญ่ขึ้นสลับกับไม้ตระกูลก่อ (*Castanopsis* sp.) และมีพืชล้มลุกและหญ้าหลายชนิดขึ้นปกคลุมพื้นล่าง
หนาแน่น เช่น กูดเกียะ (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn var. *wightianum* (J. Agardh) Tryon) สร้อย
สุวรรณ (*Utricularia bifida* Linn.) คูติตา (*Utricularia delphinoides* Thr.expell) หญ้าหนวดเสือ หรือ
ดอกดิน (*Burmanna coelestris* D.Don) กระดุมเงิน (*Eriocaulon henryanum* Ruhde.) หญ้าข้าวกำ
(*Buchnera cruciata* Ham.) หม้อข้าวหม้อแกงลิง หรือ น้ำเต้าลม (*Nepenthes thorelii* Lec.) หญ้าบัว
(*Xyris indica* Linn.) เทียนป่า (*Impatiens calcicola* Craib.) หญ้าหงอนเงือก (*Murdannia gigantea*
Brueck.) ข่าป่า (*Catimium malaccense* Holtt.) แสม้าอ้อ (*Leptocarpus disjunctus* Mast.) หญ้าถอด
ปล้อง (*Equisetum debile* Roxb.) หญ้าหนูตัน (*Dianella ensifolia*) หญ้าหงอนนาค (*Murdannia*
giganteum (Vahl.) Br.) และเอ็นอ้า (*Osbeckia watanae* Craib.) เป็นต้น การปกคลุมเรือนยอดของต้นไม้

ขนาดใหญ่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ ดินชั้นบน (0-20 เซนติเมตร) มีสภาพเป็นทรายจัด แปลงศึกษามีความสูงของพื้นที่ประมาณ 945 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแปลงศึกษาในเส้นทางที่ 6 (ตารางที่ 15) พบว่า พบไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (GBH มากกว่า 15 เซนติเมตรขึ้นไป) จำนวน 4 ชนิด มีความหนาแน่นของไม้ใหญ่รวม 250 ต้น/เฮกแตร์ โดยสนสองใบ (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์และความเด่นสัมพัทธ์สูงสุด มีค่าเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ และ 98.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของพันธุ์ไม้ใหญ่ในทุ่งหญ้าสะวันนาบริเวณทุ่งโนนสน พบว่า สนสองใบ มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด มีค่าเท่ากับ 158.09 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ไม้ตะกุดก่อ (*Castanopsis* sp.) ที่มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 21.12 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่ในทุ่งหญ้าแบบสะวันนาบริเวณทุ่งโนนสน มีค่าเท่ากับ 1.571

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้รุ่ม กล้าไม้ และพืชพื้นล่างในทุ่งหญ้าสะวันนาบริเวณทุ่งโนนสน แสดงรายละเอียดในตารางที่ 16 พบว่า ไม่มีการปรากฏของไม้รุ่มและกล้าไม้ของชนิดพันธุ์ไม้ยืนต้น สำหรับความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชพื้นล่าง พบว่า กูดเกียะ เป็นพืชพื้นล่างที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงสุด มีค่าเท่ากับ 42.67 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ แสม้าฮ่อ หญ้าถอดปล้อง หญ้าบัว และ เอ็นอ้า โดยมีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 13.33 8.00 6.67 และ 6.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชพื้นล่างในทุ่งหญ้าสะวันนาบริเวณทุ่งโนนสน ของเส้นทางที่ 6 มีค่าเท่ากับ 2.7857

ตารางที่ 15 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้ใหญ่ในทุ่งหญ้าแบบสะวันนาบริเวณทุ่งโนนสน
ของเส้นทางสำรวจที่ 6

No.	Species	Tree (No.)	Dens (Tree/ha)	Rel.Dens (%)	B.A. (m ²)	Spp.Domin	Rel.Domin (%)	IVI (%)	Shannon Index
1	สนสองใบ	6	150	60.00	192.55	192.55	98.18	158.09	-0.442
2	ก่อ	2	50	20.00	2.19	2.19	1.12	21.12	-0.464
3	Unknown 1	1	25	10.00	1.30	1.30	0.67	10.66	-0.332
4	Unknown 2	1	25	10.00	0.25	0.25	0.13	10.13	-0.332
		10	250	100.00	196.30	196.30	100.00	200	-1.571

ตารางที่ 16 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้และพืชพื้นล่างในทุ่งหญ้าแบบสะวันนา
บริเวณทุ่งโนนสน ของเส้นทางสำรวจที่ 6

No.	Species	Tree (No.)	Rel.Dens (%)	Pi	Shannon-Wiener Index
1	เอ็นอ้า	25	6.67	0.067	-0.2605
2	กุฎแก๊ยะ	160	42.67	0.427	-0.5243
3	ข่าป่า	1	0.27	0.003	-0.0228
4	แส้ม้าฮ่อ	50	13.33	0.133	-0.3876
5	หญ้าถอดปล้อง	30	8.00	0.080	-0.2915
6	หญ้าบัว/กระดุมทอง	25	6.67	0.067	-0.2605
7	สร้อยสุวรรณา	10	2.67	0.027	-0.1394
8	หญ้าหนุตัน	12	3.20	0.032	-0.1589
9	คูติตา	5	1.33	0.013	-0.0831
10	หญ้าหงอนเงือก	2	0.53	0.005	-0.0403
11	หญ้าหงอนนาค	2	0.53	0.005	-0.0403
12	กระดุมเงิน	25	6.67	0.067	-0.2605
13	เทียนป่า	3	0.80	0.008	-0.0557
14	หญ้าหนวดเสือ	25	6.67	0.067	-0.2605
		375	100.0	1.00	-2.7857

3.2.7 แปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจที่ 8

แปลงศึกษาชนิดพันธุ์ไม้ในเส้นทางเดินสำรวจที่ 8 อยู่บนเส้นทางระหว่างทุ่งนางพญาและลานกางเต็นท์ที่ 2 ซึ่งสภาพสังคมป่าไม้ตลอดเส้นทางสำรวจพบได้ตั้งแต่ ป่าเต็งรัง ป่าเต็งรังผสมสนสองใบ ป่าดิบแล้ง ป่าสนเขา และป่าทุ่งหรือทุ่งหญ้าสะวันนา สำหรับสภาพโดยทั่วไปของแปลงศึกษาชนิดพันธุ์ไม้ป่าสนเขาบริเวณทุ่งนางพญา ลักษณะเป็นที่ราบมีต้นสนสองใบ (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) ขนาดใหญ่ขึ้นเป็นไม้เด่น ขณะที่เรือนยอดชั้นรองลงมาพบไม้รุ่นและกล้าไม้ของชนิดพันธุ์ไม้ต่าง ๆ เช่น เหมือดโลด (*Aporusa villosa* Baill) มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica* Linn.) ช้างน้ำว (*Gomphia serrata* Kanis) กระบก (*Irvingia malayana* Oliv. ex A. Benn.) ตับเต่าตัน (*Diospyros ehretioides* Wall.) และ กางจืด (*Albizia odoratissima* Benth.) เป็นต้น สำหรับพรรณไม้ของเรือนยอดชั้นล่างมีพืชล้มลุกและหญ้าหลายชนิดขึ้นปกคลุมพื้นล่างไม่หนาแน่นมากนัก เช่น หญ้าเหี่ยว (*Cyperus rotundus* Linn.) หญ้าคมบาง (*Carex slramentita* Bott ex Boeck) และ เฟินป่า (*Nephrolepis biserrata* Schott var. *furcans* Hort.) ปกคลุมเรือนยอดของต้นไม้ขนาดใหญ่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ ดินชั้นบน (0-15 เซนติเมตร) มีสภาพร่วนซุยและมีสีกกล้า โดยเฉพาะดินชั้นหน้าดิน (surface layer) มีสีกกล้ามาก เนื่องจากประกอบไปด้วยอินทรียวัตถุ (organic) เช่น เศษใบไม้และซากใบไม้ ทับถมเน่าเปื่อย รวมถึงอิฐเกิดเป็นดินชั้นโอ (O Horizon หน้าประมาณ 2 เซนติเมตร แปลงศึกษามีความสูงของพื้นที่ประมาณ 953 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพในป่าสนเขาบริเวณทุ่งนางพญา ของเส้นทางสำรวจที่ 8 (ตารางที่ 17) พบว่า พบไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (GBH มากกว่า 15 เซนติเมตรขึ้นไป) จำนวน 6 ชนิด มีความหนาแน่นของไม้ใหญ่รวม 750 ต้น/เฮกเตอร์ โดยสนสองใบ (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) เป็นชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่ที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์และความเด่นสัมพัทธ์สูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 43.33 เปอร์เซ็นต์ และ 98.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ต้นเหมือดโลด มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 20.00 เปอร์เซ็นต์ และต้นช้างน้ำวมีค่าความเด่นสัมพัทธ์เท่ากับ 0.67 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่ในป่าสนเขาบริเวณทุ่งนางพญา พบว่า สนสองใบ มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด มีค่าเท่ากับ 142.06 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ เหมือดโลด ช้างน้ำว กางจืด และ กระบก ซึ่งที่มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 20.28, 14.00, 10.15, และ 10.08 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่ในป่าสนเขาบริเวณทุ่งนางพญา มีค่าเท่ากับ 2.203

จากผลการศึกษาในตารางที่ 18 พบว่า มีชนิดพันธุ์ไม้รุ่น (Sapling) ในป่าสนเขาบริเวณทุ่งนางพญาแห่งนี้ จำนวน 5 ชนิด มีความหนาแน่นรวมของไม้รุ่นเท่ากับ 600 ต้น/เฮกเตอร์ โดย เหมือดโลด (*Aporusa villosa* Baill) มีความหนาแน่นมากสัมพัทธ์สูงสุด มีค่าเท่ากับ 66.67 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา

ได้แก่ ดับเต้าตัน และ มะขามป้อม มีค่าเท่ากับ 16.67 และ 8.33 เปอร์เซ็นต์ ชนิดพันธุ์ไม้รุ่มที่มีความเด่นสัมพัทธ์สูงสุดคือ เหมือดโลด (86.25 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาได้แก่ ดับเต้าตัน มีค่าเท่ากับ 9.58 เปอร์เซ็นต์ ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของชนิดพันธุ์ไม้รุ่มที่มีค่าสูงที่สุดคือ เหมือดโลด มีค่าเท่ากับ 152.92 รองลงมาได้แก่ ดับเต้าตัน มะขามป้อม และ ช้างน้ำว มีค่าเท่ากับ 26.25, 9.21 และ 7.02 ตามลำดับ สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชไม้รุ่มในป่าสนเขาบริเวณทุ่งนางพญาแห่ง ของเส้นทางสำรวจที่ 8 มีค่าเท่ากับ 1.502

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้และพืชพื้นล่างในป่าสนเขาบริเวณทุ่งนางพญา แสดงรายละเอียดในตารางที่ 19 พบว่า หญ้าคมบาง (*Carex slramentita* Bott ex Boeck) เป็นพืชพื้นล่างที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงสุด มีค่าเท่ากับ 48.00 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ หญ้าขน (*Coelorachis striata* A. Camus) และ หญ้าเหี่ยวหมู (*Cyperus rotundus* Linn.) มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 24.00 และ 8.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ มะขามป้อมและเหมือดโลด เป็นชนิดพันธุ์กล้าไม้พบในแปลงศึกษา โดยมีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากันที่ 4.00 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของกล้าไม้และชนิดพันธุ์พืชพื้นล่างในป่าสนเขาบริเวณทุ่งนางพญาแห่ง มีค่าเท่ากับ 2.223

ตารางที่ 17 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้ใหญ่ในป่าสนเขาบริเวณทุ่งนางพญา ของเส้นทางสำรวจที่ 8

No.	Species	Tree (No.)	Dens (Tree/ha)	Rel.Dens (%)	B.A. (m ²)	Spp.Domin	Rel.Domin (%)	IVI (%)	Shannon Index
1	สนสองใบ	13	325	43.33	888.72	888.72	98.73	142.06	-0.5228
2	เหมือดโลด	6	150	20.00	2.54	2.54	0.28	20.28	-0.4644
3	ช้างน้ำว	4	100	13.33	6.02	6.02	0.67	14.00	-0.3876
4	กระบก	3	75	10.00	0.69	0.69	0.08	10.08	-0.3322
5	กางจี่มอด	3	75	10.00	1.34	1.34	0.15	10.15	-0.3322
6	มะขามป้อม	1	25	3.33	0.87	0.87	0.10	3.43	-0.1636
		30	750	100.00	900.18	900.18	100.00	200	-2.2027

ตารางที่ 18 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้รุ่มในป่าสนเขาบริเวณทุ่งนางพญา ของเส้นทาง
สำรวจที่ 8

No.	Species	Tree (No.)	Dens (Tree/ha)	Rel.Dens (%)	B.A. (m ²)	Spp.Domin	Rel.Domin (%)	IVI (%)	Shannon Index
1	ช้างน้ำว	1	25	4.17	0.0644	0.0644	2.85	7.02	-0.1910
2	ดัดเต่าตัน	4	100	16.67	0.2166	0.2166	9.58	26.25	-0.4308
3	เหมือดโสด	16	400	66.67	1.9491	1.9491	86.25	152.92	-0.3900
4	มะขามป้อม	2	50	8.33	0.0199	0.0199	0.88	9.21	-0.2987
5	กางจืด	1	25	4.17	0.0097	0.0097	0.43	4.60	-0.1910
		24	600	100	2.260	2.26	100.00	200	-1.5016

ตารางที่ 19 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้และพืชพื้นล่างในป่าสนเขาบริเวณทุ่ง
นางพญา ของเส้นทางสำรวจที่ 8

No.	Species	Tree (No./0.0001 ha)	Rel.Dens (%)	Pi	Shannon-Wiener Index
1	ชำป่า	1	4.00	0.040	-0.1858
2	มะขามป้อม	1	4.00	0.040	-0.1858
3	เหมือดโสด	1	4.00	0.040	-0.1858
4	หญ้าคมบาง	12	48.00	0.480	-0.5083
5	หญ้าขน	6	24.00	0.240	-0.4941
6	แห้วหมู	2	8.00	0.080	-0.2915
7	Unknown 1	1	4.00	0.040	-0.1858
8	Unknown 2	1	4.00	0.040	-0.1858
		25	100.00	1	-2.2227

3.2.8 แปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชในเส้นทางเดินสำรวจที่ 9

แปลงศึกษาชนิดพันธุ์ไม้ในเส้นทางเดินสำรวจที่ 9 อยู่ในเขตพื้นที่ชุมชนฐานแตก บ้านร่มเกล้า ตำบลชมพู อำเภอนิคมบ่งพร จังหวัดพิษณุโลก พบไม้ใหญ่ขึ้นเพียง 2 ชนิดในแปลงสำรวจตัวอย่าง ขนาด 20x20 เมตร คือ ต้นคูณ (*Cassia fistula* Linn.) และต้นถ่อน (*Albizia procera* Roxb.) พื้นที่แปลงสำรวจมีระดับความสูงของพื้นที่ ประมาณ 420 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ไม่พบไม้หนุมในแปลงขนาด 10x10 เมตร ขณะที่แปลงตัวอย่างขนาด 1x1 เมตร พบไม้พื้นล่างจำนวน 6 ชนิด โดยชนิดที่พบได้มากที่สุดได้แก่ หญ้าคา (*Imperata cylindrica* (Linn.) Beauv.) และสาบเสือ (*Eupatorium odoratum* Linn.) พืชไม้ล่างชนิดอื่น พบจำนวนน้อย ได้แก่ มั่นเภา ผักกาด หญ้าพง และหญ้าเลื่อมอบ

ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแปลงศึกษาในเส้นทางที่ 9 ขนาดแปลงตัวอย่าง 20x20 เมตรนั้น (ตารางที่ 20) มีความหนาแน่นรวม 50 ต้น/เฮกเตอร์ โดยไม้ถ่อนและคูณ มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ เท่ากัน ไม้คูณมีความเด่นสัมพัทธ์มากกว่าไม้ถ่อน โดยมีค่าความเด่นสัมพัทธ์ เท่ากับ 56.23 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าผลรวมดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของพันธุ์ไม้ (ยกเว้นค่าความถี่สัมพัทธ์สูงสุด) พบว่า ต้นคูณ มีค่าเท่ากับ 106.23 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ถ่อน มีค่าดัชนีความสำคัญ เท่ากับ 93.77 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสภาพพื้นที่ในแปลงสำรวจเป็นทุ่งหญ้าร้าง มีร่องรอยของการถูกทิ้งร้างจากการปลูกพืชไร่และมีไฟไหม้ในพื้นที่ทุกปี ทำให้ดินเสื่อมโทรมขาดความอุดมสมบูรณ์ จึงทำให้พบจำนวนชนิดพันธุ์ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่เพียง 2 ชนิด ทำให้ค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่มีค่าน้อย คือ เท่ากับหนึ่ง และไม่พบไม้รุ่น (Sapling) ในแปลงศึกษาชนิดพันธุ์พืชของเส้นทางสำรวจที่ 9

ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้และพืชพื้นล่างในทุ่งหญ้าร้างบริเวณใกล้กับชุมชนฐานแตก บนเส้นทางสำรวจที่ 9 แสดงในตารางที่ 21 ผลการสำรวจพบว่า หญ้าคาเป็นพืชพื้นล่างที่ขึ้นปกคลุมพื้นที่ที่มีจำนวนมากที่สุด รองลงมาได้แก่สาบเสือ โดยหญ้าคา มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ เท่ากับ 53.71 เปอร์เซ็นต์ และสาบเสือ มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 42.57 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพืชพื้นล่างชนิดอื่น ๆ ได้แก่ มั่นเภา ผักกาด เลื่อมอบ และพง มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 0.29 1.43 0.29 และ 1.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชพื้นล่างในทุ่งหญ้าร้างบริเวณใกล้กับชุมชนฐานแตก บนเส้นทางสำรวจที่ 9 มีค่าเท่ากับ 1.2425

ตารางที่ 20 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของไม้ใหญ่ในทุ่งหญ้ารกร้างบริเวณใกล้กับชุมชน

ฐานแตก ของเส้นทางสำรวจที่ 9

No.	Species	Tree (No.)	Dens (Tree/ha)	Rel.Dens (%)	B.A. (m ²)	Spp.Domin	Rel.Domin (%)	IVI (%)	Shannon Index
1	คูณ	1	25	50.00	1.437	1.437	56.23	106.23	-0.5
2	ถ่อน	1	25	50.00	1.119	1.119	43.77	93.77	-0.5
		2	50	100.00	2.555	2.555	100.00	200	-1.000

ตารางที่ 21 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของกล้าไม้ในทุ่งหญ้ารกร้างบริเวณใกล้กับชุมชน

ฐานแตก ของเส้นทางสำรวจที่ 9

No.	Species	Tree (No.)	Rel.Dens (%)	Pi	Shannon-Wiener Index
1	สาบเสือ	149	42.57	0.426	-0.5245
2	หญ้าคา	188	53.71	0.537	-0.4816
3	มันเถา	1	0.29	0.003	-0.0241
4	ผักกาด	5	1.43	0.014	-0.0876
5	เสื่อหมอบ	1	0.29	0.003	-0.0241
6	พง	6	1.71	0.017	-0.1006
		350	100.00	1.00	-1.2425

3.3 การแพร่กระจายเห็ดที่มีเบต้ากลูแคนเป็นองค์ประกอบในพื้นที่อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง

ผลการสำรวจข้อมูลชีวภาพของชนิดเห็ดตามระดับชั้นความสูงของพื้นที่ และตามความหลากหลายของระบบนิเวศป่าไม้ 5 ประเภท ได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง ป่าสน และ ทุ่งหญ้าและสะวันนา ระดับชั้นความสูงที่ทำการสำรวจคือ 200 ถึง 500, 500 ถึง 800, และมากกว่า 800 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (MSL) โดยได้ทำการศึกษาทั้งหมด 10 เส้นทาง ซึ่งแบ่งออกได้ตามฤดูกาลที่ต่างกัน ผลการสำรวจเส้นทางทั้ง 10 เส้นทางสำรวจ (ตารางที่ 22) พบว่า ในเส้นทางสำรวจที่เป็นป่าดิบแล้งและป่าเบญจพรรณจะสามารถพบเห็ดมากที่สุด โดยมีความหลากหลายของเห็ดวงศ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะในป่าไผ่จะพบเห็ดในวงศ์ Ramariaceae มากที่สุด ส่วนในป่าเต็งรังและป่าสนจะพบเห็ดได้บ้าง และไม่พบเห็ดในทุ่งหญ้าและสะวันนา อย่างไรก็ตามฤดูกาลที่ทำการสำรวจมีผลอย่างมากต่อจำนวนและชนิดของเห็ดที่พบ โดยในฤดูแล้งในช่วงเดือนพฤศจิกายน-เดือนกุมภาพันธ์จะพบเห็ดในป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณ ได้น้อย และเห็ดที่พบส่วนใหญ่จะเป็นเห็ดที่แห้งตายแล้ว และไม่พบเห็ดในทุ่งหญ้าและสะวันนาเลย ส่วนในช่วงฤดูฝนในช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม จะพบเห็ดและไลเคนมากในป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ ป่าไผ่ และพบได้บ้างในป่าสน และทุ่งหญ้า นอกจากนี้ในการสำรวจพันธุ์พืชในบางเส้นทางจะไม่สามารถระบุตำแหน่งพิกัดได้เนื่องจากสภาพภูมิอากาศปกคลุมไปด้วยเมฆ ทำให้เครื่องระบุพิกัดตำแหน่งพื้นโลกสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้

ตารางที่ 22 จำนวนชนิดเห็ดที่พบในเส้นทางสำรวจ

เส้นทางสำรวจ	จำนวนชนิดเห็ดที่พบ
น้ำตกแก่งโสภา	16
บ้านร่มเกล้า	6
ทุ่งผกค.	1
ทุ่งนางพญา	7
แก่งวังน้ำเย็น	11
ทุ่งโนนสน	18
น้ำตกแก่งโสภา	12
ป่าสน-ทุ่งนางพญา	29
ฐานแตก	30
ทางเดินธรรมชาติเทพธาโร	17

ผลการสำรวจตัวอย่างเห็ดจากเส้นทางสำรวจทั้งหมด 10 เส้นทาง พบเห็ดในเส้นทางเดินสำรวจที่ 1 ในสภาพป่าเต็งรัง ที่ระดับความสูง 400-560 เมตร ในช่วงเดือนพฤศจิกายน จำนวน 16 ตัวอย่าง เห็ดที่พบในเส้นทางเดินสำรวจที่ 2 ในสภาพป่าดิบแล้ง และทุ่งหญ้า ที่ระดับความสูง 480-520 เมตร ในช่วงเดือนธันวาคม จำนวน 6 ตัวอย่าง เห็ดที่พบในเส้นทางเดินสำรวจที่ 3 ในสภาพป่าแบบทุ่งหญ้า ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าสนเขา ที่ระดับความสูง 700-789 เมตร ในช่วงเดือนมกราคม จำนวน 1 ตัวอย่าง เห็ดที่พบในเส้นทางเดินสำรวจที่ 4 ในสภาพป่าสนเขา ป่าดิบแล้ง ทุ่งหญ้าและทุ่งสะวันนา ที่ระดับความสูง 700-850 เมตร ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ จำนวน 7 ตัวอย่าง เห็ดที่พบในเส้นทางเดินสำรวจที่ 5 ในสภาพป่าแบบทุ่งหญ้าสะวันนา ป่าดิบแล้ง ป่าดิบชื้น และป่าสนเขา ที่ระดับความสูง 700-784 เมตร ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ จำนวน 11 ตัวอย่าง เห็ดที่พบในเส้นทางเดินสำรวจที่ 6 ในสภาพป่าไผ่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และป่าสน ที่ระดับความสูง 400-940 เมตร ในช่วงเดือนมีนาคม จำนวน 18 ตัวอย่าง เห็ดที่พบในเส้นทางเดินสำรวจที่ 7 ในสภาพป่าเต็งรัง ที่ระดับความสูง 400-450 เมตร ในช่วงเดือนพฤษภาคม จำนวน 12 ตัวอย่าง เห็ดที่พบในเส้นทางเดินสำรวจที่ 8 ในสภาพป่าแบบทุ่งหญ้าสะวันนา ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าสนเขา ที่ระดับความสูง 700-920 เมตร ในช่วงเดือนมิถุนายน จำนวน 29 ตัวอย่าง เห็ดที่พบในเส้นทางเดินสำรวจที่ 9 ในสภาพป่าเบญจพรรณ ป่าไผ่ ป่าดิบแล้ง และทุ่งหญ้า ที่ระดับความสูง 400-580 เมตร ในช่วงเดือนกรกฎาคม จำนวน 30 ตัวอย่าง เห็ดที่พบในเส้นทางเดินสำรวจที่ 10 ในสภาพป่าไผ่ ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบแล้ง ที่ระดับความสูง 420-580 เมตร ในช่วงเดือนกันยายน จำนวน 17 ตัวอย่าง ในจำนวนเห็ดทั้งหมดที่สำรวจพบตามเส้นทางเดินสำรวจนั้นสามารถรวบรวมตัวอย่างเห็ดจากเส้นทางต่าง ๆ ได้ทั้งสิ้นมากกว่า 150 ตัวอย่าง โดยไม่สามารถทำการจำแนกสายพันธุ์ ของเห็ดตัวอย่างได้ทั้งหมดเนื่องจากเห็ดตัวอย่างบางชนิดไม่สามารถตรวจจำแนกได้ตามตัวอย่างเห็ดจากหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช และการอ้างอิงจาก Chandrasrikul et al. (2008) TISTR (2007) Royal Institute of Thailand (1996) และ Imazeki et al. (1988) อย่างไรก็ตามจากผลการสำรวจทำให้ทราบได้ว่าลักษณะของระบบนิเวศน์ป่าแต่ละชนิดและสภาพภูมิอากาศมีผลอย่างมากต่อการเจริญและอยู่อาศัยของเห็ด โดยป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และป่าไผ่ ในช่วงฤดูฝนเดือนมิถุนายนและกรกฎาคมจะพบเห็ดชนิดต่าง ๆ ได้มากที่สุด ส่วนในป่าเต็งรัง ป่าสน และทุ่งหญ้าและสะวันนาสามารถพบจำนวนชนิดของเห็ดได้มากขึ้นในฤดูฝนเมื่อเทียบกับระบบนิเวศน์ป่าแบบเดียวกันที่สำรวจในช่วงฤดูแล้งซึ่งพบเห็ดได้น้อยชนิด

3.4 ปริมาณเบต้ากลูแคนของเห็ดที่สำรวจและรวบรวมได้ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง

ในจำนวนเห็ดทั้งหมดที่สำรวจพบตามเส้นทางเดินสำรวจและในแปลงตัวอย่างนั้นสามารถรวบรวมตัวอย่างเห็ดจากเส้นทางต่าง ๆ ได้ทั้งสิ้นมากกว่า 150 ตัวอย่างโดยจำนวนเห็ดตัวอย่างทั้งหมดถูกนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ทำการสกัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณเบต้ากลูแคนตามวิธีดัดแปลงจากวิธีของ McCleary and Hlomes (1985) จากผลการวิเคราะห์พบเห็ดเพียงจำนวน 35 ชนิด ที่มีเบต้ากลูแคนเป็นองค์ประกอบและสามารถจำแนกสายพันธุ์ได้ (ตารางที่ 23 และ 24) และได้ทำการทดลองเปรียบเทียบปริมาณเบต้ากลูแคนในเห็ดเศรษฐกิจชนิดรับประทานได้ 2 ชนิด ได้แก่ เห็ดหอม และเห็ดหลินจือ ซึ่งเป็นเห็ดที่พบว่ามียปริมาณของเบต้ากลูแคนสูง และมีคุณสมบัติในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันและป้องกันมะเร็ง (Wasser et al. 2002; Guterrez et al. 2004; Zheng et al. 2005; Peng et al. 2005) โดยผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณเบต้ากลูแคนในเห็ดหอมมีค่าเท่ากับ 0.34 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) และเห็ดหลินจือมีปริมาณเบต้ากลูแคนเท่ากับ 0.33 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) และเมื่อเปรียบเทียบกับเห็ดตัวอย่างที่รวบรวมได้จากพื้นที่ศึกษาพบว่าเห็ดที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูงได้แก่ เห็ดหน้าอ่อน (*Russula cyanoxantha* (Schaeff.) Fr.; 0.29%) เห็ดถ่าน (*Russula densifolia* (Secr) Gill.; 0.25%) เห็ดน้ำแป้ง (*Russula alboareolata* Hongo; 0.42%) เห็ดขอนแดง (*Pycnoporus cinnabarius*; 0.35%) *Pycnoporus spp.* (0.34%) เห็ดไค (*Russula delica* Fr.; 0.38%) และเห็ดขอนขาว (*Lentinus squarrosulus* Mont; 0.021%) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเห็ดที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูงนั้นส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ Russulaceae และ Polyporaceae

อย่างไรก็ตามเนื่องจากเห็ดบางชนิดพบได้ในป่าที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางมาก และขึ้นเฉพาะฤดูกาล และหาได้ยาก ทำให้สามารถรวบรวมได้ในปริมาณน้อย ไม่พอกับการศึกษาในลำดับต่อไป ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกตัวอย่างเห็ดเพียงบางชนิดที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูง และเป็นเห็ดที่สามารถรวบรวมได้ในปริมาณมาก ในแต่ละฤดูกาล เพื่อนำไปสกัดแยกเบต้ากลูแคน และศึกษาฤทธิ์ในการเสริมระบบภูมิคุ้มกัน รวมไปถึงการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพในทางเภสัชวิทยาต่อไป

ตารางที่ 23 Name of mushroom species, habitat, and beta glucan content

Site No.	Transect No.	Family	Mushroom species	Abbreviation	Beta glucan Content (g/100g)	Forest type*
1	1	Lyophyllaceae	<i>Termitomyces fuliginosus</i> R. Heim	T. fuli	0.01	DDF
		Boletaceae	<i>Boletus colossus</i> R. Heim	B. col	0.03	DDF
		Russulaceae	<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet	R. dens	0.25	DDF
			<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.	R. cyano	0.29	DDF
			<i>Russula alboareolata</i> Hongo	R. albo	0.42	DDF
			<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers.	R. eme	0.10	DDF
			<i>Russula delica</i> Fr.	R. del	0.38	DDF
		Polyporaceae	<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze	M. xan	0.001	DDF
			<i>Pycnoporus cinnabarinus</i> (Jacq.) P. Karst.	P. cin	0.35	DDF
		Amanitaceae	<i>Amanita hemibapha</i> (Berk. & Broome) Sacc.	A. hem	0.05	DDF
			<i>Amanita princeps</i> Corner & Bas	A. prin	0.09	DDF
			<i>Amanita caesarea</i> (Scop.) Pers.	A. cae	0.04	DDF
	2	Lyophyllaceae	<i>Termitomyces fuliginosus</i> R. Heim	T. fuli	0.01	DDF
		Boletaceae	<i>Boletus colossus</i> R. Heim	B. col	0.03	DDF
			<i>Boletus edulis</i> Bull.	B. edu	0.01	DDF
			<i>Heimiella retispora</i> (Pat. & C.F. Baker)	H. reti	0.19	MDFB
			Boedijn			
		Russulaceae	<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet	R. den	0.25	DDF
			<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.	R. cyano	0.29	DDF
			<i>Russula alboareolata</i> Hongo	R. albo	0.42	DDF
			<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers.	R. eme	0.10	DDF
			<i>Russula delica</i> Fr.	R. del	0.38	DDF
		Polyporaceae	<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze	M. xan	0.001	DDF
			<i>Pycnoporus cinnabarinus</i> (Jacq.) P. Karst.	P. cin	0.35	DDF
		Amanitaceae	<i>Amanita hemibapha</i> (Berk. & Broome) Sacc.	A. hem	0.05	DDF
			<i>Amanita princeps</i> Corner & Bas	A. prin	0.09	DDF
			<i>Amanita caesarea</i> (Scop.) Pers.	A. cae	0.04	DDF

ตารางที่ 23 Name of mushroom species, habitat, and beta glucan content (Cont.)

Site No.	Transect No.	Family	Mushroom species	Abbreviation	Beta glucan Content (g/100g)	Forest type*
2	3	Russulaceae	<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet	R. dens	0.25	MDFB
			<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers.	R. eme	0.10	DDF
		Cortinariaceae	<i>Cortinarius claricolor</i> var. <i>turmalis</i> (Fr.) Quadr	C. clar	0.13	DEF
	4	Polyporaceae	<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze	M. xan	0.001	DEF
	5	Russulaceae	<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet	R. dens	0.25	MDFB
		Polyporaceae	<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze	M. xan	0.001	DEF
	6	Russulaceae	<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet	R. dens	0.25	MDFB, GL&SVN
			<i>Russula alboareolata</i> Hongo	R. albo	0.42	GL&SVN
			<i>Russula delica</i> Fr.	R. del	0.38	MDFB
		Lyophyllaceae	<i>Termitomyces tylerianus</i> Otieno	T. tyle	0.12	MDFB
			<i>Termitomyces microcarpus</i> (Berk. & Broome) R. Heim	T. micro	0.08	MDF
			<i>Termitomyces eurhizus</i> (Berk.) R. Heim	T. eur	0.07	MDF
		Polyporaceae	<i>Polyporellus varius</i> (Pers.) P. Karst.	P. var	0.02	MDF, DEF
			<i>Pycnoporus cinnabarinus</i> (Jacq.) P. Karst.	P. cin	0.35	DEF
			<i>Pycnoporus coccineus</i> (Fr.) Bondartsev	P. coc	0.45	DEF
			<i>Lentinus squarrosulus</i> Mont.	L. squa	0.02	MDF
			<i>Daedaleopsis confragosa</i> (Bolton) J. Schröt	D. con	0.03	MDF
			<i>Pycnoporus sanguineus</i> (L.) Fr.	P. san	0.35	DEF
			<i>Amanita princeps</i> Corner & Bas	A. prin	0.09	MDF
		Amanitaceae	<i>Amanita caesarea</i> (Scop.) Pers.	A. cae	0.04	MDF
			<i>Amanita hemibapha</i> (Berk. & Broome) Sacc.	A. hem	0.05	MDF, PF
			<i>Amanita virgineoides</i> Bas	A. vir	0.01	MDF, PF
			<i>Agaricus silvaticus</i> Schaeff.	A. sil	0.03	DEF
		Agaricaceae	<i>Chlorophyllum molybdites</i> (G. Mey.) Massee	C. moly	0.03	MDF

ตารางที่ 23 Name of mushroom species, habitat, and beta glucan content (Cont.)

Site No.	Transect No.	Family	Mushroom species	Abbreviation	Beta glucan Content (g/100g)	Forest type*
3	8	Ganodermataceae	<i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.	G. luci	0.33	MDF
			<i>Amauroderma rugosum</i> (Blume & T. Nees) Torrend	A. rug	0.04	DEF
		Suillaceae	<i>Suillus bovinus</i> var. <i>bovinus</i> (Pers.) Kuntze	S. bov	0.01	MDF, PF
		Cortinariaceae	<i>Cortinarius claricolor</i> var. <i>turmalis</i> (Fr.) Quadr	C. clar	0.13	DEF
		Tricholomataceae	<i>Clitocybe suaveolens</i> (Schumach.) P. Kumm.	C. sua	0.09	MDF
		Sclerodermataceae	<i>Scleroderma verrucosum</i> (Bull.) Pers.	S. ver	0.09	MDF, PF
		Boletaceae	<i>Heimiella retispora</i> (Pat. & C.F. Baker)	H. reti	0.19	MDFB
		Marasmiaceae	<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	L. edo	0.34	DEFF
		Russulaceae	<i>Russula alboareolata</i> Hongo	R. albo	0.42	PF
		Polyporaceae	<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze	M. xan	0.001	PF
	9	Russulaceae	<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.	R. cyano	0.29	PF
		Polyporaceae	<i>Pycnoporus cinnabarinus</i> (Jacq.) P. Karst.	P. cin	0.35	DEF
			<i>Pycnoporus coccineus</i> (Fr.) Bondartsev & Singer	P. coc	0.45	DEF
	10	Russulaceae	<i>Russula alboareolata</i> Hongo	R. albo	0.42	PF
		Polyporaceae	<i>Pycnoporus coccineus</i> (Fr.) Bondartsev & Singer	P. coc	0.45	DEF
			<i>Pycnoporus sanguineus</i> (L.) Fr.	P. san	0.35	DEF

*forest type: DEF, dry evergreen forest; DEFF, dry evergreen forest dominated by Fagaceae; MDF, mixed deciduous forest; MDFB, mixed deciduous forest with bamboo; DDF, deciduous dipterocarp forest; PF, tropical pine forest; GL&SVN, tropical grassland & savanna.

ตารางที่ 24 ชื่อท้องถิ่นของเห็ดที่สามารถจำแนกสายพันธุ์ได้

Mushroom samples (Family, Genus, spp. and local name)			Local name
Lyophyllaceae	<i>Termitomyces fuliginosus</i> R. Heim		เห็ดโคน
Lyophyllaceae	<i>Termitomyces microcarpus</i> (Berk. & Broome) R. Heim		เห็ดข้าวตอก
Lyophyllaceae	<i>Termitomyces tylerianus</i> Otieno		เห็ดโคนขาว
Marasmiaceae	<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler		เห็ดหอม
Boletaceae	<i>Boletus colossus</i> R. Heim		เห็ดตับเต่า
Boletaceae	<i>Boletus edulis</i> Bull.		เห็ดน้ำผึ้ง
Boletaceae	<i>Heimiella retispora</i> (Pat. & C.F. Baker)		เห็ดปอดม้า
Boletaceae	<i>Mycoamaranthus cambodgensis</i> (Pat.)		เห็ดห้าฟาน
Russulaceae	<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet		เห็ดถ่าน
Russulaceae	<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.		เห็ดหน้าอ่อน
Russulaceae	<i>Russula alboareolata</i> Hongo		เห็ดน้ำเป้ง
Russulaceae	<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers.		เห็ดแดงน้ำหมาก
Russulaceae	<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.		เห็ดหน้าอ่อน
Russulaceae	<i>Russula delica</i> Fr.		เห็ดไค
Polyporaceae	<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze		เห็ดกรวยทองตา
Polyporaceae	<i>Pycnoporus cinnabarinus</i> (Jacq.) P. Karst.		เห็ดขอนแดง
Polyporaceae	<i>Lentinus squarrosulus</i> Mont.		เห็ดมะม่วง
Amanitaceae	<i>Amanita virgineoides</i> Bas		เห็ดข้าวตอกตั้ง
Amanitaceae	<i>Amanita princeps</i> Corner & Bas		เห็ดระโงกขาว
Amanitaceae	<i>Amanita hemibapha</i> (Berk. & Broome) Sacc.		เห็ดระโงกเหลือง
Ganodermataceae	<i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.		เห็ดหลินจือ
Sclerodermataceae	<i>Pisolithus tinctorius</i> (Mont.) E. Fisch.		เห็ดก้อนกรวด



Amanita princeps Corner & Bas



Lentinus squarrosulus Mont.



Russula delica Fr.



Russula alboareolata Hongo



Amanita hemibapha (Berk. & Broome) Sacc.

ภาพที่ 2 เห็ดที่พบในพื้นที่ศึกษาและมีเบ้ากตุแค้นเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูง



Boletus edulis Bull.



Ganoderma lucidum



Russula cyanoxantha (Schaeff.) Fr



Pycnoporus cinnabarinus (Jacq.) P. Karst.

ภาพที่ 3 เห็ดที่พบในพื้นที่ศึกษาและมีเบ้ากลูแคนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูง (ต่อ)

3.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศวิทยาและความหลากหลายทางชีวภาพ และการแพร่กระจายของเห็ดที่มีเบต้ากลูแคนในพื้นที่อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง

ผลการวิเคราะห์พบว่าเห็ดที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูงซึ่งได้แก่ *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., *L. edodes*, *P. cinnabarinus*, *P. sanguineus*, *R. alboareolata*, *R. cyanoxantha*, และ *R. delica*. และเห็ดที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนต่ำได้แก่ *A. hemibapha*, *A. caesarea*, *Agaricus silvaticus* Schaeff., *Amanita princeps* Corner & Bas, *Amanita virginioidea* Bas., *Amauroderma rugosum* (Blume & T. Nees) Torrend, *B. edulis*, *Boletus colossus* R. Heim, *Chlorophyllum molybdites* (G. Mey.) Masee, *Daedaleopsis confragosa* (Bolton) J. Schröt., *L. squarrosulus*, *Microporus xanthopus* (Fr.) Kuntze, *Polyporellus varius* (Pers.) P. Karst., *Termitomyces eurhizus* (Berk.) Heim, และ *Termitomyces fuliginosus* R. Heim.

จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าเห็ดในสกุล *Russula* ส่วนใหญ่มีเบต้ากลูแคนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่ต่างกันตั้งแต่ 0.10% -0.42% ซึ่งเห็ดในสกุลนี้ส่วนใหญ่สามารถพบได้ทั่วไปในป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณผสมไฟซึ่งอยู่ทางด้านเหนือและตอนกลางของพื้นที่ศึกษาตามลำดับ และนอกจากนี้ยังพบว่าเห็ด *R. alboareolata* ซึ่งเป็นเห็ดที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูง (0.42%) เมื่อเทียบกับเห็ดอื่นในวงศ์ *Russulaceae* ที่สำรวจพบได้สามารถเจอได้ในป่าทั้งสองชนิด คือ ป่าเต็งรัง (ความสูง 378-476 เมตร) และป่าสน ที่ความสูง 875-905 เมตร จากระดับน้ำทะเล ส่วนเห็ดในวงศ์และสกุลอื่นที่มีเบต้ากลูแคนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูงได้แก่ *Pycnoporus coccineus* (Fr.) Bondartsev & Singer, *Pycnoporus cinnabarinus* (Jacq.) P. Karst., และ *Pycnoporus sanguineus* (L.) Fr. (0.45, 0.35 และ 0.35% ตามลำดับ) สามารถขึ้นได้ส่วนมากในพื้นที่ป่าดิบแล้งที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 702-832 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะชนิดของป่า และความสูงจากระดับน้ำทะเลอาจมีผลอย่างมากต่อการกระจายตัวของเห็ดสกุลต่าง ๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันในปริมาณของเบต้ากลูแคนที่วิเคราะห์ได้

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่กำหนดการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของสังคมและชนิดเห็ดที่มีเบต้ากลูแคนเป็นองค์ประกอบโดยใช้วิธี detrended correspondence analysis (DCA) และ canonical correspondence analysis (CCA) แสดงในตารางที่ 25 และ 26 พบว่า ค่า eigenvalues ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสำคัญของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ถูกอธิบายได้ด้วยแกนในการวิเคราะห์ด้วยวิธี CCA และ DCA ในแกนที่ 1 และ 3 จะมีค่า CCA eigenvalues เท่ากับ 1.0, 0.73, และ 0.53 ตามลำดับ (ตารางที่ 25) ซึ่งค่า eigenvalues ที่ได้จะมีค่าที่แตกต่างกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี DCA โดยแกนทั้ง 3 ของการวิเคราะห์ด้วย CCA จะสามารถอธิบายค่าความแปรปรวนของข้อมูลของสายพันธุ์ของเห็ดได้ 7.3% ในขณะที่ค่า canonical coefficients ซึ่งเป็นค่าที่ชี้ให้เห็นว่าแกนที่ 1 มีความสัมพันธ์กับปริมาณของเบต้ากลูแคนในเห็ดแต่ละสายพันธุ์ และในแกนที่ 2 ของ CCA จะมีความสัมพันธ์อย่างสูงต่อเปอร์เซ็นต์ปกคลุมเรือน

ยอด (crown cover) ส่วนแกนที่ 3 จะมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ Shannon-Wiener index เปอร์เซ็นต์ปกคลุมเรือนยอด (ตารางที่ 26) นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญสำหรับการทำนายการกระจายตัวของสารพันธุ์เห็ดแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับปริมาณเบต้ากลูแคนที่วิเคราะห์ได้ในเห็ดชนิดนั้น ๆ Shannon-Wiener index value และ crown cover percentage ส่วนค่า canonical coefficients ซึ่งให้ค่าที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับค่า intraset correlations (ตารางที่ 26) อาจเนื่องมาจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางปัจจัยอาจมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน (Ter Braak 1986) ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ด้วย CCA และ DCA สามารถสรุปได้ว่าปริมาณของเบต้ากลูแคนที่แตกต่างกันในเห็ดนั้นขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเห็ด ไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของป่า แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยหรือตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมเช่นปริมาณน้ำฝน เปอร์เซ็นต์เรือนยอดปกคลุมนั้นมีอิทธิพลอย่างมากต่อการกระจายตัวของเห็ดแต่ละสายพันธุ์ โดยปริมาณน้ำฝนนั้นมีอิทธิพลต่อระดับความชื้นที่อาจมีผลต่อการเจริญของเห็ดแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งเป็นไปตามค่า intraset correlation coefficient ที่มีความสัมพันธ์อย่างมากกับแกนที่ 2 ของ CCA analysis (ตารางที่ 26)

ตารางที่ 25 Summary table of statistical analysis for comparing the CCA ordination with DCA result

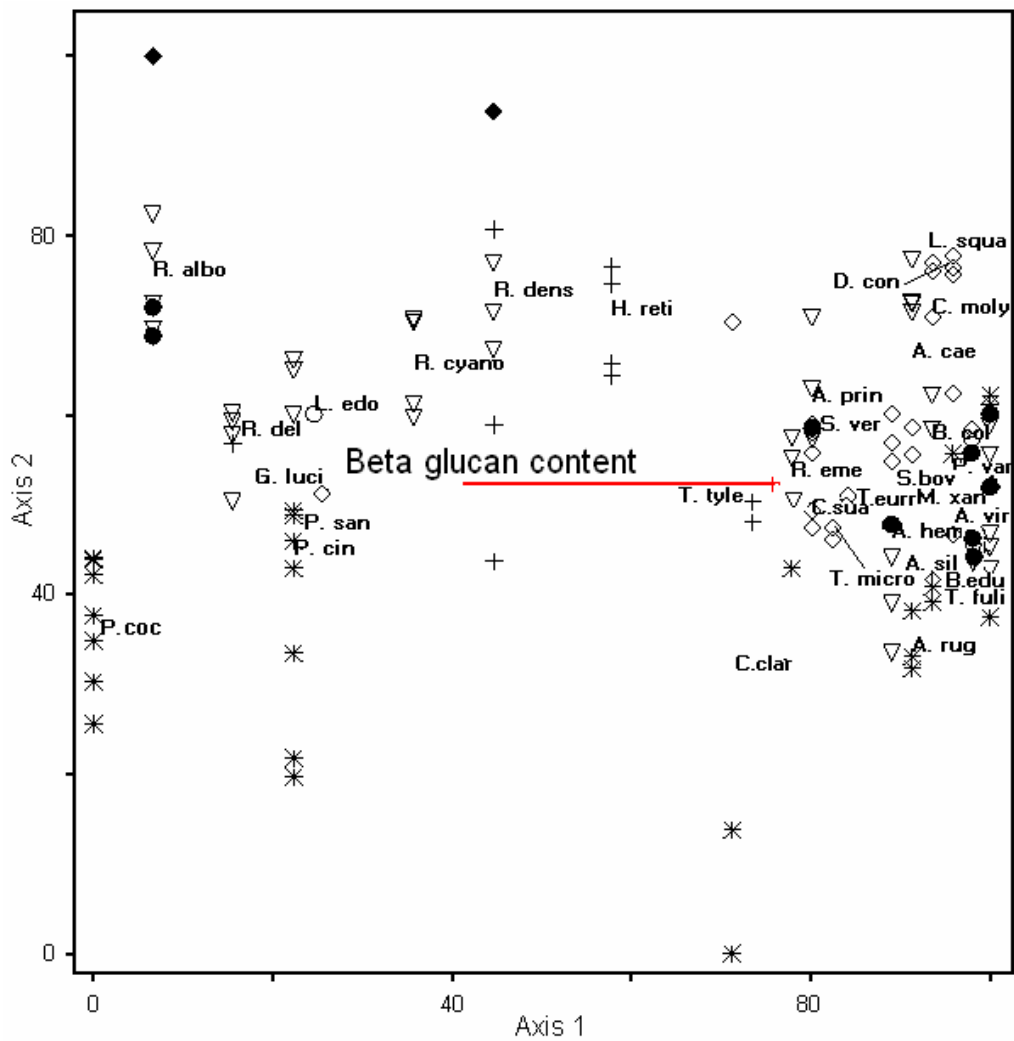
	Monte Carlo test		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3
CCA			
Eigenvalues	1.00	0.730	0.530
Variance explained (%)*	3.2	2.4	1.7
Cumulative % explained	3.2	5.6	7.3
Pearson correlation (Species-Environment)	1.00	0.855	0.728
Kendall (Rank) correlation (Species-Environment)	0.969	0.641	0.523
DCA			
Eigenvalues	1.00	0.99	1.00

*cumulative variance in species data ($P = 0.01$)

ตารางที่ 26 Canonical coefficients and intraset correlations of environmental variables with the first three axes of CCA

Variables	Canonical coefficients			Correlations coefficients		
	(Standardized)			(intraset)		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Beta glucan content	1.00	0.381	0.074	-1.00	0.00	0.00
Altitude	0.000	1.875	0.653	-0.104	0.220	0.203
Shannon-Wiener Index	0.000	0.051	1.102	0.062	-0.233	0.846
Crown cover (%)	0.000	-0.170	-0.237	-0.155	-0.348	0.814
Rainfall	0.000	-1.92	-0.128	-0.284	-0.242	0.148

การศึกษาการกระจายตัวของเห็ดชนิดต่างๆ ทำโดยการเก็บตัวอย่างแบบ sampling points ตามทางเดินสำรวจทั้ง 10 เส้นทาง และมีจำนวนของ sampling points ทั้งหมดเท่ากับ 125 points ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสิ่งแวดล้อมและการกระจายตัวของเห็ดและปริมาณเบต้ากลูแคนในเห็ดแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 6-8 โดยสายพันธุ์เห็ดแสดงเป็นจุด และปัจจัยสิ่งแวดล้อมแสดงด้วยลูกศรในภาพที่ 2 ถึงแม้ปริมาณของเบต้ากลูแคนที่พบในเห็ดจะไม่ใช่อธิบายสิ่งแวดล้อมที่ใช้อธิบายรูปแบบการกระจายตัวของเห็ด แต่สามารถใช้ในการแสดงปริมาณของเบต้ากลูแคนที่พบได้เห็ดในแต่ละสายพันธุ์และสกุลได้ โดยจากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าเห็ดที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูงสุดพบได้ในเห็ด *P. coccineus* (0.45 g/100g).



ภาพที่ 4 CCA mushroom species ordination of the Thung Salaeng Luang National Park. The length of the vector is proportional to its importance and the angle between two vectors reflects the degree of correlation between variables. The angle between a vector and each axis is related to its correlation with the axis. Only the variables with a correlation coefficient higher than 0.5 are presented.

เพื่อให้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสิ่งแวดล้อมและการกระจายตัวของเห็ดที่มีเบต้ากลูแคนเป็นองค์ประกอบได้ถูกต้องมากขึ้น การกระจายตัวของเห็ดแต่ละชนิดจะถูกนำมาแบ่งกลุ่มด้วยวิธี cluster analysis โดยใช้ Sorensen (Bray-Curtis) distance technique with remaining information of 75% ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของเห็ดที่สำรวจพบได้เป็น 5 กลุ่ม (ภาพที่ 5) โดยการให้ชื่อของกลุ่มเห็ดจะเป็นไปตามความสูงและชนิดของป่าที่พบเห็ด ดังนี้

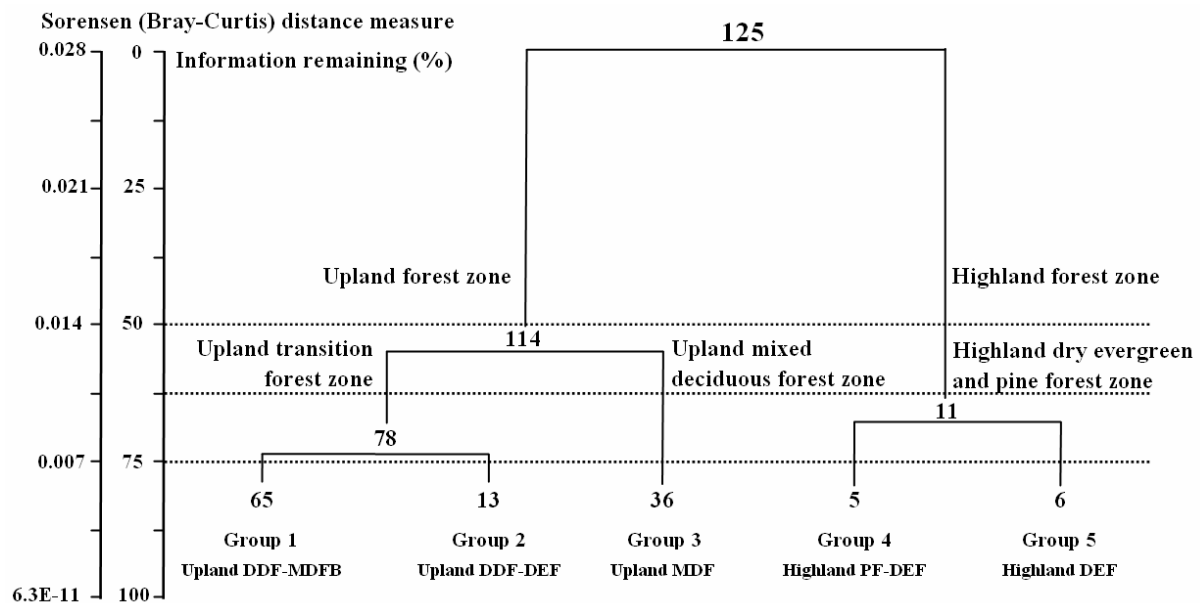
กลุ่ม 1 : Upland DDF-MDFB ประกอบไปด้วยเห็ดที่พบที่ความสูง 378-476 เมตรจากระดับน้ำทะเล และพบได้ในป่าประเภทป่าเต็งรัง (deciduous dipterocarp forest; DDF) และป่าเบญจพรรณผสมไผ่ (mixed deciduous forest with bamboo; MDFB) เห็ดในกลุ่มนี้ได้แก่ *A. rugosum*, *A. silvaticus*, *B. colossus*, *Clitocybe suaveolens* (Schumacher) P. Kumm., *G. lucidum*, *R. alboareolata*, *R. cyanoxantha*, *R. delica*, *Russula emetica* (Schaeff.) Pers., *Suillus bovinus* var. *bovinus* (Pers.) Kuntze, *T. microcarpus*, *T. fuliginosus*, *Termitomyces tyleranus* Otieno

กลุ่ม 2 : Upland DDF-DEF : ประกอบไปด้วยเห็ดที่พบที่ความสูง 312-365 เมตรจากระดับน้ำทะเล และพบได้ในป่าประเภทป่าเต็งรังและป่าดิบแล้ง (Dry evergreen forest; DEF) เห็ดในกลุ่มนี้ได้แก่ *A. hemibapha*, *B. edulis*, *Cortinarius claricolor* var. *turmalis* (Fr.) Quadr., *P. coccineus*, and *T. fuliginosus*

กลุ่ม 3 : Upland MDF เห็ดที่พบได้ที่ความสูง 440-546 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีค่าดัชนีความหลากหลายอยู่ในช่วงกว้าง และพบว่าอยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีใกล้เคียงกับกลุ่มที่ 2 คือ 1 245-1 270 มิลลิเมตร เห็ดในกลุ่มนี้ได้แก่ *A. princeps*, *C. molybdites*, *D. confragosa*, *Heimiella retispora* (Pat. & C.F. Baker) Boedijn, *L. squarrosulus*, *R. densifolia*, *A. caesarea*, *A. hemibapha*, *A. virginioides*, *M. xanthopus*, *P. varius* และ *T. eurrhizus*

กลุ่ม 4 : Highland PF-DEF (Fagaceae) เห็ดในกลุ่มนี้พบได้เฉพาะตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาในเขตอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง และมีระดับความสูงประมาณ 875-905 เมตร พบได้ในป่าสนและพื้นที่ highland เห็ดในกลุ่มนี้ได้แก่ *M. xanthopus*, *R. alboareolata* และ *L. edodes*

กลุ่ม 5 : Highland DEF เป็นเห็ดที่พบได้ในพื้นที่สูงทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาโดยมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 702 - 832 เมตร เห็ดในกลุ่มนี้ได้แก่ *P. cinnabarinus*, *P. coccineus* และ *P. sanguineus*



ภาพที่ 5 Dendrogram derived from hierarchical cluster analysis of 125 mushroom sampling plots found in Thung Salaeng Luang National Park. The analysis is based on Sorensen (Bray-Curtis) distance measure with farthest neighbor linkage method

ภายหลังการจัดกลุ่มของเห็ดโดยจำแนกตามชนิดป่าและความสูงที่พบเห็ด ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมและการกระจายตัวของเห็ดที่มีเบต้ากลูแคนโดยใช้ CCA analysis แสดงความสัมพันธ์ของแกน 1-2 และแกน 1-3 (ตารางที่ 27) พบว่าตัวแปรสิ่งแวดล้อมของระดับความสูงและปริมาณน้ำฝนมีค่าความสัมพันธ์สูงกับ CCA แกน 1 ($r=0.953$ และ $r=0.959$ ตามลำดับ). นอกจากนี้ยังพบว่าความสูงมีความสัมพันธ์กับแกน 2 มากด้วย ($r=0.293$) เมื่อเทียบกับตัวแปรสิ่งแวดล้อมตัวอื่น ส่วนตัวแปรของเปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอดมีความสัมพันธ์สูงกับแกนที่ 3 ($r=0.670$) ซึ่งเมื่อพิจารณาค่า percentage of cumulative explanation แล้วพบว่ามีความสูงถึง 49.8% ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์โดยใช้ความสัมพันธ์ของตัวแปรสิ่งแวดล้อมกับแกนของ CCA analysis ให้ความถูกต้องค่อนข้างมาก (ตารางที่ 28)

ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของเห็ดแต่ละกลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับแกนของ CCA analysis แกนที่ 1 และ 2 (ภาพที่ 6) พบว่าเห็ดกลุ่ม Highland DEF และ Highland PF-DEF (Fagaceae) จะแสดงการกระจายตัวที่หนาแน่นทางด้านขวาของ diagram และมีการกระจายตัวที่เด่นชัด และเป็นไปในความสัมพันธ์ที่เป็นบวกต่อความสูงของพื้นที่และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี ในขณะที่ทางด้านซ้ายของ diagram จะพบการกระจายตัวได้ทั่วไปและมีการกระจายตัวที่ทับซ้อนกันของเห็ดในกลุ่ม Upland MDF, Upland DDF-MDFB และ Upland DDF-DEF ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อความสูงและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีไปในทิศทางลบ

นอกจากนี้ยังพบว่าแกนที่ 1 และ 3 สามารถทำให้เห็นการกระจายตัวของเห็ด 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน คือ เห็ดในกลุ่ม Highland PF-DEF (Fagaceae) และ Highland DEF (ภาพที่ 7) โดยเห็ดในกลุ่ม Highland PF-DEF (Fagaceae) ซึ่งมีการกระจายตัวอยู่ทางด้านบนขวาของ diagram มีความสัมพันธ์ต่อเปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอด ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี และความสูง ในขณะที่เห็ดในกลุ่ม Highland DEF ซึ่งมีการกระจายตัวทางด้านล่างขวาของ diagram แสดงค่าความสัมพันธ์ในทิศทางลบกับเปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอด แต่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนและความสูงไปในทิศทางบวก ส่วนตัวแปรสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการกระจายตัวของเห็ดในกลุ่ม Upland MDF, Upland DDF-MDFB และ Upland DDF-DEF ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยแกน 1-3 อย่างชัดเจน

ตารางที่ 27 Canonical coefficients and intraset correlations of variables with the first three axes used in plot-variable ordination analysis

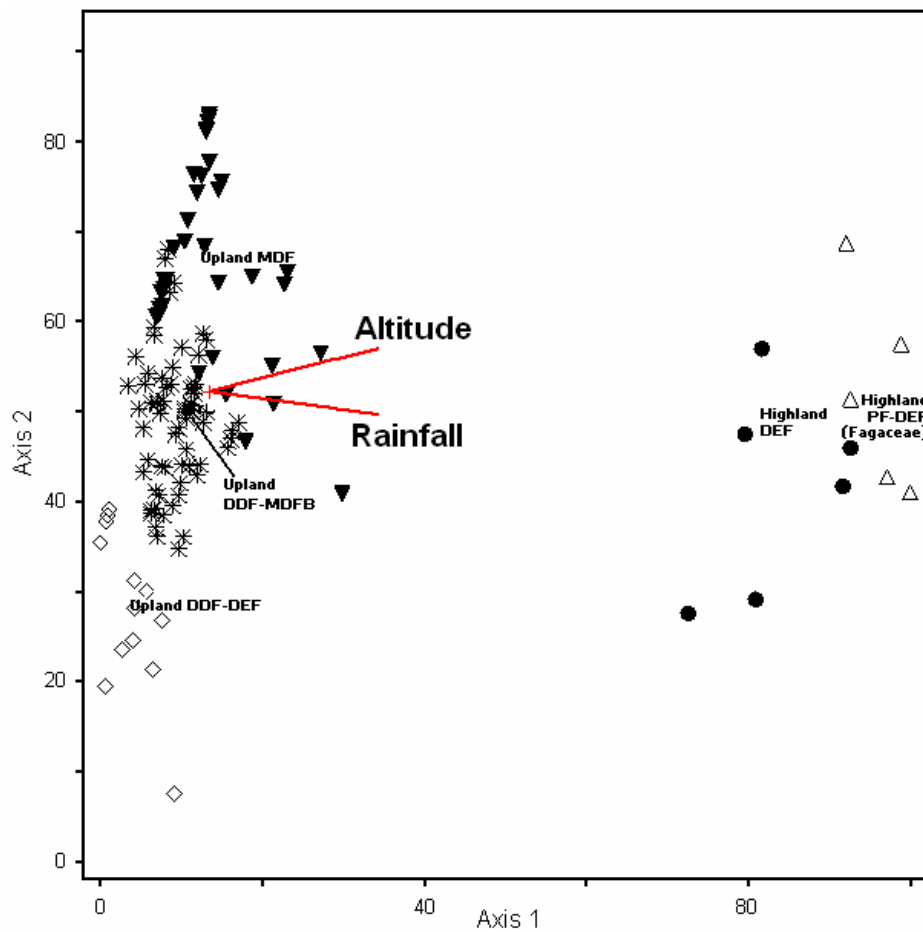
Variables	Canonical coefficients			Correlations coefficients		
	(Standardized)			(intraset)		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Beta glucan content	0.053	-0.021	0.184	0.246	-0.303	0.413
Altitude	0.453	2.034	-0.163	0.953	0.293	-0.031
Shannon-Wiener Index	-0.085	-0.143	-1.727	-0.432	0.195	0.270
Crown cover (%)	-0.075	0.542	2.185	-0.006	0.153	0.670
Rainfall	0.540	-2.077	-0.649	0.959	-0.164	0.122

ผลการวิเคราะห์ยังชี้ให้เห็นว่าตัวแปรสิ่งแวดล้อม Shannon-Wiener Index-Crown cover percentage ($r=0.822$) และ altitude-rainfall ($r=0.875$) มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างมาก และมีความสัมพันธ์กับแกน 2 และ แกน 3 สูงด้วย (ตารางที่ 26) ซึ่งอิทธิพลของตัวแปรทั้งสองตัวนี้พบว่ามีอิทธิพลต่อเห็ดที่พบในป่าเบญจพรรณผสมไฟ และป่าเต็งรังมากกว่าเห็ดที่พบในป่าชนิดอื่น (ภาพที่ 8)

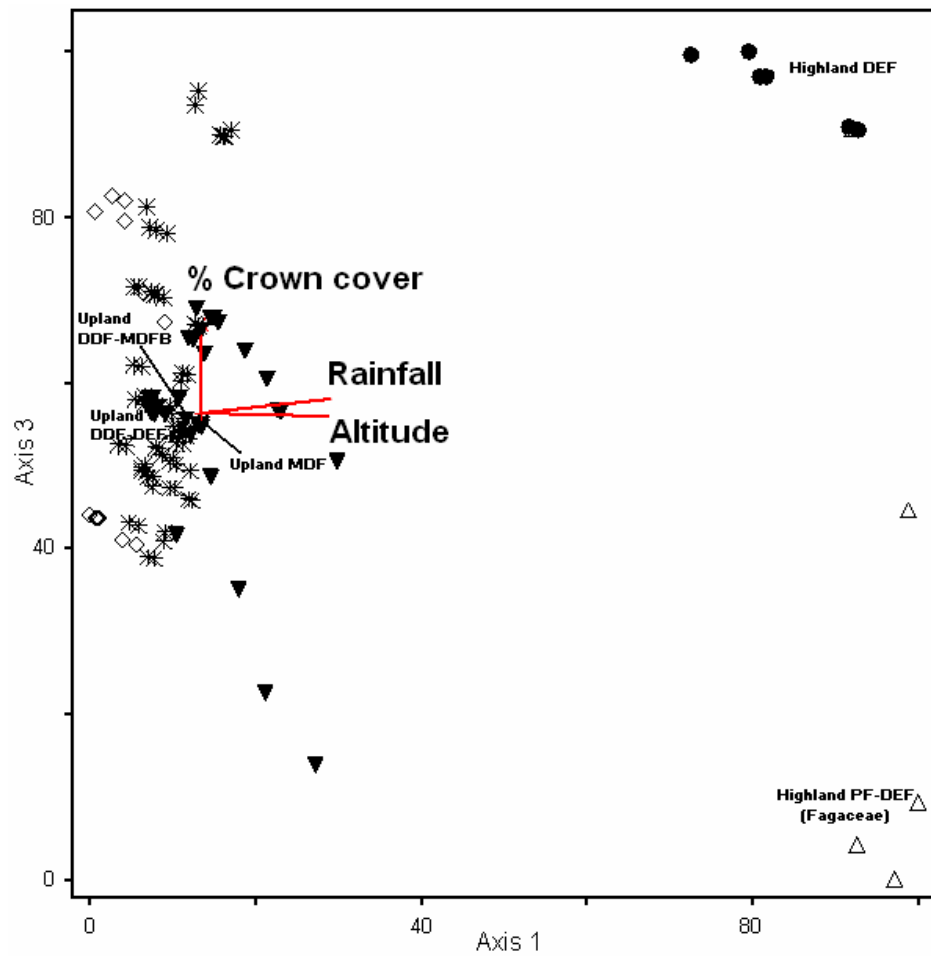
ตารางที่ 28 Summary table of statistical analysis for the CCA plot ordination

	Monte Carlo test		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3
CCA			
Eigenvalues	0.963	0.632	0.383
Variance explained (%) [*]	24.3	15.9	9.7
Cumulative % explained	24.3	40.2	49.8
Pearson correlation (Species-Environment)	0.98	0.801	0.619
Kendall (Rank) correlation (Species-Environment)	0.582	0.581	0.103
DCA			
Eigenvalues	0.989	0.998	0.048

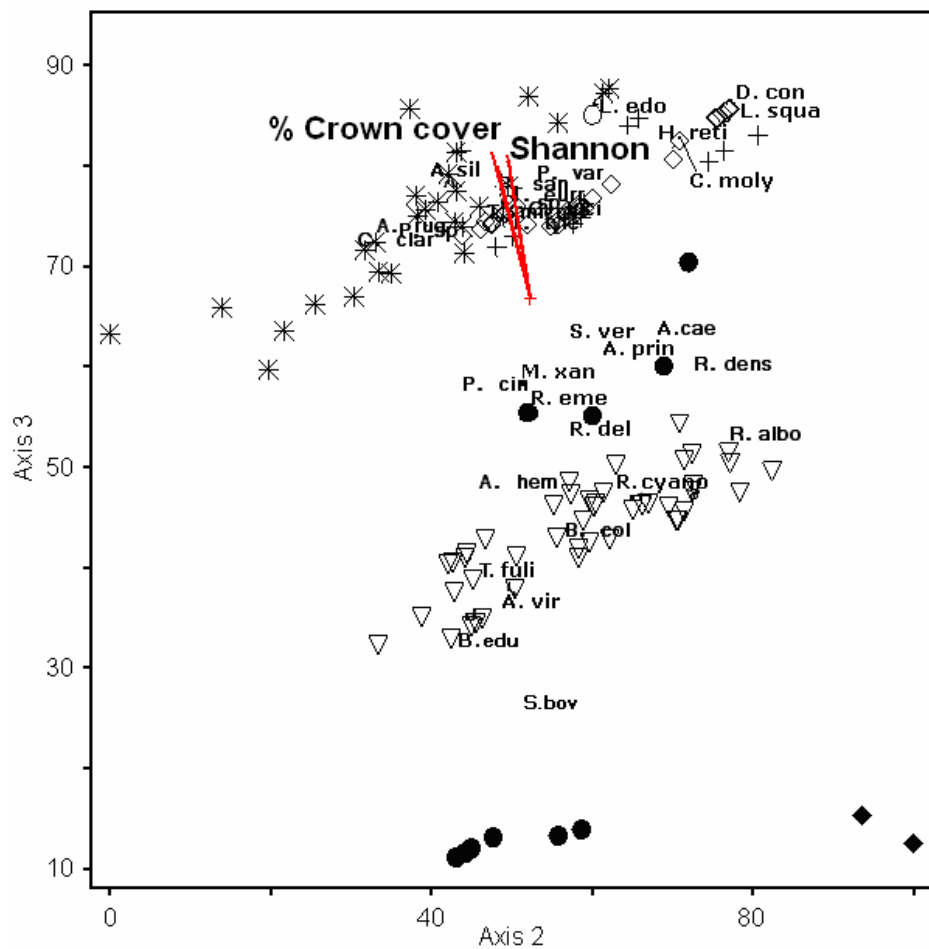
^{*} cumulative variance in species data ($P = 0.01$)



ภาพที่ 6 CCA plot ordination of axis 1 and 2 with the mushroom community types derived from hierarchical cluster analysis. (*), Group1: Upland DDF-MDFB; (◇), Group 2: Upland DDF-DEF; (▼), Group 3: Upland MDF; (△), Group 4: Highland PF-DEF (Fagaceae); (●), Group 5: The highland DEF. Only the variables with a correlation coefficient higher than 0.5 are presented



ภาพที่ 7 CCA plot ordination of axis 1 and 3 with the mushroom community types derived from hierarchical cluster analysis. (*), Group1: Upland DDF-MDFB; (◇), Group 2: Upland DDF-DEF; (▼), Group 3: Upland MDF; (△), Group 4: Highland PF-DEF (Fagaceae); (●), Group 5: The highland DEF. Only the variables with a correlation coefficient higher than 0.5 are presented



ภาพที่ 8 CCA Ordination diagram of Axis 2 and 3 based on CCA of wild mushroom species with respect to two environmental variables (Shannon-Wiener index and crown cover percentage) on seven different forest types. (*), dry evergreen forest; (◇), dry evergreen forest dominated by Fagaceae; (+), mixed deciduous forest; (▽), mixed deciduous forest with bamboo; (●), deciduous dipterocarp forest; (◆), tropical pine forest; (○), tropical grassland & savanna. Only the variables with a correlation coefficient higher than 0.5 are presented. For species abbreviations see Table 2

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศวิทยาและการกระจายตัวของเห็ดที่มีเบต้ากลูแคนสามารถสรุปได้ว่าการแบ่งกลุ่มของเห็ดตามความสูงและชนิดป่าจะทำให้สามารถเห็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมและการกระจายตัวของเห็ดได้ชัดเจนขึ้น (ภาพที่ 6 และ 7) โดยเฉพาะใน CCA ordination diagram ของแกน 1 2 และ 3 จะเห็นการกระจายตัวของเห็ดในกลุ่มที่ 4 และ 5 ได้ชัดเจน แต่ในทางกลับกันเห็ดในกลุ่มที่ 1 2 และ 3 มีการกระจายตัวที่ทับซ้อนกันถึงแม้จะแสดงใน plot ordination ของแกน 1-2 และ แกน 1-3 ก็ตาม นอกจากนี้ยังพบว่าตัวแปรเปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอดไม่มีความสำคัญเมื่อแสดงด้วย plot ordination ของแกน 1-2 แต่แสดงความสำคัญเมื่อแสดงด้วยแกน 1-3 ดังนั้น Plot ordination ที่แสดงด้วยแกน 1-3 สามารถชี้ให้เห็นว่าตัวแปรสิ่งแวดล้อมได้แก่เปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอด ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี และความสูง เป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดสำหรับการจำแนกชนิดเห็ดของเห็ดในกลุ่มที่ 4 และ 5 โดยเห็ดทั้งสองกลุ่มนี้สามารถพบได้ในพื้นที่ที่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางที่มีปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยต่อปีมาก ในขณะที่เห็ดในกลุ่มที่ 5 จะพบได้ในพื้นที่ที่มีเปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอดสูง แต่เห็ดในกลุ่มที่ 4 พบในพื้นที่ที่มีเปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอดต่ำ และเมื่อพิจารณาปริมาณของเบต้ากลูแคนในเห็ดที่ถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มที่ 5 จะพบว่ามีความสูงและอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.35-0.45% แต่อย่างไรก็ตามเห็ดบางชนิดในกลุ่มอื่นที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูงก็สามารถพบได้ในพื้นที่ต่ำและปริมาณน้ำฝนน้อย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความสูงของพื้นที่และปริมาณน้ำฝนไม่ใช่ปัจจัยที่สำคัญที่กำหนดปริมาณของเบต้ากลูแคนในเห็ด แต่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการกระจายตัวของเห็ดแต่ละสายพันธุ์ในการจำแนกเห็ดแต่ละกลุ่ม ซึ่งการสรุปนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาจำนวนมากที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับการกระจายพันธุ์ของพืชรวมถึงเห็ดด้วย (Wiensczyk and Berch 2001; Dreisbach et al. 2002) อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้สูงที่จะพบเห็ดที่มีเบต้ากลูแคนเป็นองค์ประกอบในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางมาก และ มีเปอร์เซ็นต์ปกคลุมเรือนยอดสูงร่วมกับปริมาณน้ำฝนมาก

3.6 การศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติทางเคมีของเห็ดที่มีเบต้ากลูแคน

3.6.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดที่มีเบต้ากลูแคน

องค์ประกอบทางเคมีอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณเถ้า ไขมัน ใยอาหาร โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ในตัวอย่างเห็ดที่พบว่ามีปริมาณเบต้ากลูแคนตั้งแต่ 0.1-0.45 % (โดยน้ำหนักแห้ง) และสามารถรวบรวมได้ในปริมาณมากเพื่อทำการศึกษาคูณสมบัติทางเคมี (AOAC 1990) โดยผลการศึกษาพบว่า เห็ด *R. delicata* หรือชื่อท้องถิ่นคือ เห็ดโคล ซึ่งมีปริมาณเบต้ากลูแคนสูง (0.38%) และมีปริมาณที่ใกล้เคียงกับ เห็ดหอมและเห็ดหลินจือ (0.34 และ 0.33% ตามลำดับ) นั้นมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตมากเกือบถึงร้อยละ 60 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งเบต้ากลูแคนจัดเป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง และเมื่อพิจารณาปริมาณของคาร์โบไฮเดรตในเห็ดหอมพบว่ามีปริมาณที่สูงเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับ *Pycnoporus spp.* ซึ่งเป็นเห็ดอีกชนิดหนึ่งที่พบว่ามีปริมาณเบต้ากลูแคนสูงใกล้เคียงกับ เห็ดโคล แต่มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ค่อนข้างต่ำ แต่มีปริมาณเยื่อใยสูงถึง 51.68% ดังนั้นปริมาณของเยื่อใยร่วมกับปริมาณของคาร์โบไฮเดรตอาจจะสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดแนวโน้มระดับปริมาณของเบต้ากลูแคนได้ โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าในเห็ดที่มีปริมาณของใยอาหารสูงจะมีปริมาณของเบต้ากลูแคนมากด้วย ของ (Bhatty 1992; Whang 1998; Manzi et al. 2001) อย่างไรก็ตามโครงสร้างและการจัดเรียงตัวของหมู่ทางเคมีของเบต้ากลูแคนในเห็ดแต่ละชนิดอาจจะมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของเบต้ากลูแคนที่สามารถถูกย่อยด้วยกรดหรือด่างอย่างอ่อนในขั้นตอนของการวิเคราะห์เยื่อใยได้ ทำให้ได้ปริมาณของเยื่อใยในระดับที่ต่างกัน เห็ดชนิดอื่นที่ทำการศึกษาและพบว่ามีปริมาณของใยอาหารสูงได้แก่ เห็ดระโงกขาว เห็ดหน้าอ่อน และเห็ดมะม่วง โดยเห็ดระโงกขาวเป็นเห็ดที่พบได้ในป่าสน เป็นเห็ดที่รับประทานได้และนิยมนำไปประกอบอาหารได้หลายชนิดเช่น ต้มยำ เป็นต้น ส่วนเห็ดหน้าอ่อนพบได้น้อยกว่าเห็ดระโงกและพบในป่าเต็งรัง สามารถรับประทานได้เช่นเดียวกัน เห็ดมะม่วงพบได้ทั่วไปตามตอมะม่วงที่ตายแล้ว นิยมนำไปประกอบอาหารได้หลายชนิดเช่นเดียวกัน (ราชบัณฑิตยสถาน, 2539)

ตารางที่ 29 Proximate analysis of wild mushrooms (% on dry wt. basis)

Mushroom spp.	Protein	Ash	Fats	Fiber	Carbohydrate
<i>Lentinus squarrosulus</i> Mont.	1.55	1.21	0.5	5.63	91.11
<i>Russula delica</i> Fr.	2.99	0.14	17.68	7.21	71.98
<i>Pycnoporus</i> spp.	0.51	0.69	17.98	50.68	30.14
<i>Pisolithus tinctorius</i> (Mont.) E. Fisch.	2.53	1.11	13.71	6.83	75.82
<i>Amanita princeps</i> Corner & Bas	3.13	0.04	14.29	6.48	76.06
<i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.	1.08	1.23	5.77	18.95	72.97
<i>Boletus edulis</i> Bull.	2.66	1.22	11.5	5.97	78.65
<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.	2.54	0.27	11.79	3.93	81.47
<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet	2.47	1.04	2.13	13.58	80.78
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	2.01	6.06	2.8	5.4	83.73
<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers.	2.14	4.23	8.82	9.18	75.63
<i>Russula alboareolata</i> Hongo	2.75	5.84	8.59	12.1	70.72
<i>Boletus colossus</i> R. Heim	4.25	5.37	10.01	10.82	69.55
<i>Mycoamaranthus cambodgensis</i>	1.31	5.79	18.52	13.43	60.95
<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze	0.72	2.13	0.89	37.36	58.90
<i>Termitomyces fuliginosus</i> R. Heim	4.28	5.34	0.52	15.21	74.65

3.6.2 การวิเคราะห์ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระของเห็ดที่มีเบต้ากลูแคน

เห็ดที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูงหลายชนิดพบว่ามียีนประกอบที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ กรดแอสคอร์บิก เบต้าแคโรทีนและไลโคปีน และพบว่ามียีนต้านอนุมูลอิสระโดยทำการทดสอบด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay และวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP assay) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระถือว่าเป็นคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญอีกคุณสมบัติหนึ่งที่มีรายงานการวิจัยหลายเรื่องพบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการยับยั้งหรือต่อต้านการเกิดเซลล์มะเร็ง และอาจมีความสัมพันธ์กับการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันอีกด้วย (Ribeiro et al. 2008) ดังนั้นนอกจากเบต้ากลูแคนแล้ว สารต้านอนุมูลอิสระอาจทำหน้าที่เสริมหรือมีส่วนช่วยให้การตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันของสารสกัดจากเห็ดดีขึ้น ซึ่งจะสามารถช่วยบอกแนวโน้มหรืออธิบายความสัมพันธ์ในการกระตุ้น

ระบบภูมิคุ้มกันในเซลล์ทดลองต่อไป จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 30 พบว่า สารประกอบฟีนอลิกพบได้ในปริมาณมากที่สุดในเห็ดหอม เห็ดหลินจือ เห็ดน้ำหมากแดง และเห็ดขอนขาว โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 23-25 มิลลิกรัม gallic acid equivalent ส่วนในเห็ดที่มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับเห็ดทั้งหมดที่ทำการศึกษาค้นคว้าได้แก่ เห็ดระโงก เห็ดไค เห็ดหน้าอ่อน เห็ดน้ำผึ้ง เห็ดน้ำแป้ง เห็ดมะม่วง และเห็ดตับเต่า โดยมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกอยู่ในช่วง 10.5-19 มิลลิกรัม gallic acid equivalent ต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ส่วนเห็ดถ่าน เห็ดก้อนกรวด และเห็ดขอนแดง มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกน้อยกว่า 5 มิลลิกรัม ต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกอาจมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณของเบต้ากลูแคนซึ่งมีผลต่อการกระตุ้นของระบบภูมิคุ้มกัน เมื่อพบว่าเห็ดชนิดที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูง เช่น เห็ดหอม และเห็ดไค จะมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกสูงด้วย ยกเว้นเห็ดขอนแดง

ผลการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระชนิดสารประกอบฟลาโวนอยด์พบว่า เห็ดที่ทำการศึกษามูลค่ามีสารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ และมีอยู่ในช่วงปริมาณตั้งแต่ 13-43 มิลลิกรัม ของ chatechin equivalent ต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม และพบว่า เห็ดตับเต่า เห็ดระโงก และเห็ดหน้าอ่อน มีปริมาณของสารประกอบฟลาโวนอยด์มากที่สุด คือ ประมาณ 37-43 มิลลิกรัม ของ chatechin equivalent ต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ซึ่งเห็ดทั้งสามชนิดพบว่ามีปริมาณของเบต้ากลูแคนอยู่ในระดับปานกลางถึงใกล้เคียงกับปริมาณของเบต้ากลูแคนที่พบในเห็ดหอม

อย่างไรก็ตามในเห็ดป่าที่ทำการศึกษามูลค่าพบว่าไม่มีกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีเป็นองค์ประกอบ แต่เห็ดทุกชนิดมีสารต้านอนุมูลอิสระชนิดเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยปริมาณของเบต้าแคโรทีนอยู่ในช่วงปริมาณที่สูงกว่าสารประกอบไลโคปีนในเห็ดทุกชนิด โดยอยู่ในปริมาณตั้งแต่ 17-24 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ส่วนไลโคปีนพบอยู่ในช่วง 8-15 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม และเห็ดที่พบว่ามีปริมาณเบต้าแคโรทีนมากที่สุดได้แก่เห็ดมะม่วงและเห็ดขอนขาว (ประมาณ 23-24 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม) ส่วนเห็ดไคและเห็ดขอนขาว พบว่ามีปริมาณไลโคปีนสูงสุด (ประมาณ 14-15 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม)

เมื่อพิจารณาฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay พบว่า เห็ดทุกชนิดที่ทำการศึกษามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในค่าที่สูง โดยเฉพาะเห็ดไค เห็ดระโงก เห็ดหน้าอ่อน เห็ดหอม และเห็ดหลินจือ พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งเห็ดเหล่านี้พบว่ามีปริมาณของเบต้ากลูแคนอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูงด้วย คือ 0.3% ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ยกเว้นในเห็ดระโงกที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนเพียง 0.05% ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างเห็ดด้วยวิธี FRAP assay พบว่าให้ผลในทำนองเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay สำหรับตัวอย่างเห็ดหน้าอ่อน เห็ดหอม และเห็ดหลินจือ ซึ่งพบว่ามีฤทธิ์ในการต้าน

อนุมูลอิสระสูงสุดคือเกือบ 50 uM ของ ferric iron ที่ถูกรีดิวซ์ต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ในขณะที่เห็ดไคลและเห็ดระโงกขาว กลับพบว่าไม่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP assay น้อยกว่าที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH

จากผลการศึกษาชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในตัวอย่างเห็ดป่าที่ทำการศึกษาและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยการวิเคราะห์ทั้งวิธี DPPH assay และ FRAP assay และเปรียบเทียบกับชนิดและฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในเห็ดหอมและเห็ดหลินจือพบว่า สารต้านอนุมูลอิสระชนิดที่พบได้ในเห็ดหอมและเห็ดหลินจือ สามารถพบได้ในเห็ดป่าที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูงหลายชนิด เช่น เห็ดไคล เห็ดหน้าอ่อน และเห็ดขอนแดง รวมถึงเห็ดทั้งสามชนิดนี้มีความสามารถในการจับอนุมูลอิสระที่สูงใกล้เคียงกับเห็ดหอมและเห็ดหลินจืออีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่พบว่ามีความสัมพันธ์ในการต้านการเกิดมะเร็ง และกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (Hwan et al. 2009) ดังนั้นเห็ดทั้งสามชนิดนี้อาจมีแนวโน้มที่สามารถตอบสนองต่อการกระตุ้นการสร้างระบบภูมิคุ้มกันในเซลล์ทดลองได้ดี และสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ ที่พบในเห็ดอาจมีผลในการช่วยเสริมการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันได้ อย่างไรก็ตาม จากเห็ดเห็ดไคล เป็นเห็ดที่สามารถเก็บรวบรวมได้ในปริมาณมากที่สุดในฤดูกาลเห็ดในช่วงเดือนพฤษภาคม-ธันวาคม และพบมากในป่าเต็งรัง บริเวณโดยรอบของอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวงในอำเภอเข็กน้อย จังหวัดเพชรบูรณ์ ส่วนเห็ดหน้าอ่อนสามารถรวบรวมได้ในปริมาณน้อย ในช่วงฤดูฝน เดือนพฤษภาคม-มิถุนายน และขึ้นปะปนกับเห็ดชนิดอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกันมากซึ่งทำให้ยากต่อการจำแนกพันธุ์ และเห็ดขอนแดงพบในป่าดิบแล้ง ขึ้นตามขอนไม้ พบได้ยากและมีปริมาณน้อย ดังนั้นเห็ดไคลจึงถูกเลือกเพื่อนำมาศึกษาการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน โดยใช้เซลล์เพาะเลี้ยงและศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพต่อไป

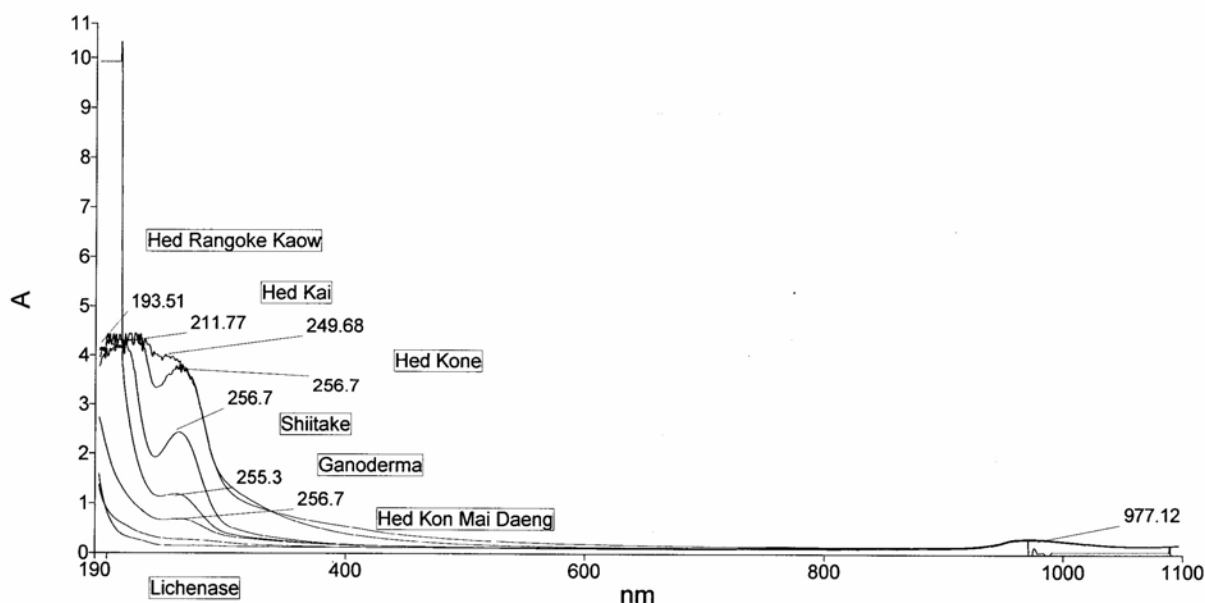
ตารางที่ 30 Antioxidants and antioxidant activity of wild mushroom containing high betga glucan

Samples	Phenolic content (mg of gallic acid/ g of dried extract)	Flavonoid (mg of chatechin/ g of dried extract)	Ascorbic acid (mg of ascorbic acid/ g of dried extract)	β-carotene and		DPPH (%RSA)	FRAP (μM of ferric iron reduced/g of dried extract)
				Lycopene (μg of carotenoid/ g of dried extract)	Lycopene		
<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers. (เห็ดแดงน้ำหมาก)	23.45	13.13	0	18.77	12.33	73	27.17
<i>Pycnoporus cinnabarinus</i> (Jacq.) P. Karst. (เห็ดขออนแดง)	2.41	24.54	0	18.18	11.67	78	34.14
<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr. (เห็ดหน้าอ่อน)	13.44	37.17	0	19.51	12.15	86	50.31
<i>Boletus colossus</i> R. Heim (เห็ดตับเต่า)	10.5	43.33	0	19.22	11.82	79	23.23
<i>Russula delica</i> Fr. (เห็ดไค)	14.44	26.56	0	18.92	15.33	89	19.19
<i>Amanita princeps</i> Corner & Bas (เห็ดระโงกขาว)	18.78	41.17	0	16.53	11.16	87	27.87

Samples	Phenolic content (mg of gallic acid/ g of dried extract)	Flavonoid (mg of chatechin/ g of dried extract)	Ascorbic acid (mg of ascorbic acid/ g of dried extract)	β-carotene and		DPPH (%RSA)	FRAP (μM of ferric iron reduced/g of dried extract)
				Lycopene (μg of carotenoid/ g of dried extract)			
<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet (เห็ดถ่าน)	3.45	21.17	0	21.17	10.83	67	32.51
<i>Pisolithus tinctorius</i> (Mont.) E. Fisch. (เห็ดก้อนกรวด)	3.31	30.03	0	18.04	9.35	77	23.75
<i>Boletus edulis</i> Bull. (เห็ดน้ำผึ้ง)	12.35	23.34	0	17.74	10.17	78	31.17
<i>Lentinus squarrosulus</i> Mont. (เห็ดมะม่วง)	11.17	24.41	0	24.43	9.84	56	18.99
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler (เห็ดหอม)	24.78	27.33	0	17.15	10.91	84	46.36
<i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst. (เห็ดหลินจือ)	23.32	19.62	0	12.22	9.18	86	41.37
<i>Russula alboareolata</i> Hongo (เห็ดแป้ง)	12.11	17.17	0	16.56	8.85	66	12.31

3.6.3 การดูดกลืนคลื่นแสงของสารสกัดจากเห็ด

เพื่อทำการศึกษารูปแบบของสารสกัดจากเห็ดที่ได้จากการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ lichenase ที่ 45 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่จะทำการย่อยพันธะ β (1-3), (1-4) โดยดูการดูดกลืนคลื่นแสงของสารสกัด ด้วย UV/Vis Spectroscopy (ภาพที่ 9) พบว่าเห็ดที่นำมาศึกษาทั้งหมด 6 ชนิดได้แก่ เห็ดไค เห็ดระโงกขาว เหินโคน เห็ดหอม เห็ดหลินจือ และเห็ดขอนแดงนั้น มีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 230-260 nm เห็นเห็ดระโงกขาว ซึ่งช่วงคลื่นดังกล่าวเป็นช่วงคลื่นของสารประกอบชนิดฟีนอลิก (Simonsen et al. 2009) โดย เห็ดโคน เห็ดไค เห็ดหอม และเห็ดหลินจือ มีค่าการดูดกลืนแสงมาก ซึ่งอาจมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกมากตามไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารฟีนอลิกในตารางที่ 30 พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเห็ดดังกล่าวอยู่ในช่วงประมาณ 14-25 มิลลิกรัมของ gallic acid ต่อกรัมของสารสกัดแห้ง ส่วนเห็ดขอนแดงซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำมาก ในช่วงประมาณ 250 นาโนเมตร ซึ่งพบว่ามีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกต่ำด้วย (2.4 มิลลิกรัมของ gallic acid ต่อกรัมของสารสกัดแห้ง) ดังนั้นการทดลองนี้จะยืนยันว่า สารประกอบฟีนอลิกอย่างเดียว หรือสารประกอบฟีนอลิกร่วมกับสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่นอาจส่งผลต่อการกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันร่วมกับเบต้ากลูแคนในเซลล์ทดลอง



ภาพที่ 9 UV/Vis Spectroscopy ของสารสกัดจากเห็ดที่ย่อยด้วยเอนไซม์ lichenase

3.6.4 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในเห็ด

เห็ดที่มีเบต้ากลูแคนเป็นองค์ประกอบถูกนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารโดยศึกษาชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบด้วยการทำปฏิกิริยา trans-esterification ของสารสกัดจากเห็ดและวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันทั้งหมด 10 ชนิดด้วย GC-MS ผลการทดลอง (ตารางที่ 31) แสดงให้เห็นว่าเห็ดตัวอย่างทั้งหมดส่วนใหญ่มีกรดไขมันชนิดกรดปาล์มติก (C 16:0) กรดไลโนเลอิก (C 18:2 n6c) กรดโอเลอิก (C18:1 n9c) และกรดสเตียริก (C18:0) เป็นส่วนประกอบหลัก นอกจากนี้ยังพบว่าเห็ดโคล เห็ดมะม่วง และเห็ดขอนแดง มีองค์ประกอบที่เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเพียง 2 ชนิดเท่านั้นคือ กรดปาล์มติก (C 16:0) และกรดสเตียริก (C18:0) ในขณะที่เห็ดน้ำแป้ง เห็ดแดงน้ำหมาก และเห็ดหน้าอ่อนมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหลายชนิดเป็นองค์ประกอบรวมถึงกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดกรดโอเลอิก (C18:1 n9c) และกรดไลโนเลอิก (C 18:2 n6c) และ กรดอราคดิก (C20:0) เป็นองค์ประกอบด้วย ซึ่งตรงกับรายงานการศึกษาที่พบว่ากรดปาล์มติก กรดไลโนเลอิก และกรดโอเลอิกพบในเห็ดป่าหลายชนิด (Heleno et al. 2009) และกรดไลโนเลอิกเป็นสารตั้งต้นที่มีส่วนในการสังเคราะห์กลีโคลินในเห็ด (Maga 1981) นอกจากนี้จากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าเห็ดหลายชนิดมีสัดส่วนปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของกรดปาล์มติกซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่ในปริมาณมาก ยกเว้นในเห็ดหลินจือ และเห็ดหอม ที่มีปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะกรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิก อยู่ในปริมาณสูง ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งสองชนิดมีรายงานวิจัยที่พบว่าสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ และช่วยลดคอเลสเตอรอลในเส้นเลือดได้ (Kavishree et al. 2008)

ตารางที่ 31 Fatty acid composition (percent) of the wild mushrooms

Mushroom spp.	C9:0	C13:0	C14:0	C15:0	C16:0	C17:0	C18:0	C18:1	C18:2	C20:0	C22:0	C22:1	C24:0
								n9c	n6c			n9	
<i>L. squarrosulas</i> (เห็ดมะม่วง)					96.65		3.34						
<i>R. delicata</i> (เห็ดไค)					71.02		28.98						
<i>P. cinnabarinus</i> (เห็ดขออนแดง)					75.75		24.29						
<i>P. tinctorius</i> (เห็ดก้อนกรวด)					99.95								
<i>A. princeps</i> (เห็ดระโงกขาว)				1.06	47.34	4.79	28.44	7.77	4.05	6.56			
<i>G. lucidum</i> (เห็ดหลินจือ)					34.21			39.44	26.15				
<i>B. edulis</i> . (เห็ดนางฟ้า)					46.85	3.02	20.36	14.71	9.76	5.32			
<i>R. cyanoxantha</i> (เห็ดหน้ำอ่อน)		2.41		2.41	31.15	5.50	54.52		2.51	0.79			0.71
<i>R. densifolia</i> (เห็ดถ่าน)		4.88			48.61	10.64	12.47	17.45	5.93				

Mushroom spp.	C9:0	C13:0	C14:0	C15:0	C16:0	C17:0	C18:0	C18:1	C18:2	C20:0	C22:0	C22:1	C24:0
								n9c	n6c			n9	
<i>L. edodes</i> (เห็ดหอม)					56.1		3.46		40.43				
<i>R. emeica</i> (เห็ดแดงน้ำหมาก)			0.70		29.90	0.99	21.42	30.46	11.50	1.31	1.92		1.81
<i>R. alboareolata</i> (เห็ดน้ำแข็ง)					22.69	0.86	65.18	3.99	1.78	2.24	0.39		1.26
<i>B. colossus</i> (เห็ดตับเต่า)					27.00			13.24	59.77				
<i>M. cambodgensis</i> (เห็ดห้าฟาน)	6.57				35.73		11.06	33.15	13.49				
<i>M. xanthopus</i> (เห็ดกรวยทองตะกู่)					28.90			43.13	28.00				
<i>T. fuliginosus</i> (เห็ดโคน)					66.84		28.04		5.12				

3.7 การสกัดแยกเบต้ากลูแคนและคุณสมบัติทางเคมีของเบต้ากลูแคนจากเห็ด

3.7.1 การสกัดแยกเบต้ากลูแคนจากเห็ด

จากผลการศึกษาปริมาณเบต้ากลูแคนในเห็ดที่รวบรวมได้จากอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวงและบริเวณพื้นที่โดยรอบอุทยาน พบว่า เห็ดป่าหลายชนิดมีปริมาณเบต้ากลูแคนสูง แต่เนื่องจากเห็ดหลายชนิดพบได้ในพื้นที่ลาดชัน ขึ้นตามฤดูกาลโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน และสามารถพบได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่น ในระหว่างเดือน พฤษภาคม-มิถุนายน เป็นต้น ทำให้สามารถรวบรวมเห็ดได้ในปริมาณน้อยไม่สามารถทำนำมาสกัดเบต้ากลูแคนได้ในปริมาณที่เพียงพอที่จะนำไปศึกษาคุณสมบัติทางเคมีอื่น ๆ รวมถึงการศึกษากการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันในเซลล์เพาะเลี้ยงได้ ดังนั้น จึงทำการคัดเลือกเห็ดบางชนิดที่สามารถรวบรวมได้ในปริมาณที่มากพอสำหรับการสกัดเบต้ากลูแคนโดยร้อยละของสารสกัดเบต้ากลูแคนแสดงในรูปของ % Yield ที่ได้ในเห็ดแต่ละชนิดแสดงใน ตารางที่ 32 ซึ่งวิธีการสกัดที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นวิธีดัดแปลงมาจาก Rhee et al. (2008) เป็นการสกัดโดยใช้ด่าง (alkaline extraction) จากผลการสกัดพบว่าเห็ดทุกชนิดให้ปริมาณของเบต้ากลูแคนสกัดได้ในปริมาณต่ำมาก แต่เมื่อเทียบกับรายงานการสกัดเบต้ากลูแคนในเห็ดชนิดอื่น ๆ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน (Rhee et al. 2008) และ % yield ของการสกัดในเห็ดหอมมีค่ามากที่สุด รองลงมาได้แก่เห็ดไคและเห็ดระโงกขาว ส่วนเห็ดชนิดอื่นให้ค่า % extraction yield ที่ต่ำมาก นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบวิธีการสกัดโดยใช้เอนไซม์ และการสกัดด้วยด่างในข้าวโอ๊ต พบว่า % extraction yield จากการสกัดด้วยเอนไซม์จะมีค่าสูงกว่า (Johansson et al. 2007)

ตารางที่ 32 Extraction yield of beta glucans from mushrooms

Sample	sample (g)	Beta-glucan (g)	%Yield
<i>A.princeps</i> (เห็ดระโงกขาว)	200	0.26	0.13
<i>R. delica</i> (เห็ดไค)	200	0.32	0.16
<i>R. emeica</i> (เห็ดแดงน้ำหมาก)	50	bd	bd
<i>B. edulis.</i> (เห็ดน้ำผึ้ง)	50	bd	bd
<i>R. cyanoxantha</i> (เห็ดหนัาอ่อน)	50	bd	bd
<i>G. lucidum</i> (เห็ดหลินจือ)	50	bd	bd
<i>R. densfolia</i> (เห็ดถ่าน)	50	bd	bd
<i>L. squarrosulas</i> (เห็ดมะม่วง)	50	bd	bd
<i>L. edodes</i> (เห็ดหอม)	200	0.55	0.28

*bd = below detection

3.7.2 การศึกษา *beta glucans* ชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ

เห็ดไคเป็นเห็ดที่ถูกเลือกมาทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ รวมถึงการทดสอบการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันโดยใช้เซลล์เพาะเลี้ยง เนื่องจากเป็นเห็ดที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูงใกล้เคียงกับเห็ดหอมและเห็ดหลินจือดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และเป็นเห็ดที่สามารถรวบรวมได้ในปริมาณมากที่สุดในช่วงฤดูกาลตั้งแต่เดือน พฤษภาคม-ธันวาคม ในป่าเต็งรังบริเวณพื้นที่ อ.เจ็กน้อย บริเวณรอบ ๆ อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง โดยเห็ดที่รวบรวมได้จะนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ชนิดของใยอาหาร (dietary fiber) ด้วยวิธี enzymatic-gravimetric method ซึ่งสารสกัดเห็ดจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบย่อยอาหารของคน 3 ชนิด ได้แก่ amylase protease และ amyloglucosidase ผลการศึกษาพบว่า เห็ดไคมีปริมาณของใยอาหารรวมทั้งหมดค่อนข้างสูง (48%) และเป็นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ 40% และชนิดที่ละลายได้ในน้ำ 8% และเมื่อทำการสกัดเบต้ากลูแคนด้วยวิธีการสกัดด้วยด่าง (Rhee et al., 2008) ซึ่งเป็นวิธีการสกัดเบต้ากลูแคนชนิดที่ละลายน้ำได้นั้น พบว่ามีปริมาณเบต้ากลูแคนเท่ากับ 0.38 มิลลิกรัมในตัวอย่างแห้ง 100 มิลลิกรัม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่พบในเห็ดไคนั้นมีเบต้ากลูแคนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 4.75% ของใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (ตารางที่ 33) จากรายงานการศึกษาพบว่าเบต้ากลูแคนในเห็ดอาจมีทั้งส่วนที่ละลายได้และละลายไม่ได้ในน้ำ เช่นเห็ดหอมจะประกอบไปด้วยเบต้ากลูแคนที่อยู่ในส่วนของใยอาหารที่ละลายได้ในน้ำมากกว่าในส่วนที่ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ หรือเป็นเบต้ากลูแคนชนิดที่ละลายได้ในน้ำมากนั่นเอง (Manzi and Pizzoferrato 2000) ซึ่งเบต้ากลูแคนทั้งสองส่วนนั้นจะมีคุณสมบัติในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดสายพันธุ์ของเห็ด โครงสร้างทางเคมีและองค์ประกอบทางเคมีอื่นในเห็ด โดยเบต้ากลูแคนที่พบได้มากในเห็ดส่วนใหญ่เป็นชนิด $\beta(1-4)$, $(1-6)$ มากกว่าชนิด $\beta(1-3)$, $(1-4)$ และพบว่าเบต้ากลูแคนชนิดที่ละลายน้ำได้นั้นมีคุณสมบัติในการเสริมระบบภูมิคุ้มกันได้ดี (Mullins 1990)

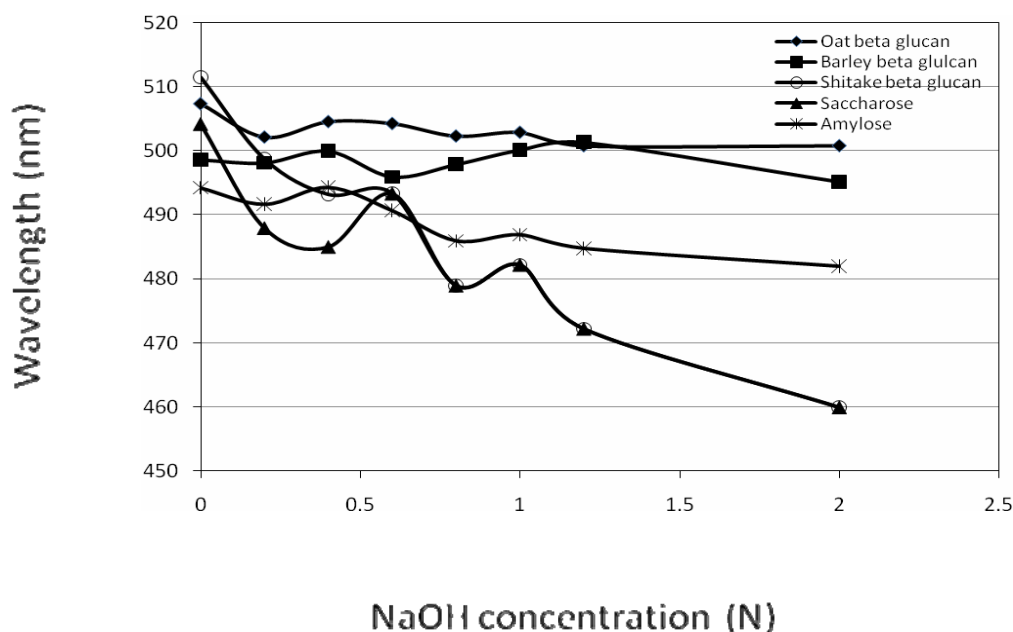
ตารางที่ 33 Soluble beta glucans content in *Russula delica* extract

Dietary fiber	Content (% w/w)	Soluble Beta glucan (% w/w)	Beta glucan in soluble fiber (%)
Total dietary fiber	44.10		
Soluble dietary fiber	3.88	0.38	4.75
Insoluble dietary fiber	40.22		

3.7.3 คุณสมบัติของเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดในการทำปฏิกิริยากับ Congo Red

การศึกษา secondary structure ของ beta glucans ด้วยวิธี Congo Red binding assay (Kraus et al., 1992) โดยสารสกัดเบต้ากลูแคนจากเห็ดจะสามารถสร้างพันธะกับ Congo Red dye ให้ Congo Red-glucan complex ที่มีการเปลี่ยนโครงสร้างเป็น triple helices, single helices หรือ random coil ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนค่า pH ด้วยการเติมสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (0.2 M, 0.4 M, 0.6 M, 0.8 M, 1.0 M, 1.2 M and 2.0 M) และวัดการดูดกลืนแสง ที่ช่วงคลื่น 450 nm ถึง 550 nm ซึ่งค่าการดูดกลืนแสง สูงสุดของ Congo Red-glucan complex ในแต่ละความเข้มข้นของ NaOH ที่มีค่า pH ต่างกันแสดงใน ภาพที่ 10 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเบต้ากลูแคนจากเห็ดหอมมีโครงสร้างที่เป็น triple helices เนื่องจากสามารถสร้างอนุพันธ์เชิงซ้อนกับ congo red ในสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้นต่ำได้ และ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จะทำให้ helices ที่เป็นระเบียบถูกทำลาย และไม่สามารถสร้างอนุพันธ์ เชิงซ้อนกับ congo red ได้เปลี่ยนเป็น helices ที่ไม่มีระเบียบมากขึ้น (single flexible chain) ซึ่งจะเห็นได้ จากค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงค่าการ ดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดใกล้เคียงกับที่พบใน lentinan polysaccharides ที่สกัดได้จาก *Lentinus edodes* (Zhang et al. 2010), curdlan-congo red complex (Mao et al., 2007) และที่พบได้ในเบต้ากลูแคนชนิด (1-3, 1-6 linkage) จากเห็ด *Pleurotus tuber-regium* และ ใน *Botryosphaeria rhodina* (Giese et al. 2008; Chenghua et al. 2000) ในขณะที่เบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ตและข้าวบาร์เลย์มีโครงสร้างที่มีการเรียง ตัวแบบ random coil ซึ่งในสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้นสูงจะไม่สามารถสร้างอนุพันธ์เชิงซ้อนกับ congo red ได้ ซึ่งเห็นได้จากการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และจากรายงานการศึกษาโครงสร้างของผนังเซลล์ของเห็ด *Flammulina velutipes* ที่มีเบต้ากลูแคนที่มี β -(1-3)-D-linked glucose เป็นองค์ประกอบหลัก พบว่าเมื่อทำการย้อมสีด้วย Congo red dye จะเห็นการ

เปลี่ยนโครงสร้างจาก single helics เป็น random coil เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH เพิ่มขึ้น (Leung 1996) ส่วนเห็ดไคจะมีการดุดกลื่นคลื่นแสง



ภาพที่ 10 The dependence of the maximum wavelength of Congo Red-glucan complexes on the concentration of NaOH.

3.7.4 การสกัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณของ *beta glucans* ด้วย *Reverse Phase HPLC*

เพื่อทำการเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบต้ากลูแคนโดยใช้ High Performance Liquid Chromatography กับการวิเคราะห์ด้วยวิธี enzymatic method ตัวอย่างเห็ดจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ lichenase 100 μ L (10 unit) ที่ 45°C นาน 1 ชั่วโมง จากนั้น centrifuge ที่ความเร็วรอบ 9000 rpm นาน 10 นาที นำส่วนใสของ oligosaccharides ที่ได้จากการย่อยมาวิเคราะห์ปริมาณเบต้ากลูแคนด้วย RP-HPLC โดยใช้น้ำเป็น mobile phase ใช้ flow-rate เท่ากับ 0.3 ml/min. และทำการแยกใน C-18 stainless-steel column (Spherisorb ODS-2) ที่อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 28 °C วัดด้วย refractive index detector (Perez-Vendrell et al. 1995) ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปของ HPLC chromatogram ของตัวอย่างเห็ดชนิดต่างๆ (ภาพที่ 11-24) เปรียบเทียบ HPLC profile ของเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอม เบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ต และเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวบาร์เลย์

ผลการสกัดแยกและวิเคราะห์เบต้ากลูแคนด้วย HPLC พบว่าภายหลังจากการย่อยสารสกัดจากเห็ดด้วยเอนไซม์ lichenase ให้แต่ละชนิด จะได้น้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมี peak retention time เท่ากับ 9.25 ซึ่งตรงกับงานวิจัยหลายเรื่องที่พบว่าน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบย่อยหลักที่พบ

ในเบต้ากลูแคนที่สกัดได้จากผนังเซลล์ของยีสต์ (Lee et al. 2001; Nguyen et al. 1998) และเบต้ากลูแคนชนิดละลายน้ำได้ที่สกัดมาจากข้าวโอ๊ตและข้าวบาร์เลย์ (Wood et al 1977) นอกจากนี้ยังพบว่านอกจากน้ำตาลกลูโคสแล้ว เห็ดบางชนิดเมื่อถูกย่อยด้วยเอนไซม์ดังกล่าวยังให้ peak ของน้ำตาลชนิดอื่นที่ได้จากการย่อย โดยเฉพาะที่ retention time เท่ากับ 10.3 และ 11.2 นาที ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับที่พบในเบต้ากลูแคนที่สกัดจากข้าวโอ๊ต และข้าวบาร์เลย์ ที่มีเปอร์เซ็นต์เบต้ากลูแคนเท่ากับ 4.8 และ 8.% (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ (Megazyme) จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เบต้ากลูแคนที่ได้จากการย่อยสารสกัดของเห็ดหอมจะพบเพียงน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบหลัก

อย่างไรก็ตามเมื่อนำตัวอย่างเห็ดป่าชนิดอื่นมาย่อยด้วยเอนไซม์ *lichinase* ที่มีสภาพของการย่อยแบบเดียวกัน แล้ววิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัดภายหลังจากการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ด้วย HPLC พบว่าตัวอย่างเห็ดส่วนใหญ่มีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบที่สามารถแยกได้ที่ retention time เท่ากับ 9.25 และในเห็ดบางชนิดมีการแยกที่ไม่ชัดเจนมากนักในช่วง retention time เท่ากับ 10-11.2 นาทีโดยมี peak ขนาดเล็กรวมอยู่ด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบทางโครงสร้างและทางเคมีของเบต้ากลูแคนที่พบในเห็ดดังกล่าวอาจแตกต่างกับที่พบได้ในเห็ดหอม ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต ทำให้ภายหลังจากการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ *lichinase* ได้องค์ประกอบของ oligosaccharides ที่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเบต้ากลูแคนที่วิเคราะห์ด้วยวิธี enzymatic method จะเห็นได้ว่าปริมาณเบต้ากลูแคนที่วิเคราะห์ได้ จะสอดคล้องกับผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟของ HPLC peaks ที่ได้จากการย่อยด้วย *lichinase enzyme* เพียงอย่างเดียว

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า Reverse Phase HPLC โดยใช้ Column ชนิด C18 และมี mobile phase คือน้ำทำการแยกที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส และวัดการหักเหแสงด้วย Refractive Index detector สามารถใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของเบต้ากลูแคนในเห็ดได้ โดยคำนวณจากปริมาณของพื้นที่ใต้กราฟของ oligosaccharides ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ *lichinase* ที่ 45 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที แต่ความแม่นยำของการวิเคราะห์ด้วย HPLC นั้น เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี enzymatic method ซึ่งสารสกัดเห็ดจะถูกทำการย่อยด้วยเอนไซม์ 2 ชนิด คือ *lichinase* และ *beta-glucosidase* จากนั้นคำนวณปริมาณเบต้ากลูแคนจากน้ำตาลกลูโคสที่วิเคราะห์ได้นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณเบต้ากลูแคนที่มีในตัวอย่าง โดยจากรายงานการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์เบต้ากลูแคนในตัวอย่างข้าวบาร์เลย์ด้วย HPLC นั้นจะสามารถวิเคราะห์ได้ในปริมาณตั้งแต่ 2.53-4.54 มิลลิกรัม (Perez-Vendrell et al. 1995) ดังนั้นเพื่อให้สามารถวิเคราะห์เบต้ากลูแคนในตัวอย่างเห็ดมีความถูกต้องมากขึ้นควรจะต้องเพิ่มปริมาณตัวอย่างเริ่มต้นในการย่อยด้วยเอนไซม์ *lichinase* ก่อนจะนำมาวิเคราะห์ด้วย HPLC เพื่อให้ได้ peak ของเบต้ากลูแคนที่มีความชัดเจนและมีพื้นที่มากพอสำหรับการตรวจวิเคราะห์ได้ถูกต้องมากขึ้น



ภาพที่ 11 HPLC profile of β -glucan extracted from *L. edodes* mushroom hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.



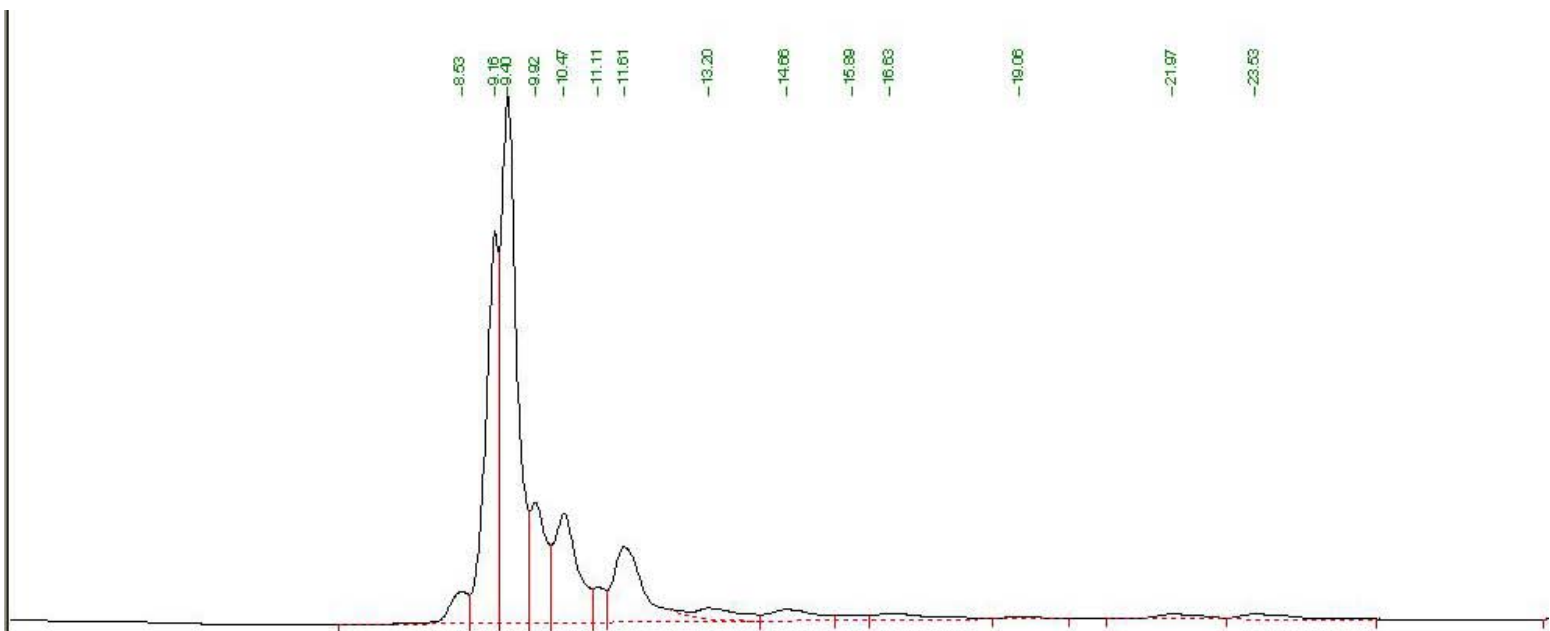
ภาพที่ 12 HPLC profile of oat β glucan (Megazyme) hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.

-3.18 9.21 -10.25 -11.19 -11.89 -14.05 -15.39 -18.72 -20.28 -24.02 -28.44

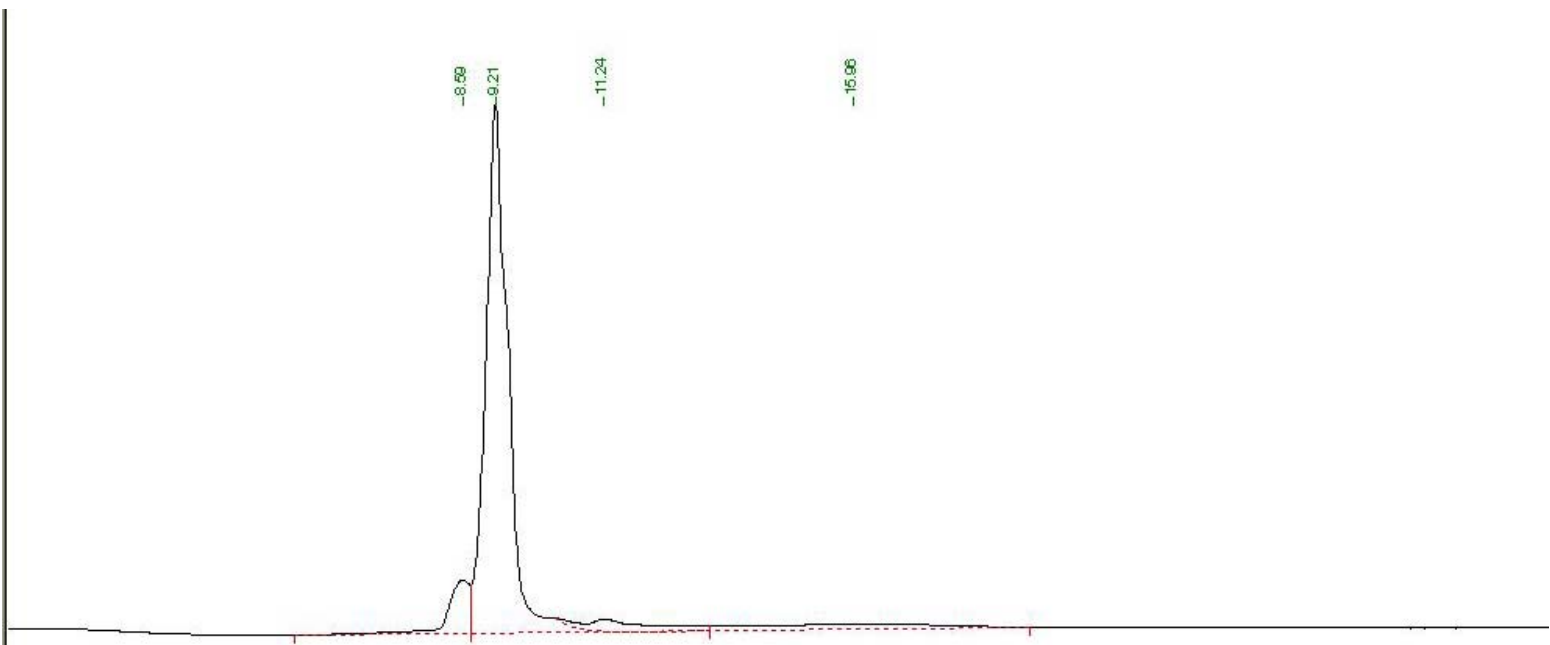
ภาพที่ 13 HPLC profile of barley beta glucan (Megazyme) hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.

-9.22 -10.38 -11.21 -12.38 -16.06 -20.46 -22.16 -24.11 -28.70

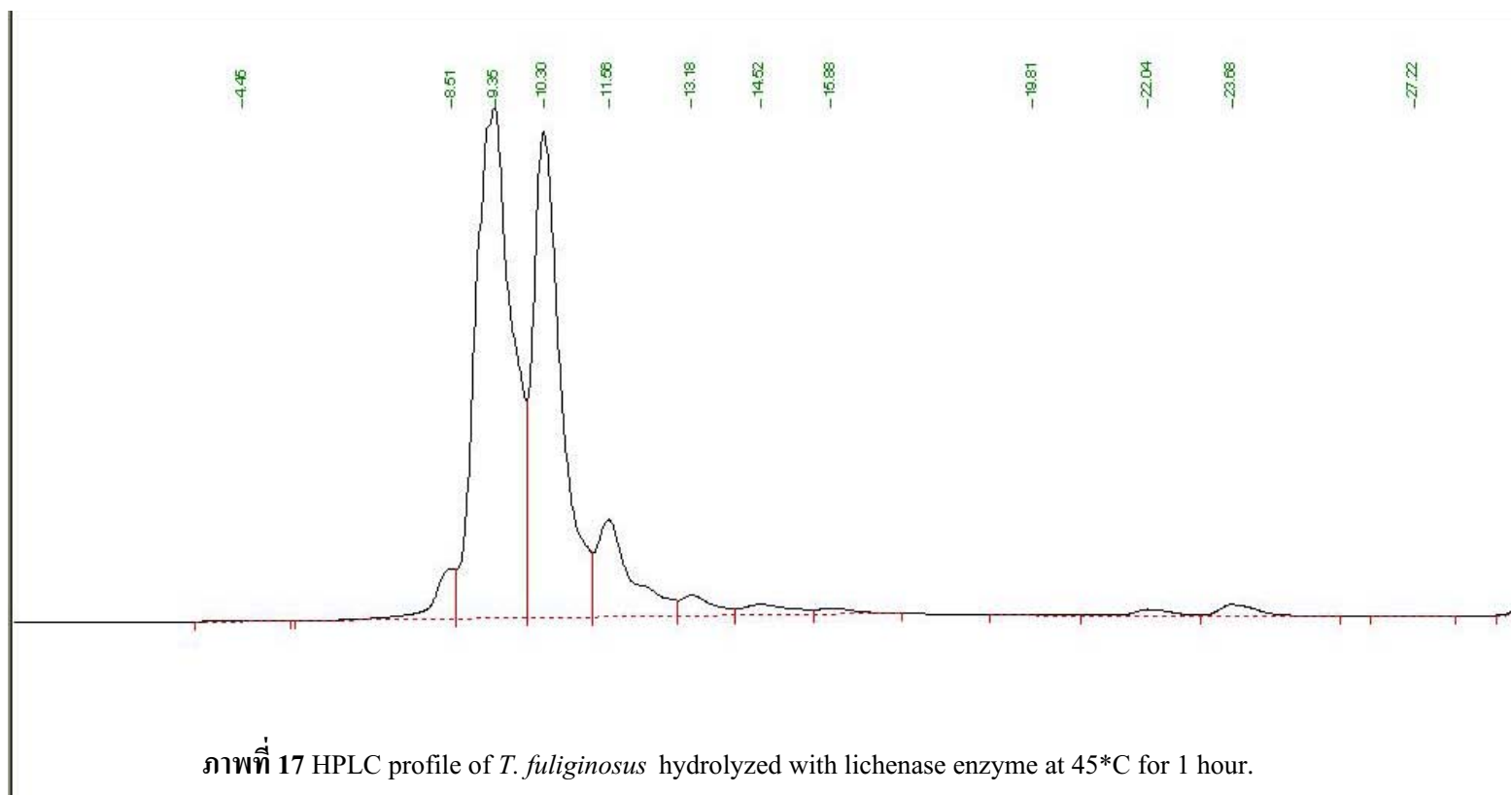
ภาพที่ 14 HPLC profile of *M. cambodgensis* hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.



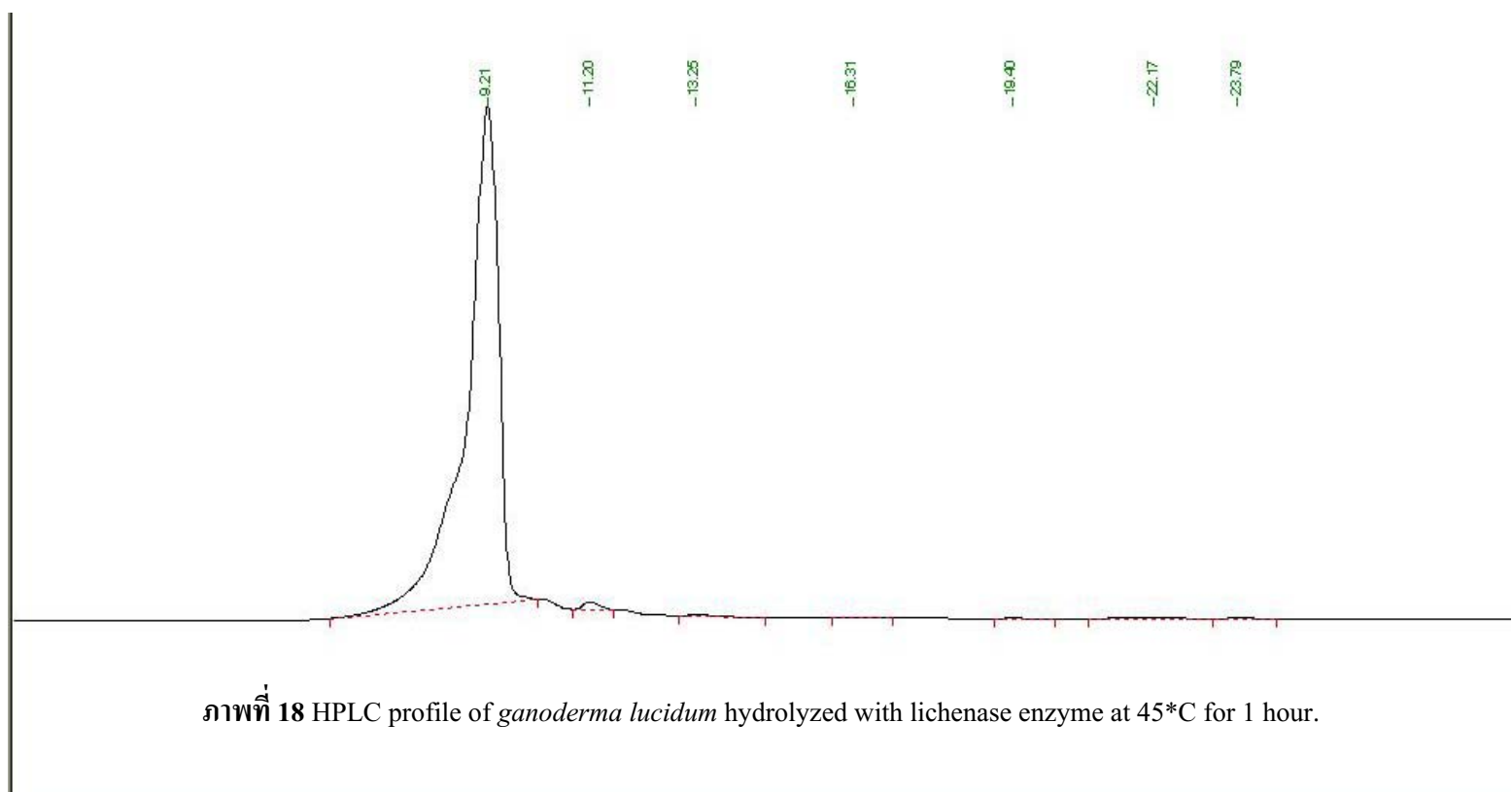
ภาพที่ 15 HPLC profile of *L. squarrosulus* hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.



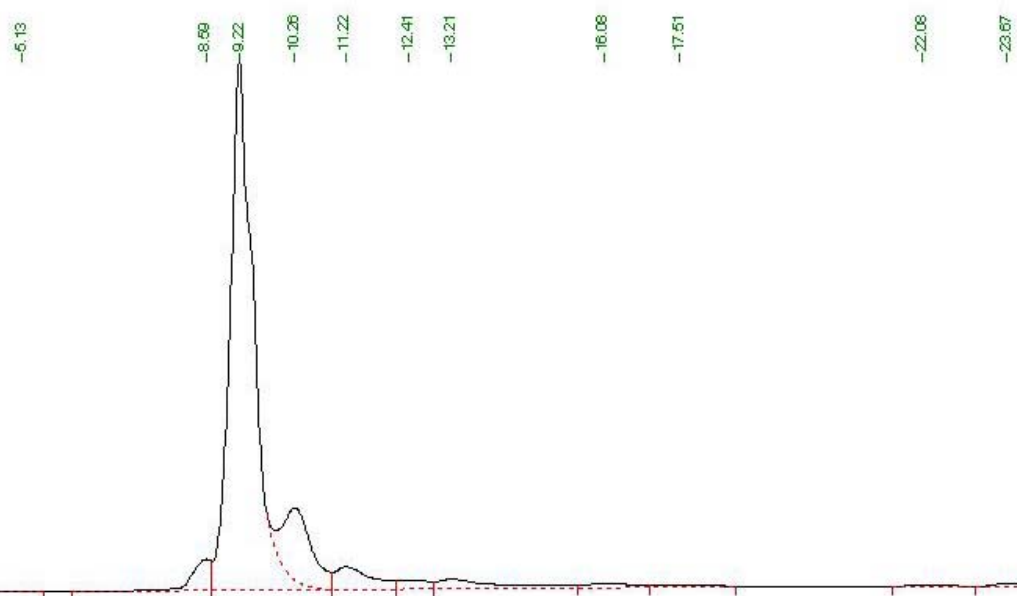
ภาพที่ 16 HPLC profile of *P. spp.* hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.



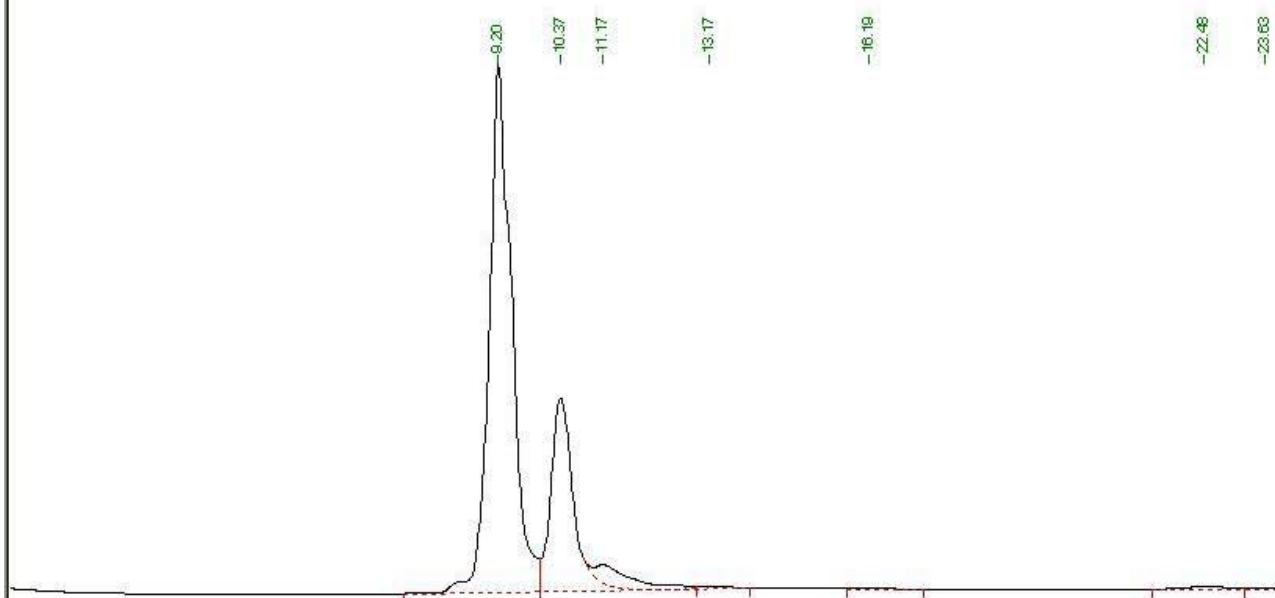
ภาพที่ 17 HPLC profile of *T. fuliginosus* hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.



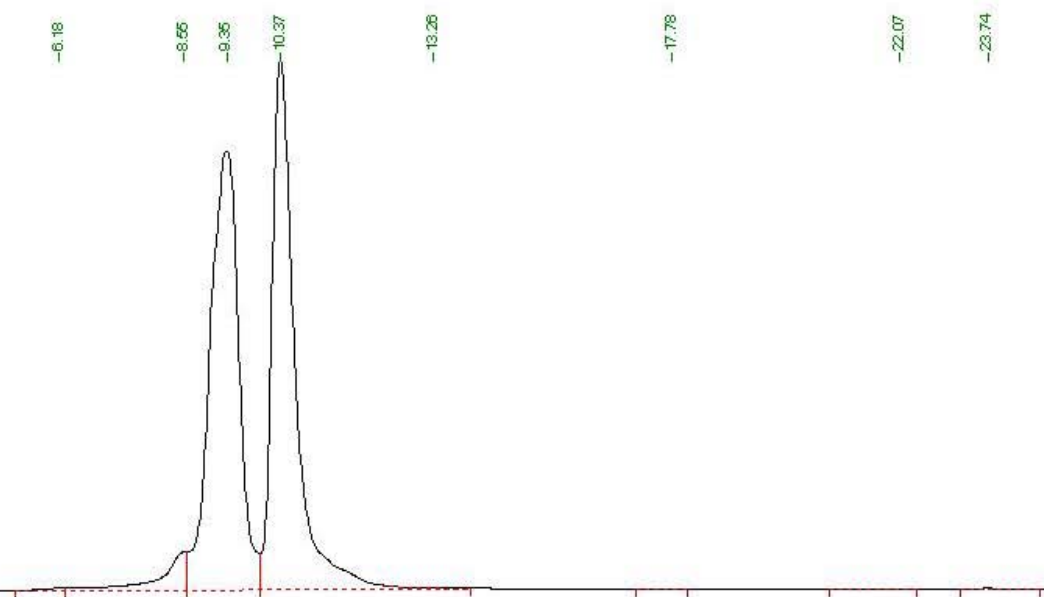
ภาพที่ 18 HPLC profile of *ganoderma lucidum* hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.



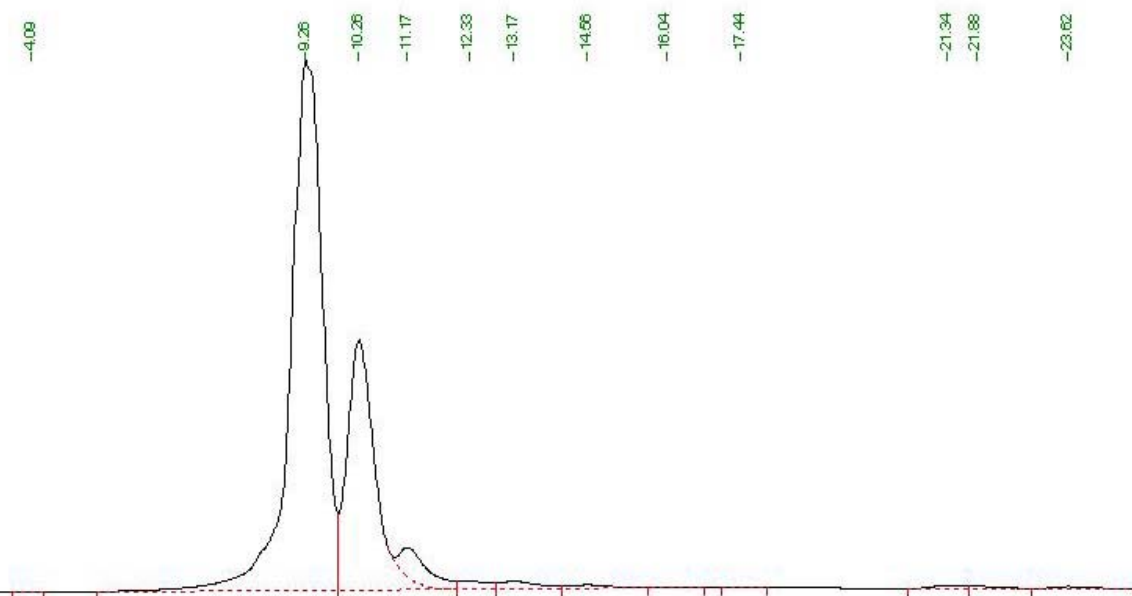
ภาพที่ 19 HPLC profile of *L. squarrosulas* hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.



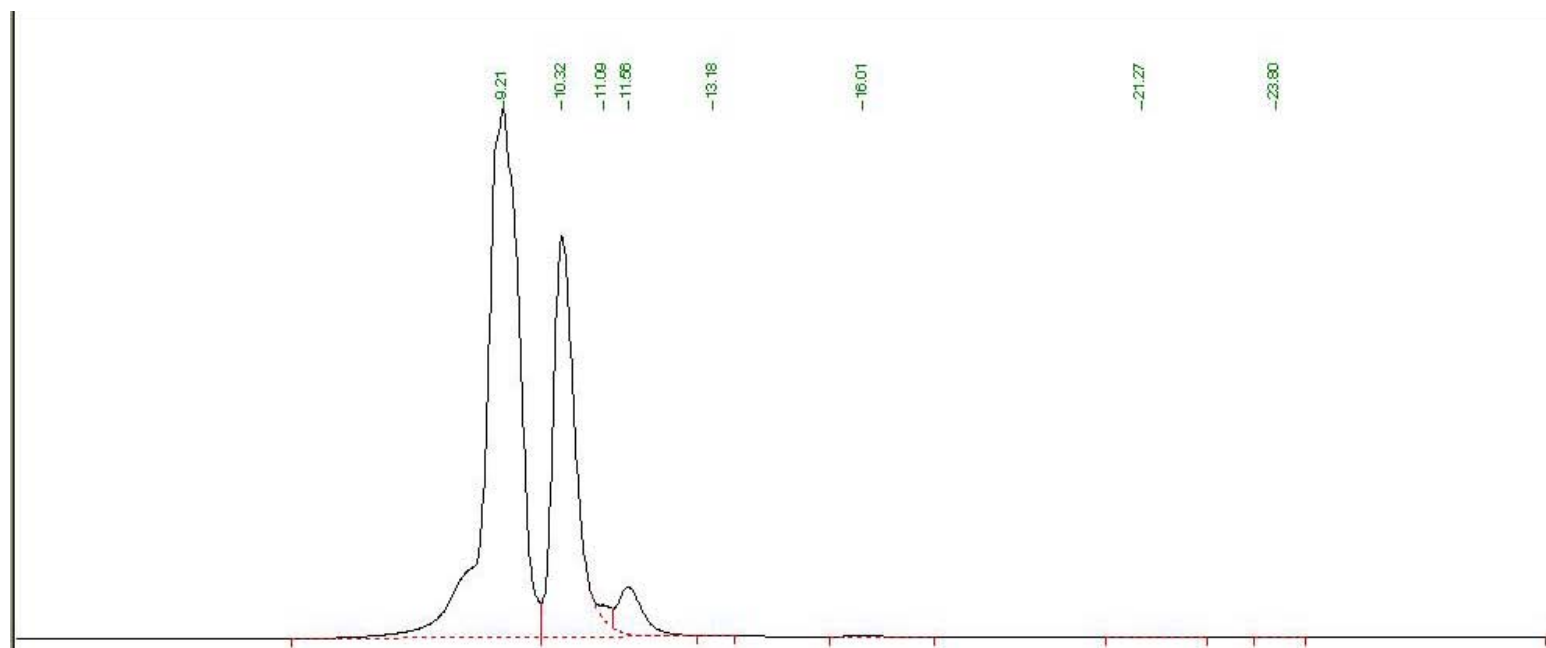
ภาพที่ 20 HPLC profile of *R. emeica* hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.



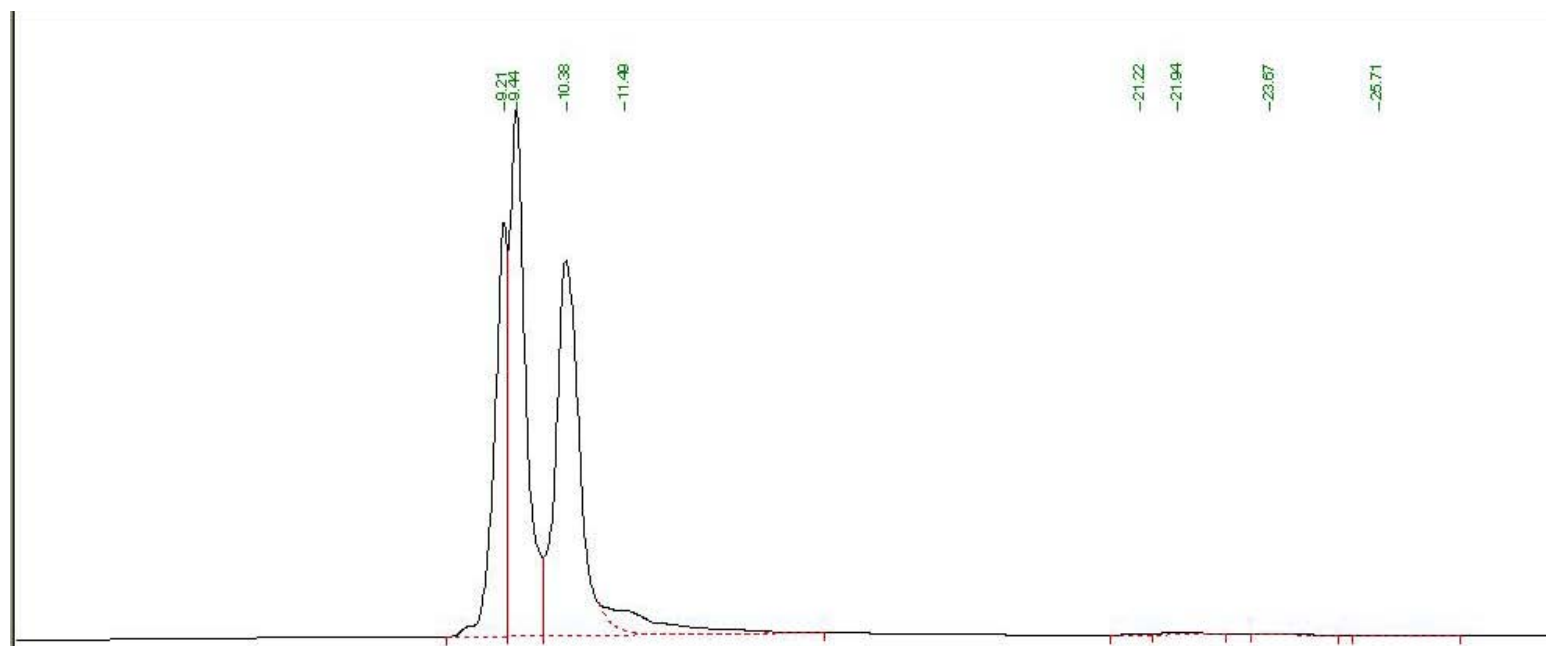
ภาพที่ 21 HPLC profile of *B. spp.* hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.



ภาพที่ 22 HPLC profile of *A. princeps* hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.



ภาพที่ 23 HPLC profile of *R. densfolia* hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.



ภาพที่ 24 HPLC profile of *B. colossus* hydrolyzed with lichenase enzyme at 45°C for 1 hour.

3.7.5 การศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อเบต้ากลูแคนในเห็ด

ตัวอย่างเห็ดป่ากินได้บางชนิดที่มีเบต้ากลูแคนในระดับปานกลางและสูงและสามารถรวบรวมได้ในปริมาณมากพอถูกนำมาศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อเบต้ากลูแคนในเห็ด ทั้งนี้เพื่อให้ทราบความคงตัวของความร้อนของเบต้ากลูแคนในการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเบต้ากลูแคนในขั้นต่อไป โดยตัวอย่างเห็ดจะถูกนำมาต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส นาน 15-30 นาที จากนั้นจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเบต้ากลูแคนที่เหลือในตัวอย่างเห็ด

ผลการศึกษาพบว่า การให้ความร้อนเห็ดด้วยการต้มมีผลต่อการสูญเสียเบต้ากลูแคนในเห็ด โดยเวลาในการให้ความร้อนนาน 30 นาที ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเบต้ากลูแคนสูงกว่าการให้ความร้อนนาน 15 นาที และความสัมพันธ์ของการสูญเสียเบต้ากลูแคนด้วยความร้อนกับเวลาในการต้มจะมีค่าแตกต่างกันในเห็ดแต่ละชนิด (ตารางที่ 34) โดยเห็ดหลินจือ เห็ดหอม เห็ดหน้าอ่อน และเห็ดไคจะสูญเสียเบต้ากลูแคนสูงเมื่อทำการต้มเพียง 15 นาที และเมื่อต้มต่อไปอีกจนถึง 30 นาที การสูญเสียเบต้ากลูแคนในเห็ดหน้าอ่อนและเห็ดหลินจือจะมีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนทำให้เอนไซม์ *lichinase* สามารถย่อยพันธะ β (1-3) และ (1-4) ได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ได้ค่าปริมาณเบต้ากลูแคนสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Johansson et al. (2007) ซึ่งพบว่าการต้มทำให้มีปริมาณของเบต้ากลูแคนชนิดที่ละลายน้ำได้ในข้าวโอ๊ตมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่การให้ความร้อนเห็ดหอม และเห็ดไค นาน 30 นาทีไม่พบว่าทำให้เกิดการสูญเสียของเบต้ากลูแคนมีการเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับการให้ความร้อนนาน 15 นาที ส่วนการให้ความร้อนในเห็ดน้ำผึ้ง เห็ดระโงกขาว และเห็ดขอนแดง พบว่ามีผลต่อการสูญเสียเบต้ากลูแคนน้อยมาก โดยพบว่ามีการสูญเสียเบต้ากลูแคนน้อยถึงแม้ให้ความร้อนในการต้มจนถึง 30 นาที อย่างไรก็ตาม เนื่องด้วยเห็ดไค เป็นเห็ดป่ากินได้ที่สามารถรวบรวมได้ในปริมาณมาก มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูงใกล้เคียงกับเห็ดหอม และมีฤทธิ์การจับอนุมูลอิสระ DPPH สูง จึงถูกคัดเลือกในการนำไปศึกษาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพต่อไป โดยต้องมีการคำนึงถึงอุณหภูมิในการให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการแปรรูปไม่ให้มากกว่า 100 องศาเซลเซียส และใช้เวลาสั้น

ตารางที่ 34 Effect of Cooking on beta-glucan content in mushroom

Mushroom	% Beta-glucan content on dry wt. basis (% loss)		
	Before heating	heating	
		15 min	30 min
<i>G. lucidum</i> (เห็ดหลินจือ)	0.33	0.197 (40.3)	0.237 (28.1)
<i>L. edodes</i> (เห็ดหอม)	0.34	0.237 (30.3)	0.208 (38.8)
<i>P. cinnabarinus</i> (เห็ดขอนแดง).	0.34	0.273 (19.7)	0.278 (18.2)
<i>B. edulis</i> . (เห็ดน้ำผึ้ง)	0.01	0.009 (10.0)	0.012 (20.0)
<i>R. cyanoxantha</i> (เห็ดหน้าอ่อน)	0.29	0.100 (65.5)	0.168 (42.1)
<i>R. delica</i> (เห็ดไค)	0.38	0.172 (54.7)	0.180 (52.6)
<i>A.princeps</i> (เห็ดระโงกขาว)	0.09	0.089 (1.11)	0.082 (8.89)

3.8 การศึกษาการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันและทดสอบความเป็นพิษของเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ด

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เห็ดไคจะถูกนำมาสกัดเบต้ากลูแคนเพื่อใช้ในการศึกษาผลการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันโดยใช้เซลล์เพาะเลี้ยงและการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ เนื่องจากเห็ดไคเป็นเห็ดที่รับประทานได้ (edible mushroom) ที่สามารถรวบรวมได้มากที่สุดในบรรดาเห็ดชนิดอื่นที่มีเบต้ากลูแคน โดยจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันของเบต้ากลูแคนจากเห็ดไคเทียบกับเบต้ากลูแคนสกัดเห็ดหอม ซึ่งเป็นเห็ดเศรษฐกิจที่พบว่ามีปริมาณเบต้ากลูแคนสูงและช่วยกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันได้

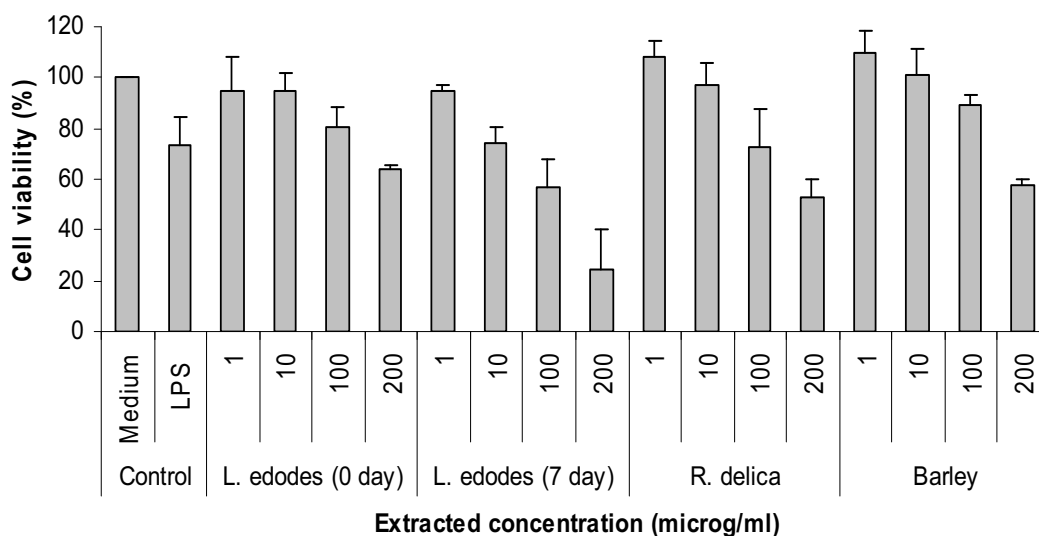
จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เห็ดไคจะถูกนำมาสกัดเบต้ากลูแคนเพื่อใช้ในการศึกษาผลการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันโดยใช้เซลล์เพาะเลี้ยงและการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ เนื่องจากเห็ดไคเป็นเห็ดที่รับประทานได้ (edible mushroom) ที่สามารถรวบรวมได้มากที่สุดในบรรดาเห็ดชนิดอื่นที่มีเบต้ากลูแคน โดยจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันของเบต้ากลูแคนจากเห็ดไคเทียบกับเบต้ากลูแคนสกัดเห็ดหอม ซึ่งเป็นเห็ดเศรษฐกิจที่พบว่ามีปริมาณเบต้ากลูแคนสูงและช่วยกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันได้ (Freunhauf et al. 1982; Herlyn et al. 1983; Nanba et al. 1987) ทั้งนี้เห็ดหอมที่นำมาสกัดเบต้ากลูแคนนั้นเป็นเห็ดหอมสด และเห็ดหอมที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน เพื่อเปรียบเทียบผลของสภาพการเก็บรักษาภายหลังการเก็บเห็ดที่มีต่อผลในการตอบสนองระบบภูมิคุ้มกัน และนอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์

เปรียบเทียบผลที่ได้จากเบต้ากลูแคนสกัดบริสุทธิ์จากข้าวบาร์เลย์ (Megazyme) อีกด้วย ซึ่งจากผลการวิจัยหลายเรื่องที่แสดงให้เห็นว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวบาร์เลย์ให้ผลการตอบสนองระบบภูมิคุ้มกัน และมีการนำมาสกัดเพื่อเป็นสารเสริมอาหาร และจำหน่ายในรูปของอาหารเสริม และอาหารสุขภาพหลายชนิด (Cavallero et al. 2002, Pick et al. 1998)

3.8.1 การทดสอบความเป็นพิษโดยใช้ *cell culture*

ศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดเบต้ากลูแคนจากเห็ดที่มีต่อเซลล์เพาะเลี้ยงของระบบภูมิคุ้มกัน โดยใช้วิธี MTT proliferation assay (Bernhard et al. 2003) โดยเซลล์ที่มีชีวิตจะสามารถเปลี่ยน tetrazolium salt (3-[4, 5-dimethylthiazol-2-yl]-2, 5-diphenyl tetrazolium bromide MTT) ซึ่งมีสีเหลืองเป็น formazan salt ที่มีสีม่วง และทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorption) ที่ได้ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนเซลล์ที่มีชีวิต โดยเซลล์ที่นำมาทดสอบเป็นเซลล์เพาะเลี้ยง RAW 264.7 และใช้เซลล์จำนวน 3×10^5 cells/well ในการทดสอบ

ปริมาณเบต้ากลูแคนสกัดที่ใช้ในการทดสอบมีความเข้มข้นตั้งแต่ 0 (control), 1, 10, 100 และ 200 microgram/ml และทดสอบกับเซลล์เพาะเลี้ยงนาน 24 ชั่วโมง โดยใช้ lipopolysaccharides (LPS) ซึ่งเป็น endotoxin ในเห็ดและพืชหลายชนิดที่ทำให้เกิดการกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันเป็นตัวอย่างควบคุม (positive control) และมี LPS ที่ใช้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1 microgram/ml โดยผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดทุกชนิดจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์มากขึ้น และเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมสดและเห็ดไคที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 100 microgram/ml จะทำให้อัตราการอยู่รอดของเซลล์ลดลงมากกว่า 80% ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนสกัดที่เหมาะสมในการทดสอบเซลล์เพาะเลี้ยงโดยไม่เป็นพิษต่อเซลล์คือ ความเข้มข้น 1 และ 10 microgram/ml (ภาพที่ 25)



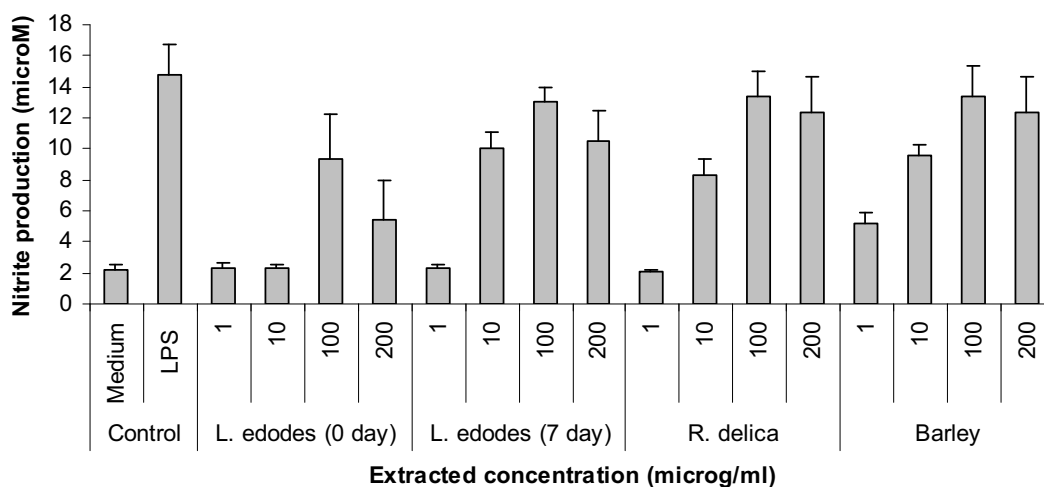
ภาพที่ 25 Effect of β -glucan from mushrooms on cell viability in RAW 264.7 cells. The effect of the extracts from *Lentinus edodes* (0 day storage), *L. edodes* (7 days storage), *Russula delica* and barley (95% purification, Sigma) on cell viability in RAW 264.7 cells. The cells (3×10^5 cells/well) were treated with 1, 10, 100 and 200 microgram/ml of four types of the extracts. LPS (1 microgram/ml) was used as positive control. The RAW264.7 cells were incubated for 24 hours, and then incubated with media containing 3-(4,5-dimethyl-thiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) (final concentration 0.5 mg/ml) for 2 hours. Formazan formation was measured at 595 nm. The data represent the mean $\pm$ SD of triplicate experiments.

3.8.2 ผลของเบต้ากลูแคนที่มีต่อการผลิตไนตริกออกไซด์ของเซลล์เพาะเลี้ยง

ทำการศึกษาการผลิตไนตริกออกไซด์โดยวิธี Griess Assay โดยใช้เซลล์เพาะเลี้ยง RAW 264.7 cells ที่มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 3×10^5 cells/well และทดสอบกับเบต้ากลูแคนที่สกัดจากเห็ดหอมสด เห็ดหอมที่ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน และเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวบาร์เลย์ เปรียบเทียบกับเบต้ากลูแคนที่สกัดได้จากเห็ดโคล ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0 (control), 1, 10, 100 และ 200 microgram/ml นาน 24 ชั่วโมง โดยใช้ LPS ความเข้มข้น 1 microgram/ml เป็นตัวอย่างควบคุม หลังจากการทดสอบ อาหารเลี้ยงเซลล์ปริมาณ 50 ไมโครลิตร จะถูกนำมาทำปฏิกิริยากับ Sulfanilamide solution (1% sulfanilamide ใน 5% phosphoric acid) ที่อุณหภูมิห้อง ในสภาพมืดนาน 10 นาที หลังจากนั้นจะทำ

ปฏิกิริยาต่อกับ NED solution (0.1% N-1-naphthylethylenediamine dihydrochloride ละลายในน้ำ) ที่อุณหภูมิห้อง ในสภาพมืดนาน 10 นาที และวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และความเข้มข้นของไนไตรต์จะคำนวณจากกราฟมาตรฐานของโซเดียมไนเตรท (NaNO_2) โดยปริมาณการผลิตไนตริกออกไซด์ในเซลล์นั้นจะมีความสัมพันธ์กับความสามารถของ macrophages ในการต่อต้านการอักเสบ

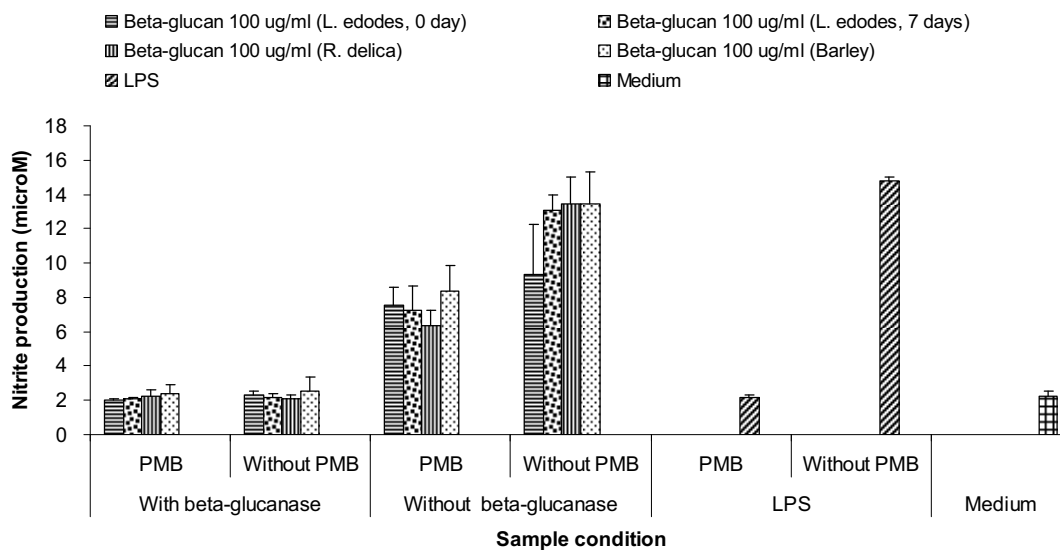
ผลการศึกษาแสดงในภาพที่ 26 พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมสดเห็ดหอมที่เก็บไว้นาน 7 วัน เห็ดไคล และเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวบาร์เลย์ จาก 1-100 microgram/ml ทำให้เซลล์ผลิตไนตริกออกไซด์เพิ่มมากขึ้น และในเซลล์ทดสอบที่มี lipopolysaccharides (LPS) ซึ่งเป็น endotoxin ทำให้เกิดการกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน จะพบว่าการผลิตไนตริกออกไซด์ในระดับสูงมาก ดังนั้นจะเห็นได้ว่านอกจาก LPS แล้วเบต้ากลูแคนยังมีส่วนร่วมที่กระตุ้นให้เซลล์เพาะเลี้ยงเกิดการผลิตไนตริกออกไซด์ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนที่ใช้ทดสอบเป็น 200 microgram/ml การผลิตไนตริกออกไซด์ของเซลล์เพาะเลี้ยงที่ทำการทดสอบกับสารสกัดเบต้ากลูแคนจากเห็ดทุกชนิดและข้าวบาร์เลย์จะมีค่าลดลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากความเข้มข้นสูงทำให้ receptor molecules ของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันที่จำเพาะกับเบต้ากลูแคนเกิดการปรับตัวและทำให้เกิดการตอบสนองได้ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับทดสอบเบต้ากลูแคนสกัดจาก *C. versicolor* ที่ความเข้มข้น 1 และ 10 microgram/ml จะกระตุ้นให้มีการแสดงออกของ SR-A1 receptor เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนเป็น 100 microgram/ml การตอบสนองของ receptor ต่อเบต้ากลูแคนจะลดลง



ภาพที่ 26 The effects of the extracts from *Lentinus edodes* (0 day storage), *L. edodes* (7 days storage), *Russula delica* and barley (95% purification, Sigma) on nitrite production by RAW 264.7 cells. The cells (3×10^5 cells/well) were treated with 1, 10, 100 and 200 microgram/ml of four types of extracts. LPS (1 microgram/ml) was used as positive control. The RAW264.7 cells were incubated for 24 hours. The culture supernatants were collected and the levels of nitrite were measured as described in the Material and Methods. Each nitrite production value represents mean $\pm$ SD. The data shown the mean of three experiments performed with similar results, each evaluating three wells per group.

นอกจากนี้ จากผลการทดสอบการผลิตไนตริกออกไซด์ของเซลล์เพาะเลี้ยงที่ทดสอบกับ lipopolysaccharides (LPS) ซึ่งเป็น endotoxin ทำให้เกิดการกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน พบว่ามีการผลิตไนตริกออกไซด์ในระดับสูงมากซึ่งสัมพันธ์กับการต่อต้านการอักเสบของเซลล์ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการผลิตไนตริกออกไซด์ของเซลล์เพาะเลี้ยงนั้นอาจเป็นผลมาจาก LPS หรือ เบต้ากลูแคน หรือทั้งสองส่วนร่วมกัน ดังนั้นเพื่อทำการยืนยันผลของเบต้ากลูแคนที่มีต่อการกระตุ้นเซลล์เพาะเลี้ยงในการผลิตไนตริกออกไซด์ เซลล์เพาะเลี้ยงจะถูกทดสอบกับ polymyxin B ซึ่งเป็น antibiotic ที่สามารถจับกับ lipopolysaccharides ไม่ให้กระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันและเบต้ากลูแคนที่ถูกย่อยด้วย เอนไซม์ beta-glucanase เพื่อทำลายโครงสร้างของเบต้ากลูแคนและเพื่อเปรียบเทียบกับเซลล์เพาะเลี้ยงที่ทดสอบด้วยเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคและเห็ดหอมเพียงอย่างเดียว โดยเบต้ากลูแคนบริสุทธิ์ที่สกัดจากข้าวบาร์เลย์ (Sigma, Co. Ltd) ถูกใช้เป็นตัวอย่างเปรียบเทียบในการศึกษานี้ด้วย

ผลการศึกษาพบว่า เซลล์เพาะเลี้ยงที่ถูกทดสอบด้วยเบต้ากลูแคนความเข้มข้น 100 microgram/ml จากเห็ดหอมสด เห็ดหอมที่เก็บไว้นาน 7 วัน เห็ดไค และข้าวบาร์เลย์ ที่ไม่มีการเติม beta-glucanase และ polymyxin B ให้ปริมาณการผลิตไนตริกออกไซด์สูงสุด และการผลิตไนตริกออกไซด์จะลดลงในเซลล์ที่มีการเติม polymyxin B ร่วมด้วย ดังนั้นจะเห็นว่าเบต้ากลูแคนมีผลต่อการผลิตไนตริกออกไซด์ ซึ่งผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบเซลล์เพาะเลี้ยงด้วยเบต้ากลูแคนที่มีการเติม beta-glucanase และ polymyxin-B รวมไปถึงเซลล์เพาะเลี้ยงที่มีการเติม beta-glucanase แต่ไม่เติม polymyxin B ที่ทำให้ปริมาณการผลิตไนตริกออกไซด์อยู่ในระดับต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าในเซลล์เพาะเลี้ยงที่มี LPS และมีการเติม polymyxin B จะทำให้ LPS ถูกยับยั้ง และเซลล์ไม่เกิดการผลิตไนตริกออกไซด์ เมื่อเทียบกับเซลล์ที่ไม่เติม polymyxin B จะพบว่า LPS จะไปกระตุ้นให้เซลล์เกิดการผลิตไนตริกออกไซด์ในปริมาณที่สูง ดังนั้นสรุปได้ว่า การเติม polymyxin B จะสามารถช่วยลดการอักเสบของเซลล์ที่เกิดจาก LPS โดยไปจับกับ LPS ซึ่งทำให้การผลิตไนตริกออกไซด์โดยเซลล์นั้นส่วนใหญ่เป็นผลเนื่องมาจากเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดที่ใช้ในการทดสอบ (ภาพที่ 27)



ภาพที่ 27 The effects of the extracts from *Lentinus edodes* (0 day storage), *L. edodes* (7 days storage), *Russula delica* and barley (95% purification, Sigma) on the production of nitric oxide by RAW 264.7 cells. The cells (3×10^5 cells/well) were treated with 100 microgram/ml of four types of the extracts in the presence or absence of 20 microgram/ml of polymyxin B. LPS (1 microgram/ml) was used as positive control. The RAW264.7 cells were incubated for 24 hours. Culture supernatants were collected and the levels of nitrite were measured as described in the Material and Methods. Each NO production value represents the mean $\pm$ SD of three experiments compared to the control (medium no treatment).

3.8.3 การปลดปล่อย Lactate dehydrogenase (LDH assay)

การปลดปล่อย lactate dehydrogenase เป็นการศึกษาการตายของเซลล์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการปลดปล่อย lactate dehydrogenase จะเกิดขึ้นในกระบวนการ necrosis โดยเซลล์เพาะเลี้ยง RAW 264.7 cells ถูกทดสอบด้วยเบต้ากลูแคนสกัดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 1, 10, 100 และ 200 microgram/ml ทดสอบนาน 24 ชั่วโมง และใช้ LPS เป็นตัวอย่างควบคุม จากผลการศึกษาพบว่า การปลดปล่อย LDH ของเซลล์ที่ถูกทดสอบด้วยเบต้ากลูแคนจากเห็ดหอม และเห็ดไคลมีค่าใกล้เคียงกับเซลล์ที่ถูกทดสอบด้วย LPS (ตารางที่ 35) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการตายของเซลล์ไม่ได้เกิดจากกระบวนการ necrosis แต่เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพาะเลี้ยงที่ทดสอบด้วยวิธี MTT assay นั้นอาจมาจาก Mitochondria dysfunction

ตารางที่ 35 Effect of β -glucan from mushrooms on Lactate dehydrogenase release in RAW 264.7 cells.

Samples	Slop	Y=Slop*1000	X=LDH release (unit/ml)
0.25%	0.0349	34.90	0.09
L edodes (1ug/ml)	0.0465	46.50	0.11
L edodes (10ug/ml)	0.0392	39.20	0.10
L edodes (100ug/ml)	0.0344	34.40	0.09
L edodes (200ug/ml)	0.0334	33.40	0.09
L edodes 7days (1ug/ml)	0.0354	35.40	0.09
L edodes 7days (10ug/ml)	0.0353	35.30	0.09
L edodes 7days (100ug/ml)	0.0199	19.90	0.06
L edodes 7days (200ug/ml)	0.0346	34.60	0.09
Russula delica (1ug/ml)	0.0072	7.20	0.03
Russula delica (10ug/ml)	0.0180	18.00	0.05
Russula delica (100ug/ml)	0.0263	26.30	0.07
Russula delica (200ug/ml)	0.0232	23.20	0.06
LPS (1ug/ml)	0.0290	29.00	0.08

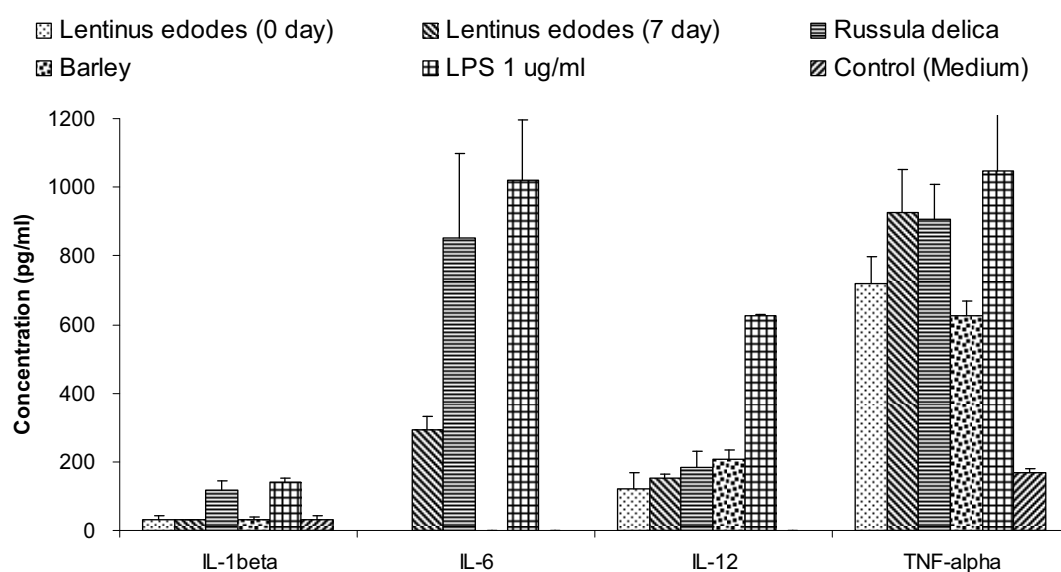
Note: An equation ($Y=486.29X-8.3023$) derived from LDH standard curve.

3.8.4 ผลของเบต้ากลูแคนที่มีต่อการตอบสนองของ interleukins (IL-6, IL-12) และ tumor necrosis factor- α (TNF- α) ในระบบภูมิคุ้มกัน

ทำการศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันในเซลล์เพาะเลี้ยงโดยใช้เซลล์เพาะเลี้ยงที่มีแต่อาหารเลี้ยงเชื้อเป็น negative control เซลล์เพาะเลี้ยงที่มีการกระตุ้นให้เกิดการอักเสบด้วย LPS ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร เป็น positive control และเซลล์เพาะเลี้ยงที่มีการเติม PMB และเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมสด เห็ดหอมเก็บรักษานาน 7 วัน ที่ 0 องศาเซลเซียส เห็ดโคลและบาร์เลย์ โดยใช้ ELISA kits (eBioscience, Inc., San Diego, USA) . ทำการวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วย microplate reader การผลิต IL-6, IL-12 และ TNF- α จาก recombinant mouse จะถูกใช้เป็นกราฟมาตรฐาน

ผลการศึกษาพบว่าในเซลล์เพาะเลี้ยงที่มีการเติม LPS จะมีการผลิต cytokines ชนิด IL-1 β , IL-6, IL-12 และ TNF- α ในปริมาณ 139 $\pm$ 15, 1022 $\pm$ 173, 624 $\pm$ 6 และ 1047 $\pm$ 180 pg/ml ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันในเซลล์เพาะเลี้ยงที่ถูกทดสอบด้วยเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดชนิดต่าง ๆ เทียบกับเบต้ากลูแคนสกัดจากบาร์เลย์ทำโดยการเติม PMB เพื่อลดผลของการกระตุ้นการตอบสนองของ LPS ที่มีอยู่ในสารสกัดเบต้ากลูแคนจากเห็ด ยังพบว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมสด เห็ดหอมที่เก็บรักษานาน 7 วัน ที่ 0 องศาเซลเซียส เบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดโคล และบาร์เลย์ ทำให้เกิดการกระตุ้นการแสดงออกของ TNF- α ในปริมาณมาก โดยเฉพาะเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดโคลนั้นให้ผลการกระตุ้น TNF- α ในปริมาณที่สูง (908 $\pm$ 99 pg/ml) และสูงกว่าเบต้ากลูแคนจากเห็ดหอม และบาร์เลย์ (721 $\pm$ 76 และ 626 $\pm$ 41 pg/ml ตามลำดับ) และเบต้ากลูแคนจากเห็ดโคลยังกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองของ cytokine ชนิด IL-6 ในปริมาณที่สูงอีกด้วย (852 $\pm$ 145 pg/ml) ในขณะที่เบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมเก็บนาน 7 วัน มีการผลิต IL-6 ในปริมาณต่ำ (292 $\pm$ 42 pg/ml) และไม่พบว่าเบต้ากลูแคนจากเห็ดหอมสดและจากบาร์เลย์ทำให้เกิดการกระตุ้นการสร้าง IL-6 เลย นอกจากนี้ยังพบว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมและบาร์เลย์ทำให้เกิดการกระตุ้นการตอบสนองของเซลล์เพาะเลี้ยงให้ผลิต IL-1 β ในปริมาณน้อยมากประมาณ 30 pg/ml และเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดโคลทำให้เกิดการผลิต IL-1 β ในระดับไม่สูงมากนัก (118 $\pm$ 28 pg/ml) และผลการตอบสนองของ cytokines IL-12 พบว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดทั้งสองชนิด และจากบาร์เลย์อยู่ในปริมาณต่ำ และอยู่ในค่าที่ใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 28)

Cytokines ที่ใช้ศึกษาในการทดสอบนี้มีความเกี่ยวข้องกับตัวกลาง (mediators) ในระบบภูมิคุ้มกัน และการต้านการอักเสบของเซลล์ และเนื่องจากผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคโลสามารถเพิ่มการตอบสนองของ proinflammatory cytokines ชนิด IL-1 β , IL-6, IL-12 and TNF- α ได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า beta glucan สกัดจากเห็ดไคโลนี้สามารถกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันใน macrophage cells ได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษางานวิจัยหลายเรื่องที่ใช้ให้เห็นว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหลายชนิดสามารถช่วยกระตุ้นให้ระบบภูมิคุ้มกันมีการตอบสนองที่ดีขึ้น



Cytokines $\pm$ SD (pg/ml)	Samples (100 ug/ml)					
	<i>L. edodes</i> (day0)	<i>L. edodes</i> (day7)	<i>R. delica</i>	Barley	LPS 1 ug/ml	Control
IL-1beta	32 $\pm$ 11	30 $\pm$ 1	118 $\pm$ 28	30 $\pm$ 9	139 $\pm$ 15	33 $\pm$ 10
IL-6	bd	292 $\pm$ 42	852 $\pm$ 145	bd	1022 $\pm$ 173	bd
IL-12	122 $\pm$ 47	154 $\pm$ 9	183 $\pm$ 47	209 $\pm$ 25	624 $\pm$ 6	bd
TNF-alpha	721 $\pm$ 76	925 $\pm$ 128	908 $\pm$ 99	626 $\pm$ 41	1047 $\pm$ 180	168 $\pm$ 12

ภาพที่ 28 Cytokine production by RAW 264.7-macrophages induced by different β -glucan extracts in the presence of 20 ug/ml of polymyxin B (PMB). The β -glucan extracts were added in a final concentration of 100 ug/ml. LPS at 1 ug/ml was used as positive control. The data represent the mean $\pm$ SD of three experiments compared to the medium control. bd: below detection level.

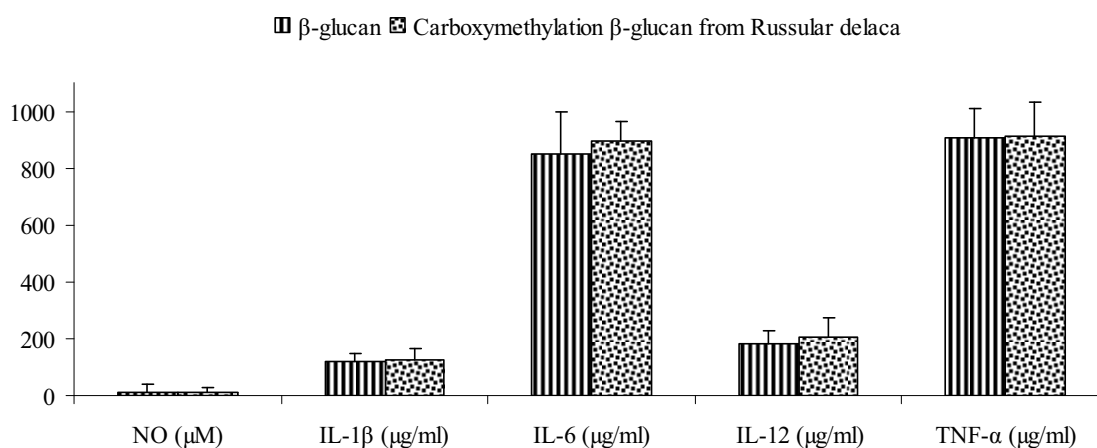
3.8.5 การสังเคราะห์อนุพันธ์ของเบต้ากลูแคนด้วยวิธี *Carboxymethylation* และการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน

เบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคโดถูกนำมาสังเคราะห์อนุพันธ์ carboxymethylglucan ตามวิธีของ Sasaki et al, (1979). โดยสารสกัดเบต้ากลูแคนจะทำปฏิกิริยากับ NaOH ที่ความเข้มข้น 30% ที่มี monochloroacetic acid นาน 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60-70 °C สารผสมจากปฏิกิริยาที่ได้จะถูกนำมากรองและล้างด้วย methanol-acetic acid, methanol water, methanol, และ acetone ตามลำดับ ตะกอนสุดท้ายจะถูกละลายด้วยน้ำ และ dialyzed ในน้ำกลั่นที่ 4 °C นาน 2 วัน จากนั้นจะทำแห้งด้วย lyophilizer ผลการสังเคราะห์อนุพันธ์ทำให้ได้ % yield of carboxymethylation เท่ากับ 73% จากนั้นสารอนุพันธ์ carboxymethylglucan ที่สังเคราะห์ได้จะถูกนำมาทดสอบเปอร์เซ็นต์รอดชีวิตของเซลล์ (Cell viability) และผลที่มีต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันในเซลล์เพาะเลี้ยง RAW264.7 cells และเปรียบเทียบกับเซลล์เพาะเลี้ยงที่ทดสอบด้วยเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคโด ปริมาณเบต้ากลูแคนที่ทำการทดสอบคือ 100 µg/ml ทำการวิเคราะห์ปริมาณของ nitric oxide ที่ผลิต และการผลิต cytokines โดยใช้ Griess's reagent และ ELISA kit ตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่าอนุพันธ์ของเบต้ากลูแคนที่ความเข้มข้นเท่ากับเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคโด คือ 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ที่ใช้ในการทดสอบกับเซลล์นั้นให้ผลในการรอดชีวิตของเซลล์ที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 36) และสามารถกระตุ้นเซลล์เพาะเลี้ยงให้ผลิต nitric oxide และ cytokines ทุกชนิดในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญในเซลล์เพาะเลี้ยงที่ถูกทดสอบด้วยเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคโด (ภาพที่ 30) ซึ่งการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Zhang et al. (2004) โดยพบว่า carboxymethylated beta glucan ที่สกัดได้จากเห็ด *Pleurotus tuber-regium* สามารถกระตุ้นให้เกิดการผลิต cytokine ชนิด TNF-alpha เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับระดับของการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในน้ำตาลกลูโคสที่เป็นองค์ประกอบหลักของเบต้ากลูแคนด้วยหมู่คาร์บอกซิลิก โดยหากมีการแทนที่มากจะทำให้โครงสร้างทางเคมีของเบต้ากลูแคนเปลี่ยนแปลงในด้านขนาด รูปร่างและการจัดเรียงตัวของหมู่ทางเคมี โดยเฉพาะจะทำให้การจัดเรียงตัวของสายพันธะมีความยืดหยุ่นมากขึ้นจากเบต้ากลูแคนเริ่มต้นที่มีการแทนที่ด้วยหมู่คาร์บอกซิล เช่น การเรียงตัวของเบต้ากลูแคนแบบ random coil เป็นการจจัดรูปร่างที่ยืดหยุ่นขึ้น (extended conformation) ของ carboxylated betaglucan ใน *Ganoderma lucidum* (Zhang et al. 2001) ดังนั้น จะเห็นได้ว่าระดับของการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในเบต้ากลูแคนด้วยวิธี carboxymethylation อาจเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเพิ่มหรือกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน

ตารางที่ 36 Cell viability in RAW 264.7 cells tested with beta glucan and carboxymethylated-glucan from *R.delica*

Treatment	Cell viability (%)				Note:
	β -glucan	$\pm$	Carboxymethylation β -glucan	$\pm$	
<i>Russular sp.</i> (100 μ g/ml)	84	25	77	28	The cells (3 x 10 ⁵) mean $\pm$ SD of triplicate experiments.
Control (Medium)	100	32	100	37	
Control (LPS 1 μ g/ml)	61	14	61	46	



ภาพที่ 29 Nitric oxide production and cytokine production by RAW 264.7-macrophages induced by different β -glucan extracts from *R.delica* and caroxymethylateglucan of β -glucan extracts from *R.delica* in the presence of 20 μ g/ml of polymyxin B (PMB). The extracts were added in a final concentration of 100 μ g/ml. LPS at 1 μ g/ml was used as positive control. The data represent the mean $\pm$ SD of three experiments compared to the medium control. bd: below detection level.

3.9 การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพจากสารสกัดเบต้ากลูแคนจากเห็ด

เห็ดไค (*Russula delica*) เป็นเห็ดป่าที่พบว่ามีปริมาณของเบต้ากลูแคนสูง และสามารถเก็บรวบรวมได้ในปริมาณมากในฤดูกาลคือในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคม-ธันวาคม นอกจากนี้ผลการศึกษาการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันโดยใช้เซลล์เพาะเลี้ยง ยังให้ผลในการกระตุ้นการสร้างสาร cytokines ชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในระดับที่ดีกว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอม และเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวบาร์เลย์ ดังนั้น เห็ดไคจึงถูกคัดเลือกเพื่อนำมาศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพจากสารสกัดจากเห็ดที่มีปริมาณเบต้ากลูแคนสูง โดยการคัดเลือกชนิดของผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพที่เหมาะสมจะใช้หลักการ idea screening และความเป็นไปได้ในทางการตลาด จากรายงานการศึกษาพบว่า มีการนำเบต้ากลูแคนไปใช้เป็นสารทดแทนไขมัน (fat replacer) (และในอาหารประเภท low calorie โดยเฉพาะเบต้ากลูแคนที่สกัดได้จากข้าวโอ๊ต และข้าวบาร์เลย์ยังได้มีการศึกษาถึงอิทธิพบในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด โดยทำการสกัดเบต้ากลูแคนที่ละลายน้ำได้เติมลงไปในช่วงกระบวนการทำขนมปังทำให้ช่วยลดการปลดปล่อยน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งภายหลังการย่อยเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ผลิตจากข้าวสาลีขัดขาว ซึ่งจะสามารถควบคุมและลดการเกิด hyperglycaemia และ hyperinsulinaemia สำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานได้ (Wood et al. 1990; Cavallero et al. 2002; Pick et al. 1998; Brennan and Cleary 2007) และนอกจากนี้เบต้ากลูแคนยังมีคุณสมบัติในการเพิ่มความข้นหนืด (thickener) ให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร (Worrasinchai et al., 2006; Lyly et al., 2004) และเนื่องจากอาหารพร้อมรับประทานในรูปของผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป และอาหารแช่แข็งที่มีคุณค่าทางอาหารสูงยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในปัจจุบันอีกด้วย จากผลของการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ในการพัฒนาด้วยวิธี idea screening โดยทำการสำรวจตลาด (Market research) ของผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมรับประทาน และรวบรวมข้อมูลความต้องการของผู้บริโภคจากข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต มาพิจารณาประกอบความเหมาะสมของอุปกรณ์ และกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมรับประทานที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเบต้ากลูแคน เช่นความคงตัวเมื่อได้รับความร้อน และคุณสมบัติในการให้ความข้นหนืดของเบต้ากลูแคน ทำให้ผลิตภัณฑ์ประเภทซูปถูกคัดเลือกที่จะทำการพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพโดยการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ด และทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ซูปด้านต่าง ๆ เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ซูปที่มีการเติมสารสกัดเบต้ากลูแคนจากเห็ดหอม และเบต้ากลูแคนสกัดจากโอ๊ต

3.9.1 การเตรียมผลิตภัณฑ์ซูปมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์ซุปสูตรมาตรฐาน (225 กรัม) ถูกเตรียมโดยใช้ Corn based soup (Lotus Product) ซึ่งมีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง ข้าวโพดบด นมผง มาการีน ผงหัวหอม น้ำมันพืช น้ำตาลและเกลือในสัดส่วนที่แสดงในตารางที่ 37 และทำการเติมน้ำปริมาณ 150 มิลลิลิตร เติมน้ำสกัดเบต้ากลูแคนจากเห็ดไคโคลที่ความเข้มข้น 0%, 0.25%, 0.5% และ 1% (โดยน้ำหนัก) และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65-70°C จากนั้นตัวอย่างจะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ รวมถึงคุณสมบัติในการเพิ่มความข้นหนืดของซุป และความคงตัวภายหลังการแช่เยือกแข็งและการทำละลาย และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ซุปที่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอม และโธ๊ต โดยรหัสของตัวอย่างแสดงในตารางที่ 38

ตารางที่ 37 Standard formular and ingredients of Corn based Soup

Ingredients	Percentage
Tapioca flour	29.50%
Sugar	22.00%
Margarine	20.00%
Grinded corn	8.26%
Milk powder	8.00%
Salt	3.00%
Dried corn	2.00%
Onion powder	2.00%
Vegetable oil	0.14%

ตารางที่ 38 Sample codes of corn soup fortified with beta-glucan extracts from various sources

beta-glucan extracts	Soup with beta-glucan addition			
	0% (control)	0.25%	0.5%	1%
	0 g	0.56 g	1.125 g	2.25 g
A1				
Oat		A2	A3	A4
Shitake		B2	B3	B4
Hed Kai		C2	C3	C4

Note: total weight of soup is 225 g

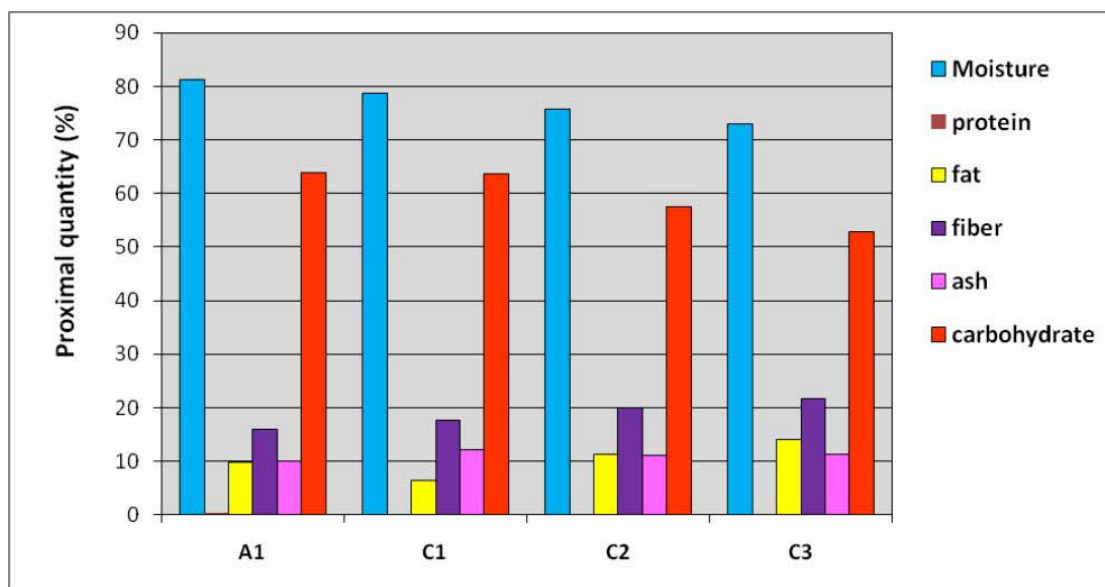
3.9.2 คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ ของผลิตภัณฑ์ซุปรที่มีการเติมเบต้ากลูแคนที่สกัดได้จากเห็ดไคโด

ค่าสีของผลิตภัณฑ์ซุปรเป็นคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่สำคัญคุณสมบัติหนึ่งที่ใช้บอกคุณภาพในด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ และเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคอีกด้วยเนื่องจากเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคโด เห็ดหอม และข้าวโอ๊ตจะมีสีที่ต่างกัน และเมื่อเติมลงไป ในผลิตภัณฑ์ซุปร จะมีผลต่อการเปลี่ยนสีทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับปริมาณของเบต้ากลูแคนสกัดที่เติมลงไป โดยผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ซุปรสูตรมาตรฐานจะให้ค่า L^* สูงสุด คือมีความสว่างมากที่สุด และเมื่อมีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ต ที่ความเข้มข้น 0.25% และ 0.5% ค่าความสว่างของซุปรไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนเพิ่มสูงขึ้นเป็น 1% ค่าความสว่างมีค่าลดลงมาก ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอม ในขณะที่เบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคโดในปริมาณเพียง 0.5% ทำให้ผลิตภัณฑ์ซุปรเริ่มมีความสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 39) ทั้งนี้เนื่องจากเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคโดมีสีน้ำตาลคล้ำกว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอม และจากข้าวโอ๊ต ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าสี b^* ซึ่งบอกถึงค่าสีเหลืองในทางบวก จะเห็นได้ว่าสีเหลืองของซุปรที่เกิดขึ้นเป็นผลส่วนใหญ่เนื่องมาจากซุปรสูตรมาตรฐานที่มีส่วนผสมเป็นเม็ดข้าวโพดบด ดังนั้นเมื่อมีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคโดซึ่งมีสีน้ำตาลจึงทำให้ค่าสีเหลืองมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ในผลิตภัณฑ์ซุปรที่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมและข้าวโอ๊ตพบว่า ค่าสีเหลืองมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมและข้าวโอ๊ตมีสีเหลืองอ่อนและสีขาวตามลำดับ จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ซุปรทั้งหมดน้อยมากตามไปด้วย

ตารางที่ 39 Color values of corn based soup fortified with beta-glucan extracts from vario sources

Sample code	L^*	a^*	b^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
A1	47.5	-2.73	16.65	-14.02	-9.95	-8.54	19.19
A2	46.62	-2.59	16.27	-15.9	-9.81	-8.93	20.71
A3	46.9	-2.93	16.01	-11.62	-10.15	-8.19	17.46
A4	32.46	-1.44	16.51	-29.06	-8.66	-8.69	31.54
B2	46.55	-2.48	16.82	-14.97	-9.7	-8.38	19.71
B3	44.73	-0.79	14.59	-30.42	-8.01	-10.61	33.2
B4	31.73	-1.42	14.11	-16.79	-8.64	-8.08	20.54
C2	42.28	-1.97	15.74	-19.24	-9.19	-9.45	23.33
C3	29.35	-0.13	14.64	-32.17	-7.55	-10.56	34.64
C4	31.29	0.57	12.2	-30.22	-6.65	-12.99	33.56

ผลิตภัณฑ์ซุปรที่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดโคลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณของสารอาหารหลักได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และเถ้า เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ซุปรมาตรฐานที่ไม่มีการเติมเบต้ากลูแคนพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนในซุปรจะทำให้ซุปรมีความชื้นหนืดเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณน้ำมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปริมาณของสารประเภทโปรตีนพบว่ามีปริมาณน้อยมากในผลิตภัณฑ์ซุปรทั้งที่เติมและไม่เติมเบต้ากลูแคน และการเติมเบต้ากลูแคนในผลิตภัณฑ์ซุปรทำให้ปริมาณของสารอาหารประเภทไขมันและเถ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของเบต้ากลูแคน แต่ในผลิตภัณฑ์ซุปรที่มีการเติมเบต้ากลูแคนมากจะพบว่ามีปริมาณไขมันมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณของเบต้ากลูแคนน้อยกว่า ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตจะมีปริมาณน้อยลงเนื่องจากคาร์โบไฮเดรตเป็นค่าที่คำนวณจากสารอาหารทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ซุปรลบด้วยปริมาณของไขมัน โปรตีน ไขมัน และ เถ้า คิดโดยน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 30) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเบต้ากลูแคนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบสารอาหารหลักของในผลิตภัณฑ์ซุปรน้อยมาก ยกเว้นปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ซุปรมีคุณค่าทางอาหารมากขึ้น



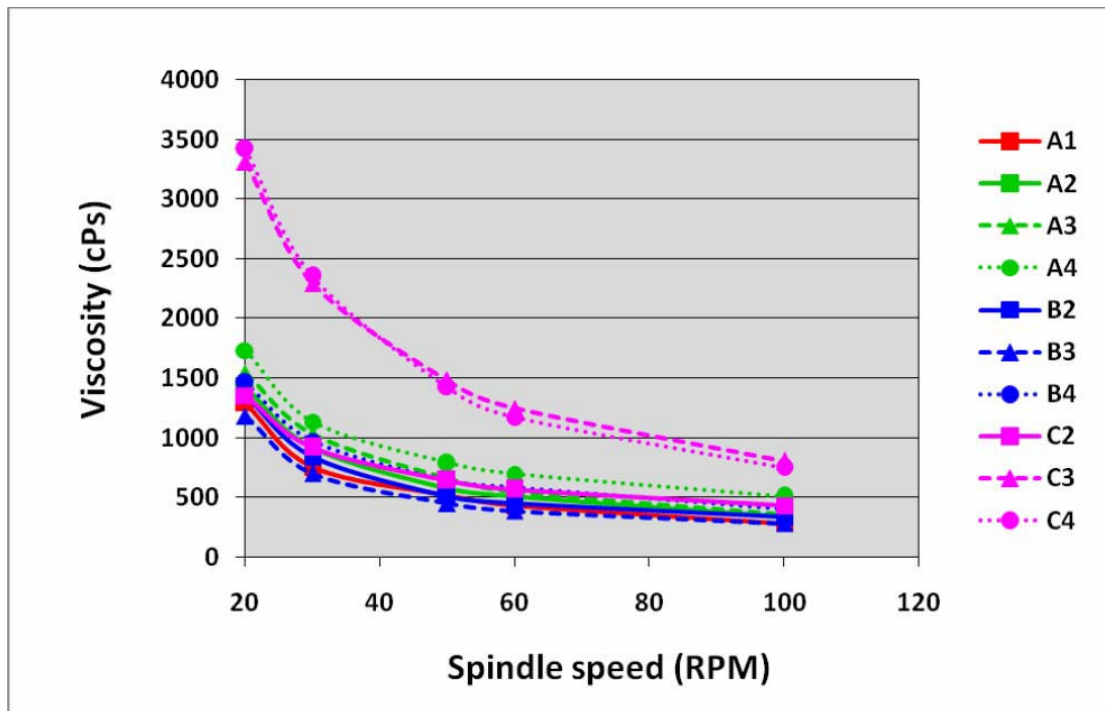
ภาพที่ 30 The proximate analysis of soup samples fortified with beta-glucan extracts. (A1: Corn based soup; A2-A4 : Soup fortified with beta glucan extract from Oat at concentration of 0.25-1%, respectively; B2-B4: Soup fortified with beta glucan extract from *L.edodes* at concentration of 0.25-1%, respectively; C2-C4: Soup fortified with beta glucan extract from *R. delica* at concentration of 0.25-1%, respectively)

3.9.3 คุณสมบัติในการเพิ่มความข้นหนืดของเบต้ากลูแคนในผลิตภัณฑ์ซุป

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ซุปที่เติมและไม่เติมเบต้ากลูแคนสกัดแสดงในตารางที่ 40 โดยใช้การวิเคราะห์ความหนืดด้วย Viscometer: Brookfield Model: RVDVE 230 (Spindle no. 4) ที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการเพิ่มความเร็วในการกวนจาก 20 RPM เป็น 100 RPM ทำให้ผลิตภัณฑ์ซุปสูตรมาตรฐานและซุปที่เติมเบต้ากลูแคนชนิดต่าง ๆ ในทุกความเข้มข้นมีค่าความหนืดลดลงตามลำดับ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของของไหลแบบ Shear thinning และเมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ซุปที่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอม และข้าวโอ๊ตที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.25 – 1% โดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มความเร็วของการกวนจะทำให้ความหนืดลดลงในอัตราที่ใกล้เคียงกับความข้นหนืดของซุปสูตรมาตรฐานที่ไม่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดและความหนืดเริ่มลดลงในอัตราที่ช้ามากเมื่อความเร็วของการกวนเข้าใกล้ 100 รอบต่อนาที แต่ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ซุปที่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดที่ความเข้มข้น 0.5% และ 1% โดยน้ำหนัก จะมีความข้นหนืดสูงสุดเมื่อเทียบกับซุปตัวอย่างอื่น ๆ และเมื่ออัตราเร็วในการกวนซุปเพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนืดของซุปลดลงอย่างมาก และมีค่าความหนืดสูงกว่าซุปสูตรมาตรฐานที่ความเร็วของการกวนเท่ากับ 100 รอบต่อนาที (ภาพที่ 31) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคในปริมาณตั้งแต่ 0.5-1% (โดยน้ำหนัก) จะทำให้ผลิตภัณฑ์ซุปมีความข้นหนืดเริ่มต้นสูงกว่าผลิตภัณฑ์ซุปสูตรมาตรฐานที่ไม่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัด และการเพิ่มอัตราเร็วของการกวนถึงแม้จะทำให้ความข้นหนืดมีค่าลดลง แต่ยังคงให้ค่าความข้นหนืดของซุปที่มากกว่าซุปที่ไม่เติมและเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมและข้าวโอ๊ตที่ความเข้มข้นเดียวกัน

ตารางที่ 40 Viscosity of corn soup fortified with beta-glucan extracts

RPM/ Viscosity (cPs)	20	30	50	60	100
A1	1290	607	520	430	282
A2	1420	913	576	503	336
A3	1540	1027	656	543	356
A4	1730	1133	788	697	510
B2	1350	840	508	447	334
B3	1180	700	448	387	282
B4	1460	973	640	583	404
C2	1350	920	644	567	428
C3	3310	2293	1480	1247	806
C4	3420	2353	1424	1170	748



ภาพที่ 31 The viscosity of soup samples fortified with beta-glucan measured by Brookfield Viscometer at room temperature. (A1: Corn based soup; A2-A4 : Soup fortified with beta glucan extract from Oat at concentration of 0.25-1%, respectively; B2-B4: Soup fortified with beta glucan extract from *L.edodes* at concentration of 0.25-1%, respectively; C2-C4: Soup fortified with beta glucan extract from *R. delica* at concentration of 0.25-1%, respectively)

3.9.4 ผลของการแช่เยือกแข็งและการทำละลายที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซูปที่มีการเติมสารสกัดเบต้ากลูแคน

ปัจจัยในกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาหลายปัจจัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งการแช่เยือกแข็งในกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษารวมไปถึงการทำละลายของผลิตภัณฑ์ก่อนการบริโภคมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซูปในหลายคุณลักษณะ ได้แก่ สีของผลิตภัณฑ์ ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความข้นหนืด รวมไปถึงคุณสมบัติการอุ้มน้ำและการแยกชั้นน้ำและเนื้อซูปภายหลังการทำละลายอีกด้วย ซึ่งคุณลักษณะเหล่านี้มีความสำคัญต่อคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ซูปและเป็นคุณลักษณะสำคัญที่มีผลต่อความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นเพื่อศึกษาผลของเบต้ากลูแคนสกัดที่มีต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์ซูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและการทำละลาย ตัวอย่างซูปที่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอม ข้าวโอ๊ต และเห็ดไคที่มีความเข้มข้น 0.25% 5% และ 1% ถูกแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง จากนั้นถูกทำการละลายที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และ

ตัวอย่างถูกนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซูปด้านต่าง ๆ ได้แก่ สี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความขุ่นหนืดของผลิตภัณฑ์ ค่าการดูดกลืนน้ำ และการแยกชั้นน้ำ ตัวอย่างซูปสูตรมาตรฐานถูกใช้เป็นตัวอย่งเปรียบเทียบในการทดลอง นอกจากนี้แล้วผลิตภัณฑ์ซูปภายหลังการถูกแช่เยือกแข็งและทำละลายจำนวน 3 รอบ ได้ถูกวิเคราะห์ค่าความคงตัวด้านต่าง ๆ อีกด้วย

1) ผลของการแช่เยือกแข็งและการทำละลายที่มีต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ซูป

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ซูปก่อนและหลังการแช่เยือกแข็งและการทำละลายจำนวน 3 รอบแสดงในตารางที่ 41-43 และค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์แสดงในภาพที่ 32 ซึ่งพบว่าก่อนการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ซูปสูตรมาตรฐานและซูปที่เติมเบต้ากลูแคนทุกชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ มีค่าความสว่างมากกว่าซูปภายหลังการแช่เยือกแข็งและการทำละลาย และซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมและข้าวโอ๊ตที่ความเข้มข้น 1% และเห็ดไคความเข้มข้น 0.5 และ 1% ก่อนการแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับซูปสูตรมาตรฐานและซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมและข้าวโอ๊ตที่ความเข้มข้น 0.25 และ 1% และเห็ดไคความเข้มข้น 0.25% นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนครั้งของการแช่เยือกแข็งและการทำละลายที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความสว่างของซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมที่ความเข้มข้น 0.25 และ 0.5% มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ทำให้ซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ตและเห็ดไคที่ความเข้มข้น 0.5% และ 1% มีความสว่างลดลงเล็กน้อย และไม่ส่งผลต่อค่าความสว่างของซูปสูตรมาตรฐานและซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ต และเห็ดไคที่ความเข้มข้น 0.25%

ตารางที่ 41 Color of corn soup fortified with beta glucan extracts after the 1st freeze-thaw cycle

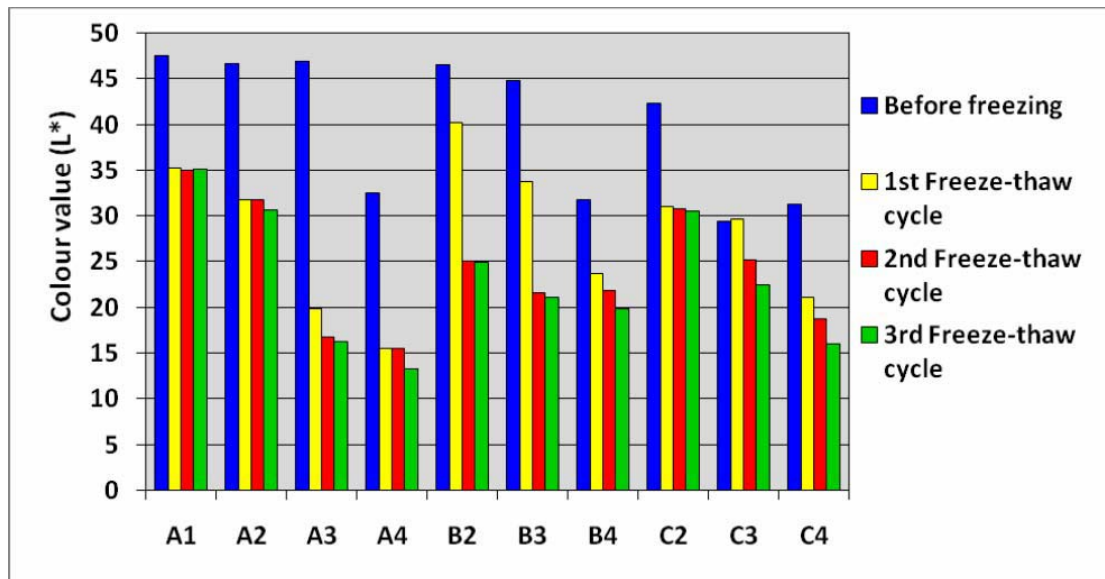
Sample code	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
A1	35.22	-1.28	14.20	-26.29	-8.50	-10.99	29.74
A2	31.80	-0.88	15.56	-29.71	-8.10	-9.63	32.27
A3	19.82	-0.18	16.69	-41.70	-7.40	-8.50	43.19
A4	15.57	-0.23	13.81	-37.95	-7.45	-11.39	40.31
B2	40.20	-1.51	16.07	-21.32	-8.73	-9.13	24.78
B3	33.71	-0.73	16.47	-27.81	-7.95	-8.73	30.21
B4	23.71	-0.38	13.01	-37.81	-6.84	-12.19	40.31
C2	31.01	-0.46	14.37	-30.51	-7.69	-10.83	33.27
C3	29.63	-0.04	13.47	-31.89	-7.26	-11.72	34.74
C4	21.14	1.38	14.32	-40.38	-5.84	-10.87	42.23

ตารางที่ 42 Color of corn soup fortified with beta glucan extracts after the 2nd freeze-thaw cycle

Sample code	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
A1	34.94	-0.72	11.09	-31.57	-7.94	-14.1	35.48
A2	31.73	0.72	12.50	-46.79	-6.50	-12.69	48.91
A3	16.69	1.28	9.50	-54.83	-5.94	-15.69	57.34
A4	15.53	0.57	12.06	-45.98	-6.66	-13.13	48.28
B2	25.02	0.52	12.49	-48.5	-6.7	-12.7	50.58
B3	21.53	0.17	11.13	-40.43	-7.06	-14.06	43.38
B4	21.78	-0.51	14.75	-29.74	-7.73	-10.44	32.45
C2	30.76	-1.24	15.76	-30.76	-8.46	-9.43	33.26
C3	25.13	1.01	13.59	-46.39	-6.21	-11.6	48.22
C4	18.78	1.88	16.36	-42.74	-5.34	-8.83	43.97

ตารางที่ 43 Color of corn soup fortified with beta glucan extracts after the 3th freeze-thaw cycle

Sample code	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
A1	35.05	-1.86	18.37	-25.47	-9.08	-6.83	27.89
A2	30.63	-0.73	21.45	-30.89	-7.95	-3.74	32.11
A3	16.24	-0.20	17.95	-41.28	-7.42	-7.25	42.56
A4	13.32	0.52	17.37	-42.20	-6.70	-7.83	43.44
B2	24.99	-0.42	15.89	-36.53	-7.64	-9.30	38.47
B3	21.09	-0.16	14.88	-39.99	-7.38	-10.31	41.95
B4	19.81	-0.45	16.01	-31.71	-7.67	-9.18	33.89
C2	30.57	-0.86	17.54	-25.95	-8.08	-7.66	28.24
C3	22.43	-0.23	16.16	-31.09	-7.45	-9.03	33.22
C4	16.02	1.90	2.63	-55.60	-5.32	-22.57	60.15



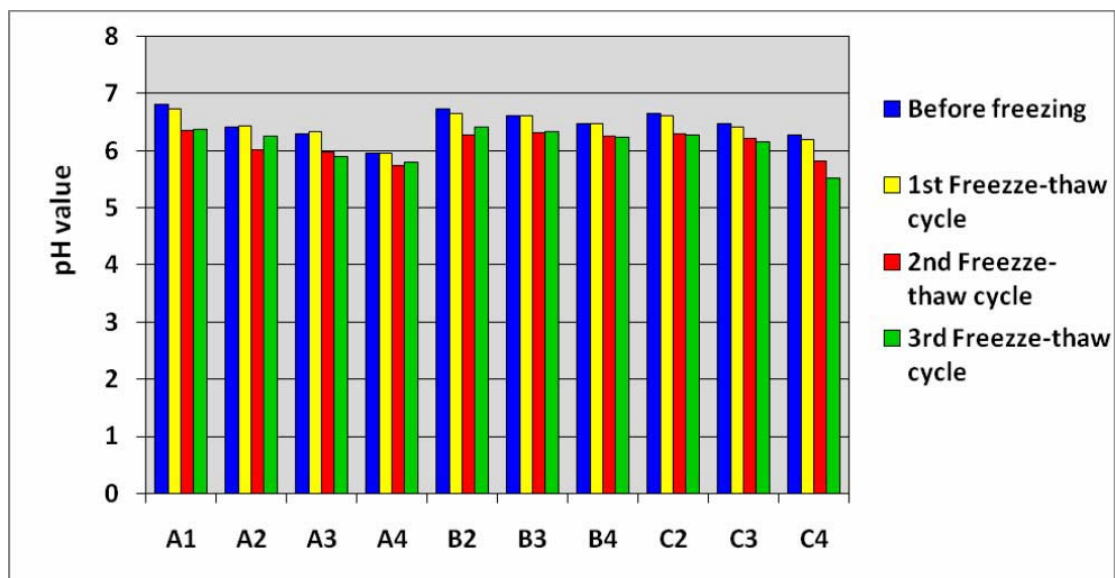
ภาพที่ 32. L* color value of corn soup samples fortified with beta glucan extracts before and during freeze-thaw cycles (A1: Corn based soup; A2-A4 : Soup fortified with beta glucan extract from Oat at concentration of 0.25-1%, respectively; B2-B4: Soup fortified with beta glucan extract from *L.edodes* at concentration of 0.25-1%, respectively; C2-C4: Soup fortified with beta glucan extract from *R. delica* at concentration of 0.25-1%, respectively)

2) ผลของการแช่เยือกแข็งและการทำละลายที่มีต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ซूप

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ซूपทั้งก่อนและหลังการแช่เยือกแข็งและการทำละลาย พบว่า เบต้ากลูแคนสกัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ของซूपน้อยมาก (ตารางที่ 44 และภาพที่ 33) โดยซूपตัวอย่างทั้งหมดจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 5.5-7 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาตามความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนสกัดที่ใส่ในซूपจะพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนสกัดในซूपค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลงเล็กน้อย หรือมีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และยังพบอีกว่าจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและการทำละลายที่เพิ่มขึ้นทำให้ซूपมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของเบต้ากลูแคนสกัดแต่ละชนิด และความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นภายหลังการแช่เยือกแข็งและการทำละลายหลาย ๆ รอบจะทำให้ได้ปริมาณของ dissociated acids ในซूपเพิ่มมากขึ้นซึ่งมีผลต่อการเพิ่มค่าความเป็นกรดให้กับผลิตภัณฑ์ซूप

ตารางที่ 44 The pH value of corn soup fortified with beta glucan extracts before freezing and during freeze-thaw cycles

Sample code	Before freezing	1 st Freeze-thaw cycle	2 nd Freeze-thaw cycle	3 rd Freeze-thaw cycle
A1	6.81	6.73	6.35	6.37
A2	6.42	6.44	6.02	6.25
A3	6.30	6.34	5.98	5.90
A4	5.95	5.95	5.73	5.79
B2	6.73	6.65	6.28	6.42
B3	6.62	6.62	6.31	6.33
B4	6.48	6.48	6.25	6.23
C2	6.65	6.61	6.30	6.28
C3	6.47	6.42	6.22	6.15
C4	6.28	6.20	5.81	5.52



ภาพที่ 33. The pH values of corn soup samples fortified with beta glucan extracts before and during freeze-thaw cycles (A1: Corn based soup; A2-A4 : Soup fortified with beta glucan extract from Oat at concentration of 0.25-1%, respectively; B2-B4: Soup fortified with beta glucan extract from *L.edodes* at concentration of 0.25-1%, respectively; C2-C4: Soup fortified with beta glucan extract from *R. delica* at concentration of 0.25-1%, respectively)

3) ผลของการแช่เยือกแข็งและการทำละลายที่มีต่อค่าความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์ซูป

การแช่เยือกแข็งและการทำละลายของผลิตภัณฑ์ซูปทั้งที่เดิมและไม่เดิมเบต้ากลูแคนสกัดมีผลต่อความคงตัวของซูปอย่างมากโดยเฉพาะค่าความข้นหนืดภายหลังการทำละลายซูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจะมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ซูปก่อนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งจำนวนรอบของการแช่แข็งเพิ่มมากขึ้น ยิ่งทำให้ซูปมีค่าความหนืดภายหลังการทำละลายเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยการแช่เยือกแข็งและการทำละลายรอบที่ 3 จะทำให้ผลิตภัณฑ์ซูปทุกตัวอย่างมีความข้นหนืดสูงสุดจนไม่สามารถวัดได้ด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer โดยใช้ spindle No. 4 จึงทำให้สามารถวัดค่าความคงตัวของการแช่แข็งและการทำละลายได้เพียง 2 รอบเท่านั้น

ผลิตภัณฑ์ซูปสูตรมาตรฐานก่อนการแช่แข็งจะมีค่าความหนืดน้อยกว่าซูปที่ผ่านการแช่แข็ง 2 ครั้ง เกือบ 2 เท่าตัว และค่าความหนืดของซูปก่อนการแช่แข็งจะลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วในการกวนในอัตราที่ใกล้เคียงกับซูปที่ผ่านการแช่แข็ง และทำละลาย 2 ครั้ง (ภาพที่ 34) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ซูปที่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ต เห็ดหอม และเห็ดโคล ที่ความเข้มข้น 0.25% เมื่อทำการแช่เยือกแข็งและทำละลายรอบที่ 1 จะทำให้ค่าความหนืดเริ่มต้นมีค่าสูงเพิ่มขึ้น และค่าความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการกวนและลดลงในอัตราที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ซูปก่อนการแช่เยือกแข็ง แต่ในการแช่เยือกแข็งและการทำละลายครั้งที่ 2 ค่าความหนืดของซูปที่เติมเบต้ากลูแคนจากเห็ดโคลจะมีค่าสูงมาก และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการกวน จนมีค่าความหนืดใกล้เคียงกับซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ตและเห็ดหอมเมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการกวนเท่ากับ 100 รอบต่อนาที (ภาพที่ 35 (1)) นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ซูปที่เพิ่มความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนสกัดเป็น 0.5% และ 1% จะมีค่าความข้นหนืดเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและการทำละลายที่เพิ่มขึ้น โดยเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดโคล จะให้ค่าความหนืดมากที่สุด รองลงมาได้แก่เห็ดหอม และข้าวโอ๊ต ตามลำดับ (ภาพที่ 35 (2) และ (3) ตามลำดับ)

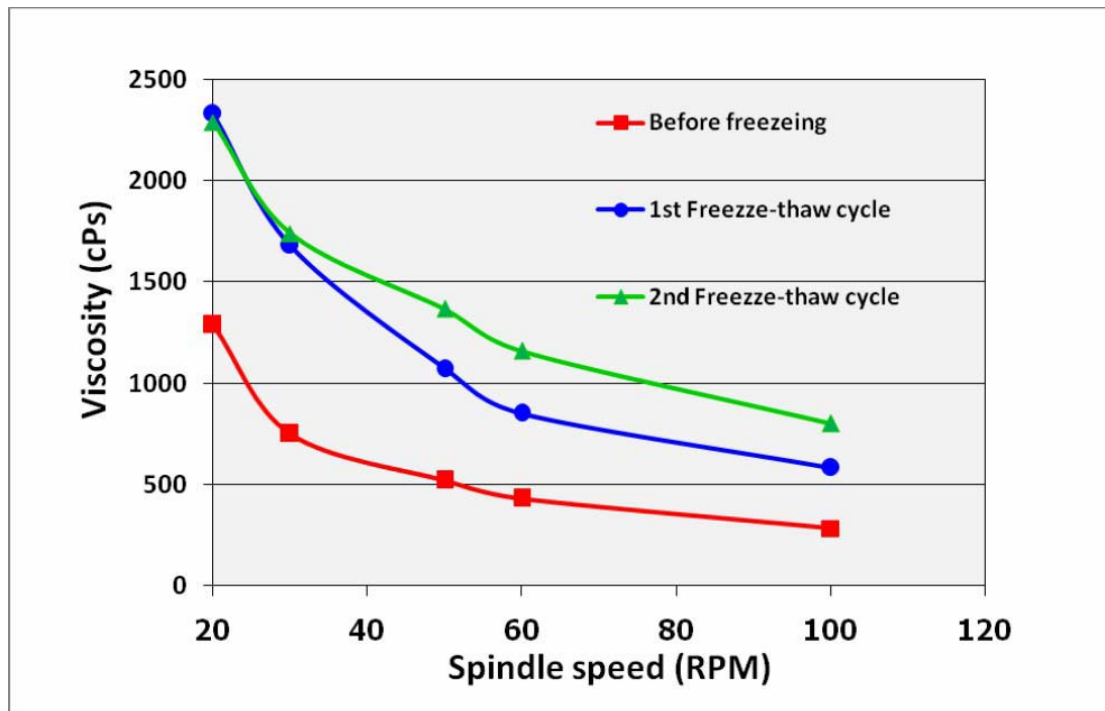
จำนวนครั้งของการแช่เยือกแข็งและการทำละลายที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ซูปมีความข้นหนืดเพิ่มมากขึ้นอาจเนื่องมาจากการแช่เยือกแข็งและการทำละลายจะทำให้โครงสร้างการเรียงตัวของสารประกอบอาหารในซูปสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำซึ่งมีผลต่อความข้นหนืดโดยตรง นอกจากนี้การให้ความร้อนภายหลังการทำละลายยังทำให้เกิดการสูญเสียน้ำภายในซูปออกไปอีกด้วย ดังนั้นค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ และแยกชั้นน้ำในผลิตภัณฑ์ซูปภายหลังการแช่เยือกแข็งและการทำละลายจึงได้ถูกวิเคราะห์ต่อไปเพื่ออธิบายความคงตัวของซูปและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของซูปที่เกิดจากกระบวนการแช่เยือกแข็งและการทำละลายให้ชัดเจนขึ้น

ตารางที่ 45 The viscosity of corn soup fortified with beta glucan extracts after the 1st freeze-thaw cycle

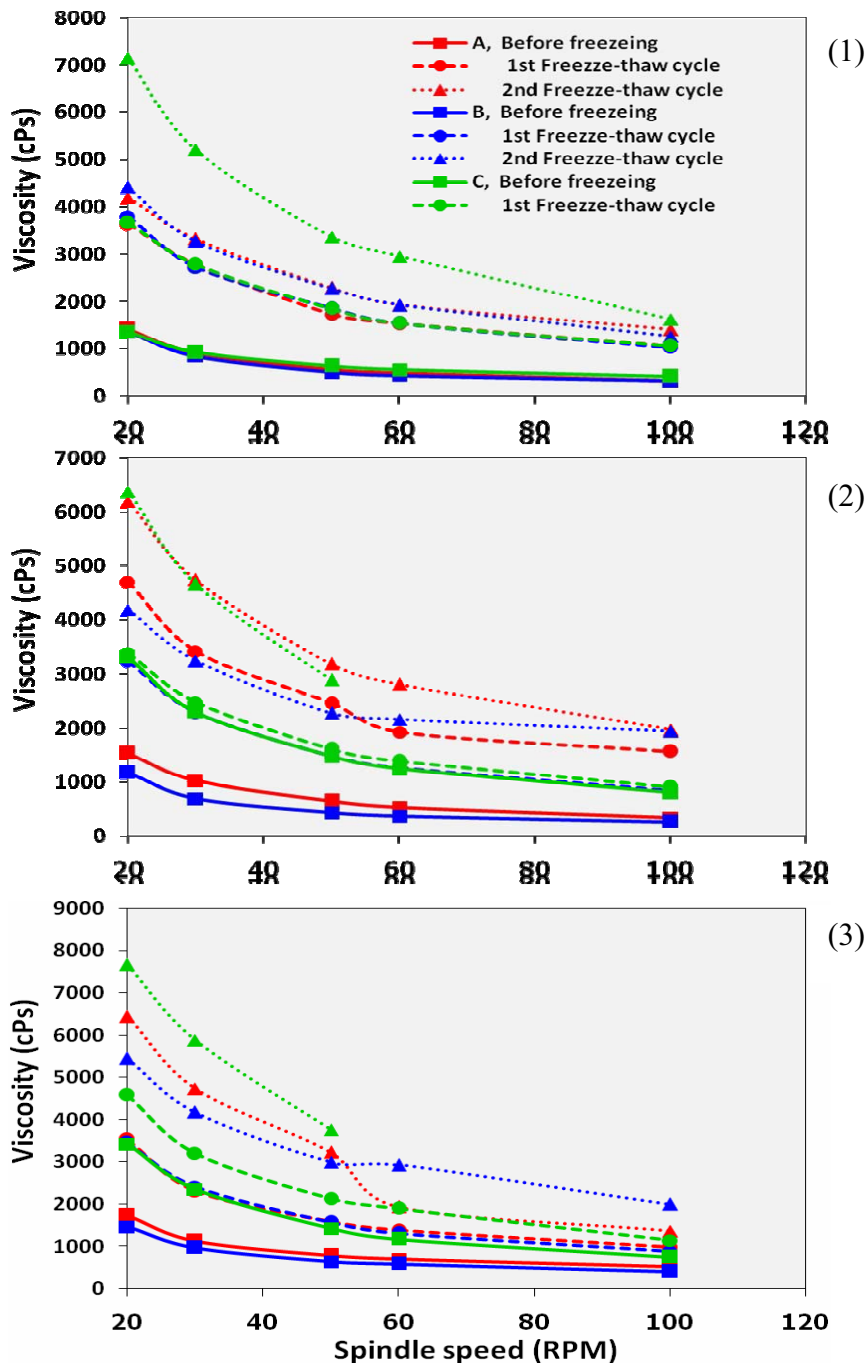
RPM	20	30	50	60	100
A1	2330	1680	1072	853	582
A2	3630	2773	1728	1530	1050
A3	4700	3413	2552	1923	1570
A4	3530	2307	1584	1377	974
B2	3790	2720	1852	1543	1024
B3	3230	2280	1488	1267	836
B4	3450	2413	1576	1313	874
C2	3660	2780	1844	1540	1056
C3	3380	2473	1612	1400	912
C4	4580	3193	2124	1900	1144

ตารางที่ 46 The viscosity of corn soup fortified with beta glucan extracts after the 2nd freeze-thaw cycle

RPM	20	30	50	60	100
A1	2290	1740	1368	1160	802
A2	4190	3313	2296	1930	1410
A3	6190	4740	3684	2807	1970
A4	6440	4733	3224	1940	1360
B2	4410	3260	2280	1923	1268
B3	4180	3240	2276	2593	1838
B4	5450	4180	2992	3030	1996
C2	7140	5200	3360	2497	1620
C3	6380	4633	2888		
C4	7660	5880	3760		



ภาพที่ 34 The viscosity of Corn based soup samples before and during freeze-thaw cycles measured by Brookfield Viscometer at room temperature.



ภาพที่ 35 The viscosity of soup samples fortified with beta-glucan before and during freeze-thaw cycles measured by Brookfield Viscometer at room temperature. Soup fortified with beta glucan extract from Oat (A), *L.edodes* (B), and *R. delica* (C) at concentration of 0.25% (1), 0.5% (2), and 1% (3), respectively

4) ผลของการแช่เยือกแข็งและการทำละลายที่มีต่อการแยกชั้นน้ำของผลิตภัณฑ์ซูป

การแช่เยือกแข็งและการทำละลายนอกจากจะมีผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์ซูปด้านความชื้นหนักแล้ว ยังทำให้ซูปสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำและส่งผลให้เกิดการแยกชั้นน้ำออกจากส่วนชื้นของซูป หรือที่เรียกว่า Syneresis ซึ่งใช้ในการอธิบายความเป็นเนื้อเดียวกันของผลิตภัณฑ์ซูป โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและการทำละลายหลายครั้งจะทำให้เกิดการแยกชั้นน้ำมากขึ้น จึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความชื้นหนักไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Suortti et al. 2000)

ก่อนการแช่เยือกแข็งซูปสูตรมาตรฐานที่ไม่มีการเติมเบต้ากลูแคนมีเปอร์เซ็นต์ของการแยกชั้นน้ำน้อยและใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ต และเห็ดหอม ที่ความเข้มข้น 0.25-1% และเห็ดโคลที่ความเข้มข้น 0.25% (โดยน้ำหนัก) และเมื่อทำวัดค่าการแยกชั้นน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสภายหลังจากการแช่เยือกแข็งและทำละลายจำนวน 1 รอบ พบว่า การแยกชั้นน้ำของผลิตภัณฑ์ซูปมีค่าลดลงก่อนการแช่เยือกแข็งในทุกตัวอย่าง แต่กลับมีเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นน้ำเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อทำการแช่เยือกแข็งและทำละลายเป็นรอบที่ 2 และการแยกชั้นน้ำจะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยในผลิตภัณฑ์ซูปทั้งที่เติมและไม่เติมเบต้ากลูแคนสกัดภายหลังจากการแช่เยือกแข็งและการทำละลายในรอบที่ 3 โดยซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดโคลที่ความเข้มข้น 1% ภายหลังจากการแช่เยือกแข็งและการทำละลายรอบที่ 3 จะมีค่าการแยกชั้นน้ำมากที่สุด (ตารางที่ 47 และ ภาพที่ 36 (1))

จากผลการวิเคราะห์ % syneresis ของผลิตภัณฑ์ซูปที่ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียสภายหลังจากการแช่เยือกแข็งและการทำละลาย (ตารางที่ 48 และภาพที่ 36 (2)) พบว่า ซูปสูตรมาตรฐานที่ไม่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดนั้น การแยกชั้นน้ำภายหลังจากการแช่เยือกแข็งและทำละลายในครั้งที่ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับซูปก่อนทำการแช่เยือกแข็ง แต่การแช่เยือกแข็งและทำละลายครั้งที่ 3 จะทำให้การแยกชั้นน้ำเพิ่มขึ้นถึง 100% ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ซูปที่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ต เห็ดหอม และเห็ดโคลที่ความเข้มข้น 0.25, 0.5 และ 1% ยกเว้นซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมที่ความเข้มข้น 0.25% ที่ยังคงให้เปอร์เซ็นต์การแยกชั้นน้ำประมาณ 80% ภายหลังจากการแช่เยือกแข็งทั้ง 3 รอบ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอม ข้าวโอ๊ต และเห็ดโคลที่ความเข้มข้น 0.5% พบว่าซูปที่เติมเห็ดหอมและข้าวโอ๊ตมีการแยกชั้นน้ำเพิ่มขึ้นภายหลังจากการแช่เยือกแข็งรอบที่ 1 และรอบที่ 2 เพียงเล็กน้อย ในขณะที่ซูปที่เติมเห็ดโคลจะมีการแยกชั้นน้ำภายหลังจากการแช่เยือกแข็งและการละลายรอบที่ 1 ประมาณ 85% และเพิ่มเป็น 100% ภายหลังจากการแช่เยือกแข็งและการละลายในรอบที่ 3 ส่วนซูปที่เติมเบต้ากลูแคนจากเห็ดโคลที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1% พบว่ามีการแยกชั้นน้ำเกือบ 100 เมื่อให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียสภายหลังจากการแช่เยือกแข็งและการละลายทั้ง 3 รอบ โดยเฉพาะเห็ดโคลที่ความเข้มข้น 1% เมื่อให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส จะทำให้ซูปมีลักษณะที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันถึงแม้จะยังไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งและการทำละลายเลยก็ตาม ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การ

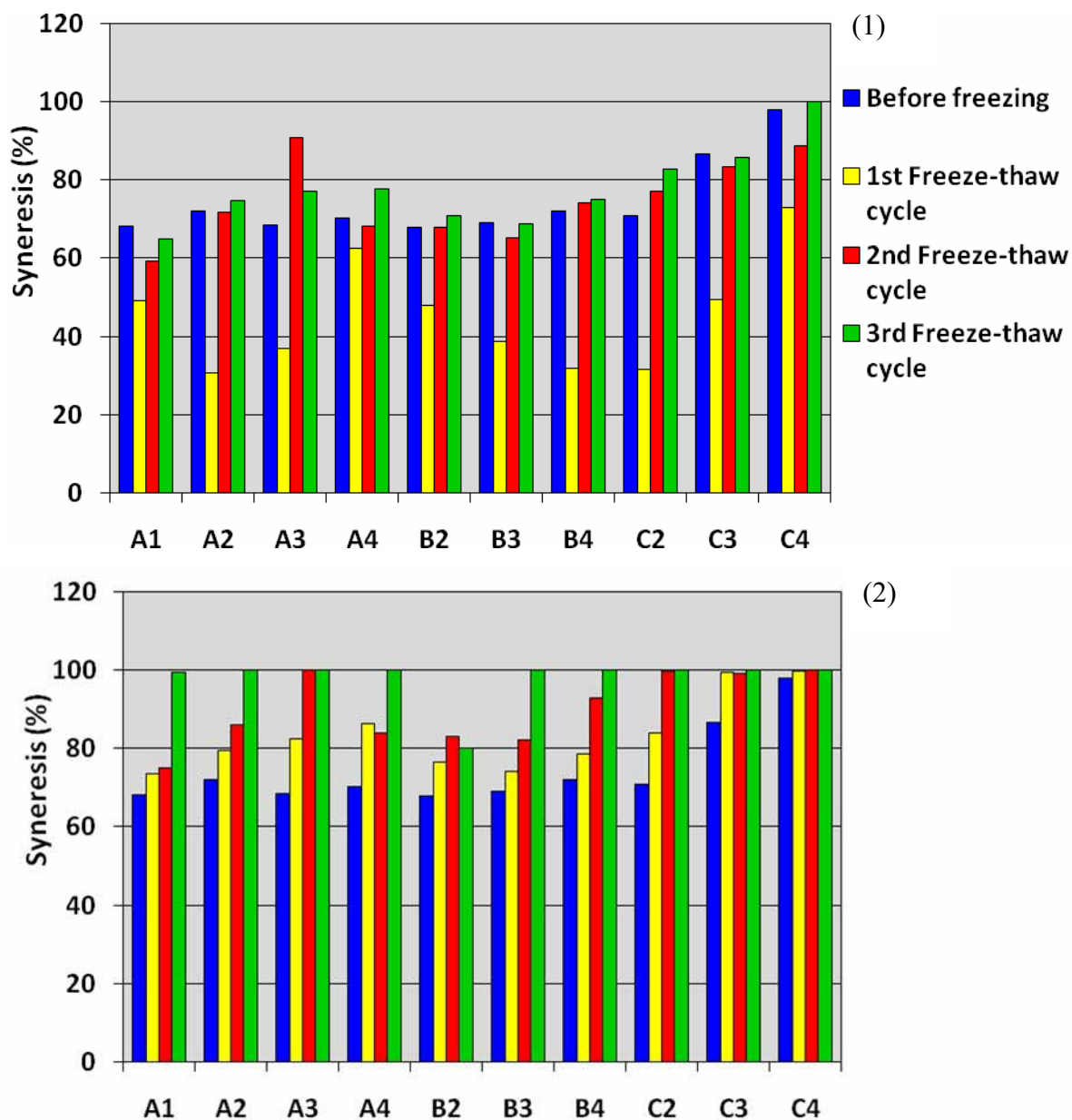
แช่เยือกแข็งและการทำละลายมีผลอย่างมากต่อความเป็นเนื้อเดียวกันของผลิตภัณฑ์ซูป และการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ด และข้าวโอ๊ต จะทำให้เกิดการแยกชั้นน้ำมากขึ้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนสกัด โดยซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดโคลที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5% เมื่อให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการแยกชั้นน้ำเกือบ 100% ภายหลังการแช่เยือกแข็งและการทำละลาย

ตารางที่ 47 The syneresis (%) of corn soup fortified with beta glucan extracts before freezing and during freeze-thaw cycles at 30°C

Code	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3
A1	49.20	59.34	64.93
A2	30.77	71.90	74.78
A3	36.93	90.89	77.08
A4	62.40	68.31	77.68
B2	48.08	67.89	70.96
B3	38.84	65.12	68.75
B4	31.89	74.25	75.04
C2	31.61	77.09	82.91
C3	49.40	83.39	85.85
C4	72.84	88.71	100

ตารางที่ 48 The syneresis (%) of corn soup fortified with beta glucan extracts before freezing and during freeze-thaw cycles and reheat at 70°C

Code	Before freeze	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3
A1	68.25	73.43	75.12	99.40
A2	71.98	79.41	86.04	100
A3	68.61	82.51	99.96	100
A4	70.24	86.39	83.90	100
B2	67.83	76.54	82.94	80.07
B3	69.15	74.25	82.06	100
B4	72.07	78.49	92.99	100
C2	70.91	84.10	99.84	100
C3	86.66	99.52	99.28	100
C4	97.96	99.84	100	100



ภาพที่ 36. The syneresis (%) of corn soup samples fortified with beta glucan extracts before and during freeze-thaw cycles at 30°C (1) and reheat at 70°C (2). A1: Corn based soup; A2-A4 : Soup fortified with beta glucan extract from Oat at concentration of 0.25-1%, respectively; B2-B4: Soup fortified with beta glucan extract from *L.edodes* at concentration of 0.25-1%, respectively; C2-C4: Soup fortified with beta glucan extract from *R. delica* at concentration of 0.25-1%, respectively.

5) ผลของการแช่เยือกแข็งและทำละลายที่มีต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ซูป

ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เป็นคุณลักษณะสำคัญที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสและมีผลต่อความชื้นหนืด รวมถึงการแยกชั้นน้ำของผลิตภัณฑ์อีกด้วย โดยผลิตภัณฑ์ที่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากจะมีความชื้นหนืดน้อยและการแยกชั้นน้ำน้อยเมื่อได้รับความร้อนซึ่งจะทำให้ซูปมีเนื้อสัมผัสที่เป็นเนื้อเดียวกัน แต่ซูปที่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากแต่มีการแยกชั้นน้ำได้มากเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เนื้อสัมผัสของซูปมีความชื้นหนืดน้อยแต่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ซูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายจำนวน 3 รอบ ให้ผลสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นน้ำของซูป โดยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซูปสูตรมาตรฐานและซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ต เห็ดหอม และเห็ดไคหลทุกความเข้มข้น จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด ภายหลังผ่านการแช่เยือกแข็งและการทำละลาย 1 รอบ และความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะมีค่าน้อยลงเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายรอบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ แต่มีค่าใกล้เคียงกับความสามารถในการอุ้มน้ำของซูปก่อนการแช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 49 และภาพที่ 37 (1)) อย่างไรก็ตามซูปที่มีการเติมเบต้ากลูแคนจากเห็ดไคหลที่ความเข้มข้น 1% เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายจำนวน 3 ครั้งจะพบว่าไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้เลย ซึ่งสอดคล้องกับค่าความชื้นหนืดที่สูงมากจนไม่สามารถวัดได้ และมีการแยกชั้นน้ำถึง 100%

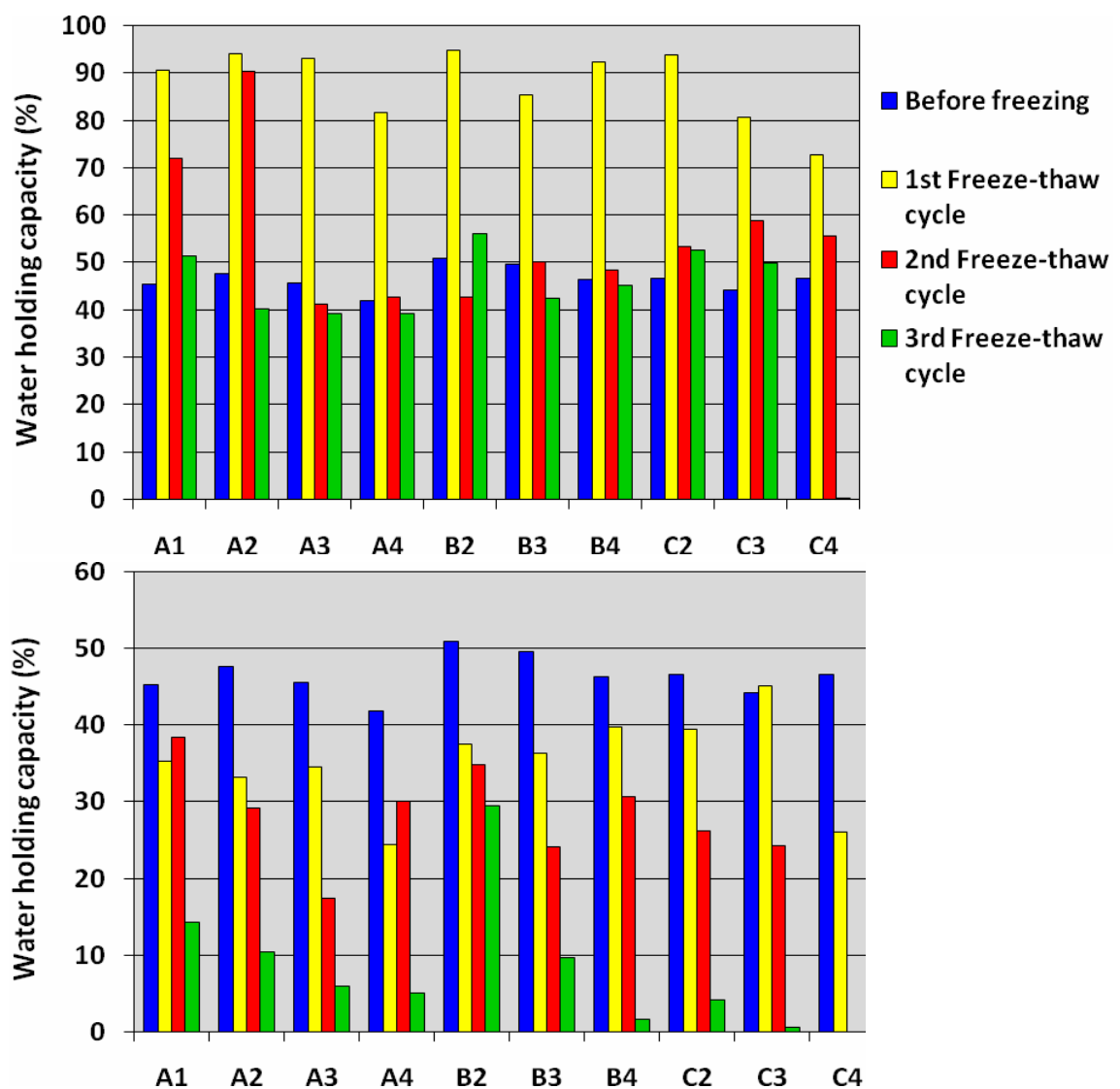
ผลิตภัณฑ์ซูปเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย และวัดความสามารถในการอุ้มน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการบริโภค พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนซูปภายหลังการแช่เยือกแข็งและการทำละลายจากอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตภัณฑ์ซูปทั้งที่เติมและไม่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ต เห็ดหอม และเห็ดไคหลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ สูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น และความสามารถในการอุ้มน้ำจะลดลงไปตามจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและการทำละลาย เมื่อเทียบกับตัวอย่างซูปก่อนการแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมเบต้ากลูแคนสกัดที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้ซูปสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำสูงตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ตและเห็ดหอมที่ความเข้มข้น 0.5-1% และจากเห็ดไคหลที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.25-1% จะทำให้ซูปมีความสามารถในการอุ้มน้ำน้อยกว่า 10% (ตารางที่ 50 และภาพที่ 37 (2))

ตารางที่ 49 The water holding capacity (%) of corn soup fortified with beta glucan extracts before freezing and during freeze-thaw cycles at 30°C

Code	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3
A1	90.57	72.01	51.29
A2	94.09	90.30	40.08
A3	93.03	41.24	39.20
A4	81.71	42.57	39.28
B2	94.70	42.80	56.00
B3	85.40	50.10	42.52
B4	92.32	48.28	45.17
C2	93.68	53.27	52.56
C3	80.75	58.81	49.90
C4	72.71	55.60	0.20

ตารางที่ 50 The water holding capacity (%) of corn soup fortified with beta glucan extracts before freezing and during freeze-thaw cycles and reheated at 70°C

Code	Before freeze	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3
A1	45.29	35.22	38.38	14.26
A2	47.64	33.27	29.17	10.41
A3	45.58	34.60	17.36	5.80
A4	41.83	24.46	30.00	5.06
B2	50.89	37.50	34.91	29.46
B3	49.60	36.35	24.14	9.64
B4	46.34	39.80	30.71	1.57
C2	46.67	39.40	26.13	4.13
C3	44.22	45.04	24.29	0.59
C4	46.60	26.00	0	0

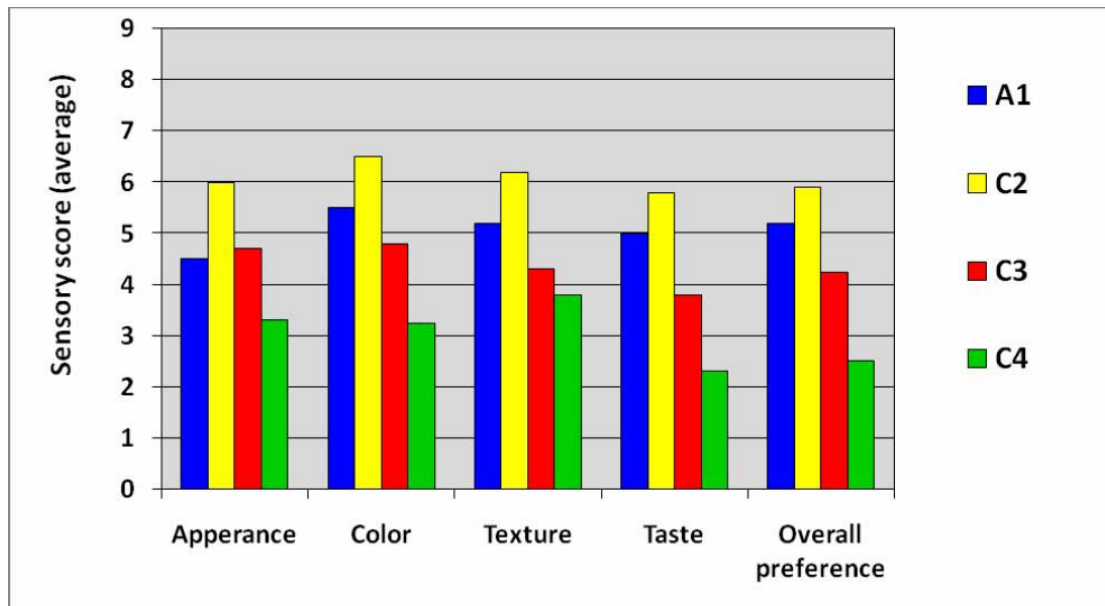


ภาพที่ 37. The water holding capacity (%) of corn soup samples fortified with beta glucan extracts before and during freeze-thaw cycles at 30°C (1) and reheat at 70°C (2). A1: Corn based soup; A2-A4 : Soup fortified with beta glucan extract from Oat at concentration of 0.25-1%, respectively; B2-B4: Soup fortified with beta glucan extract from *L.edodes* at concentration of 0.25-1%, respectively; C2-C4: Soup fortified with beta glucan extract from *R. delica* at concentration of 0.25-1%, respectively.

3.9.5 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซุปรที่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัด

จากผลการศึกษาคุณสมบัติการให้ความชื้นหนืดของเบต้ากลูแคนสกัดต่อผลิตภัณฑ์ซุปรที่แสดงให้เห็นว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคมีคุณสมบัติในการเพิ่มความชื้นหนืดให้กับซุปรได้มากกว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมและข้าวโอ๊ต ดังนั้นเพื่อทำการทดสอบว่าความชื้นหนืดดังกล่าวมีคุณลักษณะที่เป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภคได้หรือไม่นั้น ผลิตภัณฑ์ซุปรที่มีเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จะถูกทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และให้ซุปรสูตรมาตรฐานที่ไม่มีการเติมเบต้ากลูแคนเป็นตัวอย่างควบคุม โดยใช้วิธี Analytical testing ร่วมกับ Preference testing โดยใช้วิธี Rating test และใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (untrained panelist) จำนวน 30 คนในการให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale เมื่อ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด จนถึง 9=ชอบมากที่สุด ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ถูกทดสอบถูกเสิร์ฟที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์ซุปร (Preference testing) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (untrained panelist) จำนวน 30 คน ทำการชิมและให้คะแนนตามความชอบในด้าน ลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ให้คะแนนโดยใช้ 9-point hedonic scale พบว่าผลิตภัณฑ์ซุปรที่เติมเบต้ากลูแคนที่ความเข้มข้น 0.25% ได้รับคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะมากที่สุดเมื่อเทียบกับความชอบของผลิตภัณฑ์ซุปรตัวอย่างอื่น และอยู่ในช่วงคะแนนเท่ากับ 6-7 คือ ชอบน้อย ถึงชอบปานกลาง รองลงมาได้แก่ ซุปรสูตรมาตรฐาน และซุปรที่มีการเติมเบต้ากลูแคนความเข้มข้น 0.5% ตามลำดับ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ซุปรที่เติมเบต้ากลูแคนที่ความเข้มข้น 1% ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุดในทุกคุณลักษณะ (ภาพที่ 38)



ภาพที่ 38 The sensory characteristics of corn soup fortified with 0-1% (by wt.) beta glucan extracted from *R.delica* tested by organoleptic tasting. The evaluation was performed by 30 panelists using 9-point hedonic scale; 1= dislike very much, 9- like very much.

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบให้คะแนนลักษณะของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซูปด้วยการคน แสดงในตารางที่ 51 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผู้ทดสอบเห็นว่าซูปสูตรมาตรฐานที่ไม่มีการเติมเบต้ากลูแคนมีความข้นหนืดน้อยเกินไป และซูปที่เติมเบต้ากลูแคนที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.25 และ 0.5% มีความข้นหนืดพอดี ส่วนซูปที่มีการเติมเบต้ากลูแคนความเข้มข้น 1% มีความข้นหนืดมากเกินไป จากผลการทดสอบที่ได้นี้จะเห็นได้ว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดที่ความเข้มข้น 0.25% ให้ผลที่สอดคล้องกับระดับความชอบของผู้ทดสอบชิม แต่ซูปที่เติมเบต้ากลูแคนที่ความเข้มข้น 0.5% ถึงแม้จะมีคุณลักษณะความข้นหนืดที่พอดี แต่การผลการยอมรับที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยการชิมให้คะแนนความชอบในระดับที่ต่ำกว่าซูปที่มีเบต้ากลูแคน 0.25% ซึ่งการอธิบายคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของซูปอาจมีความคลาดเคลื่อนมากจากผู้ทดสอบเนื่องจากเป็นผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซูปสามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคที่เหมาเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ซูปข้าวโพดตามสูตรมาตรฐานในการศึกษานี้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สามารถยอมรับจากผู้ทดสอบและมีความข้นหนืดที่พอดี คือความเข้มข้นเท่ากับ 0.25% (โดยน้ำหนัก) อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์จากข้าวโอ๊ตและข้าวบาร์เลย์ที่มีปริมาณของเบต้ากลูแคนอย่างน้อย 0.75 กรัมต่อหนึ่งส่วนของการบริโภค องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้อ้างอิงถึงประโยชน์ต่อสุขภาพในการลดระดับคอเลสเตอรอล ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจได้ (FDA 1996) ซึ่งสัดส่วนของซูป

ในการเสิร์ฟอาจอยู่ในช่วงประมาณ 300-350 มิลลิลิตร (หรือ 0.25 กรัมของเบต้ากลูแคน/100 กรัม) และจากปริมาณของเบต้ากลูแคนที่เติมลงไปในซूपเท่ากับ 0.25% ได้รับการยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดนั้นเหมาะที่จะใช้ในการเติมลงในผลิตภัณฑ์ประเภทซूपเพื่อเพิ่มคุณค่าในการลดระดับโคเลสเตอรอล และระดับน้ำตาลในเลือด รวมไปถึงช่วยกระตุ้นการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันได้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถเพิ่มปริมาณของเบต้ากลูแคนในผลิตภัณฑ์ซूपและปรับปรุงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสให้ดีขึ้น อาจต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนชนิดของซूपพื้นฐานและหรือเพิ่มสารประกอบและสารปรุงรสในซूपเพื่อเพิ่มกลิ่นรส สี และเนื้อสัมผัสของซूपให้เป็นที่ยอมรับมากขึ้น

ตารางที่ 51 Texture characteristic of corn soup fortified with beta glucan extracted from *R.delica* tested by 30 untrained panelists using analytical testing.

Sample with beta-glucan addition (%)	Thickness
0%	Much too weak
0.25%	Just-about-right
0.5%	Just-about-right
1%	A little too strong

จากผลการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพโดยการเติมเบต้ากลูแคนจากเห็ดไคไคในผลิตภัณฑ์ซूप สามารถสรุปได้ว่านอกจากเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคไคจะมีคุณสมบัติในการกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันแล้ว ยังพบว่ามีคุณสมบัติในการเพิ่มความข้นหนืดและสามารถนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ซूपได้ โดยผลิตภัณฑ์ซूपข้าวโพดที่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคไคที่ความเข้มข้น 0.25% ได้รับการยอมรับโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด และให้คุณลักษณะของซूपที่มีความหนืดพอดีในการทดสอบโดยการคน นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคไคที่ความเข้มข้น 0.25% จะช่วยเพิ่มความข้นหนืดให้กับซूप และไม่ทำให้ได้ซूपมีค่าความสว่าง และค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่างไปจากซूपสูตรมาตรฐานและซूपที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากข้าวโอ๊ตและเห็ดหอม นอกจากนี้ซूपที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคไคยังมีคุณสมบัติของไหลแบบ Shear thinning เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ซूपชนิดอื่น นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้ว่า การแช่เยือกแข็งและการทำละลายจะทำให้ซूपที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคไคมีค่าความสว่างลดลงอย่างมาก และมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ และเกิดการแยกชั้นน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาในตู้แช่แข็งอาจทำให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

ของเบต้ากลูแคนเปลี่ยนแปลงได้ โดยเฉพาะเบต้ากลูแคนที่มีมวลโมเลกุลสูงจะไวต่อกระบวนการผลิต โดยมีผลต่อการละลายทำให้มีการละลายลดลง ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงการเรียงตัวและการเกิดผลึก ทำให้มีความสามารถในการละลายลดลง (Beer et al. 1997; Suortti et al. 2000) และทำให้ได้ซูปที่มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาคุณสมบัติในการละลายของเบต้ากลูแคนใน oat bran muffins ที่พบว่า การแช่เยือกแข็งไม่ได้ทำให้เบต้ากลูแคนมีขนาดเล็กลง แต่ทำให้การละลายของเบต้ากลูแคนลดลงจึงทำให้มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น (Beer et al. 1997) อย่างไรก็ตามซูปเป็นอาหารพร้อมรับประทานที่ต้องเสิร์ฟที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ากระบวนการให้ความร้อนจะทำให้เบต้ากลูแคนมีการละลายเพิ่มมากขึ้นทำให้เบต้ากลูแคนมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Bhatty 1992; Jaskari et al. 1995) ซึ่งการอุ่นซูปจะช่วยลดอิทธิพลของการแช่เยือกแข็งที่มีต่อความหนืดของซูปได้ และการที่ขนาดของเบต้ากลูแคนไม่เล็กลงจะส่งผลต่อประสิทธิภาพใน gastrointestinal track ได้ดี โดย Wood et al. (1994, 2000) รายงานว่าเบต้ากลูแคนชนิดที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่มีประสิทธิภาพในการลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือดได้ดีกว่าเบต้ากลูแคนที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก นอกจากนี้ยังพบว่าซูปที่เติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคไคที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.25% ก่อนการแช่เยือกแข็งยังคงให้คุณภาพของซูปด้านเนื้อสัมผัส โดยเฉพาะความสามารถในการอุ้มน้ำ และเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นน้ำ ที่ใกล้เคียงกับซูปสูตรมาตรฐาน โดยมีความข้นหนืดเพิ่มขึ้น แต่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้โดยการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคไค เหมาะสำหรับนำมาเติมในผลิตภัณฑ์ซูปโดยปริมาณเท่ากับ 0.25% (ต่อซูป 100 กรัม หรือ 0.75 กรัมต่อหนึ่งส่วนของการบริโภค 300 มิลลิลิตร) ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ซูปมีคุณลักษณะทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุดนั้น สามารถอ้างถึงประโยชน์ต่อสุขภาพในการลดระดับคอเลสเตอรอล ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจได้ตามการอ้างอิงของ FDA และการอุ่นซูปให้ร้อนก่อนการบริโภค (ประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส) ความร้อนจะช่วยลดอิทธิพลของการแช่เยือกแข็งที่มีต่อความสามารถในการละลายของเบต้ากลูแคนได้ และส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมในการลดระดับน้ำตาลในเลือด หรือระดับโคเลสเตอรอลในเลือด และอาจรวมถึงการกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันได้ดีขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตามการพัฒนาสูตรมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ซูปและการปรับปรุงส่วนประกอบอาหาร เช่นการใช้แป้งคัดแปร สามารถทำให้ซูปมีคุณภาพทางเนื้อสัมผัสดีขึ้น เช่นความข้นหนืด รวมไปถึงเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้นและมีความคงตัวต่อการถูกแช่เยือกแข็งและการทำละลายหลาย ๆ รอบได้ นอกจากนี้จะทำให้สามารถเพิ่มปริมาณของเบต้ากลูแคนให้มากขึ้นได้ โดยมีคุณภาพที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและมีผลต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันได้ดี

บทที่ 4

บทสรุป

การสำรวจข้อมูลชีวภาพของชนิดเห็ดตามระดับชั้นความสูงของพื้นที่ และตามความหลากหลายของระบบนิเวศป่าไม้ 5 ประเภท ในอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง ได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง ป่าสน และ ทุ่งหญ้าและสะวันนา ระดับชั้นความสูงที่ทำการสำรวจคือ 200 ถึง 500, 500 ถึง 800, และมากกว่า 800 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (MSL) โดยได้ทำการศึกษาทั้งหมด 10 เส้นทาง ซึ่งแบ่งออกได้ตามฤดูกาลที่ต่างกัน ในจำนวนเห็ดทั้งหมดที่สำรวจพบตามเส้นทางเดินสำรวจและในแปลงตัวอย่างนั้นสามารถรวบรวมตัวอย่างเห็ดจากเส้นทางต่าง ๆ ได้ทั้งสิ้นมากกว่า 150 ตัวอย่าง และผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวเชิงพื้นที่และตัวแปรสิ่งแวดล้อมของเห็ดที่มีเบต้ากลูแคนเป็นองค์ประกอบด้วยวิธี Detrended Correspondence Analysis (DCA) และ Canonical Correspondence Analysis พบว่าการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของเห็ดชนิดที่มีเบต้ากลูแคนสูง ได้แก่ *Pycnoporus cinnabarinus*, *Polyporus sanguineus* และ *Russula delica* จะมีความสัมพันธ์ต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล เปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอด และค่าน้ำฝนเฉลี่ยรายปี

เห็ดป่าหลายชนิดที่รวบรวมได้พบว่ามีปริมาณเบต้ากลูแคนอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงและหรือมากกว่าที่พบในเห็ดหอมและเห็ดหลินจือ โดยวิธีการวิเคราะห์ปริมาณเบต้ากลูแคนสามารถทำได้โดยวิธี Enzymatic method และการวิเคราะห์โดยใช้ Reverse-Phase HPLC ซึ่งใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น แต่ความถูกต้องแม่นยำขึ้นอยู่กับปริมาณของเบต้ากลูแคนและความบริสุทธิ์ของสารสกัดในตัวอย่างเห็ด นอกจากนี้ยังพบว่าเห็ดหลายชนิดมีค่าสารอาหารที่สำคัญได้แก่ใยอาหารและโปรตีนในปริมาณสูง มีกรดไขมันที่จำเป็นหลายชนิด และยังมีองค์ประกอบที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้แก่สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ กรดแอสคอร์บิก เบต้าแคโรทีนและไลโคปีน และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทำการทดสอบด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay และวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP assay) ในปริมาณและระดับที่ใกล้เคียงกับที่พบได้ในเห็ดหอมและเห็ดหลินจือ โดยเห็ดป่าดังกล่าวได้แก่ เห็ดไค เห็ดหน้าอ่อน และเห็ดขอนแดง โดยจากรายงานการศึกษาวิจัยหลายเรื่อง ที่พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการยับยั้งหรือต่อต้านการเกิดเซลล์มะเร็ง และอาจมีความสัมพันธ์กับการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน (Ribeiro et al., 2008) ดังนั้นนอกจากเบต้ากลูแคนแล้ว สารต้านอนุมูลอิสระในเห็ดเหล่านี้อาจทำหน้าที่เสริมหรือมีส่วนช่วยให้การตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันของสารสกัดจากเห็ดดีขึ้น

เห็ดไค (Russula delica) เป็นเห็ดป่าที่นิยมนำมารับประทานและพบว่ามีปริมาณเบต้ากลูแคนอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับที่พบในเห็ดหอมและเห็ดหลินจือซึ่งมีรายงานว่าช่วยในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน โดยสามารถรวบรวมเห็ดไคได้ตามฤดูกาลในช่วงเดือนพฤษภาคม – เดือนธันวาคม ในปริมาณมาก ดังนั้นเห็ดไคจึงถูกนำมาสกัดเบต้ากลูแคนและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณสมบัติในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน และศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ต่อไป ผลการศึกษาพบว่าเห็ดไคมีปริมาณใยอาหาร (dietary fiber) ในปริมาณสูงและเป็นส่วนที่ไม่สามารถละลายได้ในน้ำมากกว่าส่วนที่สามารถละลายได้ในน้ำ และมีเบต้ากลูแคนชนิดละลายน้ำได้คิดเป็น 4.75% ของใยอาหารชนิดละลายน้ำได้ทั้งหมด และเห็ดไคมีเปอร์เซ็นต์ yield ของการสกัดเบต้ากลูแคนสูงกว่าเห็ดชนิดอื่นและใกล้เคียงกับผลการสกัดเบต้ากลูแคนจากเห็ดหอม และมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเพียง 2 ชนิด ได้แก่ กรดปาล์มติก และกรดสเตียริก มีสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดอยู่ในปริมาณสูง ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ เบต้าแคโรทีน และไลโคปีน และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี FRAP และ DPPH assay มีค่าสูงด้วย และยังพบเบต้ากลูแคนมีความคงตัวเมื่อให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ผลการทดสอบเบต้ากลูแคนที่สกัดได้จากเห็ดไคด้วยเซลล์เพาะเลี้ยงสามารถสรุปได้ว่าที่ความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนตั้งแต่ 100 microgram/ml จะทำให้อัตราการอยู่รอดของเซลล์เพาะเลี้ยงชนิด RAW 264.7 ลดลงมากกว่า 80% การเพิ่มความเข้มข้นของเบต้ากลูแคนที่ทำการทดสอบกับเซลล์มีผลต่อการกระตุ้นให้เซลล์ผลิตไนตริกออกไซด์เพิ่มมากขึ้นซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเติม LPS ลงในเซลล์เพาะเลี้ยง ดังนั้นเพื่อยับยั้งการอักเสบของเซลล์ที่เกิดจาก LPS จึงควรเติม polymyxin B เพื่อให้จับกับ LPS ซึ่งทำให้การผลิตไนตริกออกไซด์โดยเซลล์นั้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากเบต้ากลูแคนที่ใช้ในการทดสอบเพียงอย่างเดียว และผลการปลดปล่อย lactase dehydrogenase เพื่อศึกษาการตายของเซลล์เพาะเลี้ยงที่ถูกทดสอบด้วยเบต้ากลูแคนจากเห็ดไคพบว่าการตายของเซลล์ไม่ได้เกิดจากกระบวนการ necrosis แต่เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพาะเลี้ยงที่ทดสอบด้วยวิธี MTT assay นั้นอาจมาจาก Mitochondria dysfunction นอกจากนี้ยังพบว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคมีผลต่อการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในการผลิต cytokines ชนิด interleukins IL-1 β , IL-1IL-6, IL-12 และ tumor necrosis factor- α (TNF- α) ในปริมาณที่มากกว่าเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอม และข้าวบาร์เลย์

นอกจากนี้ยังพบว่าอนุพันธ์ของเบต้ากลูแคน carboxymethylated beta glucan สามารถถูกสังเคราะห์ได้ด้วยวิธี carboxymethylation และเมื่อทำการทดสอบการตอบสนองต่อเซลล์เพาะเลี้ยงพบว่าอนุพันธ์ของเบต้ากลูแคนทำให้เกิดการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันของเซลล์เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ด ทั้งนี้เนื่องจากระดับของการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในเบต้ากลูแคนด้วยวิธี carboxymethylation นั้นเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเพิ่มหรือกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน

นอกจากเบต้ากลูแคนจากเห็ดไคจะมีคุณสมบัติในการกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันแล้ว ผลการศึกษาคุณสมบัติในการเพิ่มความชื้นหนืดและความคงตัวของซูปที่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคเปรียบเทียบกับเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดหอมและข้าวโอ๊ต พบว่าเบต้ากลูแคนมีคุณสมบัติในการเพิ่มความชื้นหนืดในผลิตภัณฑ์ซูปได้ โดยจากการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซูปข้าวโพดที่มีการเติมเบต้ากลูแคนสกัดจากเห็ดไคที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าซูปที่เติมเบต้ากลูแคนความเข้มข้น 0.25% ได้รับการยอมรับโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด โดยได้คะแนนความชอบสูงสุดในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวม ซึ่งยังสอดคล้องกับการให้คุณลักษณะของซูปที่มีความหนืดพอดีในการทดสอบโดยไม่ใช้การชิมอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนของการแช่เยือกแข็งและการทำละลายมีผลเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อการเพิ่มความชื้นหนืดของซูป ดังนั้นสรุปได้ว่าเบต้ากลูแคนที่สกัดจากเห็ดไคนี้มีศักยภาพในการนำไปเติมในผลิตภัณฑ์ประเภทซูปเพื่อพัฒนาให้เป็นอาหารสุขภาพโดยเฉพาะเพื่อช่วยกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันได้ดีขึ้น

บรรณานุกรม

- ราชบัณฑิตยสถาน, หีดกินได้และหีดมีพิษในประเทศไทย. ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. กรุงเทพฯ : 2539, 180 หน้า
- AOAC (1990) Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. Vol. II. (15th ed.) AOAC International, Arlington
- AOAC (2000) Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. (17th ed.) AOAC International, Gaithersburg
- Bao JS, Cai Y, Sun M, Wang GY, Corke H (2005) Anthocyanins, flavonols, and free radical scavenging activity of Chinese bayberry (*Myrica rubra*) extracts and their color properties and stability. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53:2327–2332
- Beer MU, Wood PJ, Weisz J, Fillion N (1997) Effect of cooking and storage on the amount and molecular weight of (1-3)(1-4)- β -D-glucan extracted from oat products by an in vitro digestion system. Cereal Chemistry 74:705–709
- Bernhard D, Schwaiger W, Crazzolara R, Tinhofer I, Kofler R, Csordas A (2003) Enhanced MTT-reducing activity under growth inhibition by resveratrol in CEM-C₇H₂ lymphocytic leukemia cells. Cancer Lett. 195:193-199
- Bhatty RS (1992a) Total and extractable b-glucan contents of oats and their relationship to viscosity. Journal of Cereal Science 15:185–192
- Bhatty RS (1992b) β -Glucan content and viscosities of barleys and their roller-milled flour and bran products. Cereal Chemistry 69(5):469–471
- Birschbach P, Fish N, Henderson W, Willrett D (2004) Enzymes: tools for creating healthier and safer foods. Food Technology 58(4):20-26
- Bounous DI, Campagnoli RP, Brown J (1992) Comparison of MTT colorimetric assay and tritiated thymidine uptake for lymphocyte proliferation assays using chicken splenocytes. Avian Dis. 36:1022-1027
- Brennan CS, Cleary LJ (2005) The potential use of cereal b-glucan as functional food ingredients. Journal of Cereal Science 42:1-13
- Brennan CS, Cleary LJ (2007) Utilisation Glucagel in the b-glucan enrichment of breads. A physicochemical and nutritional evaluation 40: 291-296

- Cavellero A, Empilli S, Brighenti F, Stnca A M (2002) High (1-3, 1-4)- β -glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycemic response. *Journal of Cereal Science* 36:59-66
- Chandrasrikul A, Suwanarit P, Sangwanit U, Morinaga T, Nishizawa Y, Murakami Y (2008) Diversity of mushrooms and macrofungi in Thailand. Kasetsart University Press, Bangkok, p 514
- Chenghua D, Xiangliang Y, Xiaoman G, Yan W, Jingyan Z, Huibi X (2000) A β -D-glucan from the sclerotia of *Pleurotus tuber-regium* (Fr.) Sing. *Carbohydrate Research* 328:629-633
- Cheung, PCK (1998) Functional properties of edible mushrooms. *Journal of Nutrition* 128:1512–1516
- Daswani BR, Yegnanarayan R (2002) Immunomodulatory activity of septilin, a polyherbal preparation. *Phytother Res.* 16:162-165
- Diallo D, Paulsen BS, Liljeback TH, Michaelsen TE (2001) Polysaccharides from the roots of *Entada Africana* Guill. Et Perr., Mimosaceae, with complement fixing activity. *J Ethnopharmacol.* 74:159-171
- Diallo D, Paulsen BS, Liljeback TH, Michaelsen TE (2003) The Malian medicinal plant *Trichilia emetica*; studies on polysaccharides with complement fixing ability. *J Ethnopharmacol.* 84:279-287
- FDA (1996) Food labelling: Health claims; oats and coronary heart disease. *Federal Register* 61(3), January 4.
- Fisher RA, Corbet AS, Williams CB (1943) The relations between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology* 12:42-58
- Freunhauf PJ, Bonnard DG, Heberman BR (1982) The effect of lentinan on production of interleukin-1 by human lymphocytes. *Immunopharmacology* 5:65–74
- Giese EC, Dekker RFH, Barbosa AM, Silva R (2008) Triple helix conformation of botryosphaeran, α (1–3; 1–6)– β -D-glucan produced by *Botryosphaeria rhodina* MAMB-05. *Carbohydrate Polymers* 74:953-956
- Grijspaardt-Vink C (1996) Health and convenience top food trends in Europe. *Food Technology* 50(7):28
- Guterrez ZR, Mantovani MS, Eira AF, Ribeiro LR, Jordaño BQ (2004) Variation of the antimutagenicity effects of water extracts of *Agaricus blazei* Murrill in vitro. *Toxicol. In Vitro.* 18:301–309

- Heleno SA, Lillian BL, Sousa MJ, Martins A, Ferreira ICFR (2009) Study and characterization of selected nutrients in wild mushrooms from Portugal by gas chromatography and high performance liquid chromatography. *Microchemical Journal* 93:195-199
- Henry RJ (1987) Pentoson and (1->3), (->4)- β -glucan concentrations in endosperm and wholegrain of wheat, barley, oats and rye. *Journal of Cereal Science* 6:253–258
- Herlyn D, Kaneko Y, Rewe J, Aoki T, Koprowski H (1983) Monoclonal antibody-dependent murine macrophage-mediated cytotoxicity against human tumors is stimulated by lentinan. *Gann* 76:37–42
- Hwan LH, Lee JS, Cho JY, Kim YE, Hong EK (2009) Structural Characteristics of immunostimulating polysaccharides from *Lentinus edodes*. *Journal of Microbiology Biotechnology* 19(5):455-461
- Ikekawa T, Ikeda Y, Yoshioka Y, Nakanishi K, Yokoyama A, Yamazaki E (1982) Studies on antitumor polysaccharides of *Flammulina velutipes* (Curt. ex Fr) Sing. II. The structure of EA3 and further purification of EA5. *J. Pharm. Dyn.* 5:576–581
- Imazeki R, Otani Y, Hongo T (1988) *Fungi of Japan*. Yama-Kei Pub. Co. Ltd., Tokyo, p 623
- Jaskari J, Henriksson K, Nieminen A, Suortti T, Salovaara H, Poutanen K (1995) Effect of hydrothermal and enzymic treatments on the viscous behaviour of dry- and wet-milled oat brans. *Cereal Chemistry* 72:625–631
- Johansson L, Tuomainen P, Anttila H, Rita H, Virkki L (2007) Effect of processing on the extractability of oat β -glucans. *Food Chemistry* 105:1439–1445
- Kanayama H, Adachi N, Togami M (1983) A new antitumor polysaccharide from the mycelia of *Poria cocos* Wolf. *Chemical Pharmacological Bulletin* 31:1115-1121
- Katz F (1999a) “How nutritious?” meets “How convenient?” *Food Technology* 53(10):44-50
- Katz F (1999b) How purchasing styles affect new product development. *Food Technology* 53(11):50-52
- Katz F (1999c) Marketing pull vs. technology push. *Food Technology* 53(8):62-67
- Kavishree S, Hemavathy J, Lokesh BR, Shashirekha MN, Thnam RS (2008) Fat and fatty acids of Indian edible mushrooms. *Food Chemi* 106:597-602.
- Klopfenstein CF (1988) The role of cereal beta-glucan in nutrition and health. *Cereal Foods World* 33:865–869
- Lai LS, Yang DH (2007) Rheological properties of the hot-water extracted polysaccharides in Ling-Zhi (*Ganoderma lucidum*). *Food Hydrocolloids* 21:739-746

- Lee JN, Lee DY, Ji IH, Kim GE, Kim HN, Sohn JW (2001) Purification of soluble β -glucan with immune-enhancing activity from the cell wall of yeast. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 65(4):837–841
- Leung MYK, Fung KP, Choy YM (1997) The isolation and characterization of an immunomodulatory and anti-tumor polysaccharide preparation from *Flammulina velutipes*. *Immunopharmacology* 35:255-263
- Lyly M, Marttila MS, Suortti T, Autio K, Poutanen K, Lahteenmaki L (2004) The sensory characteristics and rheological properties of soups containing oat and barley β -glucan before and after freezing. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 37:749–761
- Machová E, Kogan G, Alföldi J, Soltés L, Sandula J (1995) Enzymic and ultrasonic depolymerization of carboxymethylated beta-1,3-D-glucans derived from *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Appl. Polym. Sci.* 55:699–704
- Maga JA (1981) Mushroom Flavour. *J. Agric. Food Chem.* 29:1-4
- Manzi P, Aguzzi A, Pizzoferrato L (2001) Nutritional value of mushrooms widely consumed in Italy. *Food Chemistry* 73(3):321–325
- Manzi P, Pizzoferrato L (2000) Beta-glucans in edible mushrooms. *Food Chem.* 68:315–318
- Mao CF, Hsu MC, Hwang WH (2007) Physicochemical characterization of grifolan: Thixotropic properties and complex formation with Congo Red. *Carbohydrate Polymers* 68(3):502-510
- McCleary BV, Holmes MG (1985) Enzymic quantification of (1-3),(1-4) beta-glucan in barley and malt. *Journal of the Institute of Brewing* 91:285–295
- Mekis E, Bendek G (1987) Modified fluorometric flow-injection analysis (FIA) method for the determination of (1-3), (1-4)-beta-D-glucan. *Journal of the Institute of Brewing* 93:396–398
- MSI. Gallup report on womens' changing healthcare needs. Multi-sponsor Surveys, Inc. Princeton, N.J. Retrieved on June 11, 2004. Available online at: [http:// www. Multisponsorsurveys.com](http://www.Multisponsorsurveys.com).
- Mullins JT (1990) Regulatory mechanism of Beta-glucan synthetases in bacteria, fungi and plants. *Physiological Plantarum* 78:309-314
- Nakajima Y, Sato Y, Konishi T (2007) Antioxidant small phenolic ingredients in *Inonotus obliquus* (persoon) Pilat (Chaga). *Chem. Pharm. Bull.* 55:1222–1226
- Nanba H, Mori K, Toyomasu T, Kuroda H (1987) Antitumor action of shiitake (*Lentinus edodes*) fruit bodies orally administered to mice. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 35:2453–2458
- Nguyen TH, Fleet GH, Rogers PL (1998) Composition of the cell walls of several yeast species. *Applied Microbiology and Biotechnology* 50(2):206–212

- Oboh G (2006) Tropical green leafy vegetables prevent garlic-induced hepatotoxicity in the rat. *J Med Food* 9:545-551
- Ohr LM (2005) Immunity boosters. *Food Technology* 59(1):65-70
- Otagiri K, Ohkuma T, Ikekawa T, Tanaka S (1983) Intensification of antitumor-immunity by protein-bound polysaccharide EA₆, derived from *Flammulina velutipes* (Curt. ex Fr) Sing. combined with murine leukemia L1210 vaccine in animal experiments. *J. Pharm. Dyn.* 6:96-104
- Paulsen BS (2001) Plant polysaccharides with immunostimulatory activities. *Curr Org Chem.* 5:939-950
- Peng Y, Zhang L, Zeng F (2005) Structure and antitumor activities of the water-soluble polysaccharides from *Ganoderma isugae* mycelium. *Carbohydr. Polym.* 59:385-392
- Perez-Vendrell AM, Guasch J, Francesch M, Molina-Cano JL, Brufau J (1995) Determination of β -(1-3), (1-4)-D-glucans in barley by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography.* 718:291-297
- Pick ME, Hawrysh ZJ, Gec MI Toth E (1998) Barley bread products improve glycemic control of type 2 diabetic subjects. *International Journal of Food Science and Nutrition* 49:71-78
- Prosky L, Asp NG, Schweizer TF, De Vreis TF, Furda I (1988) Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 71:1017-1023
- Rajaratnam S, Shashirekha MN, Bano Z (1998) Biodegradative and biosynthetic capacities of mushrooms: present and future strategies. *Critical Reviews in Biotechnology* 18:91-236
- Rhee SJ, Cho SY, Kim KM, Cha DS, Park HJ (2008) A comparative study of analytical methods for alkali-soluble β -glucan in medicinal mushroom, Chaga (*Inonotus obliquus*). 41(3): 545-549
- Ribeiro B, Lopes R, Andrade PB, Seabra RM, Goncalves RF, Baptista P, Quelhas I, Valentao P (2008) Comparative study of phytochemicals and antioxidant potential of wild edible mushroom caps and stipes. *Food Chemistry* 110:47-56
- Royal Institute of Thailand (1996) Edible mushrooms and poisonous mushrooms. Amarin Printing and Publishing Pub. Co. Ltd., Bangkok, p 170
- Simonsen HT, Nielsen MS, Christensen NJ, Christensen U, La Cour TV, Motawia MS, Jespersen BP, Engelsen SB, Møller BL (2009) Molecular interactions between barley and oat beta-glucans and phenolic derivatives. *J Agric Food Chem.* 57(5):2056-2064
- Sloan AE (Ed) (2000) Top ten functional food trends. *Food Technology* 54:33-62
- Sloan AE (Ed) (2004) The top10 functional food trends 2004. *Food Technology* 58: 28-51

- Smiderle FR, Carbonero ER, Mellinger CG, Sassaki GL, Gorin PAJ, Iacomini M (2006) Structural characterization of a polysaccharide and a beta-glucan isolated from the edible mushroom *Flammulina velutipes*. *Phytochemistry* 67:2189–2196
- Suortti T, Johansson L, Autio K (2000) Effect of heating and freezing on molecular weight of oat β -glucan. Abstract No. 332, American Association of Cereal Chemists, Annual Meeting 2000.
- Ter Braak CJF (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67:1167–1179
- TISTR (Thailand Institute of Scientific and Technological Research) (2007) Sakerat mushrooms. Arun Publishing, Bangkok, p 154
- Tzianabos AO (2000) Polysaccharide immunomodulator as therapeutic agents: structural aspects and biological function. *Clin Microbiol Rev.* 13:523-533
- Vogiatzakis IN, Griffiths GH, Mannion AM (2003) Environmental factors and vegetation composition, *Global Ecology & Biogeography*. 12:131–146
- Wasser SP (2002) Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 60:258–274
- Whang K (1998) Contents of β -glucan in various cereals and its functional properties. *Journal of Food Science and Nutrition* 3(4):382–386
- Wong CK, Leung KN, Fung KP, Choy YM (1994a) Immunomodulatory and anti-tumor polysaccharides from medicinal plants. *J Int Med Res.* 22:299-312
- Wong CK, Leung KN, Fung KP, Choy YM (1994b) Effects of *Pseudostellaria heterophylla* on proliferation and differentiation of routine bone marrow cells. *Immunopharmacol Immunotoxicol.* 16:71-84
- Wong CK, Leung KN, Fung MC, Fung KP, Choy YM (1994c) The induction of cytokine gene expression in murine peritoneal macrophages by *Pseudostellaria heterophylla*. *Immunopharmacol Immunotoxicol.* 16:347-357
- Wood PJ (1984) Physiochemical properties and technological and nutritional significance of cereal beta-glucans. In V. F. Rasper (Ed.), *Cereal polysaccharides in technology and nutrition* (p. 35). American Association of Cereal Chemistry, St. Poul, MN.
- Wood PJ, Beer MU, Butler G (2000) Evaluation of the role of concentration and molecular weight of oat β -glucan in determining effect of viscosity on plasma glucose and insulin following an oral glucose load. *British Journal of Nutrition* 84:19–23

- Wood PJ, Braaten JT, Fraser WS, Riedel D, Poslel M (1990) Comparisons of viscous properties of oat and guar gum and effects of these and oat bran on glycemic index. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38:753-757
- Wood PJ, Braaten JT, Scott FW, Riedel KD, Wolynetz MS, Collins MW (1994) Effect of dose and modification of viscous properties of oat gum on plasma glucose and insulin following an oral glucose load. *British Journal of Nutrition* 72:731-743
- Worrasinchai S, Supphantharika M, Pinjai S, Jarnong P (2006) β -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. *Food Hydrocolloids* 20:68-78
- Yoshioka Y, Sano T, Ikekawa T (1973) Studies on antitumor polysaccharides of *Flammulina velutipes* (Curt. ex Fr) Sing. I. *Chem. Pharm. Bull.* 21:1772-1776
- Yu Z, Ming G, Kaiping W, Zhixiang C, Liquan D, Jingyu L, Fang Z (2010) Structure, chain conformation and antitumor activity of a novel polysaccharide from *Lentinus edodes*. *Fitoterapia* 81(8):1163-70
- Zhang L, Zhang M, Chen J, Zeng F (2001) Solution properties of antitumor carboxymethylated derivatives of α -(1-3)D-glucan from *Ganoderma lucidum*. *Chinese Journal of Polymer Science* 3: 283-289
- Zheng R, Jie S, Hanchuan D, Moncheng W (2005) Characterization and immunomodulating activities of polysaccharide from *Lentinus edodes*. *Int. Immunopharmacol.* 5:811-820

Output ที่ได้จากโครงการ

1. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

- (1) Jaruntorn Boonyanuphap & Chanida Hansawasdi, (2011) Spatial distribution of Beta glucan containing wild mushroom communities in subtropical dry forest, Thailand. Fungal Diversity. 46:29–42. DOI 10.1007/s13225-010-0067-8 (Impact factor : 3.803, Source: JCR 2009)

2. ผลงานที่นำเสนอในการประชุมวิชาการนานาชาติ

- (1) Hansawasdi, C., Boonyanuphap J., “Spatial Distribution and Biodiversity of Lichens and Mushrooms Contained Immunomodulatory Compounds in Tung Slang Luang, National Park, Thailand (Flash Presentation associated with Poster) at the 11th Pacific Science Inter-Congress, Tahiti-French Polynesia, 2-6 March, 2009.
- (2) Beta glucan, antioxidants and selected nutrients in wild edible mushroom from Thailand. (Submitted for presentation in XIII International Congress of Mycology, Sapporo, Japan, 6-10 September, 2011.

3. ผลงานที่คาดว่าจะได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

- (1) ‘Food Composition and nutraceutical properties of wild mushroom containing beta-glucan’ วารสารที่คาดว่าจะตีพิมพ์ ‘Food Chemistry’
- (2) ‘Freeze-thaw stability of corn soup fortified with beta glucan extracted from *Russula delica*’ วารสารที่คาดว่าจะตีพิมพ์ ‘Journal of Food Science’
- (3) Expression on immune response of beta glucan extract from *Russula delica*’ วารสารที่คาดว่าจะตีพิมพ์ ‘Molecules’

4. ผลงานที่ยื่นขอสิทธิบัตร

- (1) กระบวนการสกัดสารเสริมระบบภูมิคุ้มกันและสารให้ความข้นหนืดชนิดเบต้ากลูแคน จากเห็ด *Russula delica*

5. ผลงานที่ยื่นขออนุสิทธิบัตร

- (1) ผลิตภัณฑ์ซุปรเสริมเบต้ากลูแคนและกระบวนการผลิต

ภาคผนวก

Spatial distribution of Beta glucan containing wild mushroom communities in subtropical dry forest, Thailand

Jaruntorn Boonyanuphap · Chanida Hansawasdi

Received: 8 May 2010 / Accepted: 11 October 2010 / Published online: 26 October 2010
© Kevin D. Hyde 2010

Abstract In addition to their use as food, mushrooms have been gaining importance in medicinal practices. Beta glucan, known as a modulator of the immune system, is one of the bioactive compounds of interest. This study explores the relationship between environmental variables and spatial distribution of mushroom communities containing beta-glucan using Canonical Correspondence Analysis. Mushroom samples were collected for study from 125 sampling points within three sites in seven subtypes of subtropical dry forest along elevational gradients with a variety of ecosystems and climates from Thung Salaeng Luang National Park in the lower North of Thailand. Most mushrooms in the family Russulaceae, growing in deciduous dipterocarp forests and mixed deciduous forests with bamboo in the northern and the central-western parts of the park, and Polyporaceae, found in dry evergreen forests, were found to have relatively high beta glucan content. Mushroom communities could be categorized into five groups by cluster analysis using the Sorensen (Bray-Curtis) distance technique with remaining information of 75%; the groups were named according to altitude and forest type. It was found that the high beta glucan content mushroom community consisting of *Pycnoporus cinnabarinus*, *P. coccineus*, and *P. sanguineus* mostly occurred in the highland dry evergreen forest habitat. It is also shown that the occurrence of high beta glucan content mushroom communities is correlated with the specific habitat character-

istics of high altitude, high crown cover percentage and high rainfall.

Keywords Spatial distribution · Mushroom · Beta Glucan · Canonical correspondence analysis · Subtropical dry forest · Thung Salaeng Luang National Park

Introduction

For centuries, mushrooms have been known throughout the world to possess numerous health benefits. In eastern culture, both edible and non-edible varieties have been used as dietary nutraceuticals and in traditional medicine (Ng 1998). This is due to their various bioactive components with potential health promoting functions including immunomodulators in cancer therapy, resistance to bacterial, viral, fungal and parasitic infections, and reduction of blood cholesterol and blood glucose. (Gunde-Cimerman 1999; Wasser 2002). Beta glucans, with beta (1-3), beta (1-4) and beta (1-6) glucosidic linkages, are one of the key functional components that impart some of the healthy properties of mushrooms. In particular, beta glucans enhance the function of macrophages and the host's resistance to microbial infections, stimulate the immune system, and are known as the primary components responsible for mushrooms' physiological effects (Manzi and Pizzoferrato 2000; Wasser 2002; Cheung 1998; Diyabalanage et al. 2008).

A number of researchers have worked on edible wild and commercial mushrooms regarding their nutrient quantity, nutraceutical properties and other medicinal qualities as therapeutic alternatives with antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory activities. (Cheung 1998; Manzi and Pizzoferrato 2000; Bobek et al. 2001; Mau et al. 2001; Mau et al. 2002). These papers covered species of the

J. Boonyanuphap
Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment,
Naresuan University,
Phitsanulok 65000, Thailand

C. Hansawasdi (✉)
Science Division, Mahidol University International College,
Nakhonpathom 73170, Thailand
e-mail: icchanida@mahidol.ac.th

genera *Lentinus*, *Hericium*, *Grifola*, *Flammulina*, *Pleurotus*, *Tremella*, *Boletus*, *Agrocybe* and *Leucopaxillus* which occur in forest areas from the most diverse climates around the world (Gunde-Cimerman 1999; Kues and Liu 2000; Manzi et al. 2004; Carbonero et al. 2006; Barros et al. 2007; Barros et al. 2008). Interspecific differences in health beneficial functions of various species of mushrooms were examined by Rosado et al. (2002) and Rhee et al. (2008). However, the literature contains little information concerning the ecology of such mushrooms, particularly of the beta-glucan containing species. Since habitat characteristics of different species are influenced by their environment, we hypothesized that environmental factors may significantly correlate with the presence of mushroom species rich in beta-glucan. The aim of this study was therefore to investigate the correlation of environmental variables with spatial distribution of mushroom species with high beta-glucan content and to provide information on beta-glucan content in wild mushrooms occurring in subtropical dry forest with different ecosystems and climate.

Materials and methods

Study area

Thung Salaeng Luang National Park is the largest protected area for forest resource conservation and tourism in the Lower North of Thailand, located at 16°25' to 16°57'N and 100°37' to 101°00'E. It covers approximately 1,670 km² (167,000 ha). The topography varies from about 60 m above mean sea level in a flat area in the western part to 1,100 m in a hilly and mountainous area on the southeastern edge (Fig. 1). The local climate is classified as tropical wet and dry or savanna climate or Köppen's Aw (Land Development Department 1998). The mean annual temperature is 27°C, the mean rainfall is about 1,257 mm per year with mean annual evaporation of 1,695 mm, 6 to 8 months of drought are observed in a year (November to April), and the mean annual humidity is 71% (data averaged from 1972 to 2008). The national park consists of seven subtypes of subtropical dry forest, altogether covering approximately 125,647.56 ha (1,256.48 km²) or 75.24% of the total national park area in year 2004. The elevational gradient contains ecotypes ranging from low altitude flatland savanna and dry evergreen forest, to upland mixed deciduous forest and deciduous dipterocarp forest, and finally tropical pine forest in the highest mountain areas. Some of the forest areas in this national park have long been disturbed by several factors such as forest and agricultural fire, illegal logging and forest product harvesting by local communities (Royal Forest Department 2000).

Typic Kandiusults based on the USDA classification system (Soil Survey Staff 1999) or Red Yellow Podzolic in the Thai soil system (Land Development Department 1998) dominate the soil types in the study area.

Site attributes

The study was undertaken in three localities (Fig. 1) within Thung Salaeng Luang National Park. Ten line transects were selected to study plant populations and biodiversity. The habitats and characteristics of study sites are described in Table 1. The first study site is located in the north part of the National Park and covers an area of 9.5 km² with altitude varying from 320 to 560 m over the generally flat and hilly terrain. Vegetation is predominantly deciduous dipterocarp forest, generally of *Dipterocarpus tuberculatus* Roxb., *Shorea siamensis* Miq., *Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq., *Xylia xylocarpa* (Roxb.) W.Theob., *Pterocarpus macrocarpus* Kurz or combinations thereof, whereas, the understory is dominated by *Arundinaria pusilla* A.Chev. & A.Camus and *Coelorachis striata* (Nees) A. Camus.

The second study site is of approximately 42.13 km² and located in the central-west part of the National Park. Upland and high mountains dominate the regional landscape, with the elevation ranging from 300 m in the lower part of Rom Klao administrative village to about 960 m at the summit of Thung Neon Son plateau. The geology is comprised of shale and sandstone. The wide variation of topography and altitude results in a high diversity of forest ecology; there is dry evergreen forest, mixed deciduous forest with bamboo, pine forest, and grassland and savanna. *Michelia champaca* L., *Sandoricum koetjape* Merr., *Dipterocarpus alatus* Roxb. & G.Don are the dominant species in dry evergreen forest. In mixed deciduous forest located between 310 and 550 m, the dominant species are *Pterocarpus macrocarpus* Kurz, *Lagerstroemia floribunda* Jack, *Cratogeomys sumatranum* (Jack) Blume, and *Azela xylocarpa* (Kurz) Craib. This forest type is associated with bamboo (*Bambusa natan* Wall. Ex Munro and *Oxytenanthera albociliata* Munro) at every altitude (Royal Forest Department 2000). At higher altitudes over 900 m, areas are covered by a tropical pine species *Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese, commonly in association with native hardwoods such as *Castanopsis acuminatissima* (Blume) Rehder while the undergrowth consists of *Equisetum debile* Roxb., *Utricularia delphinoides* Thorel ex Pellegr. and *Burmannia coelestris* D. Don. Grassland and savanna are found at altitudes ranging from 310 to 350 m in areas which had been cultivated, particularly with upland rice and maize, for at least 10 years; the vegetation here is dominated by *Imperata cylindrica* (L.) P. Beauv. and *Sorghum halepense* (L.) Pers. as well as other herbs such as *Eupatorium odoratum* L. and *Albizia procera* (Roxb.) Benth.

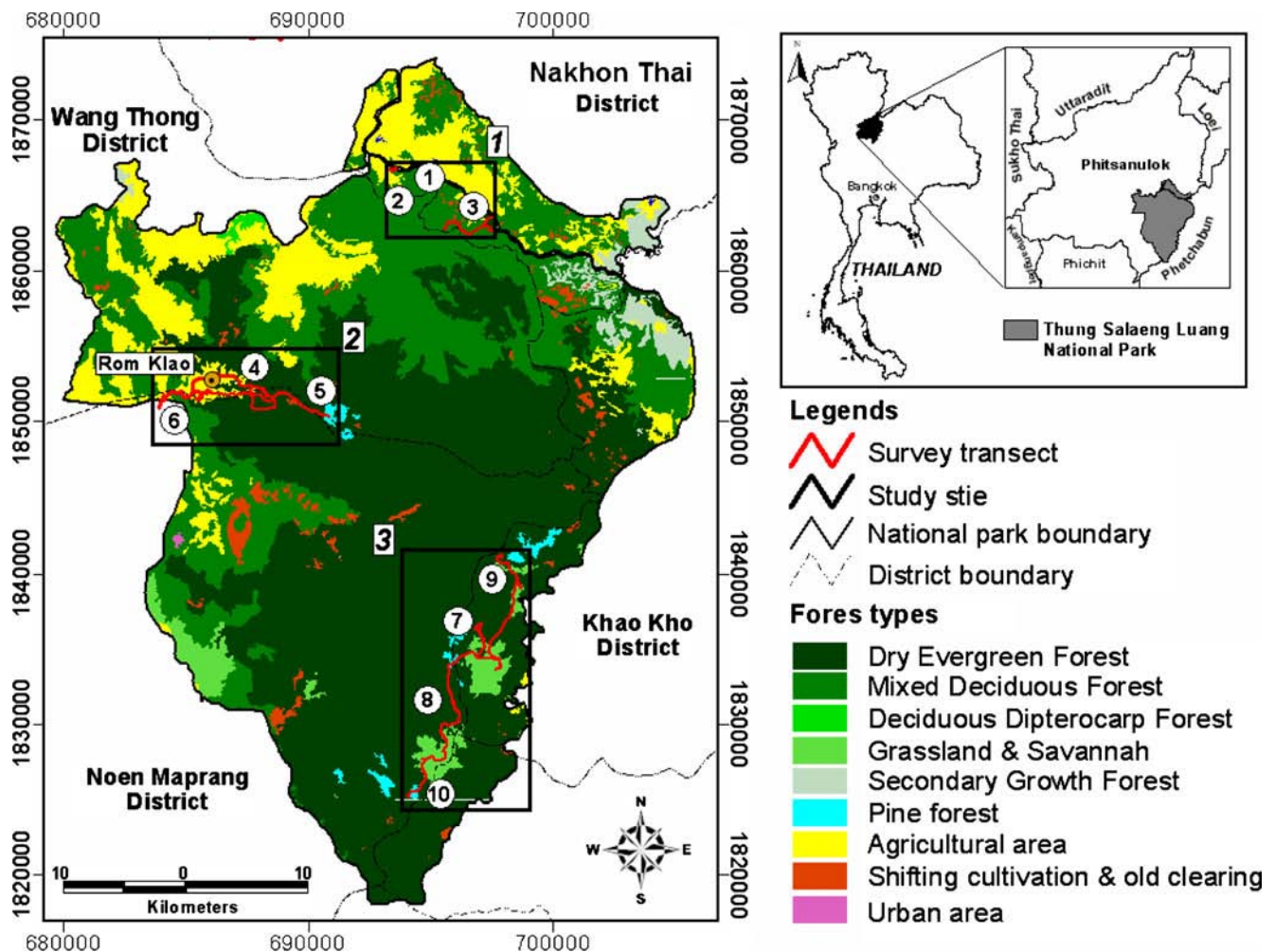


Fig. 1 The location of the study site in Thung Salaeng Luang National Park

The third study site is located in the southern region of the National Park and covers an area of 182.64 km², with a range of altitude from 680 to 1 020 m. This region is also dominated by various forest ecosystems; tropical pine forest (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese), deciduous dipterocarp forest (dominated by *Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex. Miq. and *Aporosa villosa* Baill.), dry evergreen forest dominated by Fagaceae (*Castanopsis acuminatissima* (Blume) Rehder and *Quercus ramsbottomii* A. Camus). Besides those, grassland and savanna dominated by *Carex stramentita* Boot and *Imperata cylindrica* (L.) P. Beauv. exists here. The upper tropical pine forests are found primarily on the northern and southern sections where the altitude is between 680 and 750 m. and 850 to over 1,000 m, respectively (Fig. 1). A combination of tropical pine forest, dry evergreen forest and deciduous dipterocarp forest types can be found in the northeast area, in which *Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese, *Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex. Miq., and *Aporosa villosa* Baill. are the dominant vegetation. Grassland and savanna commonly occur at middle elevations

(750 to 850 m in the central section), and are surrounded by dry evergreen forest as a result of long-term agricultural cultivation by nearby settlements in the past hundred years. *Aporosa villosa* and *Dillenia obovata* (Blume) Hoogland are the dominant tree species mainly distributed in the large area of savanna flatland (7.42 km²).

Chemicals

Lichenase [EC3.2.1.73], 1,000 U/ml, beta glucosidase, [EC 3.2.1.21] 40 U/ml, and glucose standards were purchased from Megazyme Int. (Ireland Ltd). The glucose assay kit was a product of Sigma (St. Louis, MO, USA). All chemicals used in this study were of analytical reagent grade.

Sample collection and measurement of environmental variables

Elevational gradients are useful for assessing environmental characteristics to which species respond, because changes

Table 1 Habitats study sites and their characteristics

Site no.	Transect no.	Length (km)	Elevation (m)	Slope (degree)	Rainfall ^a (mm)	Temperature ^b (°C)	Forest type ^c	Geology
1	1	2.59	380–410	0–18	1,240–1,250	27.2–27	DDF	Brown, reddish-brown micaceous sandstone; pale brown micaceous shale, siltstone, and conglomerate (Cretaceous: Korat Group, Khok Kruat Formation)
	2	2.42	320–440	0–15	1,240–1,250	27.5–26.9	DDF	Brown, reddish-brown micaceous sandstone; pale brown micaceous shale, siltstone, and conglomerate (Cretaceous: Korat Group, Khok Kruat Formation)
	3	6.12	420–560	0–20	1,255–1,270	27–26.3	DEF	Brown, reddish-brown micaceous sandstone; pale brown micaceous shale, siltstone, and conglomerate (Cretaceous: Korat Group, Khok Kruat Formation)
2	4	2.49	460–540	0–26	1,250–1,255	26.8–26.4	GL&SVN	White to light brown quartz sandstone; siltstone, and shale (Jurassic: Korat Group, Sao Khua Formation)
	5	6.04	480–960	0–39	1,250–1,255	26.7–24.3	DEF, MDFB	Section 1: Reddish brown siltstone, mudstone, sandstone, and shale (Jurassic: Sao Khua Formation)
							PF, MDF	Section 2: White, pale orange, yellowish brown, pebble sandstone intercalated with shale and conglomerate (Cretaceous: Phu Phan Formation)
	6	12.36	300–560	1–28	1,250–1,260	27.6–26.3	DEF, MDF, MDFB, GL&SVN	Purplish-red siltstone, fine grained sandstone, shale, and conglomerate (Jurassic: Korat Group, Phu Kradung Formation)
3	7	5.83	680–760	0–36	1,300–1,310	25.7–25.3	DEF, and GL&SVN	Reddish brown siltstone, mudstone, sandstone, and shale (Jurassic: Korat Group, Sao Khua Formation)
	8	15.68	700–920	0–16	1,300–1,315	25.6–24.5	GL&SVN, DEF, DEFF, PF	Reddish brown siltstone, mudstone, sandstone, and shale (Jurassic: Korat Group, Sao Khua Formation)
	9	10.47	680–740	0–22	1,300–1,310	25.7–25.4	DDF, DEF, PF, GL&SVN	Reddish brown siltstone, mudstone, sandstone, and shale (Jurassic: Korat Group, Sao Khua Formation)
	10	4.37	880–1,020	0–18	1,305–1,310	24.7–24	GL&SVN, DEF, PF	White to light brown quartz sandstone; siltstone, and shale (Jurassic: Korat Group, Phra Wihan Formation)

^a GIS data derived from spatial interpolation of yearly mean climate data; ^b data range based on the mean temperature recorded by the nearest meteorology station to the study sites at elevation 450 m assuming an average decreasing air temperature gradient of 5°C/km elevation; ^c forest type: *DEF* dry evergreen forest; *DEFF* dry evergreen forest dominated by Fagaceae; *MDF* mixed deciduous forest; *MDFB* mixed deciduous forest with bamboo; *DDF* deciduous dipterocarp forest; *PF* tropical pine forest; *GL&SVN* tropical grassland & savanna

in elevation result in predictable variation in both abiotic factors such as temperature and precipitation as well as in vegetational composition (Willig et al. 2009). Thus, the collection procedure of wild mushrooms and the plant diversity investigation in this study were designed based on forest types and elevation gradients using the distance sampling method (Barry and Welsh 2001). Mushroom samples were collected from ten surveyed transects within each particular forest type at a different height along an altitude gradient 260 to 1,050 m. In addition, plots of 40 m×40 m were set at the points where mushrooms were

found to investigate the quantitative biodiversity variation of plant species. The number of sampling points in each transect depended upon the points that mushroom were found within the sampling plot. The total numbers of sampling points for mushroom collection and sampling plots were turned out to be 125 points and 67 sampling plots in ten transects, respectively. The biophysical environment of the studied surveyed track and biodiversity in the sampling plots including tree height, diameter at breast height (DBH) for each tree, plot location and current condition of habitat together with environmental variables

were also recorded. The percentage of crown cover was visually estimated in a 40 m×40 m sampling plot. Shannon-Wiener index (H) (Hayat et al. 2010) was calculated by the following equation:

$$H = -\sum(P_i \log[P_i])$$

where P_i is the proportion of each species in the sample.

Mushroom sample preparation and beta glucan determination

The 32 mushroom species were collected from Thung Salaeng Luang National Park, Thailand during November, 2008–September, 2009. Mushroom specimens were identified at the herbarium of the Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation of Thailand. The identification of the specimens was also performed according to Chandrasrikul et al. (2008), TISTR (2007), Royal Institute of Thailand (1996), and Imazeki et al. (1988). The mushroom specimens are extant in the herbarium for later revision and further study. Mushroom samples were dried in a hot air oven at 45°C for 24 h. They were then ground to pass through a 100 mm screen. Samples were kept in a low humidity area at room temperature before analysis.

Beta glucan contents were determined according to the method of McCleary and Holmes (1985), slightly modified for mushroom analysis as reported by Manzi and Pizzoferrato (2000). Ground mushroom samples were hydrolysed with lichenase (10 U/ml) and the assay was carried out at 45°C for 60 min. Sodium phosphate (20 mM, pH 6.5) was prepared to dissolve the lichenase. Oligosaccharides obtained from digestion by the lichenase were then separated from solid residue and other beta-linked saccharides by centrifugation. The filtrate was then further cleaved to glucose by adding beta-glucosidase dissolved in 50 mM sodium acetate buffer (pH 4.0). The concentration of this enzyme in the sample mixture was 0.8 U/ml. and the reaction was performed at 45°C for 30 min. The amount of released free glucose was determined spectrophotometrically at 540 nm using a glucose assay kit containing glucose oxidase/peroxidase reagent. Glucose is oxidized to gluconic acid and hydrogen peroxide by glucose oxidase and the colored product is then formed in the presence of peroxidase.

Data analysis

Canonical Correspondence Analysis (CCA) was used to analyze the relationship between distribution of wild mushrooms and environmental variables. Ordination was undertaken within the PC-ORD for Windows program, version 4.17 (McCune and Mefford 1999). CCA is a direct gradient analysis technique that relates community variation

(composition and abundance) to environmental variation, enabling the significant relationship between environmental variables and community distribution to be determined. CCA assumes that meaningful environmental variables have been identified and measured. This is not always the case, with the result that the variation attributable to factors not included in the ordination is lost (Vogiatzakis et al. 2003). Therefore, the CCA results were also compared with results from detrended correspondence analysis (DCA) (Hill 1979). CCA axes were evaluated statistically with a Monte Carlo permutation test ($P=0.01$).

Because the inclusion of a moderately to strongly inter-correlated group of variables in the ordination may yield unreliable results (Ter Braak 1986), the variables employed were tested first for correlation using the Pearson correlation coefficient (Vogiatzakis et al. 2003). Variables not following the normal distribution such as altitude, were log transformed. ArcSin transformation was used for the crown cover data which is expressed in percentage. Thirty two species of wild mushroom were used in both classification and ordination analysis (Table 2).

Results

Wild mushroom collection and beta glucan content

The survey of three study sites resulted in 32 species of wild mushrooms being found at several stages of development in different habitats depending not only on the forest types but also on the altitude and season. In the rainy season, among all study sites the highest mushroom diversity was found in mixed deciduous forest (14 species dominated by *Amanita caesarea* (Scop.) Pers., *Amanita hemibapha* (Berk. & Broome) Sacc., *Lentinus squarrosulus* Mont. and *Termitomyces microcarpus* (Berk. & Broome) R. Heim), followed by deciduous dipterocarp forest, dry evergreen forest, pine forest, mixed deciduous forest with bamboo, dry evergreen forest dominated by Fagaceae, and grassland and savanna, respectively (Table 2). Mushrooms were rarely found in dry dipterocarp forest, pine forest, and grassland and savanna during winter (November–February) and summer (March–May). Furthermore, only two species of mushrooms (*Russula alboareolata* Hongo and *Russula densifolia* Secr. ex Gillet) were found in grassland and savanna of the central-western part (Transect No. 6) during the rainy season. The survey result showed the dominant families of mushrooms in the deciduous dipterocarp forest were Russulaceae and Amanitaceae (such as *Russula delica* Fr., *Russula cyanoxantha* (Schaeff.) Fr., *R. alboareolata*, *A. caesarea*, and *A. hemibapha*).

Beta glucan content determined in all mushroom species in these survey transects was in a broad range (0.001–

Table 2 Name of mushroom species, habitat, and beta glucan content

Site No.	Transect No.	Family	Mushroom species	Abbreviation	Beta glucan Content (g/100 g)	Forest type ^a
1	1	Lyophyllaceae	<i>Termitomyces fuliginosus</i> R. Heim	T. fuli	0.01	DDF
		Boletaceae	<i>Boletus colossus</i> R. Heim	B. col	0.03	DDF
		Russulaceae	<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet	R. dens	0.25	DDF
			<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.	R. cyano	0.29	DDF
			<i>Russula alboareolata</i> Hongo	R. albo	0.42	DDF
			<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers.	R. eme	0.10	DDF
			<i>Russula delica</i> Fr.	R. del	0.38	DDF
		Polyporaceae	<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze	M. xan	0.001	DDF
			<i>Pycnoporus cinnabarinus</i> (Jacq.) P. Karst.	P. cin	0.35	DDF
		Amanitaceae	<i>Amanita hemibapha</i> (Berk. & Broome) Sacc.	A. hem	0.05	DDF
			<i>Amanita princeps</i> Corner & Bas	A. prin	0.09	DDF
			<i>Amanita caesarea</i> (Scop.) Pers.	A. cae	0.04	DDF
	2	Lyophyllaceae	<i>Termitomyces fuliginosus</i> R. Heim	T. fuli	0.01	DDF
		Boletaceae	<i>Boletus colossus</i> R. Heim	B. col	0.03	DDF
			<i>Boletus edulis</i> Bull.	B. edu	0.01	DDF
			<i>Heimiella retispora</i> (Pat. & C.F. Baker) Boedijn	H. reti	0.19	MDFB
		Russulaceae	<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet	R. den	0.25	DDF
			<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.	R. cyano	0.29	DDF
			<i>Russula alboareolata</i> Hongo	R. albo	0.42	DDF
			<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers.	R. eme	0.10	DDF
			<i>Russula delica</i> Fr.	R. del	0.38	DDF
		Polyporaceae	<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze	M. xan	0.001	DDF
			<i>Pycnoporus cinnabarinus</i> (Jacq.) P. Karst.	P. cin	0.35	DDF
		Amanitaceae	<i>Amanita hemibapha</i> (Berk. & Broome) Sacc.	A. hem	0.05	DDF
			<i>Amanita princeps</i> Corner & Bas	A. prin	0.09	DDF
			<i>Amanita caesarea</i> (Scop.) Pers.	A. cae	0.04	DDF
	3	Russulaceae	<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet	R. dens	0.25	MDFB
			<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers.	R. eme	0.10	DDF
		Cortinariaceae	<i>Cortinarius claricolor</i> var. <i>turmalis</i> (Fr.) Quadr	C. clar	0.13	DEF
		Polyporaceae	<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze	M. xan	0.001	DEF
2	4	Polyporaceae	<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze	M. xan	0.001	DEF
	5	Russulaceae	<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet	R. dens	0.25	MDFB
		Polyporaceae	<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze	M. xan	0.001	DEF
	6	Russulaceae	<i>Russula densifolia</i> Secr. ex Gillet	R. dens	0.25	MDFB, GL&SVN
			<i>Russula alboareolata</i> Hongo	R. albo	0.42	GL&SVN
			<i>Russula delica</i> Fr.	R. del	0.38	MDFB
		Lyophyllaceae	<i>Termitomyces tylerianus</i> Otieno	T. tyle	0.12	MDFB
			<i>Termitomyces microcarpus</i> (Berk. & Broome) R. Heim	T. micro	0.08	MDF
			<i>Termitomyces eurhizus</i> (Berk.) R. Heim	T. eur	0.07	MDF
		Polyporaceae	<i>Polyporellus varius</i> (Pers.) P. Karst.	P. var	0.02	MDF, DEF
			<i>Pycnoporus cinnabarinus</i> (Jacq.) P. Karst.	P. cin	0.35	DEF
			<i>Pycnoporus coccineus</i> (Fr.) Bondartsev & Singer	P. coc	0.45	DEF
			<i>Lentinus squarrosulus</i> Mont.	L. squa	0.02	MDF
			<i>Daedaleopsis confragosa</i> (Bolton) J. Schröt	D. con	0.03	MDF
			<i>Pycnoporus sanguineus</i> (L.) Fr.	P. san	0.35	DEF
		Amanitaceae	<i>Amanita princeps</i> Corner & Bas	A. prin	0.09	MDF
			<i>Amanita caesarea</i> (Scop.) Pers.	A. cae	0.04	MDF

Table 2 (continued)

Site No.	Transect No.	Family	Mushroom species	Abbreviation	Beta glucan Content (g/100g)	Forest type ^a	
3	8	Agaricaceae	<i>Amanita hemibapha</i> (Berk. & Broome) Sacc.	A. hem	0.05	MDF, PF	
			<i>Amanita virgineoides</i> Bas	A. vir	0.01	MDF, PF	
			<i>Agaricus silvaticus</i> Schaeff.	A. sil	0.03	DEF	
			<i>Chlorophyllum molybdites</i> (G. Mey.) Massee	C. moly	0.03	MDF	
		Ganodermataceae	<i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.	G. luci	0.33	MDF	
			<i>Amauroderma rugosum</i> (Blume & T. Nees) Torrend	A. rug	0.04	DEF	
		Suillaceae	<i>Suillus bovinus</i> var. <i>bovinus</i> (Pers.) Kuntze	S. bov	0.01	MDF, PF	
		Suillaceae	<i>Suillus bovinus</i> var. <i>bovinus</i> (Pers.) Kuntze	S. bov	0.01	MDF, PF	
		Cortinariaceae	<i>Cortinarius claricolor</i> var. <i>turmalis</i> (Fr.) Quadr	C. clar	0.13	DEF	
		Tricholomataceae	<i>Clitocybe suaveolens</i> (Schumach.) P. Kumm.	C. sua	0.09	MDF	
	9	Sclerodermataceae	<i>Scleroderma verrucosum</i> (Bull.) Pers.	S. ver	0.09	MDF, PF	
		Boletaceae	<i>Heimiella retispora</i> (Pat. & C.F. Baker) Bodeijn	H. reti	0.19	MDFB	
		Marasmiaceae	<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	L. edo	0.34	DEFF	
		Russulaceae	<i>Russula alboareolata</i> Hongo	R. albo	0.42	PF	
		Polyporaceae	<i>Microporus xanthopus</i> (Fr.) Kuntze	M. xan	0.001	PF	
		Russulaceae	<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.	R. cyano	0.29	PF	
			Polyporaceae	<i>Pycnoporus cinnabarinus</i> (Jacq.) P. Karst.	P. cin	0.35	DEF
				<i>Pycnoporus coccineus</i> (Fr.) Bondartsev & Singer	P. coc	0.45	DEF
		10	Russulaceae	<i>Russula alboareolata</i> Hongo	R. albo	0.42	PF
			Polyporaceae	<i>Pycnoporus sanguineus</i> (L.) Fr.	P. san	0.35	DEF
<i>Pycnoporus sanguineus</i> (L.) Fr.	P. san			0.35	DEF		

^a Forest type: DEF dry evergreen forest; DEFF dry evergreen forest dominated by Fagaceae; MDF mixed deciduous forest; MDFB mixed deciduous forest with bamboo; DDF deciduous dipterocarp forest; PF tropical pine forest; GL&SVN tropical grassland & savanna

0.45%). Some members of the Boletaceae, namely *Boletus colossus* R. Heim and *Boletus edulis* Bull., which had beta glucan content of only 0.03% and 0.01% respectively, were only found in upland deciduous dipterocarp forest at an altitude range of 312–365 m. However *Heimiella retispora* (Pat. & C.F. Baker) Boedijn, in the Boletaceae, containing higher beta glucan content (0.19%) occurred in mixed deciduous forest with bamboo at higher altitude (440–543 m). *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler with high beta glucan content of 0.34% was only found in high altitude dry evergreen forest dominated by Fagaceae at about 890 m, but only rarely. The beta glucan content was mostly high in the genus *Russula*, ranging from 0.10% to 0.42%, which is commonly found in deciduous dipterocarp forest and mixed deciduous forest with bamboo of the north and the central-west parts, respectively. Interestingly, *R. alboareolata* which contains the highest beta glucan (0.42%), among in the Russulaceae, could be found in both deciduous dipterocarp forests (altitude 378–476 m) and pine forests (altitude 875–905 m). Additionally, *Pycnoporus coccineus* (Fr.) Bondartsev & Singer, *Pycnoporus cinnabarinus* (Jacq.) P. Karst., and *Pycnoporus sanguineus* (L.) Fr. showed a rather high beta glucan content (0.45, 0.35 and

0.35%, respectively) and they were mostly found in highland dry evergreen forest at an altitude range of 702–832 m. This suggests that the environmental factors, particularly forest type and altitude may contribute to the distribution of mushroom species.

Species ordination

The eigenvalues in an ordination analysis represent the relative contribution of each axis to the explanation of the total variation in the data. The CCA eigenvalues of the first three axes were 1.0, 0.73, and 0.53, respectively (Table 3). The eigenvalues obtained were rather different from the ones derived from DCA. The first three CCA axes explained 7.3% of the variance in the species data. Since the canonical coefficients define the ordination axes as linear combinations of the environmental variables, and the intraset correlations are the correlation coefficient between the environmental variables and these ordination axes, these coefficients indicate that the first axis is the beta glucan content, the second CCA axis is highly related to the percentage of crown cover, and the third axis is associated with the value of the Shannon-Wiener index and the

Table 3 Summary table of statistical analysis for comparing the CCA ordination with DCA result

	Monte Carlo test		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3
CCA			
Eigenvalues	1.00	0.730	0.530
Variance explained (%) ^a	3.2	2.4	1.7
Cumulative% explained	3.2	5.6	7.3
Pearson correlation (Species-Environment)	1.00	0.855	0.728
Kendall (Rank) correlation (Species-Environment)	0.969	0.641	0.523
DCA			
Eigenvalues	1.00	0.99	1.00

^a Cumulative variance in species data ($P=0.01$)

percentage of crown cover (Table 4). Moreover, the signs and relative magnitudes of the intraset correlations and of the canonical coefficients were standardized. The result shows that the important environmental variables for predicting mushroom species distribution were beta glucan content, Shannon-Wiener index value and crown cover percentage. In addition, the canonical coefficients gave rather different information compared to the intraset correlations (Table 4). This is probably due to some environmental variables being correlated with each other (Ter Braak 1986).

The mushroom species distribution pattern in Thung Salaeng Luang National Park is displayed in an ordination diagram with 125 sampling points, with wild mushroom species represented by points, and environmental variables represented by arrows (Fig. 2). The beta glucan content vector shown in the CCA ordination diagram is not an environmental variable for presenting the pattern of mushroom species distribution. However, the ordination diagram indicates that the highest beta glucan content was found in *P. coccineus* (0.45 g/100 g). Interestingly, this mushroom species was only found in dry evergreen forest. Other mushroom species with high beta glucan content include *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., *L. edodes*, *P. cinnabarinus*, *P. sanguineus*,

R. alboareolata, *R. cyanoxantha*, and *R. delica*. Several low beta glucan content mushroom species were *A. hemibapha*, *A. caesarea*, *Agaricus silvaticus* Schaeff., *Amanita princeps* Corner & Bas, *Amanita virginoides* Bas., *Amauroderma rugosum* (Blume & T. Nees) Torrend, *B. edulis*, *Boletus colossus* R. Heim, *Chlorophyllum molybdites* (G. Mey.) Masee, *Daedaleopsis confragosa* (Bolton) J. Schröt., *L. squarrosulus*, *Microporus xanthopus* (Fr.) Kuntze, *Polyporellus varius* (Pers.) P. Karst., *Termitomyces eurhizus* (Berk.) Heim, and *Termitomyces fuliginosus* R. Heim. The content of beta glucan found in mushrooms therefore depends on species, not forest type. However other environmental variables such as rainfall and crown cover percentage may influence the distribution of mushroom species. This agrees with the high value of intraset correlation coefficient associated with axis 2 shown in Table 4.

Mushroom community type

From the cluster analysis using Sorensen (Bray-Curtis) distance technique with remaining information of 75%, the 125 mushroom sampling points in Thung Salaeng Luang National Park could be categorized into 5 groups (Fig. 3). These mushroom communities are named according to altitude and forest type as follows:

Group 1, Upland DDF-MDFB This community type is found at altitudes ranging from 378 to 476 m in the deciduous dipterocarp forest (DDF) and mixed deciduous forest with bamboo (MDFB). The Shannon-Wiener Index, crown cover, and rainfall were in the ranges of 2.203–5.030, 29.02–75.81%, and 1,245–1,305 mm, respectively. The beta glucan content found in this community showed quite a wide range (0.001–0.42%). There are 13 mushroom species belonging to this community, namely *A. rugosum*, *A. silvaticus*, *B. colossus*, *Clitocybe suaveolens* (Schumach.) P. Kumm, *G. lucidum*, *R. alboareolata*, *R. cyanoxantha*, *R. delica*, *Russula emetica* (Schaeff.) Pers., *Suillus bovinus* var. *bovinus* (Pers.) Kuntze, *T. microcarpus*, *T. fuliginosus*, and *Termitomyces tyleranus* Otieno. Among these species, *B. colossus*, *R. cyanoxantha*, *R. alboareolata*, and *R. emetica* were mostly found in deciduous dipterocarp forest and *Termitomyces*

Table 4 Canonical coefficients and intraset correlations of environmental variables with the first three axes of CCA

Variables	Canonical coefficients (Standardized)			Correlations coefficients (intraset)		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Beta glucan content	1.00	0.381	0.074	–1.00	0.00	0.00
Altitude	0.000	1.875	0.653	–0.104	0.220	0.203
Shannon-Wiener Index	0.000	0.051	1.102	0.062	–0.233	0.846
Crown cover (%)	0.000	–0.170	–0.237	–0.155	–0.348	0.814
Rainfall	0.000	–1.92	–0.128	–0.284	–0.242	0.148

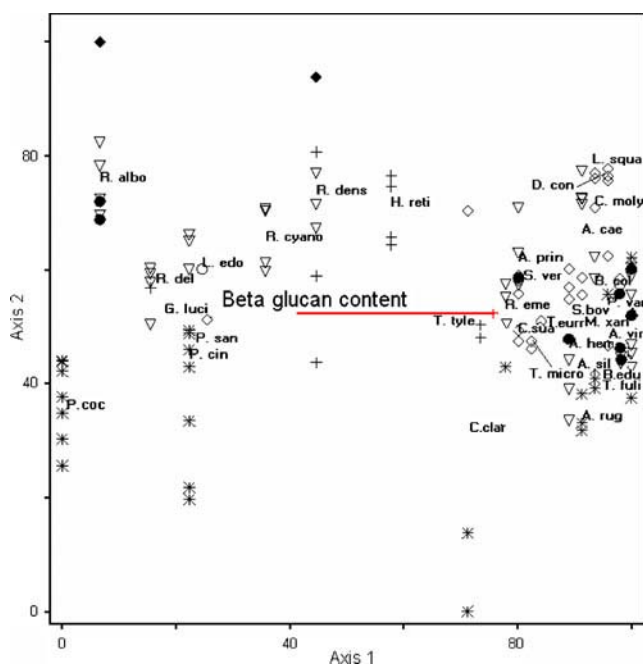


Fig. 2 The distribution of 32 species of wild mushroom collected during year 2008–2009 in Thung Salaeng Luang National Park. Canonical Correspondence Analysis (CCA) ordination diagram of Axis 1 and 2 with wild mushrooms showing variation in beta Glucan content (vector) and forest types. (*), dry evergreen forest; (◇), dry evergreen forest dominated by Fagaceae; (+), mixed deciduous forest; (▽), mixed deciduous forest with bamboo; (●), deciduous dipterocarp forest; (◆), tropical pine forest; (○), tropical grassland & savanna. Only the variables with a correlation coefficient higher than 0.5 are presented. For species abbreviations see Table 2

microcarpus (Berk. & Broome) R. Heim was only found in mixed deciduous forest.

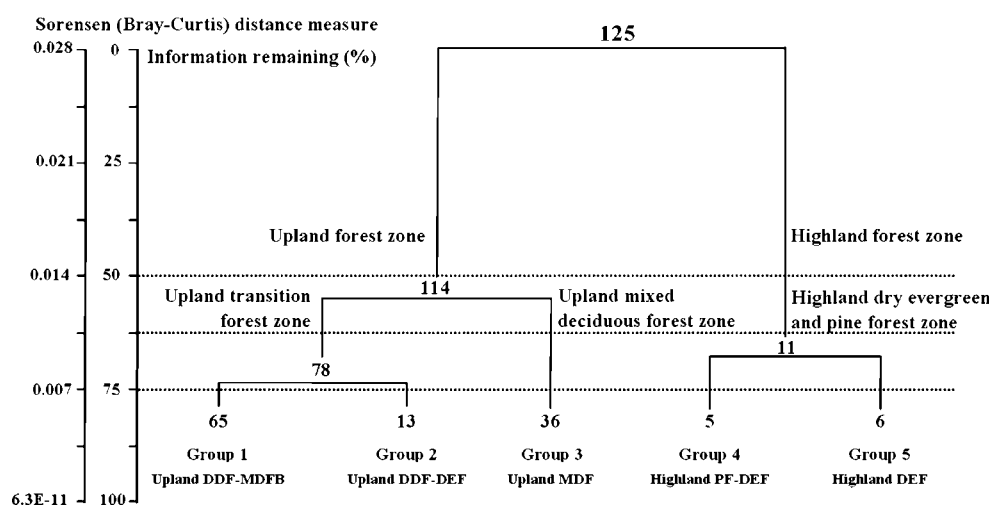
Group 2, Upland DDF-DEF This mushroom community is comprised of five species. The area where this group is found is classified as upland (312–365 m). *A. hemibapha*, *B. edulis*, *Cortinarius claricolor* var. *turmalis* (Fr.) Quadr., *P. cocci-*

neus, and *T. fuliginosus* which comprise this group were found either in deciduous dipterocarp forest (DDF) or dry evergreen forest (DEF), except *P. cinnabarinus* which grew in both forests. The lowest detected beta glucan content was 0.01% whereas the highest was 0.45% (w/w). The minimum rainfall was similar to that of Group 1 (1,245 mm), while the maximum rainfall was slightly lower (1,265 mm). The Shannon-Wiener Index and crown cover percentage were found to be 3.415–5.378 and 40.55–75.81%, respectively.

Group 3, Upland MDF This community includes 13 species and grows between 440 and 543 m. The ranges of the Shannon-Wiener Index and crown cover percentage were broad, while annual rainfall is similar to that of Group 2 community (1,245–1,270 mm). *A. princeps*, *C. molybdites*, *D. confragosa*, *Heimiella retispora* (Pat. & C.F. Baker) Boedijn, *L. squarrosulus*, and *R. densifolia* presented mainly in mixed deciduous forest (MDF). Contradictorily, *A. caesarea*, *A. hemibapha*, *A. virginoides*, *M. xanthopus*, *P. varius*, and *T. eurrhizus* were found, but rarely, in dry evergreen forest, mixed deciduous forest with bamboo, deciduous dipterocarp forest and savanna. The beta glucan content range was exactly equivalent to that of Group 1.

Group 4, Highland PF-DEF (Fagaceae) All five of the sampling plots in this community type happened to be exclusively in the southern part of the national park where the altitude ranged from 875 to 905 m. *M. xanthopus* and *R. alboareolata* commonly appeared in pine forest and highland dry evergreen forest, whereas in this study *L. edodes* could only be found in dry evergreen forest dominated by Fagaceae. The sampling plots in highland pine forest (PF) had a Shannon-Wiener Index between 1.577 and 3.425, whereas dry evergreen forest dominated by Fagaceae had the value of 2.203. Mean annual rainfall of this community type was relatively high in comparison with Groups 1, 2 and 3 at 1 305 mm.

Fig. 3 Dendrogram derived from hierarchical cluster analysis of 125 mushroom sampling plots found in Thung Salaeng Luang National Park. The analysis is based on Sorensen (Bray-Curtis) distance measure with farthest neighbor linkage method



Group 5, Highland DEF This community type was the site of six plots in the highland region in the southern part of the National Park (altitude of 702 to 832 m). Only three mushroom species belong to this group: *P. cinnabarinus*, *P. coccineus* and *P. sanguineus*. *P. coccineus* was found in highland dry evergreen forest with high percentage of crown cover (82.28%) and annual average rainfall of 1,310 mm. There was only one plot where *P. cinnabarinus* was present in highland dry evergreen forest at the attitude of 702 m with Shannon-Wiener Index of 3.452. *P. sanguineus* appeared rarely in highland dry evergreen forest at the attitude of 810 m.

The relationship of mushroom community type and environmental variables

In comparing ordination diagrams with different presenting axes, Axis 1–2 and Axis 1–3 revealed the important variables influencing the community distribution (Table 5). Altitude and rainfall are the main correlates of the first CCA axis ($r=0.953$ and $r=0.959$, respectively). Apart from beta glucan content, altitude also shows the highest correlation ($r=0.293$) to Axis 2 compared to other environmental variables. Axis 3 is strongly correlated with crown cover percentage ($r=0.670$). Since the percentage of cumulative explanation was quite high (49.8%), the interpretation of the result was meaningful (Table 6).

The five community groups can be fairly distinguished by the ordination diagram presenting Axis 1 and Axis 2 (Fig. 4). The community types of Highland DEF and Highland PF-DEF (Fagaceae) shown in the right side of the plot are well separated. While, the scattered groups in the left side of the plot show the overlap of communities found in Upland MDF, Upland DDF-MDFB and Upland DDF-DEF groups. They are associated negatively with altitude and rainfall. However it can be seen clearly that Highland DEF and Highland PF-DEF (Fagaceae) have positive association with altitude and rainfall. Mushrooms constituting the Highland PF-DEF (Fagaceae) community could mostly be found in the highest altitude region.

The ordination diagram presenting Axis 1 and Axis 3 can clearly separate the mushroom communities of Highland

Table 6 Summary table of statistical analysis for the CCA plot ordination

	Monte Carlo test		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3
CCA			
Eigenvalues	0.963	0.632	0.383
Variance explained (%) ^a	24.3	15.9	9.7
Cumulative% explained	24.3	40.2	49.8
Pearson correlation (Species-Environment)	0.98	0.801	0.619
Kendall (Rank) correlation (Species-Environment)	0.582	0.581	0.103
DCA			
Eigenvalues	0.989	0.998	0.048

^a Cumulative variance in species data ($P=0.01$)

PF-DEF (Fagaceae) and Highland DEF (Fig. 5). Mushrooms in Highland PF-DEF (Fagaceae) community shown in the upper right part of the plot are strongly positively associated with crown cover percentage, rainfall and altitude. In contrast, the Highland DEF in the lower right part of the plot illustrates a negative association with crown cover percentage, but positive association with rainfall and altitude. However the relative correlation of environmental variables and mushrooms communities of Upland MDF, Upland DDF-MDFB and Upland DDF-DEF cannot clearly be explained by the biplot of Axis 1–3.

Discussion

Collection and beta glucan content of wild mushrooms

The sampling design and method for classifying wild mushroom community types in this study were not based on the quadrat method because the quadrats of 40 m×40 m used for studies on vegetation diversity and surrounding conditions could not ensure the inclusion of wild mushrooms. This was probably caused by the seasonal growing conditions of the mushroom community. Several kinds of

Table 5 Canonical coefficients and intraset correlations of variables with the first three axes used in plot-variable ordination analysis

Variables	Canonical coefficients (Standardized)			Correlations coefficients (intraset)		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Beta glucan content	0.053	−0.021	0.184	0.246	−0.303	0.413
Altitude	0.453	2.034	−0.163	0.953	0.293	−0.031
Shannon-Wiener Index	−0.085	−0.143	−1.727	−0.432	0.195	0.270
Crown cover (%)	−0.075	0.542	2.185	−0.006	0.153	0.670
Rainfall	0.540	−2.077	−0.649	0.959	−0.164	0.122

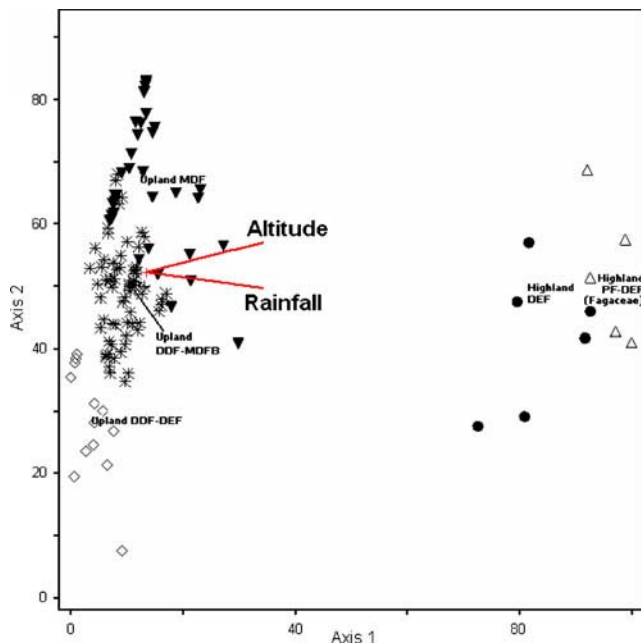


Fig. 4 CCA plot ordination of axis 1 and 2 with the mushroom community types derived from hierarchical cluster analysis. (*), Group1: Upland DDF-MDFB; (◇), Group 2: Upland DDF-DEF; (▼), Group 3: Upland MDF; (△), Group 4: Highland PF-DEF (Fagaceae); (●), Group 5: The highland DEF. Only the variables with a correlation coefficient higher than 0.5 are presented

wild mushrooms could be found only in particular forest types and associated with certain hosts or base materials, but others could grow in a variety of habitat types. This study attempted to reduce the level of unbalanced sampling design caused by the two major environmental gradients, namely forest type and altitude. The 125 sampling points in 67 plots from ten transects of three localities were randomly surveyed for collecting mushroom samples.

Mushrooms in the families Russulaceae and Polyporaceae in this study were mostly found to have relatively high beta glucan content. Similarly to our findings high beta glucan content was reported in *Russula virescens* and *Lentinus* spp. which belong to the family Polyporaceae (Sun et al. 2009; Wasser 2002). In contrast, all mushroom species in the family Amanitaceae analyzed in this study showed beta glucan content lower than 0.1% (w/w). However, beta-glucan content ranging from 0.001 to 0.45% (w/w) was found in various mushroom species occurring in different types of forest. Particularly, mixed deciduous forest and deciduous dipterocarp forest were found to have the most diverse species comparing to other forest types in this study. Most mushrooms in the family Russulaceae could grow in deciduous dipterocarp forest and mixed deciduous forest with bamboo in the north and the central-west parts respectively, while Polyporaceae were found in dry evergreen forest. This might suggest that dry evergreen forest and

deciduous dipterocarp forest are the most potent sources of mushrooms rich in beta glucan.

In addition, it was found that *P. coccineus* showed the highest content of beta glucan (0.45 g/100 g) among collected wild mushrooms even though its uses in human nutrition have not been reported yet. *R. alboareolata*, *R. delica*, *R. cyanoxantha*, and *R. densifolia*. have popularly been consumed by local inhabitants of the lower North of Thailand. Some other edible mushrooms including *A. princeps*, *B. colossus*, *L. squarrosulus*, *T. fuliginosus*, and *B. edulis* possess low quantities of beta glucan. However, their nutritional composition and other therapeutic effects (Kues and Liu 2000; Kalac 2009) provide significant health benefits in human diets.

Species ordination

Canonical Correspondence Analysis (CCA) is a direct gradient analysis (ordination) technique used for multivariate analysis of ecological community data (Palmer 1993; McCune 1997). The result of species ordination showed that the variance of the mushroom species explained by the three CCA axes was 7.3%. This very low value could be attributed to high noise levels typical of species-abundance data (Ter Braak 1986). There are several ways that noise can be generated in an ecological data set. It can result from

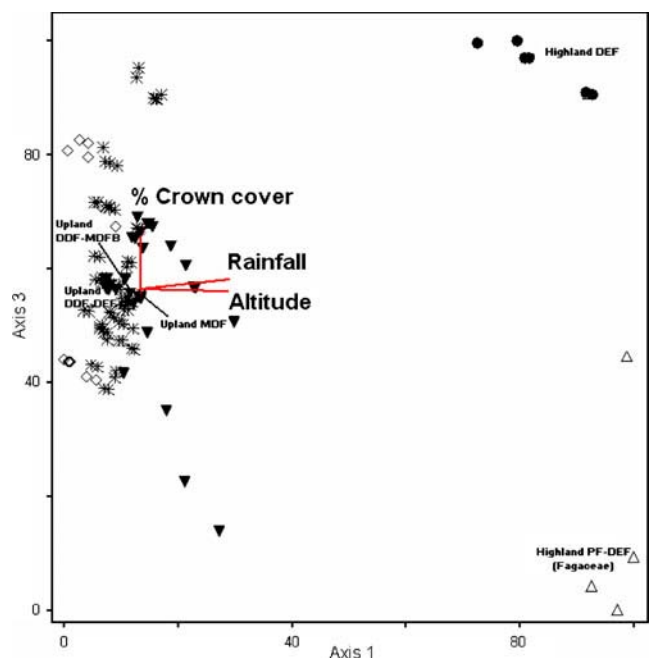


Fig. 5 CCA plot ordination of axis 1 and 3 with the mushroom community types derived from hierarchical cluster analysis. (*), Group1: Upland DDF-MDFB; (◇), Group 2: Upland DDF-DEF; (▼), Group 3: Upland MDF; (△), Group 4: Highland PF-DEF (Fagaceae); (●), Group 5: The highland DEF. Only the variables with a correlation coefficient higher than 0.5 are presented

measurement error, inadequate sampling intensity, or probably most importantly, stochastic variations of true abundance around the mean or ideal distribution (Gauch 1982a, b; Palmer 1993). The meaningfulness of the environmental variables used in this study was tested by comparing the eigenvalues obtained from CCA and DCA (Table 3). The eigenvalues of the second and the third CCA axes were lower than that of the DCA axes, indicating that the important explanatory site variables were included in the analysis. This result supports the idea based on a previous study by Palmer (1993) in which CCA as an explanatory technique led to a reasonable interpretation of important gradients in a few dimensions.

Several primary environmental factors such as vegetation, soil characteristics, forest stand, and microclimate were found contributing to wild mushroom habitat and significantly correlated with their distribution (Bergemann and Largent 2000). Thus it can be considered that the low value of variance explained in this study was probably due to inadequate environmental factors in the analysis. However to improve the species ordination and contribution to the variance explained, other important variables such as soil properties, characteristics of mushroom hosts and vegetation, as well as local environmental conditions should be additionally included. Importantly, even though the species-environment correlations are very high at the first three axes (Table 3), it should not be interpreted literally as a measure of the strength of the relationship between species and the environment. A similar study conducted by McCune (1997) has suggested applying a randomization test for statistical significance.

In this study, pairs of environmental variables including Shannon-Wiener Index-Crown cover percentage ($r=0.822$) and altitude-rainfall ($r=0.875$), were still retained in the analysis even though they show high inter-correlation. It could be seen that the signs of altitude and rainfall were different in the intraset correlation at Axis 2 (Table 4). Moreover, the Shannon-Wiener index and crown cover percentage showed relatively high correlation with Axis 2 and 3 (Table 4). The influence of these two pair variables on the correlations of the environmental variables and ordination axes were proved by CCA ordination (Axis 2 and 3) which showed fair differentiation of the tropical pine forest, mixed deciduous forest with bamboo, and deciduous dipterocarp forest from the other forest types (Fig. 6).

It can be concluded that CCA was an appropriate ordination technique for this study to analyze the distribution of wild mushrooms associated with important environmental factors since unusual sampling designs were employed and there were situations where not all factors known to determine species composition were identified.

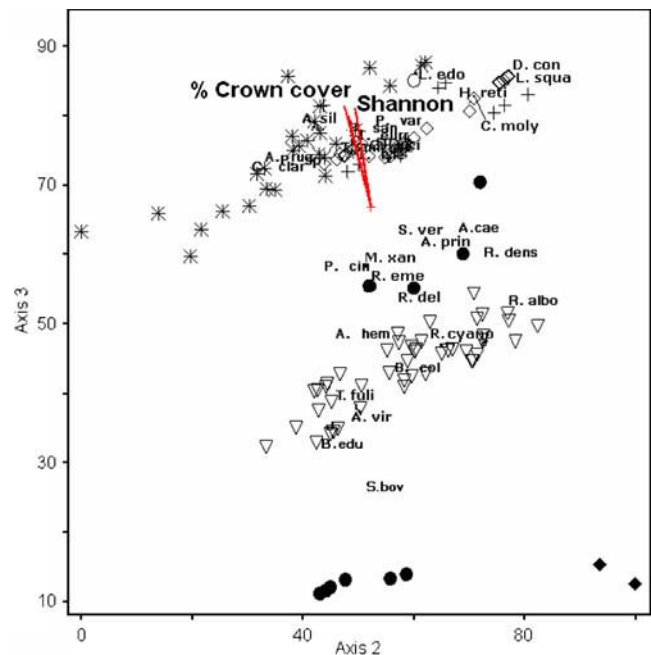


Fig. 6 Ordination diagram of Axis 2 and 3 based on CCA of wild mushroom species with respect to two environmental variables (Shannon-Wiener index and crown cover percentage) on seven different forest types. (*), dry evergreen forest; (◇), dry evergreen forest dominated by Fagaceae; (+), mixed deciduous forest; (▽), mixed deciduous forest with bamboo; (●), deciduous dipterocarp forest; (◆), tropical pine forest; (○), tropical grassland & savanna. Only the variables with a correlation coefficient higher than 0.5 are presented. For species abbreviations see Table 2

Mushroom community type-environmental relationships

The classification of mushroom community types derived from cluster analysis and corroborated by CCA results distinguish mushroom communities more effectively (Figs. 4 and 5). In particular, the CCA ordination diagram of the first three axes clearly showed the separation of mushroom community types Group 4 and Group 5. In contrast, there was a certain degree of overlapping between communities in Group 1, 2 and 3 as shown in plot ordination of both Axis 1–2 and Axis 1–3.

The vector of crown cover percentage could not be seen as an important factor in plot ordination of Axis 1–2, but it was important in the plot of Axis 1–3. Plot ordination of Axis 1 and 3 therefore revealed that crown cover percentage, rainfall and altitude were the most important factors for clear separation of mushroom community Group 4 and Group 5. It can be seen that Group 4 and Group 5 both appear at high altitude with high rainfall, whereas Group 5 was present in an area with high percentage in crown cover but Group 4 could grow in low crown cover percentage. Considering beta glucan content, all mushroom species in Group 5 contain quite high beta glucan amounts (0.35–0.45%) and are mostly found in high land with high rainfall and crown cover percentage.

However some beta glucan containing species belonged to other mushroom groups that grow at lower altitude and rainfall. Thus it is not clear that altitude and rainfall solely affect the beta glucan content of mushrooms but they do strongly influence the mushroom community type. This is supported by a number of studies revealing the relationship between environmental factors and distribution of various plant communities including mushrooms (Wiensczyk and Berch 2001; Dreisbach et al. 2002).

Our study thus concludes that the highest probability of finding mushrooms with high beta glucan content will be in a habitat characterized by high altitude with high crown cover percentage and rainfall. This finding supports the idea that promoting the sustainable use of wild mushrooms as nutritious foods and pharmaceutical necessitates the wise management of mushroom habitat.

Acknowledgements The authors thank the Thailand Research Fund (TRF), Naresuan University and Mahidol University International College for financial support. The authors are grateful to the staffs of Thung Salaeng Luang National Park for their help in the field. The excellent comments and proofreading by Mr. Laird Allan, Science Division, Mahidol University International College are very much appreciated.

References

- Barry SC, Welsh AH (2001) Distance sampling methodology. *J R Stat Soc B* 63:31–53
- Barros L, Baptista P, Estevinho LM, Ferreira ICFR (2007) Bioactive properties of the medicinal mushroom *Leucopaxillus giganteus* mycelium obtained in the presence of different nitrogen sources. *Apartado* 1172:5301–5855
- Barros L, Cruz T, Baptista P, Estevinho LM, Ferreira ICFR (2008) Wild and commercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals. *Apartado* 1172:5301–5855
- Bergemann SE, Largent DL (2000) The site specific variables that correlate with the distribution of the Pacific Golden Chanterelle, *Cantharellus formosus*. *For Ecol Manag* 130:99–107
- Bobek P, Nosalova V, Cerna S (2001) Effect of pleuran (β -glucan from *Pleurotus ostreatus*) in diet or drinking fluid on colitis rats. *Nahrung* 45:360–363
- Carbonero ER, Gracher AHP, Smiderle FR, Rosado FR, Sasaki GL, Philip AJ, Gorin PAJ, Iacomini M (2006) A beta glucan from the fruit bodies of edible mushrooms *Pleurotus eryngii* and *Pleurotus ostreatoroseus*. *Carbohydr Polym* 66:252–257
- Chandrasrikul A, Suwanarit P, Sangwanit U, Morinaga T, Nishizawa Y, Murakami Y (2008) Diversity of mushrooms and macrofungi in Thailand. Kasetsart University Press, Bangkok, p 514
- Cheung PCK (1998) Plasma and hepatic cholesterol levels and fecal neutral sterol excretion are altered in hamsters fed straw mushroom diets. *J Nutr* 128:1512–1516
- Diyabalanage T, Mulabagal V, Mills G, DeWitt DL, Nair MG (2008) Health-beneficial qualities of the edible mushroom *Agrocybe aegerita*. *Food Chem* 108:97–102
- Dreisbach TA, Smith JE, Molina R (2002) Challenges of modeling fungal habitat: when and where do you find Chanterelles? In: Scot JM, Hegund PJ, Morrison ML (eds) Predicting species occurrence. Island, USA, p 478
- Gauch HG Jr (1982a) Multivariate analysis and community structure. Cambridge University Press, Cambridge
- Gauch HG Jr (1982b) Noise reduction by eigenvalue ordinations. *Ecology* 63:1643–1649
- Gunde-Cimerman N (1999) Medicinal value of the genus *Pleurotus* (Fr.) P. Karst. (Agaricales s.l., Basidiomycetes). *Int J Med Mushr* 1:69–79
- Hayat MSA, Kudus KA, Hanum IF, Noor AGA, Nazre M (2010) Assessment of plant species diversity at Pasir Tengkorak Forest Reserve, Langkawi Island, Malaysia. *J Agric Sci* 2:31–38
- Hill MO (1979) DECORANA. A FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Department of Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca
- Imazeki R, Otani Y, Hongo T (1988) Fungi of Japan. Yama-Kei Pub. Co. Ltd., Tokyo, p 623
- Kalac P (2009) Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms. *Food Chem* 113:9–16
- Kues U, Liu Y (2000) Fruiting body production in basidiomycetes. *Appl Microbiol Biotechnol* 54:141–152
- Land Development Department (1998) Soil resource management report in the lowland area [CD-ROM]. Land Development Department. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok
- Manzi P, Pizzoferrato L (2000) Beta-glucans in edible mushrooms. *Food Chem* 68:315–318
- Manzi P, Marconi S, Aguzzi A, Pizzoferrato L (2004) Commercial mushrooms: nutritional quality and effect of cooking. *Food Chem* 84:201–206
- Mau JL, Chao GR, Wu KT (2001) Antioxidant properties of methanolic extract from several ear mushrooms. *J Agr Food Chem* 49:5461–5467
- Mau JL, Lin HC, Song SF (2002) Antioxidant properties of several specialty mushroom. *Food Res Int* 35:519–526
- McCleary BV, Holmes MG (1985) Enzymic quantification of (1-3), (1-4) β -glucan in barley and malt. *J Inst Brew* 91:285–295
- McCune B (1997) Influence of noisy environmental data on canonical correspondence analysis. *Ecology* 78(8):2617–2623
- McCune B, Mefford MJ (1999) PC-ORD, Multivariate analysis of ecological data, version 4. MJM Software, Gleneden Beach
- Ng TB (1998) A review of research on the protein-bound polysaccharide (polysaccharopeptide, PSP) from the mushroom *Coriolus versicolor* (Basidiomycetes: Polyporaceae). *Gen Pharmacol* 30:1–4
- Palmer MW (1993) Putting things in even better order: the advantages of canonical correspondence analysis. *Ecology* 74(8):2215–2230
- Rhee SJ, Cho SY, Kim KM, Cha DS, Park HJ (2008) A comparative study of analytical methods for alkali-soluble β -glucan in medicinal mushroom, Chaga (*Inonotus obliquus*). *Food Sci Biotechnol* 41:545–549
- Rosado FR, Carbonero ER, Kimmelmeier C, Tischer CA, Iacomini M (2002) A partially 3-O-methylated (1 $\rightarrow$ 4)-linked α -D-galactan and α -D-mannan from *Pleurotus ostreatoroseus* Sing. *FEMS Microbiol Lett* 212:261–265
- Royal Forest Department (2000) Natural resources inventory for national park management: a case study of Thung Salaeng Luang National Park. Program monitoring report, pp. 221. Phitsanulok Regional Forestry Office, Thailand
- Royal Institute of Thailand (1996) Edible mushrooms and poisonous mushrooms. Amarin Printing and Publishing Pub. Co. Ltd., Bangkok, p 170
- Soil Survey Staff (1999) Keys to soil taxonomy. Pocahontas Press Inc, Blacksburg, p 599
- Sun ZW, He YL, Liang ZH, Zhou WW, Niu TG (2009) Sulfation of (1-3)- β -D-glucan from the fruiting bodies of *Russula virescens* and antitumor activities of the modifiers. *Carbohydr Polym* 77:628–633

- Ter Braak CJF (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67:116–1179
- TISTR (Thailand Institute of Scientific and Technological Research) (2007) Sakerat mushrooms. Arun Publishing, Bangkok, p 154
- Vogiatzakis IN, Griffiths GH, Mannion AM (2003) Environmental factors and vegetation composition. *Glob Ecol Biogeogr* 12:131–146
- Wasser SP (2002) Medicinal mushroom as a source of antitumor and immunomodulation polysaccharides. *Appl Microbiol Biotechnol* 60:258–274
- Wiensczyk AM, Berch SM (2001) Ecological description and classification of some pine mushroom habitat in British Columbia. *BC J Ecosyst Manag* 1(2):1–7
- Willig M, Klingbeil B, Bloch C, Castro-Arellano I, Cisneros L, Presley S (2009) Metacommunity structure of gastropods along an elevational gradient in the Luquillo Mountains. In: the LTER All Scientists Meeting “Integrating Science and Society in a World of Constant Change,” Sept. 14–16th 2009, Estes Park Co. [WWW document]. URL <http://asm.lternet.edu/posters?page=4>