

บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 Supplement compositions

แร่ธาตุเช่นโพแทสเซียม (potassium) แคลเซียม (calcium) เหล็ก (iron) ทองแดง (copper) แมกนีเซียม (manganese) สังกะสี (zinc) โมลิบดีนัม (molybdenum) มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา (Royse and Sanchez-Vazquez 2003; Yildiz *et al.* 1998; Özçelik and Pekşen 2007) นอกเหนือจากองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมและซิลิคอน ภูไมท์และภูไมท์ซัลเฟตประกอบด้วยแร่ธาตุอื่นๆที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราในปริมาณเล็กน้อย เช่นภูไมท์ประกอบด้วย แมกนีเซียม 0.46% โพแทสเซียม 4.69% ภูไมท์ซัลเฟต ประกอบด้วย แมกนีเซียม 0.01% เหล็ก 0.01% สังกะสี 0.0005%

ดังนั้น Mg, K, Fe และ Zn ในภูไมท์และภูไมท์ซัลเฟตไม่มีอิทธิพลต่อการผลิตเห็ดนางฟ้าเนื่องจากมีอยู่ในปริมาณน้อยมาก ไม่มีรายงานความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ K และปริมาณผลผลิตของ *Pleurotus* spp. ในกรณีของเห็ดหอม (shiitake mushrooms) พบว่าปริมาณ K ในวัสดุเพาะไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตหรือค่า BE (Özçelik and Pekşen 2007) พบว่า K เป็นแร่ธาตุที่พบมากที่สุด ใน *P. ostreatus* var. *salignus* ปริมาณ K ที่พบมากในเนื้อเยื่อเนื่องจากการดูดซึมมาจาก K ที่สะสมในวัสดุเพาะอย่างไรก็ตามไม่มีรายงานว่า K มีผลต่อการปรับปรุงผลผลิต

แม้ว่าซัลเฟอร์มีปริมาณมากพอสมควรในภูไมท์ซัลเฟต (7.0% sulfur) และยิบซัม (17.0% sulfur) แต่จากการศึกษาไม่พบว่าซัลเฟอร์มีผลต่อการเพาะเห็ดนางฟ้า Yildiz *et al.* (1998) รายงานว่าไม่พบซัลเฟอร์ในเนื้อเยื่อของ *P. ostreatus* var. *salignus* ผู้วิจัยระบุว่าซัลเฟอร์มักพบสะสมในเห็ดพิษเท่านั้น

จากข้อมูลข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าอิทธิพลของภูไมท์ ภูไมท์ซัลเฟต และยิบซัมมาจากอิทธิพลของซิลิคอนและ/หรือแคลเซียมซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก

3.2 Spawn run time, time periods of fruit body formation, yield and BE

การเติมยิบซัม ภูไมท์ และภูไมท์ซัลเฟต ในวัสดุเพาะสำหรับการผลิต *P. ostreatus* ไม่มีผลต่อระยะเวลาในการเดินเส้นใย (time periods of spawn running หรือ mycelia development) (Table 3.1) อาจเนื่องมาจากอัตราส่วน C:N ของวัสดุเพาะในแต่ละสูตรไม่แตกต่างกัน ระยะเวลาใน

การเดินเส้นใยที่แตกต่างกันมีสาเหตุเนื่องจากชนิดของเห็ด (genotype) และอัตราส่วน C:N ของวัสดุเพาะ วัสดุจากพืชที่มีอัตราส่วน C:N ต่ำย่อยสลายเร็วกว่าพวกที่มีอัตราส่วน C:N สูง ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่าการขยายตัวของเส้นใยสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนที่นำไปใช้ได้ (Özçelik and Pekşen 2007)

ระยะเวลาในการจับปุ่มดอก (Time periods of fruit body formation) ลดลงประมาณ 4-5 วัน เมื่อมีการเติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟตในวัสดุเพาะ สำหรับแต่ละทริตเมนต์ *P. ostreatus* ใช้เวลาประมาณ 3 สัปดาห์ในการจับปุ่มดอกหลังจากเส้นใยเดินเต็มวัสดุเพาะ (Table 3.1) ผลการทดลองของเราสอดคล้องกับรายงานของ Tan (1981) ซึ่งรายงานว่า *P. ostreatus* ที่เพาะบน cotton waste ใช้เวลา 2-3 สัปดาห์ในการจับปุ่มดอกหลังจากเส้นใยเดินเต็มวัสดุเพาะ การที่ระยะเวลาในการจับปุ่มดอกเร็วขึ้นบ่งชี้ถึงเส้นใยที่หนาแน่นขึ้นเมื่อมีการเติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟต ในวัสดุเพาะ ทำให้เส้นใยจับปุ่มดอกและเกิดดอกได้เร็วขึ้น (Royse et al. 2004).

สำหรับแต่ละทริตเมนต์ผลผลิตเห็ดรุ่นแรกมีปริมาณสูงสุดและผลผลิตลดลงในรุ่นที่สองและสาม มีรายงานการลดลงของผลผลิตในรุ่นที่สองของการผลิต *P. ostreatus* โดย Wang et al. (2001) นอกจากนี้ยังมีรายงานในการผลิต *P. sajor-caju* โดย Zhang et al. (2002) และในเห็ดนางฟ้าซึ่งรายงานโดย Murugesan et al. (1995) ปริมาณผลผลิตทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อมีการเติมยิบซัมและภูเขาไมท์ซัลเฟตลงในวัสดุเพาะในระดับความเข้มข้น 10% and 20% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการเติมภูเขาไมท์ลงในวัสดุเพาะในระดับมากถึง 20% และ 30% ให้ปริมาณผลผลิตทั้งหมดไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

BEs ที่คำนวณจากผลผลิตทั้งสามรุ่นเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าผลผลิตรวม วัสดุเพาะที่มีผสมภูเขาไมท์ในระดับ 20% ให้ค่า BE สูงสุด 55-56% (Table 3.1) การลดลงของผลผลิตเมื่อมีการผสมยิบซัมในวัสดุเพาะมีรายงานไว้ในการศึกษาเห็ดกระดุม (*A. bisporus*) Mau et al. (1993) รายงานว่าการผสมยิบซัมลงในน้ำที่รดเห็ดมีผลทำให้ผลผลิตของ *A. bisporus* ลดลงเมื่อความเข้มข้นของยิบซัมเพิ่มขึ้น ค่าผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญสูงถึง 20% เมื่อความเข้มข้นของยิบซัมในน้ำรดเห็ดเป็น 0.3% การลดลงของผลผลิตเมื่อมีการผสมภูเขาไมท์ซัลเฟตในวัสดุเพาะอาจเป็นผลเนื่องมาจากแคลเซียมซัลเฟต (ยิบซัม) ซึ่งเป็นส่วนผสมที่มีความเข้มข้นในระดับสูง (7%)

การเติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟต ในวัสดุเพาะไม่มีผลยับยั้งการเจริญของ *P. ostreatus* ถึงแม้ว่าในบางกรณีผลผลิตอาจลดลงบ้าง

Table 3.1 The time period of different phases of oyster mushroom cultivation, yield and percentage BE of *Pleurotus ostreatus* grown on substrates non-supplemented and supplemented with gypsum, pumice sulfate and pumice.

Supplement		Treatment code	Spawn running (days)	Fruit body formation (days)	Yield per pack				BE [#] (%)
					1 st flush	2 nd flush	3 rd flush	Total	
Gypsum	0%	C	25.5±1.5	39.4±5.8 ^b	86.05±21.6	74.21±19.0	42.93±15.7	203.19±30.0 ^b	56.44
	5%	G5	24.9±1.8	39.9±4.6 ^b	70.70±29.6	73.85±27.5	55.81±18.6	200.36±35.1 ^b	55.66
	10%	G10	25.2±1.1	34.3±4.8 ^a	57.50±18.0	46.33±10.8	37.78±14.7	141.62±19.1 ^a	37.27
Pumice sulfate	0%	C	25.5±1.5	39.4±5.8 ^b	86.05±21.6	74.21±19.0	42.93±15.7	203.19±30.0 ^b	56.44
	10%	PS10	24.7±1.3	39.4±5.3 ^b	80.53±21.4	71.79±24.9	50.66±22.2	202.97±30.8 ^b	56.38
	20%	PS20	25.2±1.9	33.5±4.0 ^a	74.08±11.4	53.53±13.9	36.55±19.4	163.07±20.6 ^a	45.30
	30%	PS30	24.3±1.2	36.6±5.7 ^{ab}	66.83±23.3	59.80±22.6	37.05±17.1	163.69±26.9 ^a	45.47
Pumice	0%	C	25.5±1.5	39.4±5.8 ^b	86.05±21.6	74.21±19.0	42.93±15.7	203.19±30.0 ^b	56.44
	10%	P10	27.3±2.1	36.2±4.7 ^{ab}	62.91±24.0	47.81±17.1	28.28±9.2	138.99±25.8 ^a	38.61
	20%	P20	25.7±2.6	35.2±5.0 ^a	85.14±18.6	72.19±28.6	56.37±24.2	216.33±28.8 ^b	60.09
	30%	P30	26.3±2.0	35.0±4.2 ^a	79.38±27.9	66.76±20.8	58.88±22.6	203.24±34.2 ^b	56.46

Means followed by the same letter in the same column in the same set of supplement are not significantly different according to the Duncan test ($P \geq 0.05$)

Biological efficiency (BE) is the ratio of fresh mushroom harvested per unit of dry substrate and expressed as a percentage. Values were from 3 flushes.

3.3 Distribution pattern of individual mushrooms weight and size

น้ำหนักของครีbsdอกแต่ละครีbของเห็ดนางฟ้า (mushroom caps หรือ basidiomata) ที่เพาะจากวัสดุทุกสูตรมีค่าระหว่าง 0.64g ถึง 62.0g ข้อมูลน้ำหนักของครีbsdอกแต่ละครีbมีลักษณะการแจกแจงไม่เป็นโค้งปกติ แต่ข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงเบ้ไปทางขวา แสดงให้เห็นว่าดอกเห็ดส่วนใหญ่มีน้ำหนักน้อย (**Figure 3.1**) ข้อมูลน้ำหนักของครีbsdอกแต่ละครีbที่มีลักษณะการแจกแจงเบ้ไปทางขวามีรายงานสำหรับ *P. eryngii* (Rodriguez Estrada and Royse, 2006) ถึงแม้เห็ดนางฟ้าประเภท *P. eryngii* จะมีลักษณะดอกใหญ่กว่าเห็ดนางฟ้าประเภท *P. ostreatus* เพื่อที่จะแบ่งกลุ่มดอกเห็ดตามขนาดเป็นกลุ่มเล็ก กลางและใหญ่จึงใช้ข้อมูลการแจกแจงน้ำหนักของครีbsdอกแต่ละครีbมาแบ่งตามค่า quantiles ที่ 33.3% และ 66.6% ดังนั้นดอกเห็ดขนาดเล็กจึงมีน้ำหนัก <6.70g ขนาดกลางมีน้ำหนัก 6.70-12.38g และขนาดใหญ่มีน้ำหนัก >12.38g **Table 3.2** แสดงให้เห็นว่าการเติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟตในวัสดุเพาะต่อมียธิพลต่อขนาดของดอกเห็ด เห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมภูเขาไมท์ซัลเฟตที่ 20% และภูเขาไมท์ที่ 10% มีสัดส่วนดอกเห็ดขนาดเล็กถึง 40% สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตที่ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ เห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมยิบซัมที่ 5% มีสัดส่วนดอกเห็ดขนาดใหญ่กว่า 47% มากกว่าตัวอย่างอื่นๆ สำหรับเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมภูเขาไมท์ซัลเฟตที่ 30% และภูเขาไมท์ที่ 20% และ 30% มีสัดส่วนดอกเห็ดขนาดเล็ก กลาง และใหญ่เท่าๆกันคือ ขนาดละประมาณ 30% (**Table 3.2**)

สายพันธุ์และสารที่เติมลงในวัสดุเพาะมียธิพลต่อสัดส่วนของขนาดดอก Rodriguez Estrada and Royse (2006) รายงานว่า Mn, Cu และถั่วเหลืองบดมียธิพลต่อขนาดดอกเห็ด *P. eryngii*

มีรายงานว่าแคลเซียมคลอไรด์มียธิพลทั้งในเชิงบวกและลบต่อน้ำหนักเฉลี่ยของดอกเห็ดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์เห็ดและปริมาณที่ใช้ (Barden *et al.* 1990; Solomon *et al.* 1991) Diamantopoulou and Philippoussis (2001) รายงานว่าการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในน้ำรดเห็ด *A. bisporus* ที่ความเข้มข้น 0.10 and 0.15% เพิ่มสัดส่วนของเห็ดดอกใหญ่ขณะที่การใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นที่ความเข้มข้นอื่นๆเพิ่มสัดส่วนของเห็ดขนาดเล็ก ในรายงานวิจัยของผู้เขียนการเติมยิบซัม (แคลเซียมซัลเฟต) ในวัสดุเพาะที่ระดับ 5% เพิ่มสัดส่วนของดอกเห็ดขนาดใหญ่ แต่ถ้ายิ่งเพิ่มระดับยิบซั่มมากกว่านี้จะเพิ่มสัดส่วนดอกเห็ดขนาดเล็กและกลาง อย่างไรก็ตามสำหรับเห็ดหอม (*Lentinula edodes*) การเติม calcium carbonate (CaCO_3) ลงในวัสดุเพาะลดขนาด (น้ำหนัก) ของเห็ดเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม โดยการเติม CaCO_3 เข้มข้น 0.6% ให้ดอกเห็ดน้ำหนักเฉลี่ย 15.1g ขณะที่น้ำหนักดอกเห็ดเฉลี่ยที่เพาะในวัสดุเพาะสูตรควบคุมคือ 16.8g (Royse and Sanchez-Vazquez 2003).

เส้นผ่านศูนย์กลางครีbsdอกวัดจากครีbsdอกแต่ละดอกมีค่าระหว่าง 2.0cm ถึง 16.0cm ข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางของครีbsdอกแต่ละครีbมีลักษณะการแจกแจงเป็นโค้งปกติ โดยมีค่าเฉลี่ย

เส้นผ่านศูนย์กลางครีบบดคือ $7.3 \pm 2.26 \text{ cm}$ (**Figure 3.1**) ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางครีบบดของเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะสูตรต่างๆมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ เห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมยิบซัมที่ 5% มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางครีบบดสูงสุด เห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมยิบซัมที่ 10% มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางครีบบดไม่แตกต่างจากเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะสูตรควบคุมแม้ว่าค่าปริมาณผลผลิตรวมมีค่าต่ำกว่า

Table 3.2 แสดงค่าความแน่นเนื้อของก้านดอกเห็ด *P. ostreatus* พบว่าการเติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟต ในวัสดุเพาะไม่มีผลต่อความแน่นเนื้อของก้านดอก แต่การเติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟต ในวัสดุเพาะมีแนวโน้มเพิ่มความแน่นเนื้อของครีบบดถึงแม้ค่าจะไม่แตกต่างกันทางสถิติ การใช้แคลเซียมคลอไรด์กับ *A. bisporus* ก็ไม่ได้แสดงว่าช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสอย่างเด่นชัด Diamantopoulou and Philippoussis (2001) พบว่าการใช้แคลเซียมคลอไรด์กับ *A. bisporus* ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ เช่น 0.05 และ 0.10% ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสแต่เมื่อใช้ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น คือ $> 0.15\%$ เห็ดกลับมีเนื้อสัมผัสนุ่มลงมาก

โดยสรุปการเติมภูเขาไมท์ในวัสดุเพาะที่ระดับสูงถึง 30% ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตรวม ขนาดดอกและเส้นผ่านศูนย์กลางครีบบด การเติมยิบซัมในวัสดุเพาะที่ระดับ 10% ลดปริมาณผลผลิตรวม และถึงแม้การเติมยิบซัมในวัสดุเพาะที่ระดับ 5% ไม่ได้ลดปริมาณผลผลิตรวม แต่มีผลในการเพิ่มสัดส่วนดอกเห็ดขนาดใหญ่ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับผลิตเห็ดกระป๋องเนื่องจากต้องใช้ดอกเห็ดขนาดเท่าๆกันไม่ใหญ่เกินไป การเติมภูเขาไมท์ซัลเฟตในวัสดุเพาะที่ระดับมากเกินไปมีผลในการลดผลผลิตรวม

3.4 Calcium and silicon content in fresh mushrooms

Table 3.3 แสดงปริมาณแคลเซียมในก้านและครีบบดเห็ดนางฟ้าที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟตจากผลผลิตสองรุ่น ปริมาณแคลเซียมในก้านดอกมีค่า 0.070-0.137mg/g dry weight และ 0.050-0.115mg/g dry weight ในครีบบด Wang *et al.* (2001) พบว่า *P. ostreatus* ที่เพาะใน spent beer grain มีปริมาณแคลเซียม 3.9mg/100g ของน้ำหนักแห้งของดอกเห็ดซึ่งต่ำกว่าที่รายงานในงานวิจัยนี้ ปริมาณแคลเซียมใน *P. eryngii* และ *P. ostreatus* ที่เกิดตามธรรมชาติ พบว่ามีปริมาณ 0.84 and 1.26mg/g ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Genççelep *et al.* 2009) Chang *et al.* (1981) รายงานว่าปริมาณแคลเซียมในดอกเห็ด *P. sajor-caju* อยู่ในช่วง 0.189-0.362mg/g น้ำหนักแห้งของดอกเห็ด Akindahunsi and Oyetayo (2006) รายงานปริมาณแคลเซียมในครีบบดและก้านดอกของ *P. tuber-regium* ที่ค่า 2.9 and 1.2mg/g ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ Ragunathan *et al.* (1996) รายงานปริมาณแคลเซียมในดอกเห็ดตระกูล *Pleurotus* spp. (*P. sajor-caju*, *P. platypus* และ *P. citrinopileatus*) อยู่ในช่วง 0.75-2.45mg/g การที่ปริมาณ

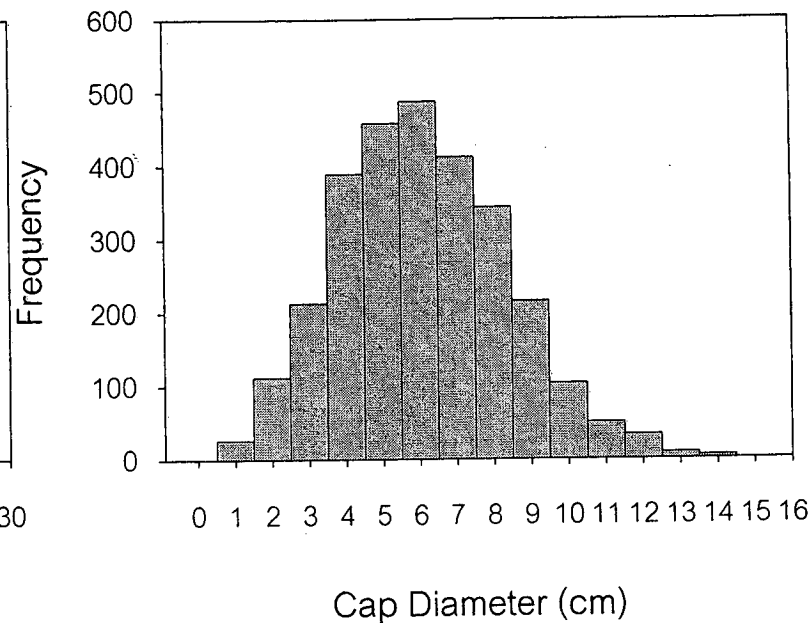
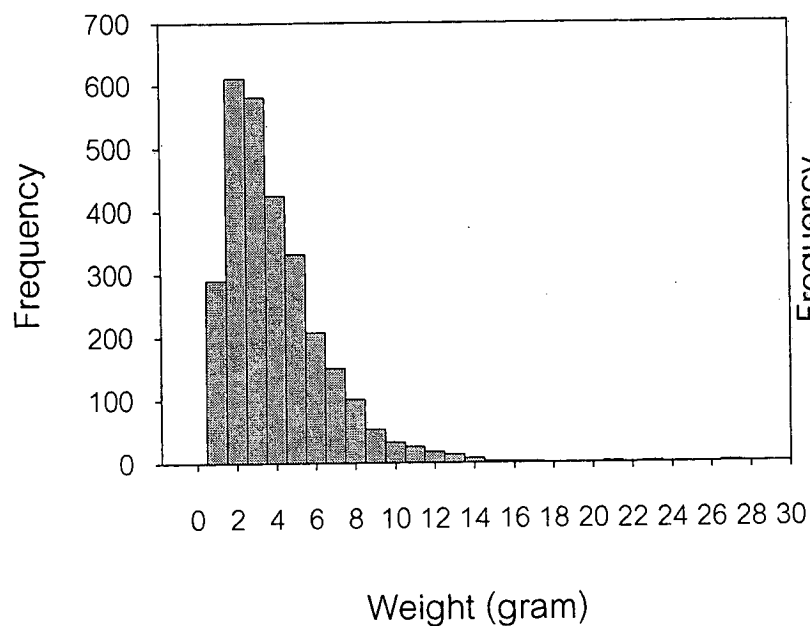


Figure 3.1 a.) A histogram showing the distribution of individual (2,848) mushroom weights. Quantiles 33.3% (6.70 g) and 66.6% (12.28 g) were used to delimit mushroom size classes (small, medium, large) b.) A histogram showing the distribution of individual (2,848) mushroom cap diameter showing normal distribution curve with mean of 7.3 cm and standard deviation of 2.26 cm. The caps with diameter of 7.3 ± 2.26 cm were used to produce canned mushrooms.

Table 3.2 Size classes (small, medium, large) expressed as a percentage of the total mushroom production per treatment. Quantiles 33.3% (6.70 g) and 66.6% (12.28 g) were used to delimit mushroom size classes (small, medium, large), mushroom cap diameter (cm) and firmness (kgf) of *Pleurotus ostreatus* grown on substrates non-supplemented and supplemented with gypsum, pumice sulfate and pumice.

Treatment code	Size classes (%)			Cap diameter (cm)	Hardness (kgf)	
	Small	Medium	Large		Stalk	Cap
C	35.03	33.27	31.70	7.3±2.5 ^a	3.432±0.139	0.730±0.060 ^a
G5	20.49	31.78	47.73	8.1±2.3 ^b	3.654±0.505	1.050±0.006 ^b
G10	37.32	37.88	24.80	7.2±2.2 ^a	3.392±0.471	1.146±0.096 ^b
C	35.03	33.27	31.70	7.3±2.5	3.432 ±0.139	0.730±0.060
PS10	27.62	34.78	37.60	7.4±2.2	4.074±0.419	0.990±0.072
PS20	41.70	33.55	24.75	7.0±2.2	3.588±0.658	1.226±0.127
PS30	31.05	33.72	35.23	7.4±2.2	3.260±0.230	1.042±0.120
C	35.03	33.27	31.70	7.3±2.5	3.432±0.139	0.730±0.060 ^a
P10	42.69	35.85	21.46	6.9±2.0	3.432±0.130	1.248±0.123 ^b
P20	35.05	33.27	31.70	7.1±2.2	3.510±0.283	1.208±0.116 ^{ab}
P30	31.50	32.20	36.30	7.2±2.2	3.342±0.130	0.952±0.108 ^{ab}

* Number of individual mushroom samples taken for size class and cap diameter measurement was 332 for C, 291 for G5, 231 for G10, 346 for PS10, 355 for PS20, 296 for PS30, 290 for P10, 424 for P20 and 284 for P30.
Means followed by the same letter in the same column in the same set of supplement are not significantly different according to the Duncan test ($P \geq 0.05$)

Table 3.3 The calcium content (mg/g dry wt.) and silicon content (mg/g dry wt.) of *Pleurotus ostreatus* grown on substrates non-supplemented and supplemented with gypsum, pumice sulfate and pumice.

Treatment code	Calcium content (mg/g dry wt.)				Silicon content (mg/ 100 g dry wt.)	
	Stalk		Cap		Stalk	Cap
	1 st flush	2 nd flush	1 st flush	2 nd flush		
C	0.117±0.037	0.061±0.005 ^a	0.073±0.011	0.033±0.003	0.059±0.011	0.076±0.013
G5	0.103±0.018	0.092±0.003 ^{ab}	0.060±0.019	0.040±0.001	0.040±0.004	0.097±0.038
G10	0.104±0.023	0.110±0.026 ^b	0.079±0.012	0.048±0.011	0.058±0.010	0.119±0.048
C	0.117±0.037 ^{ab}	0.061±0.005 ^a	0.073±0.011 ^{ab}	0.033±0.003	0.059±0.011	0.076±0.013
PS10	0.085±0.036 ^a	0.050±0.025 ^a	0.090±0.022 ^b	0.052±0.008	0.045±0.013	0.093±0.032
PS20	0.137±0.012 ^b	0.115±0.040 ^b	0.077±0.021 ^{ab}	0.051±0.015	0.059±0.025	0.098±0.032
PS30	0.088±0.013 ^a	0.084±0.017 ^{ab}	0.046±0.005 ^a	0.036±0.030	0.068±0.013	0.121±0.029
C	0.117±0.037 ^b	0.061±0.005	0.073±0.011 ^{ab}	0.033±0.003	0.059±0.011	0.076±0.013
P10	0.070±0.007 ^a	0.035±0.005	0.051±0.002 ^a	0.047±0.008	0.050±0.008	0.087±0.003
P20	0.117±0.011 ^b	0.066±0.015	0.092±0.032 ^b	0.043±0.008	0.048±0.017	0.084±0.020
P30	0.081±0.006 ^{ab}	0.053±0.018	0.042±0.004 ^a	0.030±0.002	0.044±0.009	0.101±0.016

Means followed by the same letter in the same column in the same set of supplement are not significantly different according to the Duncan test ($P \geq 0.05$)

แคลเซียมในเห็ดสายพันธุ์ *Pleurotus* ที่ศึกษามีความแตกต่างกันเป็นผลมาจากสายพันธุ์ที่ต่างกันและวัสดุเพาะที่ใช้มีปริมาณแร่ธาตุแตกต่างกัน

ในทุกตัวอย่างปริมาณแคลเซียมทั้งในก้านดอกและครีบดอกของเห็ดรุ่นที่สองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การเติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟต ในวัสดุเพาะไม่มีผลต่อปริมาณแคลเซียมในก้านดอกของเห็ดที่เก็บเกี่ยวในรุ่นแรก ปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในตัวอย่างเห็ดจากวัสดุเพาะที่มีการเติมยิบซัมและภูเขาไมท์ซัลเฟต ปริมาณแคลเซียมในครีบดอกมีปริมาณต่ำกว่าในก้านดอก เช่นเดียวกับก้านดอกเมื่อเทียบต่อน้ำหนักแห้ง การเติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟต ในวัสดุเพาะไม่มีผลต่อปริมาณแคลเซียมในครีบดอกของเห็ดที่เก็บเกี่ยวในรุ่นแรก อย่างไรก็ตามผลการศึกษากการเติมแคลเซียมทั้งในรูป calcium sulfate (gypsum) และ calcium chloride ในน้ำรดเห็ดกระดุม *A. bisporus* ทำให้ปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (Simons and Beelman 1996) ผลการวิจัยนี้แตกต่างจากผลการทดลองของเราอาจเนื่องมาจากรูปแบบการให้แคลเซียมแตกต่างกัน แคลเซียมที่เติมลงในน้ำรดเห็ดอาจจะไม่ถูกดูดซึมลงไปเนื้อเยื่อแต่สะสมบนผิวนอกทำให้ตรวจวัดได้ง่ายกว่า

ในวัสดุเพาะทุกสูตรมีการเติมปูนขาว (CaCO_3) ลงไปเพื่อจุดประสงค์ในการปรับสภาพให้ได้อค่า pH (5.5 ± 6.5) CaCO_3 มีผลต่อค่า pH ในขณะที่ CaSO_4 ไม่มีผลต่อค่า pH มีผลเพียงต่อปริมาณแร่ธาตุ (Yildiz *et al.* 1998; Royse and Sanchez-Vazquez 2003) ซึ่งเสี่ยงจากไฟฟางพาราข้าวซึ่งเป็นสององค์ประกอบหลักในวัสดุเพาะซึ่งอาจเป็นแหล่งของแคลเซียมด้วย *P. ostreatus* อาจไม่สะสมแคลเซียมเพิ่มขึ้นเมื่อมีระดับของแคลเซียมมากอยู่แล้วดังนั้นเป็นไปได้ว่าเมื่อวัสดุเพาะมีระดับของแคลเซียมอิ่มตัวแล้วและดูดซึมเข้าไปเนื้อเยื่ออิ่มตัวแล้ว ดังนั้นการเติมแคลเซียมในวัสดุเพาะเพิ่มขึ้นก็จะไม่มีผลต่อปริมาณแคลเซียมในเนื้อเยื่อ

Chiu *et al.* (1998) ใช้แคลเซียมที่ละลายน้ำได้ (CaCl_2) ในการเพาะ *P. pulmonarius* และพบว่าปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นทั้งในครีบดอกและก้านดอก ซึ่งแตกต่างจากการใช้แคลเซียมในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (calcium carbonate) พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณแคลเซียมในเห็ด ผู้วิจัยเสนอว่าแคลเซียมที่ไม่ละลายน้ำจะถูกนำไปใช้ได้ก็ต่อเมื่อมีการเคลื่อนตัวผ่านทางเมตาบอลิซึมของเห็ด ดังนั้นไอออนของ Ca^{2+} จึงถูกปลดปล่อยช้า ดังนั้นต้องใช้แคลเซียมรูปที่ไม่ละลายน้ำนี้ในปริมาณสูงจึงจะเห็นผลที่ศึกษาการกระตุ้นด้วยแคลเซียม การงานวิจัยของเราแคลเซียมที่เติมในวัสดุเพาะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (ยิบซัม, CaSO_4) ไม่ได้ใช้รูปที่ละลายน้ำได้ CaCl_2 เนื่องจากในทางปฏิบัติในการเพาะเห็ดมักใช้ยิบซัม ดังนั้นการใช้แคลเซียมในรูปที่ไม่ละลายน้ำอาจเป็นสาเหตุทำให้ไม่พบปริมาณแคลเซียมในเนื้อเยื่อแตกต่างกันสำหรับวัสดุเพาะแต่ละสูตร

Table 3.3 แสดงปริมาณซิลิโคนในก้านและครีบดอกเห็ดนางฟ้าที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟต ซิลิโคนสะสมในครีบดอกเห็ดมากกว่าในก้านดอกประมาณ 2 เท่า ระดับของซิลิโคนในเห็ดค่อนข้างต่ำมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างแป้งข้าวซึ่งมีซิลิโคนอยู่ 0.3-0.4mg/g

dry sample (Samadi-Maybodi and Atashbozorg 2006) ข้าวสะสมซิลิคอนที่ยอดและลำต้น มากถึง 10% ของน้ำหนักแห้ง (Ma et al. 2002) ขณะที่รากของ spinach plant มีความเข้มข้นของซิลิคอนประมาณ 4mg/g dry weight และประมาณ 1mg/g ของน้ำหนักแห้งของลำต้น (Gunes et al. 2007) ความแตกต่างของปริมาณซิลิคอนเหล่านี้อาจเนื่องมาจากเห็ดไม่สามารถสะสมซิลิคอนไว้ในเนื้อเยื่อเหมือนกับข้าวและ spinach plant มีรายงานว่าปริมาณในส่วนบนของพืชแปรผันอย่างมากตามชนิดของพืชตั้งแต่ 0.1% ถึง 10.0% ของน้ำหนักแห้ง จากปริมาณซิลิคอนของพืชส่วนบนจึงสามารถแบ่งชนิดของพืชตามการสะสมของซิลิคอนเป็นพืชที่สะสมซิลิคอน silicon accumulator ชนิดที่สะสมปานกลาง intermediate type และชนิดที่ไม่สะสม silicon excluder species เป็นที่รู้กันว่าข้าว (*Oryza sativa*) เป็นพืชชนิดที่สะสมซิลิคอนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด (Ma et al. 2002)

การเติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟต ในวัสดุเพาะสำหรับการผลิต *P. ostreatus* ไม่มีผลต่อปริมาณซิลิคอนในก้านดอกและครีบดอกของ *P. ostreatus* อย่างไรก็ตามปริมาณซิลิคอนในครีบดอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณภูเขาไมท์และภูเขาไมท์ซัลเฟตในวัสดุเพาะเพิ่มขึ้นถึงแม้ว่าจะไม่แตกต่างทางสถิติก็ตาม ความเข้มข้นของซิลิคอนในก้านดอกไม่แตกต่างกันในเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะแต่ละสูตร สำหรับ spinach plants ซิลิคอนสะสมในรากและลำต้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการเติมซิลิคอน ($\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$) ลงไปในดิน (Gunes et al. 2007) ต้นมะเขือเทศที่มีการให้ซิลิคอนบริสุทธิ์ในรูป silicon dioxide ในอัตรา 1g/1L ของสับสเตรต มีซิลิคอนสะสมในรากมากกว่าต้นที่ไม่ได้ใช้ซิลิคอน แต่ในลำต้นปริมาณซิลิคอนไม่แตกต่างกัน (Diogo and Wydra 2007)

ในการศึกษาการเพาะเห็ดนางฟ้า *P. sajor-caju* บนฟางข้าวเจ้าและข้าวสาลีพบว่าปริมาณซิลิคอนในวัสดุเพาะกลับเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเพาะเพิ่มขึ้นในขณะที่องค์ประกอบอื่นๆมีปริมาณลดลงหรือคงที่ ถ้าองค์ประกอบในวัสดุเพาะมีปริมาณลดลงหรือคงที่ก็คาดเดาได้ว่า *P. sajor-caju* ใช้องค์ประกอบนั้นในการเจริญ (Zhang et al. 2002) การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเจริญของเห็ดนางฟ้าไม่ได้ใช้ซิลิคอนซึ่งเป็นได้เช่นเดียวกับกรณีของงานวิจัยนี้

3.5 Effect of silicon and calcium in liquid medium on mycelial growth

Table 3.4 แสดงปริมาณแคลเซียม (mg/g dry wt.) และซิลิคอน (mg/g dry wt.) ในเส้นใย *P. ostreatus* ที่เจริญบนอาหารเหลว WPDY อาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละสูตรประกอบด้วยอาหารเหลว WPDY ที่ไม่มีการเติมแคลเซียมหรือซิลิคอนเพิ่มเติม อาหารเหลว WPDY ที่มีการเติม CaSO_4 ที่สองระดับความเข้มข้น (5, 10mg/l) อาหารเหลว WPDY ที่มีการเติม Na_2Si_3 ที่สองระดับความเข้มข้น (5, 10mg/l) และที่มีการเติม Na_2Si_3 และ CaSO_4 อย่างละ 5mg/l ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้อาหารเหลว WPDY เนื่องจากมีการรายงานว่าเส้นใย *P. ostreatus* ที่เลี้ยงบนอาหารเหลวชนิดนี้ให้ค่า biomass สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ potato-dextrose (PD) และ potato-dextrose-yeast extract (PDY) (Serafin Munˆoz et al. 2006) หลังจากเส้นใยเจริญเต็มผิวหน้าของอาหารเหลวแล้วเส้นใย

ถูกทำให้แห้ง บดเป็นผงละเอียด แล้วย่อยด้วยกรด (acid-digested) วัดปริมาณแคลเซียมและซิลิคอนโดยใช้ ICP แคลเซียมในอาหารเลี้ยงเชื้อถูกดูดซึมเข้าสู่เส้นใย 1,000 เท่าของซิลิคอน ที่จริงแล้วซิลิคอนในเนื้อเยื่อมีปริมาณน้อยมาก สามารถวัดได้แต่ค่าความแปรปรวนสูง จาก **Table 3.4** จะเห็นว่าแคลเซียมที่เติมลงไปไม่มีผลโดยตรงกับปริมาณแคลเซียมที่วัดได้ในเส้นใย ถึงแม้ว่าทุกระดับความเข้มข้นแคลเซียมและซิลิคอนที่เติมลงไปไม่มีผลในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย ปริมาณแคลเซียมในเส้นใยที่เลี้ยงบนอาหารเหลว WPDY ที่ไม่มีการเติมแคลเซียมหรือซิลิคอนดูเหมือนจะมีปริมาณน้อยกว่าในตัวอย่างที่เติมแคลเซียมและซิลิคอนแต่ค่าที่วัดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมของตัวอย่างที่เติมแคลเซียมที่ 5mg/l กับที่ 10mg/l ก็ไม่พบว่ามีค่าแตกต่างกัน การทดลองนี้ให้ผลคล้ายกับข้อ 3.4 ที่ไม่พบว่าแคลเซียมและซิลิคอนที่เติมลงไปมีผลกับปริมาณแคลเซียมและซิลิคอนในเนื้อเยื่อทั้งในเส้นใยและดอกเห็ด มีความเป็นไปได้ว่าทั้งในเนื้อเยื่อเส้นใยและดอกเห็ดไม่สะสมซิลิคอน ขณะที่แคลเซียมนั้นถูกสะสมในเนื้อเยื่อแต่ที่ไม่เห็นความแตกต่างเมื่อมีการเติมแคลเซียมในรูป CaSO_4 อาจเป็นผลเนื่องมาจากในอาหารเหลว WPDY หรือในวัสดุเพาะมีแคลเซียมเพียงพอในการเจริญของเส้นใยการเติมเข้าไปอีกจึงไม่มีผลเพราะระดับแคลเซียมในเนื้อเยื่อถึงระดับอิ่มตัวแล้ว การที่เราจะใช้อาหารเหลวหรือวัสดุเพาะนั้นเป็นไปได้ยากเพราะนอกจากแคลเซียมจำเป็นต่อการเจริญของเส้นใย และไม่สามารถหลีกเลี่ยงแคลเซียมที่มีอยู่ตามธรรมชาติซึ่งอยู่ในวัสดุเพาะได้

3.6 Drip loss values and solid content

ถึงแม้ว่าการเติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟต ในวัสดุเพาะสำหรับการผลิต *P. ostreatus* ไม่มีผลต่อการสะสมแคลเซียมและซิลิคอนในดอกเห็ด การใช้ยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟต มีอิทธิพลต่อค่า centrifugal drip loss และ solid content ดังแสดงใน **Figure 3.2** ค่า drip loss ของครีบบและก้านดอกของเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่มีการเติมยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟตมีค่าสูงกว่าค่า drip loss ของตัวอย่างควบคุม ยิ่งปริมาณยิบซัม ภูเขาไมท์ และภูเขาไมท์ซัลเฟตในวัสดุเพาะมีค่าสูงขึ้นค่า drip loss ของครีบบและก้านดอกยิ่งสูงขึ้น ตัวอย่างเช่นเมื่อปริมาณแคลเซียมและซิลิคอนในวัสดุเพาะเพิ่มขึ้นค่า centrifugal drip loss เพิ่มขึ้น เช่น ในกรณีของ G5 และ G10 ซึ่งปริมาณแคลเซียมเพิ่มจาก 9.4 เป็น 18.9g/kg ของนน.วัสดุเพาะ และในกรณีของ P10 และ P30 ซึ่งปริมาณซิลิคอนเพิ่มจาก 48.6 to 145.9g/kg ของนน.วัสดุเพาะ (ด้วยปริมาณแคลเซียม <2.2 g/kg ของนน.วัสดุเพาะ) ในกรณี PS10 และ P30 ปริมาณซิลิคอนแปรผันจาก 24.3 เป็น 72.9g/kg ของนน.วัสดุเพาะ และปริมาณแคลเซียมแปรผันจาก 8.5 เป็น 25.5g/kg ของนน.วัสดุเพาะ ในกรณีของ G10 ซึ่งมีปริมาณแคลเซียม 18.9g/kg ของนน.วัสดุเพาะ และ PS10 ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมน้อยกว่า G10 ครั้งหนึ่ง (8.5g/kg ของนน.วัสดุเพาะ) แต่มีซิลิคอน (24.3g/kg ของนน.วัสดุเพาะ) ค่า drip loss ของ

G10 และ PS10 มีค่าใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าทั้งแคลเซียมและซิลิโคนในวัสดุเพาะมีอิทธิพลต่อค่า drip loss

การละลายน้ำแข็งในอาหารแช่เยือกแข็งทำให้น้ำในเนื้อเยื่อแยกตัวออกจากโครงสร้างอาหารทำให้เกิดค่าที่เรียกว่า % drip loss และการสูญเสียเนื้อสัมผัส โดยหลักการแล้วผักผลไม้สดที่มีการ pre-treatment โดยแคลเซียมก่อนกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความเย็นหรือความร้อนช่วยทำให้ผนังเซลล์แข็งแรงซึ่งช่วยลดการทำลายผนังเซลล์ขณะการละลายน้ำแข็งทำให้การปลดปล่อยน้ำหรือค่า drip loss ลดลง มีรายงานอิทธิพลของ pre-treatments และ long และ short-term frozen storage ต่อคุณภาพของราสเบอร์รี่ แสดงให้เห็นว่าการใช้แคลเซียมในการ pre-treatments ก่อนการแช่เยือกแข็งช่วยลดการสูญเสียเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาตลอดจนลดค่า % drip loss (Souza et al. 2005) ในกรณีของ *P. ostreatus* แคลเซียมที่เติมลงไปวัสดุเพาะมีอิทธิพลต่อเนื้อเยื่อของเห็ดแตกต่างจากพืชอื่นๆ ในงานวิจัยนี้ปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างควบคุมไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมแต่ค่า drip loss และ solid content ของเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมแคลเซียมสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมแคลเซียม ผลการทดลองนี้บ่งบอกว่าแคลเซียมและที่เติมลงไปไม่ได้ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรงขึ้นแต่การที่ค่า drip loss สูงขึ้นบ่งบอกว่าตัวอย่างที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมแคลเซียมและซิลิโคนมีน้ำอิสระ (free water) ในเนื้อเยื่อมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ค่า centrifugal drip loss มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความชื้นในตัวอย่าง ซึ่งสัมพันธ์อีกต่อหนึ่งกับค่า solid content จะเห็นได้ว่าก้านดอกเห็ดมีค่า solid content สูงกว่าแต่ค่า centrifugal drip loss ต่ำกว่าครีบอกเห็ด ค่า solid content ของครีบอกและก้านดอกเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมยิบซัม ภูเขาไมท์และภูเขาไมท์ซัลเฟตสูงกว่า solid content ของตัวอย่างควบคุม ค่า solid content ของทั้งก้านดอกและครีบอกเพิ่มขึ้นเมื่อภูเขาไมท์ซัลเฟตในวัสดุเพาะเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณยิบซัมในวัสดุเพาะมีแนวโน้มในการเพิ่ม solid content ของดอกเห็ด ถึงแม้จะไม่แตกต่างทางสถิติ การเพิ่มปริมาณภูเขาไมท์ในวัสดุเพาะไม่เพิ่ม solid content ในดอกเห็ด แสดงให้เห็นว่าปริมาณแคลเซียมวัสดุเพาะจำเป็นต่อการเพิ่ม solid content ของดอกเห็ด ค่า solid content ของดอกเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่มียิบซัมและภูเขาไมท์มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน

ปริมาณความชื้นของ *P. ostreatus* ที่เพาะบนฟางข้าวสาลีที่มีการเติม sugar beet มีค่า 90.7% (หรือค่า solid content เท่ากับ 9.3%) (Bonatti et al. 2004) ค่า solids content ของครีบอกเห็ดเห็นนี้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากงานวิจัยของเรา อิทธิพลของการเติมแคลเซียมต่อค่า solid content มีรายงานแตกต่างกันในแต่ละงานวิจัยเนื่องจากสภาวะในการทดสอบแตกต่างกัน Simons and Beelman (1996) พบว่าการเติม 0.3% calcium chloride ในน้ำรดเห็ดเพิ่มค่า solid content ของเห็ด *A. bisporus* อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ขณะที่อีกรายงานหนึ่งโดย

Chikthimmah *et al.* (2005) การใช้ 0.3% calcium chloride ในน้ำรดเห็ดไม่มีผลต่อค่า solid content ของเห็ด *A. bisporus*

ชนิดของวัสดุเพาะมีผลต่อค่า solid content ของ *Pleurotus spp.* ดอกเห็ด *P. sajor-caju* CCB 019 มีค่าปริมาณความชื้น เมื่อเพาะในฟางข้าว (Bonatti *et al.* 2004) การเติม micronutrients ในวัสดุเพาะอาจลด solid ของเห็ด Weil *et al.* (2006) พบว่าค่า solid ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเติม 276mg/kg manganese (crop 3010) และ 92mg/kg manganese (crop 3011) ในวัสดุเพาะ *A. bisporus*

ในการศึกษานี้ถึงแม้ไม่พบว่าแคลเซียมและซิลิคอนสะสมในเนื้อเยื่อของเห็ดเมื่อการเติมยิบซัม ภูเขาไมท์หรือภูเขาไมท์ซัลเฟตลงในวัสดุเพาะ แต่มีผลในการเพิ่มค่า drip loss และ solid content การเพิ่มขึ้นของค่า centrifugal drip loss บ่งบอกว่าการเติมยิบซัม ภูเขาไมท์หรือภูเขาไมท์ซัลเฟตลงในวัสดุเพาะ ทำให้เนื้อเยื่อเห็ดสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของค่า solid content อาจบ่งบอกได้ว่าเป็นผลจากการที่เส้นใยเห็ดซึ่งรวมตัวเป็นเนื้อเยื่อเห็ดมีความหนาแน่นมากขึ้นหรือมีผนังหนาขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งเรื่องนี้ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอีก

3.7 Scanning electron microscope (SEM)

Figure 3.3 แสดง microstructures ของภาคตัดขวางของก้านและดอกเห็ดหลังจากการบรรจุกระป๋อง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนสัณฐานภาพ hyphae ที่มีรูอยู่ตรงกลาง หลังจากการให้ความร้อนที่ 121°C เป็นเวลา 15min พบเยื่อสีขาวบริเวณตรงกลาง hyphae ทั้งตัวอย่างครีบก้นและก้านดอก เยื่อสีขาวที่ออกมาคาดว่าเป็น polysaccharides ภายใน hyphae ที่หลุดออกมา polysaccharides ทำให้ความยืดหยุ่นหายไป นอกจากนี้ยังพบผนัง hyphae บางอันเสียรูป มีรายงานการเสียรูปของผนัง hyphae ที่อ่อนตัวกับการสูญเสียองค์ประกอบของเซลล์ใน *A. bisporus* ที่ผ่านความร้อน (Zivanovic *et al.* 2000) และใน winter mushrooms (*Flammulina velutipes*) (Ko *et al.* 2007)

hyphae ของก้านดอกจับตัวกันหนาแน่นกว่า hyphae ในครีบก้นซึ่งสัมพันธ์กับค่าความแน่นเนื้อของก้านดอกที่มีค่าสูงกว่าในครีบก้น แสดงให้เห็นว่ายิ่ง hyphae จับตัวกันแน่นค่าความแน่นเนื้อจะมีค่าสูงขึ้น Zivanovic *et al.* (2000) รายงานว่าการอ่อนตัวของ *A. bisporus* ที่ผ่านความร้อน สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของช่องว่างระหว่างเซลล์ (hyphae) hyphae ของเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่มีการเติมซิลิคอนและ/หรือแคลเซียมมีลักษณะการเกาะตัวกันหนาแน่นกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งจับตัวกันหลวมกว่าและบางส่วนมีการเสียรูป อิทธิพลของการเติมซิลิคอนและ/หรือแคลเซียมในวัสดุเพาะต่อการเกาะตัวกันที่หนาแน่นขึ้นของ hyphae เห็นได้ชัดเจนในตัวอย่างก้านดอกหลังการแปรรูปด้วยความร้อน หลังจากกระบวนการให้ความร้อนผนัง hyphae เกาะติดกับ hyphae ข้างๆ

การเกาะติดกันของ hyphae มีรายงานใน *A. bisporus* ที่ผ่านความร้อน (Zivanovic et al. 2000) Hyphae ของเห็ดที่เพาะวัสดุเพาะที่มีการเติมซิลิโคนและ/หรือแคลเซียมมีลักษณะการเกาะตัวกันหนาแน่นกว่าตัวอย่างควบคุมสัมพันธ์กับค่าความแน่นเนื้อที่สูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่มีรายงานใน **Table 3.5** อย่างไรก็ตามผลแบบนี้ไม่พบในตัวอย่างครีบบอกเห็ดอาจเป็นผลมาจากการที่ hyphae ในครีบบอกเกาะตัวกันหลวมขณะที่ hyphae ของก้านดอกรวมตัวกันหนาแน่นกว่า นอกจากนี้เนื้อเยื่อของครีบบอกมีความอ่อนตัวกว่าก้านดอกทำให้เสียสภาพได้มากกว่าเมื่อผ่านความร้อน

3.8 Quality attributes of canned and frozen mushrooms

ตามค่า drip loss และ ค่า solid content ที่สูง เห็ดที่เพาะบนวัสดุเพาะที่มียิบซัม 10% ภูเขาไมท์ซัลเฟต 30% และภูเขาไมท์ 30% ถูกนำมาแปรรูปเป็นเห็ดกระป๋องแล้วประเมินคุณภาพ **Table 3.5** แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ weight gained หลัง draining และค่าความแน่นเนื้อของเห็ดกระป๋องในน้ำเกลือ ค่า weight gained หาได้จากการชั่งน้ำหนักเห็ดในกระป๋องหลังจาก draining เป็นเวลา 2min บนถาดอะลูมิเนียมที่มีรูพรุน แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักเห็ดสดก่อนการแปรรูป พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ weight gained ของเห็ดที่เพาะบนวัสดุเพาะที่เติมยิบซัม ภูเขาไมท์ซัลเฟตและภูเขาไมท์ สูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ weight gained ของตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ผลการศึกษานี้บ่งชี้ว่าถ้าน้ำหนักเห็ดสดก่อนการแปรรูปเท่ากันเห็ดที่เพาะบนวัสดุเพาะที่เติมยิบซัม ภูเขาไมท์ซัลเฟตและภูเขาไมท์ จะให้เห็ดกระป๋องที่มี drain weight มากกว่าตัวอย่างควบคุมประมาณ 20% แสดงถึงประโยชน์ของการเติมแคลเซียมและ/หรือซิลิโคนในวัสดุเพาะเห็ดในการแปรรูปเป็นเห็ดกระป๋อง

ในเรื่องของ size loss พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของครีบบอกหลังการแปรรูปลดลงอย่างมีนัยสำคัญประมาณ 10% ของขนาดเห็ดสดก่อนการแปรรูปในทุกตัวอย่าง ค่าขนาดที่ลดลง (size loss) หลังกระบวนการบรรจุกระป๋องเป็นที่คาดหมายเพราะผักผลไม้สดมักจะหดตัวเมื่อผ่านกระบวนการความร้อน ในกรณีของเห็ดกระดุมบรรจุกระป๋องขนาดเห็ด (loss of grade) ลดลงประมาณ 40% สำหรับเห็ดที่ไม่ผ่านการลวกก่อน และ 20% สำหรับเห็ดที่ผ่านการลวกก่อนแปรรูปด้วยความร้อน (Vivar-Quintana et al. 1999)

ค่าความแน่นเนื้อของครีบบอกและก้านดอกเห็ดบรรจุกระป๋องที่เตรียมจากเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมยิบซัม ภูเขาไมท์ซัลเฟตและภูเขาไมท์สูงกว่าค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างควบคุมสอดคล้องกับค่า weight gained ค่าความแน่นเนื้อสูงสุดวัดได้ในตัวอย่างเห็ดบรรจุกระป๋องที่เตรียมจากเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมภูเขาไมท์หรือซิลิโคน

การเพิ่มขึ้นของค่า drain weight และความแน่นเนื้อของเห็ดบรรจุกระป๋องที่เตรียมจากเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่เติมแคลเซียมและซิลิโคนน่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของความสามารถใน

การอุ้มน้ำที่เพิ่มขึ้นของเห็ดที่เตรียมจากเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่เดิมแคลเซียมและซิลิคอน ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากความหนาแน่นของเส้นใยที่ประกอบเป็นเนื้อเยื่อที่เพิ่มขึ้น

Table 3.6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ weight loss และ size loss และค่าความแน่นเนื้อของเห็ดกระป๋องแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง ค่าการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อซึ่งดูจากค่าเปอร์เซ็นต์ weight loss ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในตัวอย่างเห็ดที่เพาะบนวัสดุเพาะที่มียับยั้ง 10% ภูไมท์ซัลเฟต 30% และภูไมท์ 30% ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดอกเฉลี่ยลดลงหลังการละลายน้ำแข็งซึ่งเกิดจากการการหดตัวของดอกเมื่อสูญเสียน้ำหลังการละลายน้ำแข็งซึ่งแสดงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ size loss ค่าเปอร์เซ็นต์ size loss ในตัวอย่างเห็ดที่เพาะบนวัสดุเพาะที่มียับยั้ง 10% ภูไมท์ซัลเฟต 30% และภูไมท์ 30% มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมแสดงว่าเห็ดที่เพาะบนวัสดุเพาะที่มียับยั้ง 10% ภูไมท์ซัลเฟต 30% และภูไมท์ 30% มีขนาดดอกใหญ่กว่าเห็ดกลุ่มควบคุมหลังการละลายน้ำแข็ง ส่วนค่าความแน่นเนื้อของครีบดอกและก้านดอกเห็ดบรรจุกระป๋องที่เตรียมจากเห็ดที่เพาะในวัสดุเพาะที่เดิมยับยั้ง ภูไมท์ซัลเฟตและภูไมท์สูงกว่าค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างควบคุม

Table 3.4 The calcium content (mg/g dry wt.) and silicon content (mg/g dry wt.) in mycelia of *Pleurotus ostreatus* grown on WPDY medium

Treatment	Calcium content (mg/g dry mycelium)	Silicon content (µg/g dry mycelium)
Ca ₀ Si ₀ (control)	1.161±0.148 ^a	ud*
Si _{Lo}	1.453±0.003 ^{bc}	ud
Si _{Hi}	1.567±0.082 ^c	ud
Ca _{Lo}	1.504±0.096 ^c	ud
Ca _{Hi}	1.423±0.179 ^{abc}	ud
Ca _{Lo} Si _{Lo}	1.220±0.192 ^{ab}	ud

* Under detectable limit

Means followed by the same letter in the same column are not significantly different according to the Duncan test ($P \geq 0.05$)

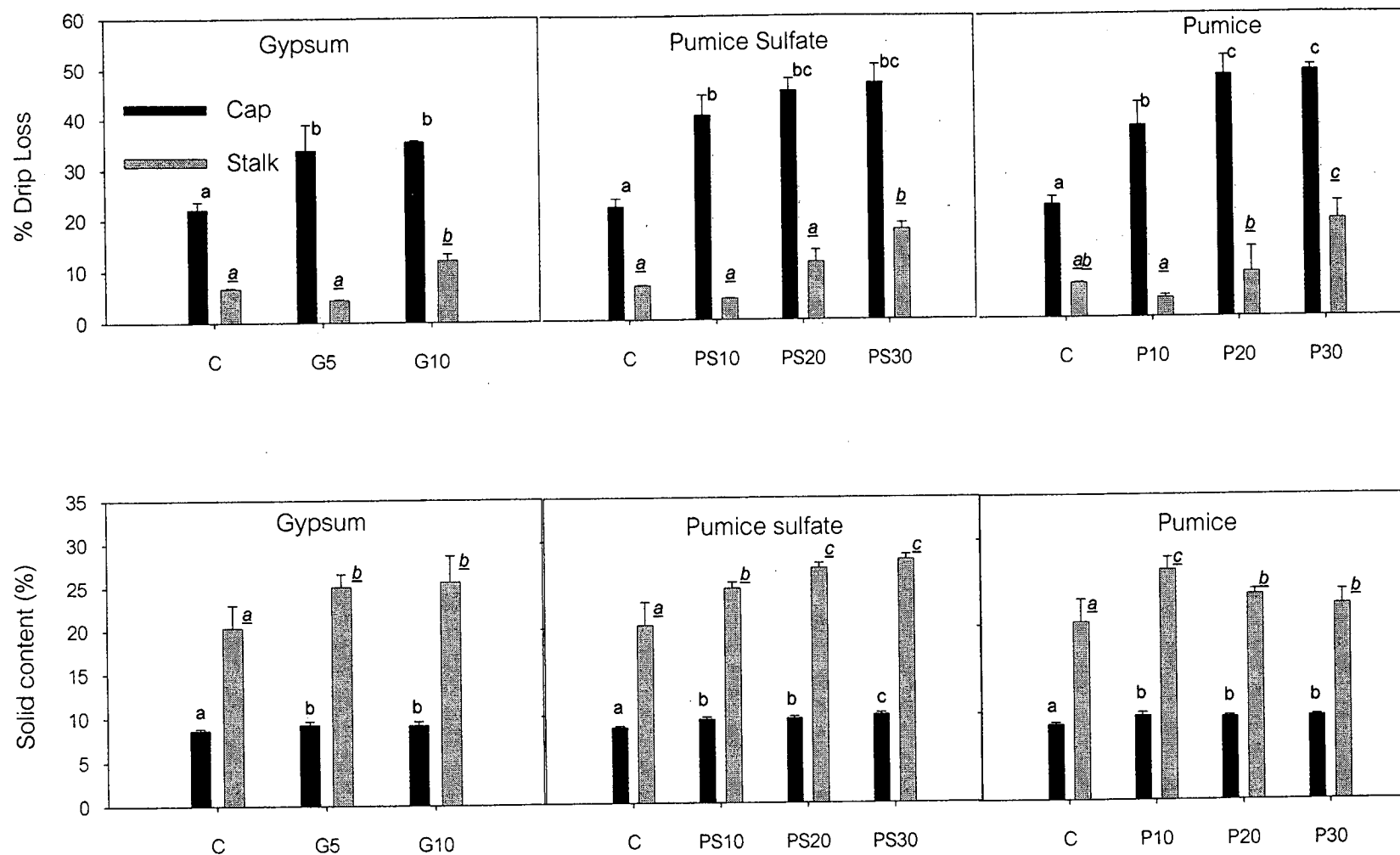


Figure 3.2 The percentage drip loss and solid content of the caps and stalks of oyster mushrooms grown on substrates non-supplemented and supplemented with gypsum, pumice sulfate and pumice. Means followed by the same letter in the same column in the same set of supplement are not significantly different according to the Duncan test ($P \geq 0.05$)

Table 3.5 Percentage of weight gained and size loss and firmness (kgf) of canned mushrooms. Mushrooms were cultivated in substrates supplemented with gypsum, pumice sulfate and pumice.

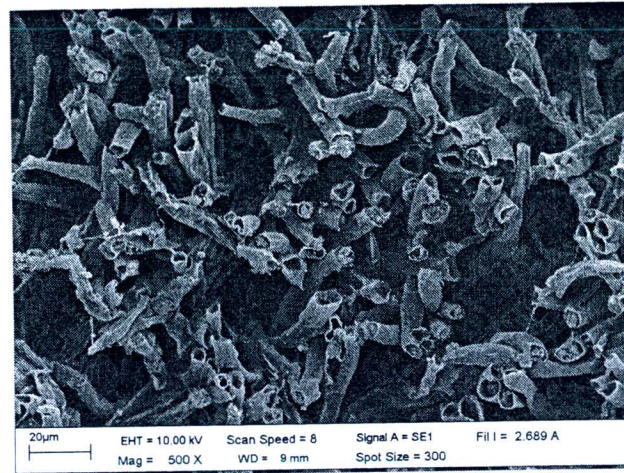
Treatment	Wt. gained (%)	Size loss(%)	Firmness (kgf)	
			Stalks	Caps
Control	5.96±3.75 ^a	11.70±0.77	3.395±0.345 ^a	1.540±0.135 ^a
G10	18.15±2.59 ^b	10.60±0.85	3.977±0.534 ^b	1.802±0.200 ^{bc}
PS30	19.40±5.84 ^b	10.86±0.24	4.415±0.783 ^c	1.867±0.170 ^c
P30	21.20±4.75 ^b	12.08±0.99	4.491±0.668 ^c	1.714±0.149 ^b

Means followed by the same letter in the same column are not significantly different according to the Duncan test ($P \geq 0.05$)

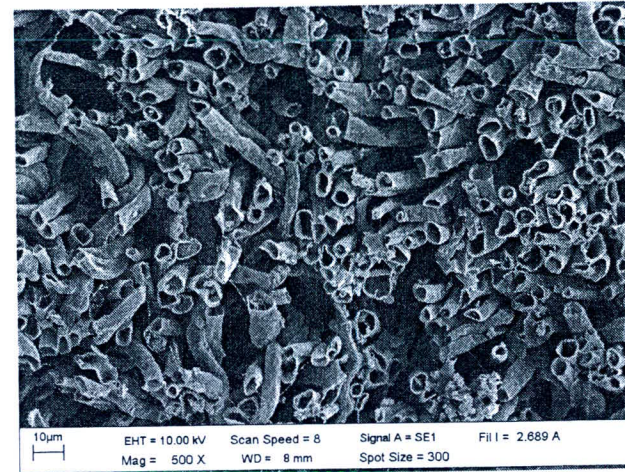
Table 3.6 Percentage of weight loss and size loss and firmness (kgf) of frozen mushrooms. Mushrooms were cultivated in substrates supplemented with gypsum, pumice sulfate and pumice.

Treatment	Weight loss (%)	Size loss(%)	Firmness (kgf)	
			Stalks	Caps
Control	10.23±2.87 ^a	11.18±1.72 ^a	5.547±0.218 ^a	2.180±0.158 ^a
G10	6.79±2.63 ^{ab}	6.20±0.82 ^b	5.906±0.143 ^a	2.291±0.338 ^a
PS30	4.86±1.52 ^b	4.84±0.68 ^b	5.782±0.406 ^a	2.784±0.187 ^b
P30	5.20±1.57 ^b	6.07±0.49 ^b	6.510±0.437 ^b	2.647±0.098 ^b

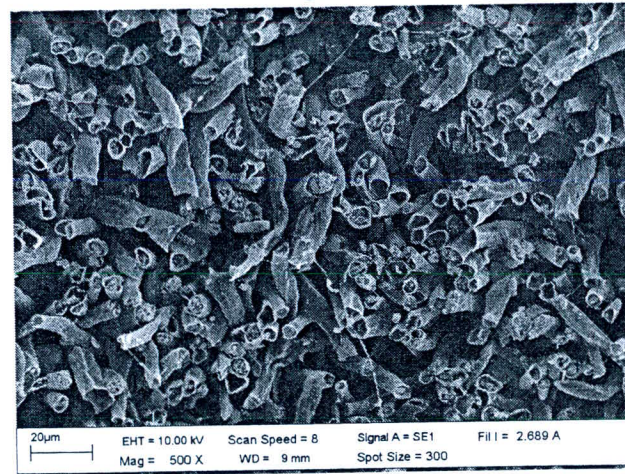
Means followed by the same letter in the same column are not significantly different according to the Duncan test ($P \geq 0.05$)



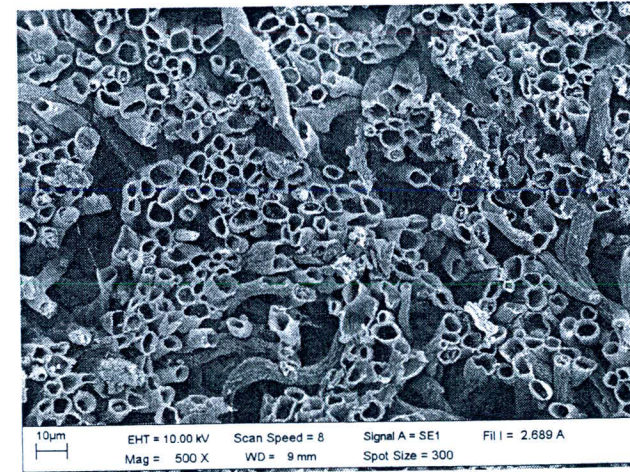
a



b

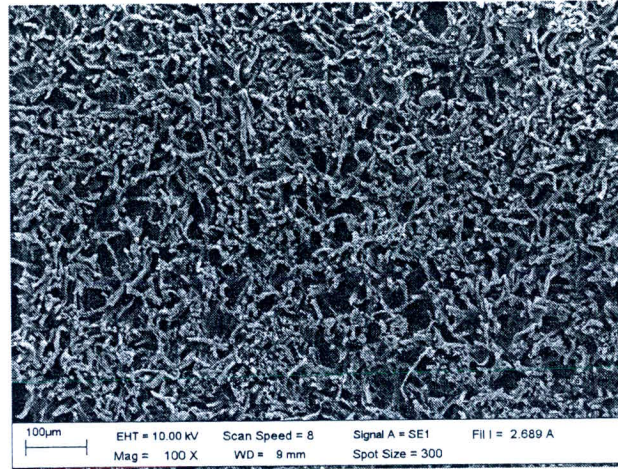


c

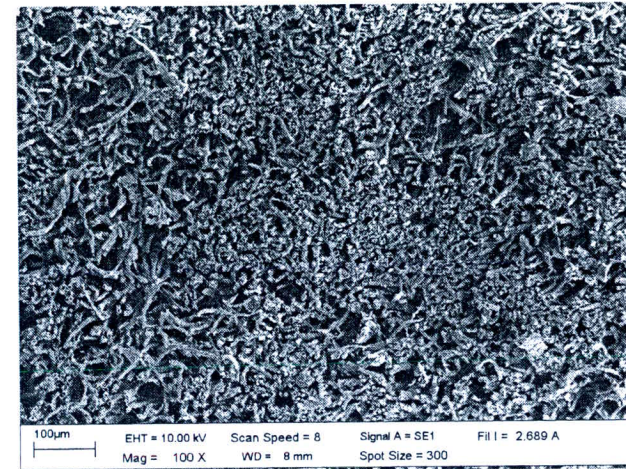


d

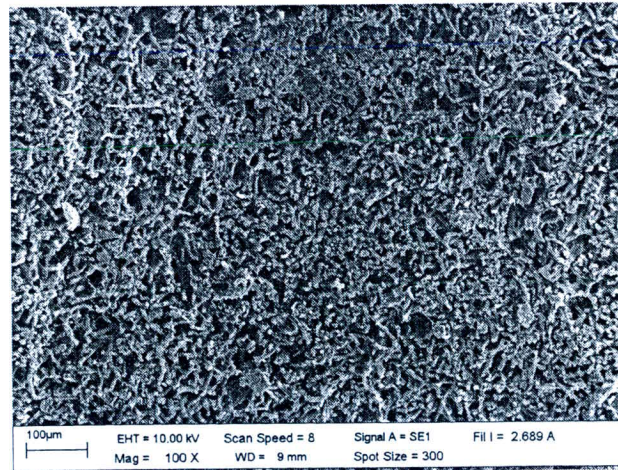
Figure 3.3A Scanning electron micrographs showing a cross section of stalks of *P. ostreatus* grown on substrates non-supplemented (a) supplemented with gypsum (b) pumice sulfate (c) and pumice (d) after thermal treatment (Canned mushroom; 500x magnification). For each sample, the image was the representative image from 3 different samples randomly collected from at least 10 canned mushrooms. Only mushroom caps with diameter of 7 cm and mushroom stalks with 1 cm thickness were chosen.



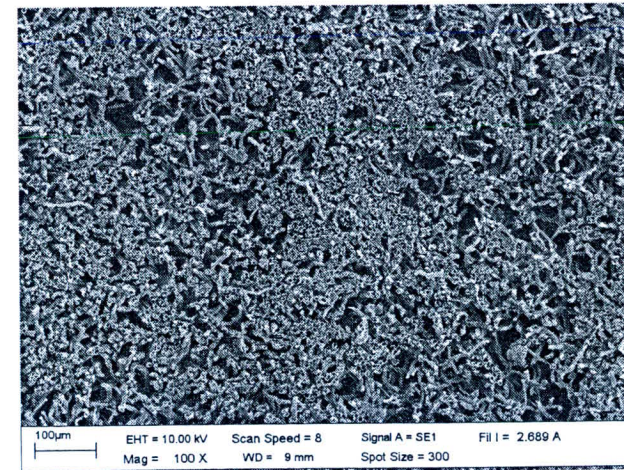
a



b

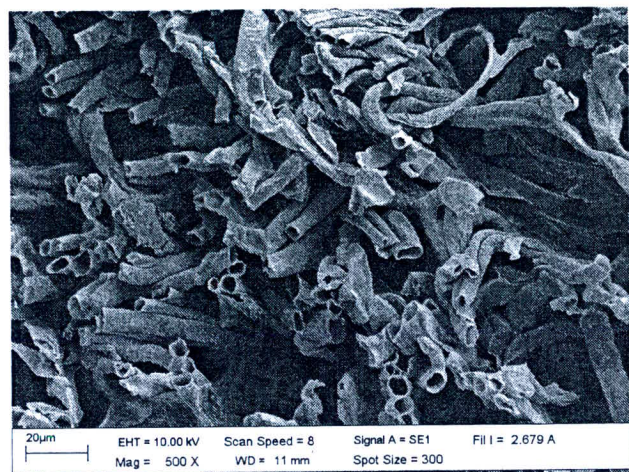


c

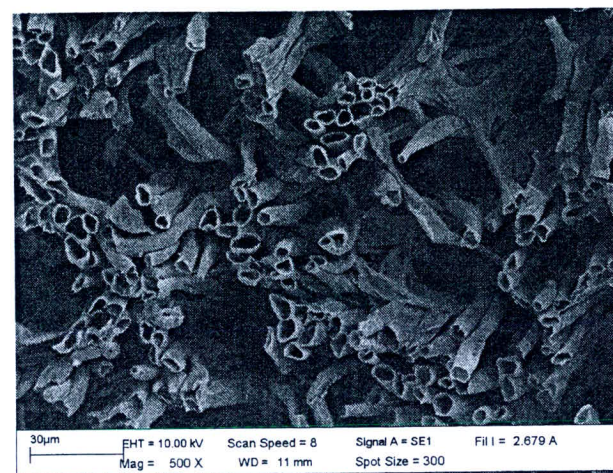


d

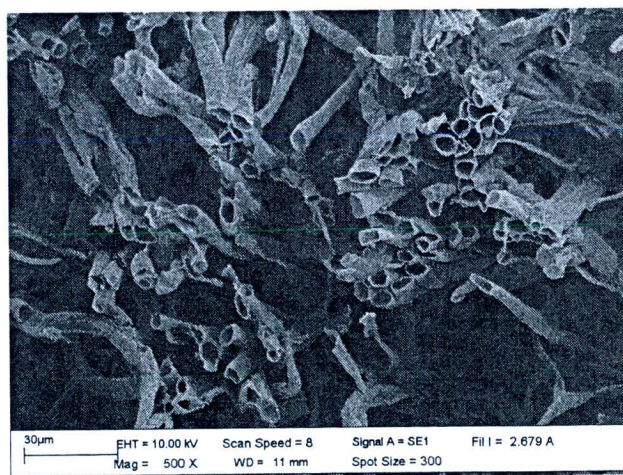
Figure 3.3B Scanning electron micrographs showing a cross section of stalks of *P. ostreatus* grown on substrates non-supplemented (a) supplemented with gypsum (b) pumice sulfate (c) and pumice (d) after thermal treatment (Canned mushroom; 100x magnification).



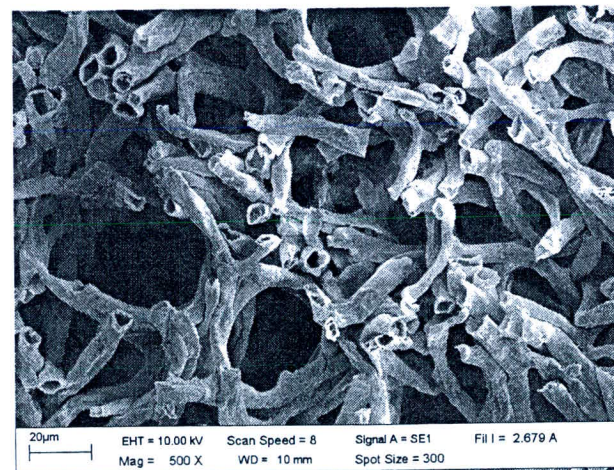
a



b

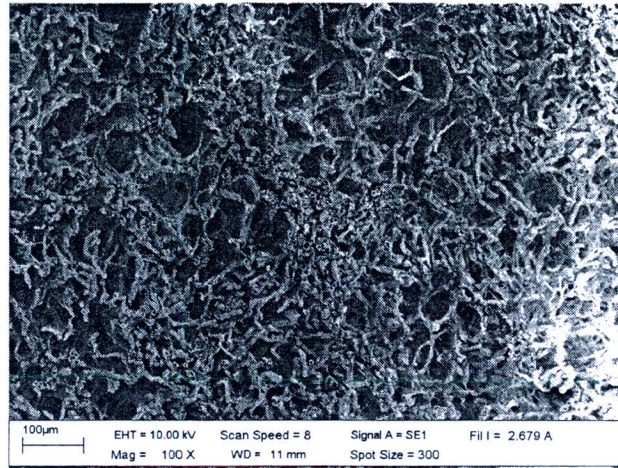


c

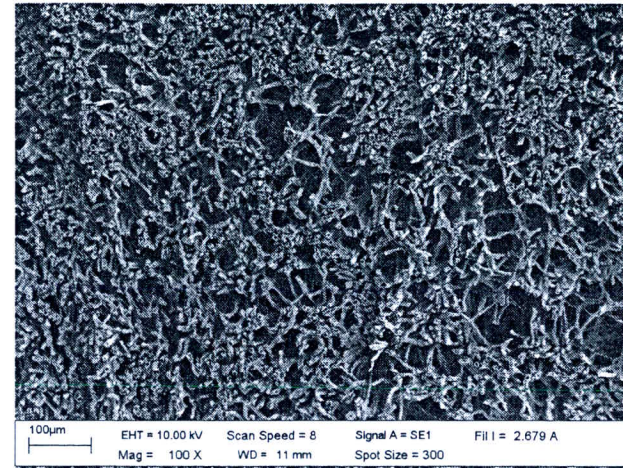


d

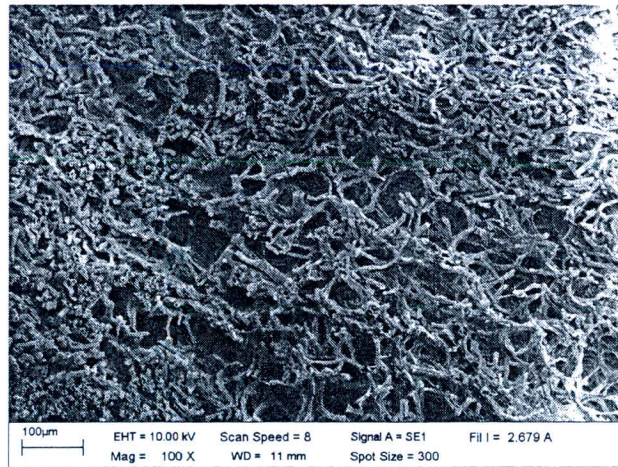
Figure 3.3C Scanning electron micrographs showing a cross section of caps of *P. ostreatus* grown on substrates non-supplemented (a) supplemented with gypsum (b) pumice sulfate (c) and pumice (d) after thermal treatment (Canned mushroom; 500x magnification). For each sample, the image was the representative image from 3 different samples randomly collected from at least 10 canned mushrooms. Only mushroom caps with diameter of 7 cm and mushroom stalks with 1 cm thickness were chosen.



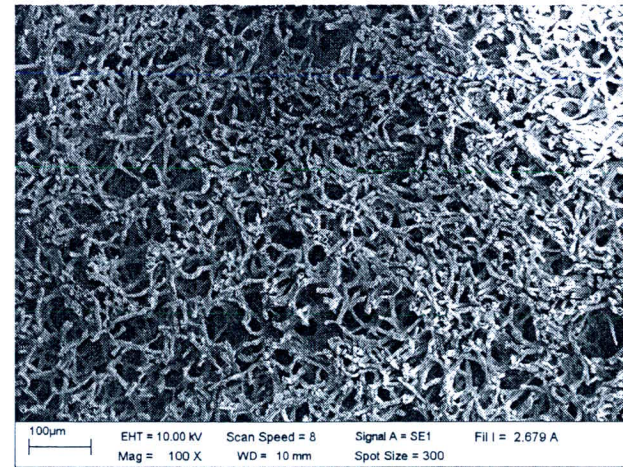
a



b



c



d

Figure 3.3D Scanning electron micrographs showing a cross section of caps of *P. ostreatus* grown on substrates non-supplemented (a) supplemented with gypsum (b) pumice sulfate (c) and pumice (d) after thermal treatment (Canned mushroom; 100x magnification).