

## Parte II Hongos Ostra

### *Capítulo 7*

#### Formas de cultivo

## CULTIVO DE HONGOS OSTRA EN ESTANTES

Con énfasis en la fermentación del sustrato

**Kyung Wha Choi**  
MushWorld

El cultivo de hongos ostra en estantes es un método de producción coreano único. A principios de los años 80's los científicos coreanos adaptaron este método del cultivo de champignon (*Agaricus bisporus*) en estantes. El cultivo de champignon puede resumirse de la siguiente forma: Fase I (fermentación al aire libre), Fase II (pasteurización y acondicionamiento), Fase III (inoculación e incubación), fructificación, cosecha y vaciado. Las características únicas del cultivo en estantes del hongo ostra en Corea incluyen el hecho de que el sustrato se fermenta en tres pasos (pre-fermentación, pasteurización, y post-fermentación) en lugar de hacerlo en el propio estante. Al contrario del proceso de pasteurización que dura entre 2-6 horas en la mayoría de los países, el cultivo en estante requiere la pre-fermentación de los materiales del sustrato al exterior durante 2-3 días, luego la pasteurización a 60-65°C durante 8-10 horas, y finalmente la post-fermentación a 45-55°C durante 3-4 días. Este proceso requiere de un tiempo considerable y genera gastos significativos.

En Corea, los principales métodos de cultivo de hongos ostra son el cultivo en estantes, el cultivo en bolsas y el cultivo en botellas. Los productores coreanos de hongos ostra fermentan los materiales del sustrato para el cultivo en estantes mientras que esterilizan esos materiales en los recipientes para el cultivo en bolsas y en botellas. El champignon (*A. bisporus*) es un descomponedor secundario que requiere la degradación previa de los sustratos por bacterias u otros hongos para poder absorber nutrientes del sustrato. Por otro lado, el hongo ostra (*Pleurotus* spp.) es un descomponedor primario, por lo tanto tiene la habilidad de descomponer y absorber los componentes de los materiales del sustrato que no han sido composteados o degradados. Los productores coreanos normalmente fermentan los materiales del sustrato a pesar de los altos costos de combustible generados durante el proceso de fermentación ya que la misma es definitivamente útil para producir rendimientos altos y hongos ostra de alta calidad. Este artículo discutirá el proceso de cultivo en estantes y los eventos relacionados a los materiales del sustrato durante cada paso de la fermentación.

### Un vistazo al cultivo en estantes

El proceso de cultivo en estantes se resume como sigue, con imágenes

Pre-fermentación > Llenado > Pasteurización y Post-fermentación > Inoculación > Incubación  
> Inducción y Fructificación > Cosecha > Vaciamiento

### Pre-fermentación



**Figura 1.** Pre-fermentación y volteo de residuos de algodón

Como primer paso de la fermentación, la pre-fermentación es una parte de la Fase I del cultivo de champiñones (*A. bisporus*). La mayoría de los granjeros coreanos utiliza la paja de arroz o la cáscara de la semilla del algodón como materiales de sustrato para el cultivo en estantes. El material de sustrato se apila en el exterior y luego se riega. La temperatura de la pila aumenta gradualmente a medida que los microorganismos activados por el agua empiezan a propagarse, reduciendo las moléculas grandes de carbono en moléculas más simples y absorbiéndolas (Shim, 2001). La pila se voltea (Fig. 1) para proporcionar aire fresco y prevenir el sobrecalentamiento. La temperatura disminuye inicialmente después del volteo pero aumenta de nuevo a medida que la actividad de los microorganismos continúa (Shim, 2001). Este paso normalmente

toma 2-3 días y la duración varía dependiendo de los materiales del sustrato. Cuando los científicos coreanos adaptaron este método por primera vez de los métodos de cultivo del champiñon, los granjeros siempre habían pasado por alto este paso. Sin embargo, con el paso del tiempo, ellos entendieron que se podía simplificar la fermentación al aire libre para ahorrar los costos de laboreo. Hoy en día algunos productores solo riegan los materiales de sustrato al aire libre y los mantienen durante la noche, y luego los fermentan a 45-50°C por aproximadamente dos días antes de la pasteurización. Aunque ésta es una versión simplificada, muchos productores, sobre todo los más exitosos, aún ejecutan éste u otro proceso de pre-fermentación con alguna variante.

### Pasteurización y post-fermentación

El sustrato normalmente se pasteuriza a 60°C durante 6-10 horas y entonces pasa por el proceso de post-fermentación a 50-55°C durante 3-4 días. Las temperaturas y tiempos de pasteurización y post-fermentación varían ligeramente según la experiencia del productor.

Algunos productores en otros países pasteurizan los materiales del sustrato. Sin embargo, la pasteurización y post-fermentación para el cultivo en estantes son actividades tecnológicamente intensivas, y a diferencia del cultivo en bolsas, se requieren muchos años de experiencia para lograr una productividad alta. La pasteurización y post-fermentación son factores claves para producir rendimientos altos en el cultivo en estantes. A través de este proceso, el sustrato se vuelve una fuente de alimento más apropiada para los hongos, y se eliminan microorganismos que pueden ser posibles competidores por los nutrientes del sustrato (Shim, 2001).

Previamente, el sustrato pre-fermentado se colocaba en los estantes del cuarto de cultivo y luego sufrían la pasteurización y post-fermentación en el cuarto de cultivo. Sin embargo, el sustrato no fermentaba completamente y la magnitud de la fermentación era diferente según la capa específica del estante porque las diferencias de temperatura en el cuarto de cultivo eran demasiado grandes como para fermentar los materiales del sustrato uniformemente. Además, esta práctica consumía una gran cantidad de combustible. Como resultado, muchos productores hoy en día han construido un cuarto especial que se calienta con vapor para la pasteurización y post-fermentación (Fig. 2). Los cestos llenos con los materiales del sustrato pre-fermentado se apilan (Fig. 3) y pasteurizan y post-fermentan. Gracias a este cuarto, los productores pueden fermentar los materiales del sustrato uniformemente en un espacio relativamente pequeño y ahorrar dinero usando este sistema.



Figura 2, 3. Cuarto para la pasteurización y post-fermentación (granja A y B)

Si el sustrato es pre-fermentado suficientemente al aire libre, su temperatura puede ser un poco alta cuando se le pasa al cuarto. La temperatura dentro del cuarto se aumenta por inyección de vapor y se mantiene a 60°C durante 8-10 horas para lograr la pasteurización. Aunque la temperatura del cuarto se mantenga a 60°C, la temperatura interna del sustrato sube a 65°C. Después de 8-10 horas la temperatura se baja y se mantiene a 48-53°C durante 4-5 días. Algunos productores dicen que cinco días es demasiado tiempo para la post-fermentación y que el sustrato se encuentra demasiado mojado después de cinco días de post-fermentación.

Si el sustrato simplemente se riega al aire libre sin pre-fermentarlo, puede fermentarse en el cuarto antes de la pasteurización. La temperatura del cuarto se debe aumentar despacio por medio de vapor hasta 45°C, luego gradualmente debe levantarse a 46°C, luego a 48°C y finalmente a 53°C durante dos días para lograr la pre-fermentación.

Aunque los principios son los mismos, cada cultivador experto tiene su propia habilidad en este proceso. Algunos productores hacen un esfuerzo adicional para mantener cada parte del sustrato en una temperatura similar para una fermentación completa. La Figura 4 muestra una vista transversal de un cesto lleno de materiales de sustrato. La parte central del sustrato se quita, y haciendo esto, la diferencia de temperatura entre cada parte del sustrato en el mismo cesto puede reducirse a 4°C. De otra forma, la diferencia de temperatura entre la parte más caliente y la más fría en el mismo cesto alcanzaría los 8-10°C lo que impediría una fermentación completa.

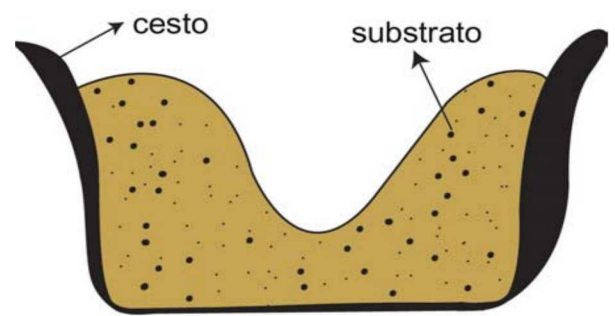


Figura 4. Corte transversal de un cesto

Cuando la pasteurización y la post-fermentación se completan, un color blanco es visible en el sustrato. Éstos son actinomicetes, uno de los termófilos producidos en la última fase de la post-fermentación. Si los actinomicetes existen en cantidades suficientes en el sustrato, puede decirse que el sustrato fue bien fermentado y está apto para el crecimiento de hongos. Los actinomicetes se discutirán más adelante en este artículo.

**Llenado e inoculación**

Después de que la pasteurización y la post-fermentación terminan, el sustrato se pone en los estantes en el cuarto de cultivo. El llenado e inoculación es uno de los procesos más laboriosos en el cultivo en estantes si se hace manualmente. El sustrato post-fermentado se vierte de la caja hacia el estante y esto se repite hasta que cada estante tenga la cantidad asignada de sustrato (Fig. 5). Aunque las diferencias existen, los productores normalmente llenan 15 kg de sustrato seco por metro cuadrado de estante, como es el caso usual con los residuos

del algodón. Como el contenido de humedad del sustrato es de aproximadamente 70%, colocar la cantidad apropiada de sustrato fermentado puede calcularse en 50 kg por metro cuadrado. Sin embargo, este peso varía dependiendo de los productores, los materiales del sustrato, y las estaciones. Si el sustrato elegido es la paja de arroz, se llenan mayores cantidades que si el sustrato fuera residuo de algodón. Se usa más sustrato en invierno que en verano porque el sustrato tiende a sobrecalentarse en verano.

Después del llenado, el sustrato se cubre con una hoja de plástico (Fig. 6) para mantener la humedad, y se deja por una noche (Fig. 7) para que se enfríe. Al día siguiente, cuando el sustrato se ha enfriado por debajo de los 20-25°C, se inocula con aproximadamente 60-70% de la semilla (Fig. 8) y se mezcla completamente con el sustrato en los estantes. El sustrato se extiende entonces uniformemente en los estantes y el restante 30-40% de la semilla se rocía en la superficie del sustrato (Fig. 9). La proporción de inoculación es generalmente más alta para el cultivo en estantes y puede ser hasta el 14% del peso húmedo del sustrato, es decir se inoculan 7 kg de semilla en 50 kg de sustrato por metro cuadrado. El sustrato así formado se cubre con una hoja de plástico que tiene agujeros muy pequeños para ventilación (Fig. 10).

### <Llenado e inoculación manual >



Figura 5. Substrato colocado en estante



Figura 6. Cubriendo el sustrato colocado con hojas de plástico



Figura 7. Enfriando el sustrato toda la noche



Figura 8. Primera inoculación



**Figura 9.** Segunda inoculación después de alisar la superficie



**Figura 10.** Cubriendo con una hoja de plástico después de la inoculación

Estos procesos son de intenso laboreo, por eso algunos productores utilizan equipamiento como la máquina de llenado y la mezcladora para la semilla. La granja A ahorra un 50% de sus costos de laboreo durante la inoculación mediante el uso de una máquina mezcladora. El llenado se hace manualmente un día antes de la inoculación, y 60% de la semilla se inocula por rociamiento (Fig. 11). Luego el sustrato y la semilla son mezclados (Fig. 12) por los alambres de la máquina (Fig. 14), que corre sobre los rieles montados a lo largo de ambos lados de los estantes (Fig. 13). Los rieles de esta máquina están unidos a ambos bordes de los estantes (Fig. 13). Luego el sustrato se alisa (Fig. 15) y el resto de la semilla se rocía en la superficie (Fig. 16).

*<Granja A: Inoculación con máquina mezcladora>*



**Figura 11.** Primera inoculación por rociamiento



**Figura 12.** Mezclado del sustrato y la semilla



**Figura 13.** Rieles para la máquina en el borde del estante



**Figura 14.** Alambres para mezclar en la máquina



**Figura 15.** Alisado del sustrato después de mezclar



**Figura 16.** Segunda inoculación en la superficie

La granja B ahorra mucho laboreo usando una máquina para el llenado (Fig. 17). En este caso, el llenado y la inoculación se hacen simultáneamente. El sustrato post-fermentado se deja una noche para su enfriamiento hasta 20-25°C, temperatura apropiada para la inoculación, y luego el sustrato en cestos se vuelca en la máquina de llenado (Fig. 18) de donde se mueve hacia los estantes por medio de la cinta transportadora de la máquina. En cuanto el sustrato cae sobre la malla tejida en el estante, dos obreros rocían semilla, la mezclan con el sustrato, y lo alisan a mano en ambos lados del estante (Fig. 19). Este procedimiento tarda algún tiempo, por eso otro obrero controla la velocidad de la máquina de llenado (Fig. 20). Cuando el sustrato se alisa, la malla tejida bajo el sustrato es remolcada hacia el otro extremo del estante (Fig. 21, 22). El resto de la semilla se rocía luego en la superficie del sustrato.

#### <Granja B: Llenado a máquina>



**Figura 17.** Máquina de llenar



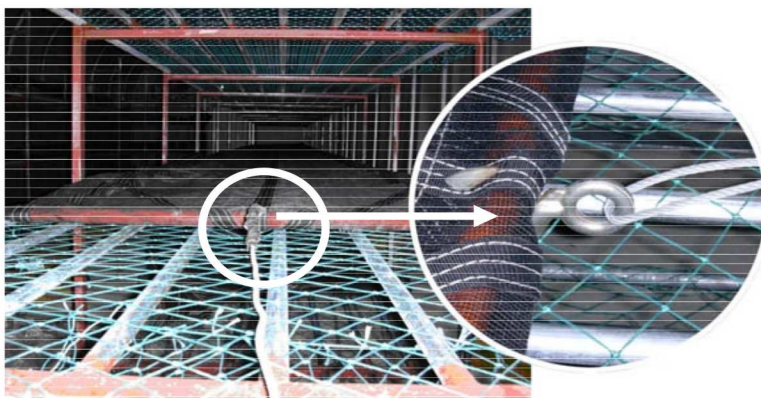
**Figura 18.** Llenado del sustrato



**Figura 19.** Inoculación y mezclado del sustrato en los estantes



**Figura 20.** Control de la máquina de llenar



**Figura 21.** Remolcado del sustrato hacia el extremo del estante



**Figura 22.** Máquina de remolque

## Incubación

El sustrato inoculado se cubre con una hoja de plástico y se incuba durante 17-23 días. La temperatura debe mantenerse a 20-22°C durante la primera fase, y luego se aumenta gradualmente a 25°C. A medida que avanza la incubación, el sustrato emite calor por sí mismo debido al crecimiento del micelio. Por consiguiente, la temperatura debe establecerse en 22-23°C aunque la temperatura óptima para el crecimiento del micelio del hongo ostra es de 25°C (Cha *et al.*, 1997). El micelio no requiere mucha ventilación durante el crecimiento vegetativo, pero se debe tener presente que sí necesita oxígeno suficiente durante esta fase.

## Inducción y fructificación

Cuando el micelio del hongo ha colonizado el sustrato por completo (Fig. 23), el ambiente en el cuarto de cultivo se ajusta y se hace apropiado para el crecimiento reproductivo y la fructificación. Para inducir la fase de crecimiento reproductivo, se implementan factores como aplicar luz, producir un shock frío, mantener una humedad relativa alta, y proporcionar bastante oxígeno. Se levantan los niveles de luz a 80-120 lux, suficiente como para leer un periódico, durante 3-4 días antes de que la hoja de plástico sea quitada para ventilación. Se baja la temperatura del cuarto de cultivo a 15-18°C, pero la temperatura óptima para la inducción varía de 10-24°C y

depende de las especies y cepas (Cha *et al.*, 1997). Los productores deben ser conscientes de las características de las especies y cepas que están cultivando. Dentro del cuarto de cultivo se debe mantener una humedad relativa tan alta como 85-95% regando una o dos veces por día. A los pocos días se deben observar las cabezas de alfiler o primordios (Fig. 24) y deben desarrollar rápidamente hasta su tamaño completo.



**Figura 23.** Estante totalmente lonizado



**Figura 24.** Cabezas de alfiler (primordios) del hongo ostra



**Figura 25.** Cuerpos fructíferos creciendo en las zonas perforadas

Algunos productores cubren los estantes enteros con hojas de plástico negro perforadas con agujeros de 5-10 cm cada 10-15 cm. Para la inoculación, 60-70% de la semilla se mezcla en el estante entero, luego se cubre con la hoja de plástico perforada y el resto de la semilla se inocula en los agujeros. Entonces, el estante tiene 80% de área cubierta y 20% de área perforada. Los cuerpos fructíferos sólo crecen en las partes perforadas (Fig. 25), en racimos. El cubrimiento con una hoja de plástico proporciona muchos beneficios. Reduce el laboreo durante la cosecha y el aborto de primordios pequeños, y produce hongos de calidad, buen color y con tallos largos que se comercializan mejor en Corea y lo más importante, produce rendimientos mayores (Oh *et al.*, 2003b). Además, es eficaz para prevenir enfermedades como la mancha marrón bacteriana y varias enfermedades fúngicas previniendo la invasión de patógenos y reduciendo las áreas encharcadas en los estantes (Oh *et al.*, 2003a).



**Figura 26.** Hongos ostra en estante convencional



**Figura 27.** Hongos ostra con cubierta de vinilo

## Cosecha

Los hongos ostra se cosechan cuando han crecido hasta su tamaño completo. Se cosechan varias oleadas ya que la abundante cantidad de substrato en los estantes tiene suficientes nutrientes para el hongo ostra aún después de varias cosechas. La mayoría de los productores cosechan 3-4 oleadas del estante, y aproximadamente 50% del rendimiento proviene de la primera oleada. La eficiencia biológica acumulada alcanza el 100%, pero fluctúa según las estaciones. Después de 3-4 oleadas (flushes), el estante todavía puede producir más hongos debido a la

existencia de suficientes nutrientes en los estantes. Sin embargo, cosechar más de 3-4 oleadas no es económicamente razonable en Corea donde la tierra y los costos de laboreo son muy altos y donde se requieren gastos elevados en combustible para el control de las condiciones del cuarto de cultivo, en verano para refrescar y en invierno para calentar. En países con costos de tierra y laboreo bajos y con climas tropicales o sub-tropicales podrían cosecharse más oleadas, y en esas situaciones la eficiencia biológica podría alcanzar proporciones mucho más altas.

Los hongos ostra provenientes del cultivo en estantes se consideran de calidad superior a los de cultivo en bolsa o botella debido a los ricos nutrientes disponibles en los estantes para los hongos. Este producto de alta calidad también genera más dinero. En el mercado de hongos coreano, los hongos ostra de alta calidad son normalmente tres veces más caros que los de baja calidad.

### Vaciado

Cuando el sustrato ha producido una cantidad económicamente razonable de hongos, los estantes se vacían. El vaciado es también muy laborioso, pero muchos productores han descubierto métodos más convenientes para ahorrar trabajo. En principio se pasa vapor al sustrato en los estantes y luego se retira. Sin embargo, muchas granjas sólo tienen un generador de vapor en el cuarto usado para la pasteurización y post-fermentación, así que los cuartos de cultivo son desinfectados con fungicidas o insecticidas como solución de formalina diluida, Benlate, o Panmashi. El sustrato gastado o residual se retira de la granja para prevenir la infección de las nuevas cosechas. A veces los sustratos residuales se utilizan como forraje para cerdos.

### Fermentación, el Arte de los Microorganismos

La siguiente sección fue extractada y traducida de 'La esencia del cultivo de hongos - Fermentación del Substrato' (en coreano), escrito por el Dr. Moon-soo Shim y citada aquí con el permiso del autor.

Puede definirse la fermentación como el proceso por el cual la actividad de enzimas de microorganismos convierten o descomponen materias orgánicas en productos finales únicos. Sin embargo, la fermentación en el cultivo de hongos puede definirse como la conversión de los nutrientes del sustrato en proteínas por medio de microorganismos.

### Selección del material del sustrato

Los hongos champiñones crecen naturalmente sobre materiales con un contenido de nitrógeno relativamente alto como el estiércol de caballo (1.8% nitrógeno) y paja de trigo (0.65% nitrógeno). La proporción de C:N óptima para cultivar champiñones es 17:1. Por otro lado, los hongos ostra y los shiitake crecen sobre madera con una fuente de nitrógeno relativamente baja, en la cual la proporción de C:N es 350 a 500: 1. La proporción óptima de C:N difiere según las especies de hongos. Por consiguiente, la proporción de C:N del material del sustrato debe ser lo primero a considerar en la preparación del sustrato.

**Tabla 1. Comparación de la composición de distintos materiales de sustrato (%)**

Materiales	pH	Celulosa	Lignina	Carbón Total	Nitrógeno Total	Proporción de C:N
Residuos de Algodón	6,2	73	6	24	0,41	59:1
Paja de Arroz	6,7	42	13	46	0,63	72:1
Paja de Trigo	6,9	48	20	47	0,48	97:1
Mazorca de maíz	7,2	47	25	47	0,48	97:1
Aserrín	5,5	54	29	49	0,1	491:1

Como se ve en la Tabla 1, el material de sustrato principal por sí solo a veces no puede proporcionar el suficiente nitrógeno necesario para el crecimiento óptimo de los hongos, por ello se suplementan aditivos como el salvado de arroz y de trigo como fuentes de nitrógeno. Las cantidades suplementadas varían dependiendo del sustrato escogido. Si se utiliza el residuo del algodón, se agrega una cantidad menor de suplemento de nitrógeno que si se usa paja del trigo.

La proporción de C:N también es importante porque afecta el proceso de fermentación. A través del proceso de fermentación, se convierte nitrógeno en nitrógeno amoniacal, inhibiendo el crecimiento micelial del hongo así como haciendo disponible el nitrógeno para el micelio. Si el nitrógeno disponible aumenta, el nitrógeno amoniacal también aumenta, y el nitrógeno amoniacal disminuye cuando el nitrógeno disponible disminuye. Por consiguiente, la cantidad de amoníaco producida por la fermentación debe ser considerada en la selección del sustrato. La Tabla 2 muestra los resultados de la comparación de los rendimientos del hongo ostra después de la suplementación con cantidades diferentes de salvado de arroz. A medida que el suplemento con salvado de arroz aumenta, el nitrógeno total y el nitrógeno amoniacal aumentan y como resultado se afecta el rendimiento de los hongos ostra. Cuando se agregaron 0.98% de nitrógeno total, la cantidad de nitrógeno amoniacal (28 ppm) fue demasiado poco como para influenciar los rendimientos del hongo ostra. Sin embargo, cuando se agregan 1.48% de nitrógeno total, el rendimiento disminuye a 45.2 kg porque los niveles de nitrógeno amoniacal son suficientes para inhibir el crecimiento del hongo ostra. En conclusión, el rendimiento de los hongos ostra disminuye cuando la concentración de amoníaco es más alta que 68 ppm así como cuando la cantidad de nitrógeno total es más baja que la óptima.

**Tabla 2. Rendimiento de hongos ostra de acuerdo al nitrógeno total y al nitrógeno amoniacal.**

Nitrógeno total (%)	Nitrógeno amoniacal (ppm)	Rendimiento (kg/m <sup>2</sup> )
0,98	28	173,9
1,08	68	193,4
1,48	84	149,2

Por consiguiente, se deben considerar ambos la proporción de C:N y la cantidad de nitrógeno amoniacal. Si se utilizan los residuos del algodón como material principal de sustrato para el hongo ostra, debe suplementarse con una fuente de nitrógeno como el salvado de arroz considerando la proporción óptima de C:N. La cantidad de nitrógeno a suplementar debe ser hasta la cantidad de nitrógeno total a partir del cual la cantidad de nitrógeno amoniacal originada durante la fermentación no inhiba el crecimiento micelial del hongo.

Los residuos de algodón y el aserrín, principales materiales de sustrato, presentan microorganismos naturales que participan en la fermentación del sustrato. Las Figuras 28 y 29 muestran microorganismos incubados provenientes del aserrín y de residuos del algodón. Ambos materiales de sustrato se sumergieron en agua y luego el agua se inoculó en agar nutritivo y se incubó. Las primeras dos placas de Petri se incubaron a 30°C y en ellas se propagaron varios tipos de mesófilos (Fig. 28). Las otras dos placas de Petri se incubaron a 50°C y en ellas se cultivaron algunos termófilos (Fig. 29).



A. Del aserrín B. De residuos del algodón  
**Figura 28.** Mesófilos incubados a 30°C.



A. Del aserrín B. De residuos del algodón  
**Figura 29.** Termófilos incubados a 50°C.

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de los cálculos del número de microorganismos presentes en los residuos del algodón, en el aserrín de madera dura, y en el salvado de arroz. Los residuos del algodón tiene la mayor cantidad de microorganismos mientras que el aserrín tiene menos y el salvado de arroz tiene la cantidad más baja. Aunque los resultados varían un poco según cómo y durante cuánto tiempo se guardan los materiales, los resultados serán los mismos que los de abajo si se guardan bajo condiciones similares. El aserrín tiene tantos mesófilos como los residuos del algodón, pero estos tienen 390 veces más termófilos que el aserrín. Esto se debe a que los residuos del algodón están más fácilmente expuestos a los microorganismos en la naturaleza que el aserrín. Por consiguiente, los materiales con más microorganismos son deseables como sustrato para los hongos si el sustrato será fermentado.

**Tabla 3. Número de microorganismos de acuerdo a los materiales**

Materiales de sustrato	Residuos de algodón	Aserrín de Madera dura	Salvado de arroz	Nota
Mesófilos (incubados a 30°C)	$75 \times 10^4$	$54 \times 10^4$	$8 \times 10^2$	Los residuos de algodón tienen 1.3 veces más mesófilos que el aserrín
Termófilos (incubados a 50°C)	$47 \times 10^4$	$12 \times 10^2$	12	Los residuos de algodón tiene 390 veces más termófilos que el aserrín

**Pre-fermentación**

La fermentación apunta a reprimir microorganismos que posiblemente podrían competir con los hongos ostra y a convertir a los materiales del sustrato en una fuente nutritiva superior para el hongo a través de la acción de una sucesión de microorganismos. La fermentación al aire libre es el primer paso. Los materiales del sustrato en la naturaleza tienen microorganismos unidos a sus superficies y estos microorganismos son eliminados en el material seco. Una vez que se aplica el agua, los microorganismos presentes en el material del sustrato pueden propagarse. Si la temperatura inicial del sustrato es 20°C, los microorganismos adaptados a este rango de temperatura aumentarán y empezarán a consumir la fuente de carbón soluble en agua que es relativamente fácil de absorber. Generalmente, los organismos utilizan 35% de los nutrientes como energía pero el otro 65% no puede utilizarse y se emite como calor. A medida que los microorganismos aumentan en progresión geométrica, el calor emitido por los mismos se acumula y la temperatura del sustrato aumenta a 30°C. Entonces, el crecimiento de los microorganismos que prefieren temperatura de 20°C se inhibe y otros microorganismos apropiados para los 30°C empiezan a aumentar. De esta manera, la temperatura del sustrato aumenta a 50°C.

Las fuentes de carbón del sustrato solubles en agua son completamente consumidas por los microorganismos a medida que la fermentación progresa. A esta altura los microorganismos comienzan a consumir fuentes de moléculas altas en carbón que son relativamente difíciles de absorber, como celulosa, hemi-celulosa y lignina. En teoría, el aumento de la temperatura del sustrato a 50°C significa que los microorganismos han descompuesto las

fuentes moleculares altas en carbón que son relativamente difíciles de asimilar así como las fuentes de carbón solubles en agua que son fáciles de utilizar, y que las sustancias nutritivas del sustrato han sido acumuladas en los microorganismos en forma de proteína. Sin embargo, la temperatura del sustrato no es uniforme dentro de una pila en fermentación, por eso la pila de sustrato se voltea varias veces para promover una fermentación completa repitiendo varias veces el proceso descrito arriba. Además, el volteo ayuda a la fermentación aeróbica al proporcionar más aire a la pila.

Algunos productores podrían preguntarse que pasaría si los materiales del sustrato se fermentaran a 50°C. ¿Haría esto que el proceso de fermentación sea más rápido y fácil? La respuesta es negativa. Los microorganismos iniciales que existen en los residuos de algodón o en las pajas de cereales vienen principalmente de la tierra y muchos de ellos son microorganismos mesófilos que crecen mejor a aproximadamente 30°C. Ya que 50°C no es una temperatura usual en ambientes naturales, no hay muchos o muchas variedades de termófilos que se incuben mejor a 50°C. No habrá muchos microorganismos disponibles para fermentar el sustrato si la fermentación empieza a 50°C. Además, varios tipos de microorganismos son más capaces de fermentar el sustrato entero dependiendo de los diversos componentes nutritivos. Sin embargo, los hongos ostra pueden cultivarse con éxito aunque el sustrato sólo se haya fermentado a 50°C si el proceso de producción es bien llevado en cada fase del cultivo. Esto se debe a que los hongos ostra crecen muy bien en varios sustratos sin fermentar.

### **Pasteurización**

El sustrato se pasteuriza a 65°C durante 6-8 horas. A veces se dice que la pasteurización tiene como objetivo la destrucción de insectos y esporas de mohos, pero ésta no es una explicación suficiente del proceso de pasteurización. Las esporas de mohos generalmente se matan a temperaturas mayores de 80°C, y por consiguiente la temperatura de pasteurizado de 65°C no es suficiente para matar la mayoría de esas esporas. Es más, las esporas son más durables en un sustrato a 65°C con una humedad relativa de 60-70% que en agua a 65°C. Esto puede entenderse fácilmente si usted piensa que las personas pueden quedarse en un sauna a 80°C pero no en agua a 80°C. Algunos productores pasteurizan el sustrato a 80°C, pero esta temperatura puede matar microorganismos beneficiosos junto con las esporas de mohos. El sustrato se pasteuriza con el fin de ablandar los materiales del sustrato y matar a microorganismos mesofílicos, no las esporas de mohos.

### **Post-fermentación**

Después de que la pasteurización se completa, el sustrato se post-fermenta a 50-55°C durante 3-4 días. Aunque la pre-fermentación se completa antes de la pasteurización, el sustrato entero no se fermenta. La post-fermentación apunta a una fermentación completa y uniforme del sustrato entero. Durante la pre-fermentación, se convierten los mesófilos en termófilos, pero los mesófilos todavía son abundantes porque partes considerables del sustrato no se fermentan totalmente.

Estos microorganismos mesófilos compiten después con el micelio del hongo porque los dos crecen bien a temperaturas similares. Una vez que estos mesófilos se convierten en termófilos, estos no pueden crecer a la temperatura de incubación del hongo, y por lo tanto no pueden competir con el micelio del hongo.

Los actinomicetes blancos crecen en la última fase de la fermentación (Fig. 30, 31). La presencia de actinomicetes indica que el sustrato se ha fermentado bien aeróbicamente y se ha vuelto apropiado para el crecimiento del micelio de los hongos. La presencia de actinomicetes en el sustrato indica que el pH del sustrato está a más de 7, un nivel que suprime el crecimiento de mohos verdes.

Después de la post-fermentación, el sustrato se convierte en un material nutritivo superior para el micelio del hongo. Los nutrientes útiles están presentes en los microorganismos en forma de proteínas y estas proteínas no se deterioran ya que están dentro de organismos vivos. Las células en crecimiento vegetativo del micelio del hongo pueden secretar una variedad mayor de enzimas digestivas que cualquier otro microorganismo. Una vez que

el micelio del hongo se inocula en el sustrato en forma de semilla, el micelio, utilizando varias enzimas digestivas, puede digerir materiales que otros microorganismos no podrían procesar. Además, el micelio tiene enzimas que digieren microorganismos, por lo tanto pueden disolver y absorber las proteínas, lípidos, minerales, y vitaminas de los microorganismos.



Figura 30, 31. Actinomicetes en residuos de algodón (izquierdo) y sobre paja de arroz

**Características de los microorganismos que participan en la fermentación**

Un termófilo y un actinomicete fueron aislados y se examinaron sus pH y temperatura óptimos. Según la Figura 32, el microorganismo termófilo mostró un crecimiento óptimo a pH 7-8 mientras el pH óptimo para el actinomicete fue 8-9. Por consiguiente, los dos crecen bien sobre un sustrato alcalino (encima de pH 7).

Considerando sólo a los microorganismos, un pH 8 sería el óptimo para el sustrato, pero el pH óptimo para el crecimiento de los hongos es 6-8. Por consiguiente, un pH 7 sería lo mejor para el crecimiento de hongos y microorganismos termófilos. La Figura 33 muestra que los termófilos y los actinomicetes crecen mejor a 50°C. Los termófilos se propagan bastante bien debajo de 50°C, pero su crecimiento es muy reprimido a temperaturas mayores a 50°C. Por otro lado, los actinomicetes prefieren entre 45-55°C. Este resultado indica que los termófilos participan en la fermentación en un estadio temprano mientras que los actinomicetes lo hacen más tarde, cuando la temperatura supera los 50°C.

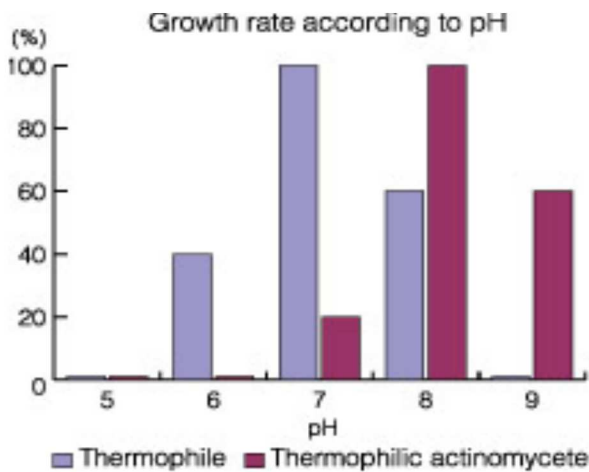


Figura 32. Crecimiento óptimo de termófilos v actinomicetes seaún el pH.

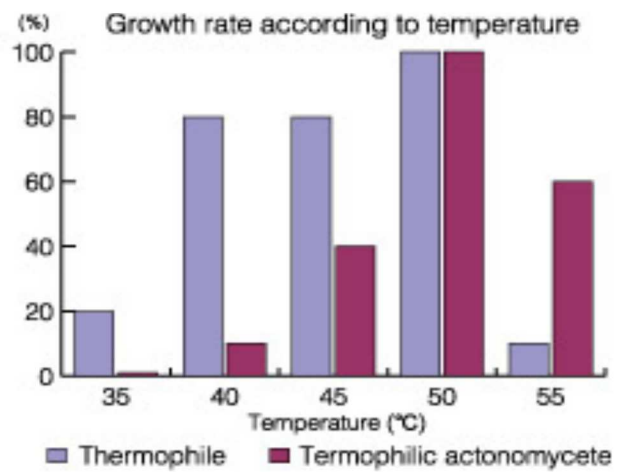


Figura 33. Crecimiento óptimo de termófilos v actinomicetes seaún la temperatura.

Varios microorganismos participan en el proceso de fermentación como especies dominantes, en cada etapa sucesiva. Para supervisar los cambios de microorganismos durante la fermentación de acuerdo a los materiales del

substrato, se prepararon substratos mezclando proporciones diferentes de residuos de algodón y aserrín y se incubaron a 30°C durante 2 días y luego a 50°C durante 5 días, tiempo durante el cual se examinó la propagación de mesófilos y termófilos (Fig. 34, 35, 36).

Según la Figura 34, los microorganismos mesófilos empezaron a propagarse después del primer día y se multiplicaron 1.000 veces más en número hasta el primer día de empezada la incubación a 50°C. En el primer día de incubación a 30°C los mesófilos no crecieron en absoluto, ya que éste es un período preparatorio en que los microorganismos apropiados para la temperatura, pH, oxígeno y condición nutritiva del substrato se adaptan al mismo y en que se seleccionan los microorganismos participantes en la fermentación. Una vez listos, los mesófilos aumentaron explosivamente. Sin embargo, empezaron a disminuir rápidamente al principio del primer día de incubación a 50°C, y su número decayó al nivel de cuando empezó la fermentación. Por otro lado, los termófilos aumentaron desde el primer día a 50°C hasta el último día. Al ver que el número de mesófilos no se mantuvo a 50°C sino que disminuyó y desapareció, se puede inferir que los mesófilos fueron utilizados como nutrientes para los termófilos.

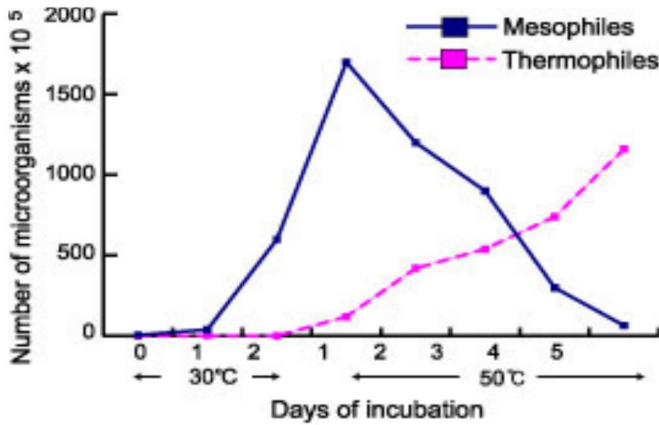


Figura 34. Residuos de algodón

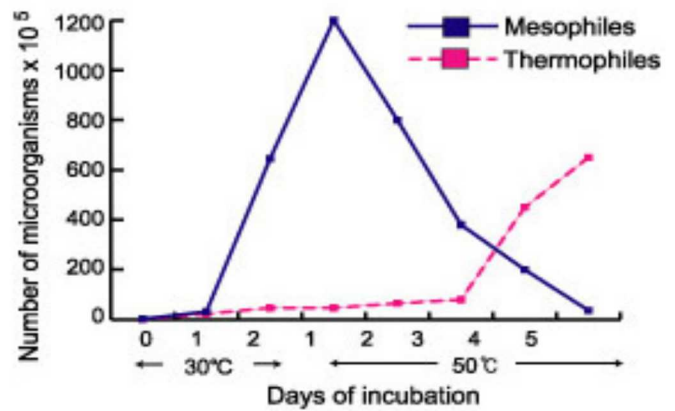


Figura 36. Residuos de algodón : aserrín = 5:5

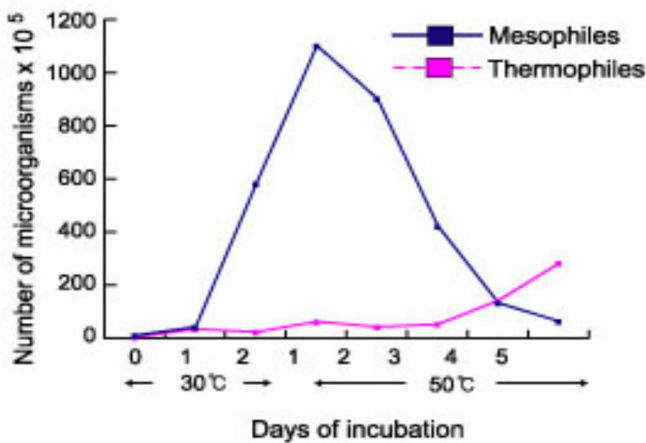


Figura 36. Residuos de algodón : aserrín = 2:8

Las Figuras 33, 34 y 35 muestran cuán importante es la elección del material del substrato en el proceso de fermentación por dos razones. A medida que la proporción de del aserrín aumenta en el substrato (Fig. 35), los termófilos así como los mesófilos no pueden aumentar porque el aserrín no contiene suficientes microorganismos que participen en la fermentación. Sin embargo, el número de microorganismos no aumenta tanto como cuando la proporción de residuos del algodón es más alta (Fig. 33, 34) por más que los días de la incubación se extiendan. La segunda razón es que al aserrín le falta nutrientes de fácil acceso para los microorganismos. El aserrín tiene más hemi-celulosa y lignina, que son relativamente más difíciles de utilizar, mientras los residuos del algodón tienen más celulosa que es relativamente fácil de disolver

por los microorganismos. Por consiguiente, el crecimiento de microorganismos se frena y no aumenta la fermentación cuando se aumenta la cantidad de aserrín dentro de un substrato. Otro hallazgo importante es que si

los mesófilos no aumentan, los termófilos tampoco pueden aumentar. Los microorganismos mesófilos afectan el crecimiento de los microorganismos termófilos.

**Nota: Fin de la cita.**

## Conclusión

El cultivo de hongos ostra en estantes adopta la tecnología del composteado para el cultivo del champiñón. Aunque no es esencial, la fermentación contribuye a la mejor calidad y a un alto rendimiento de hongos ostra. Hoy día, muchos productores coreanos se han pasado del cultivo en estantes al cultivo en bolsas debido al alto riesgo del cultivo en estantes.

La fermentación del sustrato requiere muchos años de experiencia y habilidad, por ello muchos productores inexpertos de hongos ostra fallan en producir cantidades rentables de hongos. Es más, el cultivo en estantes trae consigo gastos elevados debido a las grandes cantidades de sustrato y semilla, el alto costo del combustible para la fermentación, y demás. Por otro lado, el cultivo en bolsa es relativamente fácil y seguro porque produce rendimientos apropiados aunque no de tan alta calidad. No obstante, se espera que los principios de fermentación del sustrato pudieran aplicarse a situaciones particulares de los productores de hongos ostra. La fermentación podría tener costos más bajos en regiones tropicales o subtropicales porque se requiere menos combustible.

## REFERENCIAS

- Shim, M.S. 2001. Physiology of substrate fermentation and substrate making. *Mushroom* (in Korean) 5(2): 53-77.
- Oh, S.J., J.S. Park, D.C. Lee, and P. G. Shin. 2003. Studies on the effect of vinyl mulching on *Pleurotus* cultivation - control of mushroom diseases on *Pleurotus ostreatus* (2). *Mycology* 31(1): 50-53.
- Oh, S.J., P.G. Shin, K.Y. Jang, and H.K. Kim. 2003. Studies on the effect of vinyl mulching on *Pleurotus* cultivation - bunch formation in *Pleurotus sajor-caju* (3). *Mycology* 31(1): 54-56.
- Cha, D.Y., J.S. Park, C.H. You, G.P. Kim, C.S. Jeon, and D.W. Lee. 1997. *Oyster Mushroom - Cultivation Technology and Management* (in Korean). Seoul, Korea: The Farmers Newspaper. 374pp.
- Shim, M.S. 2002. The essence of mushroom cultivation - fermentation of substrate (in Korean). available at <http://www.mushworld.com>.