

ShiitakeMushroom Cultivation

Part I. Shiitake

Capítulo 3

Cultivo de Shiitake en Troncos

CULTIVO de SHIITAKE en TRONCOS

Keisuke Tokimoto

The Tottori Mycological Institute, Kokoge-211 Tottori, 689-1125, Japón
(kin-tkmt@infosakyu.ne.jp)

Introducción



Figura 1. Cuerpos fructíferos de shiitake, *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler, en un tronco

El shiitake es un hongo que degrada la madera de árboles de hojas anchas muertos, particularmente de la familia del roble (Fig.1). Desde que el shiitake se cultivó por primera vez en troncos, aproximadamente unos 1.000 años atrás, el cultivo en troncos ha sido el método más común, pero esto ha cambiado recientemente. En los comienzos del siglo veinte, se desarrolló el cultivo de shiitake en bolsas usando aserrín compactado en bolsas de plástico, y muchos cultivadores de shiitake han adoptado este tipo de cultivo, debido al ciclo de producción corto y al retorno rápido del capital. Sin embargo, el cultivo en tronco en un ambiente boscoso todavía tiene algunas ventajas sobre el cultivo artificial en aserrín. El cultivo de shiitake en tronco requiere menos cuidado y laboreo porque acepta condiciones naturales en

lugar de requerir condiciones controladas. La corteza de los troncos le proporciona protección al micelio de shiitake, y los troncos atraen menos microorganismos debido a su bajo contenido de agua (Przybylowicz y Donoghue, 1990). Aunque los troncos inoculados necesitan un tiempo más largo para ser colonizados totalmente y producir cuerpos fructíferos, los shiitake cultivados en troncos generalmente son de mayor calidad, con sombreros gruesos y olor fragante. El cultivo en troncos también causa menos polución ambiental. En general, el shiitake producido por este método contiene mucho más polisacáridos que aquéllos producidos por cultivo en aserrín (Brauer y col., 2002), y el lentinan, un polisacárido antitumoral de shiitake, muestra relaciones similares (Tokimoto y col., inédito).

Japón ha sido uno de los principales productores de shiitake en troncos. Para el mercado japonés, los shiitake más gruesos y grandes se secan y el resto normalmente se consume fresco. El shiitake seco normalmente proviene de la producción en troncos y el shiitake fresco se produce tanto en troncos como en aserrín (Tabla 1). El cultivo de shiitake aumentó desde 1950 a 1984 en Japón, pero la producción disminuyó después de 1985, principalmente debido al tipo de cambio a favor del yen. La mayoría del shiitake se producía en troncos, pero ahora aproximadamente el 36%¹ del shiitake japonés, tanto seco como fresco, se produce en aserrín.

¹Las producciones de shiitake fresco en troncos y aserrín se estiman en aproximadamente 2.600 y 3.900 toneladas en peso seco, respectivamente.

Tabla 1. Producción anual de shiitake en Japón (toneladas)

Año	Shiitake seco			Shiitake Fresco			
	Producción en troncos	Importación	Exportación	Producción en troncos	Producción en aserrín	Importación	Exportación
1975	11.356	93	2.695	58.560	-*	0	0
1985	12.065	140	3.330	74.706	-*	0	0
1999	5.582	9.146	156	36.069	34.442	31.628	0
2000	5.236	9.144	115	32.567	34.657	42.057	0
2001	4.964	9.253	151	28.542	37.586	36.301	0
2002	4.449	8.633	118	25.400	39.042	28.148	0

* No se calcularon los volúmenes de producción en aserrín en 1975 y 1985, pero prácticamente fue cero.

Fuente: Agencia Forestal, Japón, 2003

Corea del Sur produjo 1.937 toneladas de shiitake seco y 22.374 toneladas de shiitake fresco en el 2003 (Servicio Forestal de Corea, 2003). No están disponibles las estadísticas individuales de la producción en troncos y aserrín, pero se acepta en general que más de 95% del shiitake coreano se produce en troncos. Por el contrario, la mayoría de la producción de shiitake en China es en bolsas de aserrín.

El proceso de cultivo en tronco involucra tres fases: 1. La preparación del tronco y el crecimiento del micelio vegetativo, 2. La formación del primordio del cuerpo fructífero, y 3. El desarrollo de los cuerpos fructíferos (Fig. 2).



Figura 2. Proceso de cultivo del shiitake en troncos

Preparación de Troncos y Crecimiento Micelial

La preparación de los troncos bien colonizados es uno de los requisitos más importantes para la formación de cuerpos fructíferos. Esta fase consiste en la selección de los árboles hospedadores, tala y cortado, inoculación e incubación.

Selección de árboles hospedadores

Los troncos están compuestos principalmente de polisacáridos, celulosa y hemicelulosa, y lignina que son todos degradados por el micelio de shiitake y utilizados como su fuente de energía. Los azúcares juegan roles importantes en el crecimiento inicial del micelio. Los troncos tienen una baja cantidad relativa de nutrientes comparados con otros residuos agrícolas. Esta poca disponibilidad nutritiva también hace que los troncos sean poco atractivos para otros microorganismos. La corteza del tronco también proporciona una protección muy eficaz de los ataques de otros hongos y mohos y también evita la evaporación de la humedad del tronco. Una vez que el spawn de shiitake se inocula debajo de la corteza protectora, tiene esencialmente un acceso exclusivo a los nutrientes de la madera, lo

que hace que los troncos sean un sitio bastante atractivo para el shiitake cultivado (Przybylowicz y Donoghue, 1990).

Las principales estructuras de un tronco son la corteza, la albura, y el duramen (Fig. 3A). La corteza se divide en corteza interna y corteza externa, y la primera es el área donde se forman los primordios de los cuerpos fructíferos. La albura se distingue del duramen por su color, ya que la albura es más clara que el duramen. El micelio del shiitake coloniza la albura que contiene polisacáridos disponibles, pero no crece fácilmente en el duramen (Fig. 3B). Por consiguiente, se recomienda que los cultivadores escojan troncos con una sección ancha de albura.

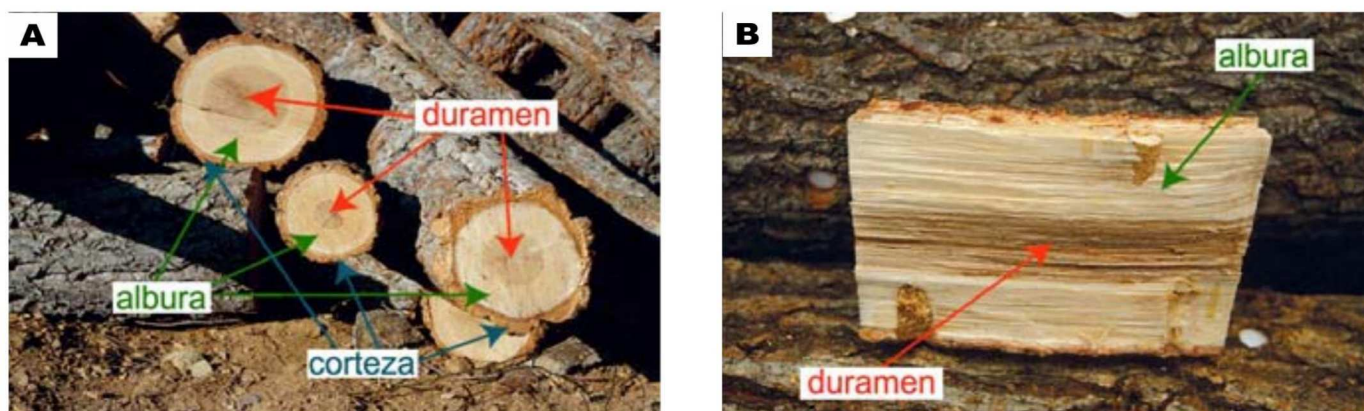


Figura 3. Estructura de la madera **A:** Duramen, albura y corteza **B:** Sección vertical de troncos incubados, en los cuales el micelio de shiitake crece en la albura, no en el duramen.

En China, Corea, y Japón, los granjeros eligen principalmente árboles de roble (*Quercus*). Aunque muchos factores afectan la capacidad de los troncos para el cultivo del shiitake, la corteza es uno de los factores más importantes. Los troncos de roble tienen una corteza fuerte que mantiene su forma durante muchos años, y puede así fructificar por un periodo largo de tiempo, hasta cuatro o cinco años (Fig. 3A). En los países tropicales, los robles habitan las regiones montañosas. El cultivo con troncos de roble se ha probado en India (Lee, 1978), Tailandia (Triratana, 1993) y otros países.

Aunque se prefiere el roble para el cultivo de shiitake en tronco, este hongo puede y ha sido cultivado sobre otras maderas duras y blandas alrededor del mundo. Cada especie de troncos produce cantidades diferentes de shiitake de variada calidad por periodos variables. Los troncos de árboles de madera blanda que también son aptos para el cultivo, tienden a empezar a fructificar antes que aquellos de madera dura, pero agotan su capacidad de fructificación más rápidamente.

A continuación se enumeran las especies de árboles probadas por su capacidad para el cultivo de shiitake según Przybylowicz y Donoghue (1990), (Tabla 2).

Tabla 2. Especies de árboles probadas por su conveniencia para la producción de shiitake

Nombre común	Familia	Género	Especie
Conveniencia alta			
Roble	Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>acutissima, alba, brandisiana, crispula, dentata, garryanna, kelloggii, kerii, kingiana, mongolica, muehlenbergii, prinus, rubra, semiserrata, serrata, variabilis</i>
Castaño enano	Fagaceae	<i>Castanopsis</i>	<i>accuminatissima, argentea, chrysophylla, cuspidata, indica</i>
Tanoak	Fagaceae	<i>Lithocarpus</i>	<i>auriculatus, densiflorus, lanceafolia, lindleyanus, polystachyus</i>
Carpe	Fagaceae	<i>Carpinus</i>	<i>betula, caroliniana, japonica, laxiflora, tschonoski</i>
Conveniencia media			
Aliso	Betulaceae	<i>Alnus</i>	<i>glutinosa, japonica, rubra, serrulata, tinctoria</i>
Álamo, álamo americano	Betulaceae	<i>Populus</i>	<i>balsamifera, deltoides, grandidentata, nigra, trichocarpa</i>
Haya	Fagaceae	<i>Fagus</i>	especies
Abedul	Betulaceae	<i>Betula</i>	<i>nigra, pendula</i>
Castaño	Fagaceae	<i>Castanea</i> <i>Cyclobalanopsis</i>	<i>crenata</i> <i>acuta, glauca, salicina, myrsinifolia</i>
Nogal americano	Juglandaceae	<i>Carya</i>	especies
Arce	Aceraceae	<i>Acer</i>	<i>Rubrum, macrophyllum</i>
Ocozol	Hamamelidaceae	<i>Liquidambar</i>	<i>styraciflua</i>
Tupelo	Nyssaceae	<i>Nyssa</i>	<i>silvatica</i>
Sauce	Salicaceae	<i>Salix</i>	<i>nigra</i>
Conveniencia baja			
Árbol de pepino	Magnoliaceae	<i>Magnolia</i>	<i>acuminata</i>
Álamo del tulipán	Magnoliaceae	<i>Liriodendron</i>	<i>tulipifera</i>
Cornejo	Cornaceae	<i>Cornus</i>	<i>florida</i>
Manzano	Rosaceae	<i>Malus</i>	<i>sylvestris</i>
Sicómoro	Platanaceae	<i>Plantanus</i>	<i>occidentalis</i>
Pino de Virginia	Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>virginiana</i>

Nota: Los árboles considerados muy convenientes se usan ampliamente, mientras que los de conveniencia media requieren un manejo cuidadoso. No se recomiendan los árboles de conveniencia baja para la producción comercial de shiitake.

Fuente: Przybylowicz y Donoghue, 1990



Quercus acutissima



Quercus dentata



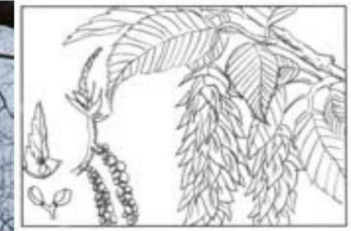
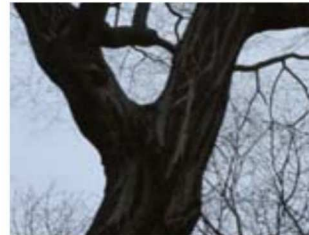
Quercus mongolica



Quercus serrata



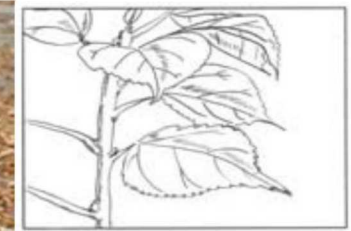
Quercus variabilis



Carpinus laxiflora



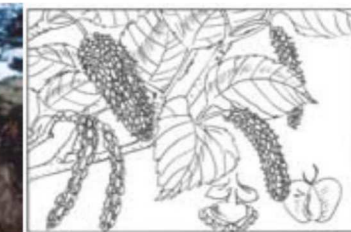
Alnus birsuta



Populus euamericana 'Noble'



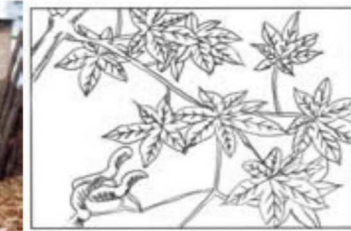
Fagus crenata var. Multinervis



Betula platyphylla var. japonica



Castanea crenata



Acer pictum var. dissectum

*Quercus aliena***Figura 4.** Hojas y cortezas de árboles usados para el cultivo de shiitake en tronco

Tala de árboles, corte y almacenamiento

Una vez que se seleccionan los árboles apropiados, se recomienda que los cultivadores los talen durante la estación inactiva de los árboles, aunque la fase de "enrojecimiento de las hojas" es la mejor para los *Quercus*. Árboles de 5-15cm de diámetro son apropiados como troncos para el shiitake. Los troncos talados se cortan normalmente en secciones de aproximadamente 100cm de longitud y se secan ligeramente. Si los árboles tumbados todavía tienen hojas verdes, se secan por un periodo menor a 10 días. Esta reducción de agua debilita la resistencia de los troncos al micelio de shiitake y permite un mejor crecimiento del mismo. Por otro lado, el micelio mismo requiere agua para su crecimiento. Por consiguiente, debe evitarse el secado excesivo, el cual puede ocurrir si se guardan los troncos por un período largo antes de la inoculación. Para controlar el contenido de agua de los troncos y mantenerlo dentro del rango conveniente (30-35% sobre base húmeda, para árboles *Quercus*), los troncos se apilan generalmente con una altura menor de 50cm y se protegen de la luz solar directa. El almacenamiento prolongado bajo condiciones cálidas (más de 10°C) también involucra algún riesgo de contaminación con otros microorganismos.

**Figura 5.** Preparación de troncos A: Corte B: Transporte C: Almacenamiento antes de la inoculación

Elección del tronco y tiempo de tala para un mejor crecimiento micelial

Muerte de las células de la madera

La velocidad de colonización del shiitake en los troncos se correlaciona estrechamente con la viabilidad de las células de la madera (Komatsu y col., 1980; Shimomura y Hasebe, 2004). Se prefieren las células menos viables para la colonización con el micelio de shiitake. En países con las cuatro estaciones bien diferenciadas como Japón y Corea, los árboles de *Quercus* se talan en otoño tardío, cuando las hojas permanecen parcialmente verdes. Los troncos se dejan en el sitio de la tala por más de 10 días con las hojas adheridas. Mediante este tratamiento, el exceso de agua de la madera se pierde gradual y uniformemente, principalmente a través de las hojas verdes. Este proceso promueve la muerte de las células vivas en la corteza interna, el cambium y regiones de la albura.

Si los árboles se tumban demasiado temprano, la corteza se descascara fácilmente, quizás debido a la condición de capa formativa de los troncos. La capa formativa es ancha y muestra actividad fisiológica antes del otoño, pero después detiene la actividad fisiológica y se vuelve delgada. Este cambio en el otoño probablemente afirma la

corteza a la albura. En contraste, cuando se talan los árboles después de que todas las hojas se han puesto rojas, se impide la evaporación del agua a través de las hojas, persiste la resistencia natural al shiitake y se inhibe el crecimiento del micelio de shiitake.

Cantidad de nutrientes

El contenido nutritivo de la madera es importante para el crecimiento del micelio, la degradación de la madera, y la fructificación. En general, los troncos delgados contienen muchos más nutrientes por volumen que los troncos gordos. Así, los troncos delgados producen cuerpos fructíferos más temprano, pero con troncos de menos de 5cm de diámetro es difícil controlar el contenido de agua (Fukuda y col., 1987).

La época de la tala afecta la cantidad de nutrientes de la madera. Los troncos talados en el otoño tardío tienen muchos más nutrientes que aquellos talados a principios del otoño. En general, el nitrógeno presente en las hojas verdes migra a los troncos antes de que las hojas se vuelvan rojas (Tokimoto y col., inédito). Además, se piensa que el contenido de azúcar de los troncos aumenta a medida que la temperatura baja, un proceso que los árboles inician para evitar las heladas.

En troncos de *Quercus*, el grado de degradación de la madera y el rendimiento de cuerpos fructíferos por 10.000cm³ de volumen se correlaciona negativamente tanto con el diámetro como con el espesor de la corteza exterior, pero se correlaciona positivamente con los contenidos de nitrógeno, fósforo y otros (Fukuda y col., 1987; Matsuomoto y col., 1990). En otras palabras, se prefieren troncos y cortezas más delgados para una mayor degradación de la madera y rendimientos más altos, y una mayor nutrición promueve la degradación de la madera y la producción de shiitake.

Selección de cepas

Las cepas de shiitake se clasifican en cuatro tipos según las temperaturas de fructificación: de temperatura baja, baja a media, media, y alta (Tabla 3). Los tipos de temperatura baja, baja a media y media fructifican a menos de 5, 10 y 15°C, respectivamente. Muchas cepas de temperatura alta pueden fructificar a 20-25°C, pero en muchos casos requieren sumergir los troncos en agua fría por debajo de los 20°C. Para fructificar en verano o en lugares calurosos, se recomiendan las cepas de temperatura alta. Generalmente, el período de incubación de cepas de temperatura alta tiende a ser más corto, pero su período de fructificación termina antes.

En los mercados japoneses y coreanos, se secan los shiitake de calidad alta con sombreros más grandes y más gruesos. Por consiguiente, se seleccionan los tipos de temperatura baja o media para los productos secos de shiitake, porque estas cepas generalmente producen cuerpos fructíferos más grandes y más gruesos que las cepas de temperatura altas.

Tabla 3. Síntesis de las propiedades de las cepas de shiitake

	Tipos de cepas			
	Baja	Baja a media	Media	Alta
Temperatura máxima de inducción de la fructificación	aproximadamente 5°C	aproximadamente 10°C	aproximadamente 15°C	20-25°C
Periodo de incubación para colonización completa	Largo	Medio o largo	Medio	Corto
Tamaño y calidad de los cuerpos fructíferos	Tamaño grande, principalmente seco		Tamaño medio o grande, principalmente seco	Tamaño pequeño o mediano, consumido fresco

Nota: Se muestran las propiedades típicas, aunque hay algunas excepciones.

Inoculación

Justo antes de la inoculación, se taladran treinta a sesenta agujeros, de aproximadamente 2cm de profundidad, en un tronco de tamaño mediano (Fig. 6A). En muchos casos, los agujeros de inoculación se espacian a intervalos de 15-20cm a lo largo de la dirección longitudinal con filas separadas 3-4cm. Esto es porque la expansión del micelio en la dirección longitudinal es casi cinco veces más rápida que en la dirección de la circunferencia (Fig. 6B).

El spawn de aserrín o el tapón de madera que lleva el micelio de shiitake se inserta en los agujeros. En la Figura 7 se muestran imágenes de los dos tipos de inoculación de spawn de aserrín, una pistola de inoculación y un tapón de aserrín. Una pistola de inoculación es una herramienta eficaz para inocular spawn de aserrín en los agujeros y sellarlos. Después de taladrar los agujeros en los troncos, de acuerdo a los patrones sugeridos, la pistola de inoculación se carga con spawn de aserrín, y se dispara luego en los agujeros (Figs. 7A, B, y D). La pistola introduce el spawn de aserrín usando aire comprimido y al mismo tiempo cubre el agujero inoculado con un sello de poliestireno (Fig. 7C). Los tapones de aserrín se arman previamente para la inoculación y ésta se realiza insertándolos en los agujeros en los troncos (Fig. 7F). La Figura 7E muestra la estructura de un spawn de tapón de aserrín².

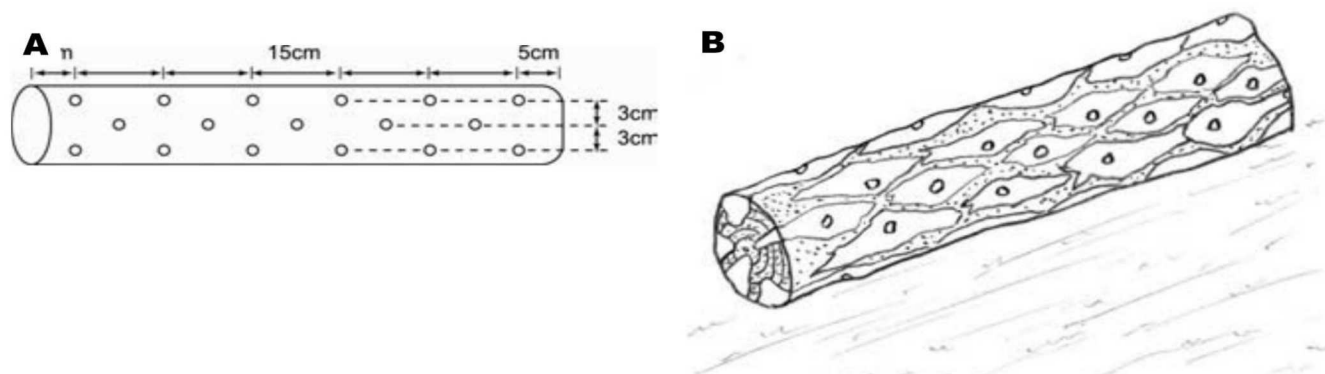


Figura 6. Modelos de perforación y crecimiento micelial **A:** Una manera típica de inoculación (agujeros de inoculación y su distribución) **B:** Patrón de crecimiento de shiitake en un tronco

Incubación del spawn (“corrida” del spawn)

Los troncos inoculados se colocan en lugares donde hay una humedad conveniente, un buen drenaje, y luz solar indirecta. La sombra de los árboles o redes de media sombra pueden proporcionar un ambiente semejante. Los troncos inoculados también se pueden incubar en una casa de cultivo. La temperatura óptima para el crecimiento del micelio es de 22-26°C, mientras que el proceso de degradación de la madera es más intenso a 25-30°C (Tokimoto y col., inédito). Se debe evitar la luz solar directa sobre los troncos, porque puede elevar la temperatura del tronco a más de 35°C, que produce daño al micelio. Una manera eficaz de elevar la temperatura cuando está debajo de 15°C durante la incubación del spawn, es cubrir la pila de troncos con una película de plástico. Sin embargo, estas películas deben quitarse cuando la temperatura exterior sube por encima de 15°C.

El contenido de agua óptimo en los troncos durante la incubación del spawn está alrededor del 35% sobre base húmeda, lo que representa una pérdida del 5-10% del peso de los troncos frescos vivos. En la estación seca, el riego es eficaz. El crecimiento del micelio tiende a retrasarse en la estación lluviosa por exceso de agua. Para controlar el contenido de agua de los troncos durante la estación lluviosa, se usa una pantalla provisoria que los protege de la lluvia.

² Para un proceso detallado de producción de tapón de aserrín, vea “PREPARACIÓN de PRODUCCIÓN de SPAWN PRINCIPALMENTE CON ASERRÍN” en el capítulo 2.



Figura 7. Inoculación y equipo **A:** Taladro **B:** Taladrado de agujeros
C y D: Pistola de inoculación y su uso **E y F:** Spawn de tapón y forma de colocarlo

Métodos de apilamiento de troncos

Los troncos inoculados se re-apilan varias veces durante la incubación del spawn, según los requisitos ambientales de cada una de las fases de crecimiento. Se utilizan varios métodos de apilamiento como la pila en masa, pila en filas cruzadas, pila inclinada y pila en forma de A. Cada uno sirve en micro-ambientes diferentes para ayudar en la ventilación y el control de la humedad. Los cultivadores deben considerar sus propias condiciones al escoger un método de apilamiento. En general, se recomienda un apilamiento bien ventilado para los troncos húmedos, mientras que un apilamiento bajo o cerrado es mejor para los troncos secos. El enfoque principal en el manejo de los troncos debería estar en la protección del micelio por uno o dos meses después de la inoculación, en el control de pestes y enfermedades durante el período de incubación del spawn, y en facilitar el trabajo durante el período de aparición de los primordios y la fructificación.

En Corea, con cuatro estaciones climáticas distintas, se aconseja a los cultivadores apilar los troncos tres veces. Los métodos de apilamiento mencionados aquí son comunes en Corea, pero pueden no ser apropiados para otro país. Como los troncos se inoculan cuando todavía está frío y seco en el exterior, se apilan durante 1-2 meses de manera de ayudar al micelio de shiitake para que comience a crecer. Para el crecimiento de micelio es común la pila en masa, que es un apilado muy denso (Fig. 8A). El objetivo es mantener la temperatura a 10-20°C, y la humedad a 80-90%. Cuando el micelio de shiitake creció aproximadamente 20mm a lo largo de la fibra de la madera, después de uno o dos meses, se debe hacer un re-apilamiento. Una vez que el micelio inicial de shiitake creció suficientemente, los troncos se apilan para ayudar en la incubación del spawn. Para ello, normalmente se usa tanto una pila en filas cruzadas como una pila inclinada (Figs. 8B y C). Los troncos atraviesan el largo período de incubación del spawn por más de seis meses, que incluye una estación lluviosa y un verano caliente. Durante este período de incubación del spawn, deben controlarse bien las plagas y las enfermedades, y el drenaje. Cuando la incubación del spawn es casi completa, los troncos se colocan en una pila con forma de A y se mantienen en esta disposición durante la fructificación y cosecha (Fig. 8D). Se recomienda a los cultivadores que no coloquen los troncos demasiado cerca entre sí, de manera que se arruine la forma del shiitake. La inclinación de la pila de troncos afecta el crecimiento del micelio. En general, se recomienda un grado diferente de inclinación para la pila de troncos según las diferentes especies de troncos, el espesor, el clima, el drenaje, la ventilación, y la cantidad de troncos (Tabla 4). El período requerido para la colonización completa de los troncos por el micelio de shiitake depende de la temperatura de incubación del spawn, de la humedad, de las cepas, del tipo de spawn, y de las propiedades del tronco. Por ejemplo, algunas cepas inoculadas con spawn de aserrín producen cuerpos fructíferos directamente de los agujeros del spawn después de aproximadamente seis meses de incubación del spawn, pero muchas cepas de spawn de tipo tapón requieren más de un año.



Figura 8. Varias formas de apilamiento durante la incubación del spawn **A:** En masa **B:** En filas cruzadas **C:** Inclinado **D:** En forma de A

Tabla 4. Inclinação de la pila de troncos

	Empinada	Suave
Especies de árboles	<i>Quercus cautísima, Q. serrata, Q. mongolica, Q. variabilis</i>	<i>Carpinus laxiflora, Q. myrsinaefolia</i>
Espesor del tronco	Grueso	Delgado
Clima	Lluvioso	Seco
Desagüe	Malo	Bueno
Ventilación	Mala	Buena
Cantidad de troncos	Más	Menos

Fuente: Material de Instrucción para el Cultivo de Shiitake en 2002, Federación Nacional de Cooperativas Forestales

¿Qué hace que un tronco sea apropiado?

Importancia de la cantidad de micelio en los troncos



Figura 9. Troncos bien incubados vistos desde arriba (Pilas inclinadas)

El desarrollo de los cuerpos fructíferos requiere nutrientes, que son proporcionados por el micelio vegetativo al cuerpo fructífero. Durante el desarrollo de los cuerpos fructíferos, los azúcares, aminoácidos, y otros químicos acumulados bajo los cuerpos fructíferos jóvenes se mueven entonces hacia el interior de los mismos (Tokimoto y col., 1977, 1984). Los troncos colonizados en los cuales se mide un contenido de quitina más alto producen rendimientos mayores en cuerpos fructíferos, porque un alto contenido de quitina³ indica un crecimiento micelial abundante (Tokimoto y Fukuda, 1981) (Fig. 10). Los troncos con micelio bien desarrollado también poseen una mayor resistencia contra los hongos antagónicos debido a su producción de sustancias antifúngicas (Tokimoto y Komatsu, 1995). Sin embargo, no hay ningún método garantizado para estimular el crecimiento del micelio. El control del contenido de agua del tronco es importante en muchos casos, y cada paso en la preparación de los troncos afecta el crecimiento micelial subsiguiente.

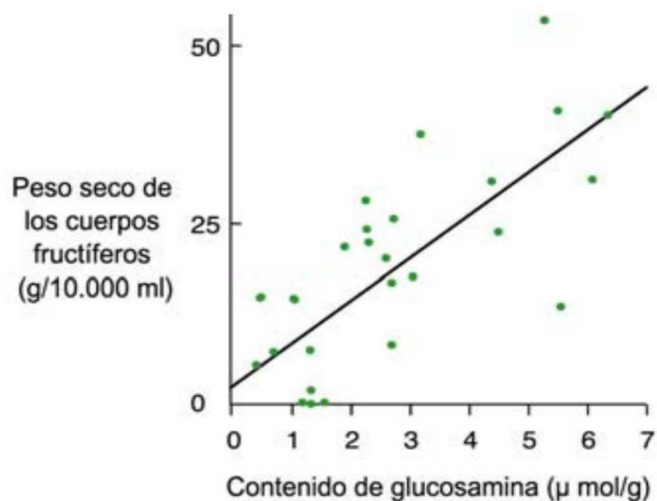


Figura 10. Relación del contenido de glucosamina con el rendimiento de cuerpos fructíferos en troncos de shiitake (Tokimoto y Fukuda 1981).

La glucosamina, un compuesto derivado de la hidrólisis ácida de la quitina, se usó para la estimación de las cantidades de micelio en los troncos. Se emplearon troncos de uno-seis años de edad, 31 muestras en total. $Y = 5,92**X + 2,59$ (* *P <0,001).

Grado de decaimiento(degradación) de la madera

La degradación de la madera de los troncos va acompañada por el crecimiento del micelio. Durante el cultivo, hay un punto conveniente de degradación de la madera que produce una fructificación buena. El grado de degradación se mide por el peso seco de la madera, que se calcula por la gravedad específica de un tronco secado en horno. En el caso de los troncos de *Quercus*, la gravedad específica cambia durante el cultivo desde 0,75 en troncos no inoculados hasta cerca de 0,30 en troncos de cinco años de edad. Un tronco de *Quercus* secado en horno hasta una gravedad específica de aproximadamente 0,40 es capaz de fructificar mejor (Tokimoto y col., 1984). Se considera el punto óptimo de degradación de la madera, cuando el peso fresco de un tronco ha disminuido en más de un 30% antes de la inoculación. Por consiguiente, se recomienda inducir la fructificación cuando los troncos han perdido el 30% de su peso.

Formación de Primordios de Cuerpos Fructíferos



Figura 11. Primordios de cuerpos fructíferos expuestos una vez retirada la corteza exterior del tronco

Cuando el micelio de shiitake está totalmente incubado, está listo para cambiar de la fase vegetativa (crecimiento micelial) a la fase reproductiva (fructificación). Se requiere un cambio súbito de las condiciones ambientales para desencadenar la fase reproductiva. Los puntos clave de este cambio son la temperatura más baja, la humedad más alta, y la luz. El primer paso de la fase reproductiva es la formación del primordio. Un primordio de cuerpo fructífero es una masa micelial diminuta, de alrededor de 2-5mm de diámetro, que se forma en la corteza interna de los troncos (Fig. 11). Para verificar el número de primordios en los troncos, se retiran las cortezas exteriores de varios troncos. Mientras que un cultivo de aserrín totalmente incubado en oscuridad requiere luz durante 2-3 semanas para la formación de primordios de cuerpos fructíferos

(Tokimoto y Komatsu, 1982), en los troncos se requiere por lo menos 30 días de iluminación (Komatsu y Tokimoto, 1982).

³Como el micelio de shiitake contiene una cantidad fija de quitina, el contenido de quitina es útil para la estimación de la cantidad de micelio. Los troncos no tienen quitina.

Condiciones para la formación de primordios

Los troncos totalmente incubados se transfieren a un terreno elevado o a una casa de cultivo donde se les suministran temperaturas más bajas, humedad más alta y luz para la formación de primordios y la fructificación. La formación de primordios es un paso importante porque el número de cuerpos fructíferos tiende a ser igual al número de primordios. Básicamente, los troncos buenos que tienen un micelio bien crecido y un grado apropiado de degradación de la madera, producirán muchos primordios de cuerpos fructíferos (Tokimoto y Fukuda, 1981).



Terreno elevado bajo los árboles



Estructura simple bajo redes de sombra

Figura 12. Área de fructificación

Temperatura

La temperatura apropiada para la formación de primordios de cuerpos fructíferos fluctúa entre los 15-25°C, aunque cada cepa tiene su propia temperatura óptima (Komatsu y Tokimoto, 1982; Tokimoto y Komatsu, 1982). El riego o la lluvia disminuyen la temperatura y también aumentan el contenido de humedad de los troncos.

Contenido de humedad

El agua dentro de los troncos se divide en agua libre y agua unida, ligada a las células de la madera. Solamente el agua libre juega un rol en el crecimiento del micelio y la fructificación. Por consiguiente, debe aumentarse el agua libre dentro de los troncos para estimular la inducción de los primordios. La formación de estos últimos requiere un contenido de agua en el tronco del cual más del 10% (v/v) debe ser agua libre (Tokimoto, inédito). Desgraciadamente, es difícil para los cultivadores determinar la cantidad de agua libre. Sin embargo, el peso de los troncos es una medida importante por la cual los granjeros pueden estimar la cantidad aproximada de agua libre. En general, los troncos que pesan 7kg/10.000cm³ (equivale a troncos de 100cm de longitud y 12cm de diámetro) contienen más del 10% de agua libre.

Iluminación

La luz solar que llega al micelio debajo de la corteza exterior de los troncos desencadena la formación de primordios. Una cantidad abundante de primordios produce una buena cosecha de shiitake.

Se estima que la intensidad lumínica mínima para la formación de primordios de cuerpos fructíferos es de aproximadamente 0,01-0,001 lux. La corteza interna donde se forman los primordios, necesita recibir esta cantidad de luz (Ishikawa, 1967). Es importante el espesor de la corteza exterior porque previene la transmisión de luz al micelio de la corteza interna. En el caso de los troncos de *Quercus serrata*, la corteza exterior de más de 2mm de espesor impide completamente tanto la transmisión de luz como la formación de primordios de cuerpos fructíferos (Komatsu y Tokimoto, 1982).



Figura 13. Cuerpos fructíferos en crecimiento desde los agujeros de spawn de aserrín disponibles más de 3.000 lux de iluminación.

Los troncos con corteza exterior gruesa no permiten la fructificación a través de ella, pero pueden fructificar directamente por los agujeros de inoculación (Fig. 13). El período de exposición a la luz necesario para la fructificación puede ser muy corto y, bajo ciertas circunstancias, puede ser de menos de una hora (Leatham y Stahmann, 1987).

Sin embargo, no siempre es necesario controlar la intensidad de la luz para inducir la formación de primordios. Cuando se proporcionan 3.000 lux de luz a los troncos, aún el micelio que está debajo de la corteza exterior recibe generalmente varios lux de iluminación, que son suficientes para iniciar la fructificación. En la mayoría de los casos, al aire libre bajo los árboles hay

Desarrollo de Cuerpos Fructíferos

Una vez se que se forman los primordios, ellos deben desarrollarse en cuerpos fructíferos que sean lo suficientemente grandes como para ser cosechados. El desarrollo del cuerpo fructífero está estimulado por temperaturas bajas de 5 a 20°C, dependiendo de las cepas y del riego. Cuando la temperatura es apropiada para la cepa, la fructificación ocurre naturalmente en otoño y primavera. El golpe a los troncos, que es un choque físico, también resulta eficaz en la inducción de la fructificación. Muchos cultivadores sumergen los troncos en agua fría a 15-20°C para promover el desarrollo de los cuerpos fructíferos. El proceso de sumergir los troncos les provee de agua y de un choque físico.

En cultivos intensivos, normalmente se usan troncos con cepas de temperaturas altas. Esto es así, porque las cepas de temperatura alta tienden a ser más sensibles a los estímulos y son más convenientes para la fructificación forzada. Actualmente, la mayoría de los cultivadores de shiitake producen cepas de temperatura alta en interiores, para poder regular más fácilmente los factores ambientales y los tiempos de producción del hongo.



Figura 14. Fructificación de Shiitake

Condiciones para el desarrollo del cuerpo fructífero

Temperatura baja

Las temperaturas bajas inducen el desarrollo de los cuerpos fructíferos que acompaña al aumento de las actividades enzimáticas como la proteasa ácida y la acumulación de nutrientes alrededor del cuerpo fructífero en desarrollo (Tokimoto y col., 1984; Tokimoto y Fukuda, 1997). La temperatura durante el desarrollo del cuerpo fructífero también afecta la forma y el rendimiento de los cuerpos fructíferos y cada cepa tiene su propia temperatura óptima (Kawai y Kashiwagi, 1968; Ohira y col., 1982). Cuando la temperatura es menor o mayor que la óptima para la cepa, se producen cuerpos fructíferos más pequeños. Para producir los cuerpos fructíferos, las cepas de temperaturas altas se inducen con una exposición más corta a temperatura baja, y pueden necesitar sólo varias horas de frío. Sin embargo, las cepas de temperatura baja o media requieren una exposición más larga a baja temperatura para inducir la fructificación.

Generalmente, los troncos viejos y livianos requieren mucha más agua, pero los troncos jóvenes y pesados también necesitan una cantidad pequeña de agua. El riego es la manera más práctica de bajar la temperatura en verano. La temperatura del agua también es importante, así como lo es la cantidad de agua absorbida.

Contenido de agua en los troncos

Una humedad relativa de más del 65% es esencial para el crecimiento normal de los cuerpos fructíferos (Kawai y Tokimoto, inédito). Los troncos consisten de madera, agua (agua unida y agua libre), y aire. En *Quercus*, la máxima cantidad de agua unida es de alrededor del 28% (p/p) de la madera, y la cantidad restante es agua libre. En muchos casos, el agua libre es de aproximadamente 10-20%, pero ocasionalmente puede alcanzar más del 20% después de que los troncos se han sumergido en agua. La cantidad de agua libre depende de la cantidad total de agua, la cual varía con las condiciones del tronco. El progreso de degradación de la madera hace que ésta se reduzca y aumente la capacidad de agua libre y aire.

Cada tronco tiene su propio contenido de agua óptimo para fructificar y depende del grado de decaimiento de la madera. En el caso de los troncos de *Quercus*, un alto contenido de agua libre, más del 20%, junto con un contenido alto de volumen de aire, más del 30%, resultan en una buena fructificación (Tokimoto y col., 1998) (Tabla 5). Como los troncos jóvenes, menos degradados, tienen niveles altos de sustancias leñosas, es difícil mantener contenidos altos de agua libre y aire. Esta es la razón por la cual los troncos menos degradados producen menos cuerpos fructíferos. En contraste, los troncos viejos reciben fácilmente mucha más agua libre y aire, pero tienen nutrientes insuficientes.

Tabla 5. Rendimiento medio y propiedades físicas en la albura de 10 troncos después de la inmersión

Edad del tronco (meses)	Tratamiento antes de sumergir *	Volumen (%) en la albura después de la inmersión **			
		Sustancia leñosa y agua unida	Agua libre	Aire	Rendimiento de cuerpos fructíferos (g) ***
21	Cortes de extremos	40,5	20,5	39,0	111
	Corteza ranurada	40,9	23,9	35,5	122
	Ninguno	40,1	17,3	42,3	151
45	Corte de extremos	29,7	32,8	37,7	242
	Corteza ranurada	29,4	32,0	38,6	190
	Ninguno	29,4	17,8	52,8	68

* Para promover la absorción de agua, se cortan ambos extremos de los troncos o se ranura la corteza exterior en seis lugares por tronco.

** Por 10.000cm³ de madera, después de la inmersión por 16 horas

*** Peso fresco, media de 10 troncos

Nota: Se usó una cepa de temperatura baja a media.

Choque físico

El golpe a los troncos, así como el riego promueven la producción de cuerpos fructíferos. Generalmente, el golpe sincronizado con el riego induce muchos más cuerpos fructíferos. Sin embargo, los troncos sumergidos en agua 24 horas después del golpe fructifican pobremente. Cuando los granjeros dan un segundo golpe después del primero, el intervalo entre los dos golpes es importante. El segundo golpe al día siguiente del primero no muestra ningún efecto, pero los golpes dados al cuarto y al octavo día del tratamiento resultan en una fructificación buena. En general, el efecto negativo del primer golpe permanecerá durante el segundo día y desaparecerá en el cuarto y octavo días, aunque dicho intervalo varía con las cepas y las condiciones del tronco (Tabla 6, Tokimoto, inédito). El mecanismo del efecto del choque físico aún es incierto.

Tabla 6. Efecto del golpe y el remojo de los troncos en el rendimiento de los cuerpos fructíferos

Tratamiento	Número de cuerpos fructíferos por tronco
Sólo remojo	38
Golpe y remojo	55
El 1er. día golpe, y el 2do. día golpe con remojo	30
El 1er. día golpe, y el 2do día remojo sin golpe	31
El 1er. día golpe sin remojo, y el 4to. día remojo con golpe	56
El 1er. día golpe sin remojo, y el 4to. día remojo sin golpe	32
El 1er. día golpe sin remojo, y el día 8 remojo con golpe	58
El 1er. día golpe sin remojo, y el 8vo.día remojo sin golpe	36

Nota: Los tratamientos de golpe y remojo en el mismo día se llevaron a cabo sin intervalos entre ellos. El período de remojo de los troncos en agua fue de 16 horas.

Rendimiento máximo de un tronco

Se considera que el cultivo de shiitake es una conversión de componentes de la madera en cuerpos fructíferos. La comparación de las cantidades de elementos entre la madera de *Quercus serrata* y los cuerpos fructíferos revela que las cantidades de N, P, y K en los troncos limitan el rendimiento de la fructificación. Pero, como generalmente los nutrientes de los troncos no se utilizan totalmente, un aumento en estos nutrientes puede no ser importante. El agregado de estos elementos al agua de remojo promueve la fructificación, pero a veces causa la invasión de hongos antagónicos después de fructificar. Además, se asume que en el Japón el shiitake se cultiva siempre sin químicos. Entonces, no se recomienda la adición de elementos extras. En la suposición de que los troncos gastados contienen estos elementos en la proporción del 20-30% en relación a los troncos no inoculados, un tronco de 10.000cm³ de volumen podría producir aproximadamente 2,5kg de cuerpos fructíferos frescos en el curso de su vida completa (Tokimoto y col., 1982; Matsumoto y col., 1990).

Cosecha y Manejo

Cosecha y ciclo de fructificación

El shiitake se cosecha cuando los cuerpos fructíferos crecen lo suficientemente grandes como para ser cosechados. El tiempo de cosecha depende de qué tipo de shiitake prefiere el mercado. Se cosecha temprano si se prefiere el sombrero cerrado y tarde, si los consumidores prefieren el sombrero abierto. Desde el punto de vista de la nutrición, el tiempo de cosecha más apropiado es en la fase media o tardía del desarrollo de los cuerpos fructíferos. Las cantidades de muchos componentes, incluidos los azúcares y



Figura 15. Alegría ante la cosecha de shiitake

polisacáridos son constantes o aumentan ligeramente durante el desarrollo (Yoshida y col., 1986). El lentinan, una sustancia antitumoral del shiitake, está presente en cantidades más altas durante la fase media del desarrollo (Minato y col., 2001). Los cuerpos fructíferos cosechados en la fase media pueden preservarse por más tiempo que aquéllos cosechados durante las fases más tardías. Como la producción de cuerpos fructíferos usa mucha energía, el micelio en los troncos, requiere un descanso de más de un mes entre una oleada y la siguiente. Una temperatura de 15-25°C y riego pueden acortar el período de recuperación.

Almacenamiento de shiitake fresco

La calidad del shiitake cosechado decae rápidamente a temperatura ambiente. A medida que aumenta la pigmentación parduzca, aumenta el mal olor y disminuye la cantidad de azúcar, polisacáridos, y otros (Minamida y col., 1980a; Yoshida y col., 1986). Para evitar este deterioro, se debe aplicar un tratamiento de temperatura baja. La vida comercial del shiitake fresco es de aproximadamente 3 días a 20°C, pero puede ser de 14 días a 6°C (Minamida y col., 1980b). Además, el almacenamiento en atmósfera controlada (AC) es eficaz. Cuarenta por ciento de CO₂ con 1- 2% de O₂ es una condición buena para mantener la frescura del shiitake. La vida comercial del shiitake podría extenderse 4 veces a 20°C comparado con shiitake no tratado con AC (Minamide y col., 1980a). El tratamiento frío y el tratamiento con AC retardan la pérdida de las sustancias útiles del shiitake, tales como el lentinan (Minato y col., 2001; Kawakami y col., 2004).



Figura 16. Shiitake cosechado A Shiitake fresco B Shiitake seco

Secado del Shiitake

Uno de los métodos más comúnmente usados para la conservación del shiitake es el secado. La manera en que se secan puede afectar la calidad del shiitake seco. El principio fundamental de secado es usar "un período corto con la temperatura no demasiado alta". Esto se logra usando una corriente de aire seco a 30-50°C. La temperatura a aplicar depende del contenido de agua de los cuerpos fructíferos a tratar. Se usan temperaturas del aire más bajas para los cuerpos fructíferos más húmedos. El secado más rápido produce shiitake menos contraído (Kawai, 1962). Sin embargo, cuando la temperatura superficial de los cuerpos fructíferos se eleva a más de 30-35°C en las primeras cinco horas de secado, los shiitake secos se ponen negros y se vuelven muy pequeños (Kawai y Kawai, 1961).

Conclusión

El cultivo de shiitake en troncos puede describirse como un proceso en el que los componentes del tronco se convierten en shiitake comestible bajo condiciones ambientales naturales. Los métodos de cultivo del shiitake han mejorado de acuerdo a las condiciones ambientales variables, y cada país o región tiende a tener sus propios métodos óptimos. Es esencial entender la naturaleza biológica del shiitake y observar los troncos cuidadosamente para adoptar las medidas de manejo conveniente, así como el método de cultivo apropiado.

REFERENCIAS

- Brauer, D., T. Kimmons, and M. Phillips. 2002. Effects of management on the yield and high-molecular-weight polysaccharide content of shiitake (*Lentinula edodes*) mushrooms. *J. Agric. Food Chem.* 50: 5333-5337.
- Fukuda, M., K. Tokimoto, M. Tsuboi, and Y. Nishio. 1987. Relation of properties of logs to the rate of wood decay and fruitbody yield in cultivation of *Lentinus edodes*. *Rept. Tottori Mycol. Inst.* 25: 68-74.
- Ishikawa, H. 1967. Physiological and ecological studies on *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. *J. Agr. Lab.* 8: 1-57.
- Kawai, A. 1962. On the relation between the drying speed and the shrinkage during the drying of fruit-bodies of *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. *Rept. Tottori Mycol. Inst.* 2: 27-30. (In Japanese)
- Kawai, A., and J. Kashiwagi. 1989. Relation of temperature to yield of fruitbodies of shiitake, *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. *Rept. Tottori Myc. Inst.* 6: 43-48.
- Kawai, W., and A. Kawai. 1961. Studies on Nietsuki production during the drying of fruit-bodies of *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. *Rept. Tottori Mycol. Inst.* 1:29-34.
- Kawakami, S., K. Minato, K. Tokimoto, N. Fujita, M. Mizuno. 2004. Changes of lentinan contents and glucanase activity in *Lentinus edodes* (Berk.) Singer (Agaricomycetidae) stored under controlled atmosphere. *Intern. J. Med. Mushrooms* 6: 57-62.
- Komatsu, M., Y. Nozaki, A. Inoue, and M. Miyauchi. 1980. Correlation between temporal changes in moisture contents of the wood after felling and mycelial growth of *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. *Rept. Tottori Mycol. Inst.* 18: 169-187.
- Komatsu, M., and K. Tokimoto. 1982. Effect of incubation temperature and moisture content of bed-logs on primordium formation of *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. *Rept. Tottori Mycol. Inst.* 20: 104-112.
- Korea Forest Service. 2003. *Statistics on Forest Products in 2003*.
- Leatham, G., and M. Stahmann. 1987. Effect of light and aeration on fruiting of *Lentinula edodes*. *Trans. Br. mycol. Soc.* 88: 9-20.
- Lee, E.R. 1978. Studies on the possibility of oak mushroom (shiitake) cultivation on Ban Oak (*Quercus incans*) of India. *Korean J. Mycol.* 6: 31-35.
- Matsumono, T., K. Tokimoto, M. Fukuda, and M. Tsuboi. 1990. Contents of mineral elements in *Quercus serrata* logs: variation with the felling time and their effects on the fruitbody yield of *Lentinus edodes*. *Rept. Tottori Mycol Inst.* 28: 325-332.
- Minato, K., M. Mizuno, S. Kawakami, S. Tatsuoka, Y. Denpo, K. Tokimoto, and H. Tsuchida. 2001. Changes in immunomodulating activities and content of antitumor polysaccharides during the growth of two medicinal mushrooms, *Lentinus edodes* (Berk.) Sing., and *Grifola frondosa* (Dicks.:Fr.) S. F. Gray. *Intern. J. Medic. Mushrooms* 3: 1-7.
- Minamide, T., T. Nishikawa, and K. Ogata. 1980a. Influences of CO₂ and O₂ on the keeping freshness of shiitake (*Lentinus edodes* (Berk.) Sing.) after harvest. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 27: 505-510.
- Minamide, T., Tsuruta, M., and Ogata, K. 1980b. Studies on keeping freshness of shii-take (*Lentinus edodes* (Berk.) Sing.) after harvest. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 27: 498-504.
- National Forestry Cooperatives Federation. 2002. *Teaching Material for Shiitake Cultivation in 2002*. 32 pp.
- Ohira, I., Matsumoto, T., Okubo, M., Maeda, T., and Yamane, K. 1982. Effects of temperatures on the yield and shape of *Lentinus edodes* fruitbodies. *Rept. Tottori Mycol. Inst.* 20: 123-139.
- Przybylowicz, P., and J. Donoghue. 1990. *Shiitake Growers Handbook*. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company. pp. 217.
- Shimomura, N., and K. Hasebe. 2004. Estimation of viability of inner bark tissue of *Quercus serrata*, a substrate for log cultivation of *Lentinula edodes*, using the TTC assay method. *Mycoscience* 45: 362-365.

- Tokimoto, K., and M. Fukuda. 1981. Relation between mycelium quantity and fruit-body yield in *Lentinus edodes* bed-logs. *Taiwan Mushrooms* 5: 1-5.
- Tokimoto, K., and M. Fukuda. 1997. Changes in enzyme activities in bedlogs of *Lentinula edodes* accompanying fruit body development. *Mokuzai Gakkaishi* 43: 444-449.
- Tokimoto, K., and M. Komatsu. 1982. Influence of temperature on mycelium growth and primordium formation in *Lentinus edodes*. *Trans. Mycol. Soc. Japan* 23: 385-390.
- Tokimoto, K., and M. Komatsu. 1995. Selection and breeding of shiitake strains resistant to *Trichoderma* spp. *Can. J. Bot.* 73: S962-S966.
- Tokimoto, K., A. Kawai, and M. Komatsu. 1977. Nutritional aspects of bed-logs of *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. during fruit-body development. *Rep. Tottori Mycol. Inst.* 15: 65-69.
- Tokimoto, K., T. Hiroi, A. Nishida, A. Tamai, and M. Fukuda. 1982. Changes of bed-log components and fruit-body yield during *Lentinus edodes* cultivation. *Rept. Tottori Mycol. Inst.* 20: 117-122.
- Tokimoto, K., M. Fukuda, and M. Tsuboi. 1984. Physiological studies of fruitbody formation in bedlogs of *Lentinus edodes*. *Rept. Tottori Mycol. Inst.* 22: 78-79.
- Tokimoto, K., M. Fukuda, and M. Tsuboi. 1998. Effect of the physical properties of *Lentinula edodes* bedlogs on fruiting body production. *Mycoscience* 39:217-219.
- Triratana, S. 1993. Shiitake production in tropical Thailand. In: *Proc. Intern. Shiitake Mushroom Symposium in Oita* pp. 157-165.
- Yoshida, H., T. Sugahara, and J. Hayashi. 1986. Changes in the contents of carbohydrates and organic acids in fruit-bodies of shiitake-mushroom (*Lentinus edodes* (Berk.) Sing.) during development and post-harvest storage. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 33: 414-425.