

Komentarz do artykułu historycznego:

PODSTAWY ŻYWIENIA PIECZARKI I ROZWOJU TECHNOLOGII UPRAWY

Dr inż. Nikodem SAKSON, Poznań, 2013 r.

Poszukiwanie naukowych podstaw rozwoju uprawy pieczarki

W branżowej przestrzeni publicznej dominuje pogląd, że nie należy dokonywać żadnych zmian w technologii uprawy. Wynika to z dwóch przyczyn. Pierwsza to zamknięty, oparty o doświadczenie, charakter obecnej niderlandzkiej technologii uprawy pieczarki, opracowanej pod koniec lat siedemdziesiątych. Drugi to niewielki zakres wiedzy naukowej pozwalającej zrozumieć mechanizmy rządzące przebiegiem uprawy. Wszystko to w dominującym przekonaniu, że każda zmiana intencjonalna jest niekorzystna wiąże się z nadmiernym ryzykiem i nieopłaconym wysiłkiem.

Ja nie podzielam tego podejścia chociaż jest dla mnie zrozumiałe i także, że prezentacja innego podejścia wiąże się z brakiem akceptacji przez branżę. Wyrazem moich poszukiwań jest wprowadzenie definicji uprawy jako sterowania żywieniem pieczarki. Obecnie dodatkowym obszarem stwarzającym szansę na rozwój uprawy jest proces kompostowania. Poniższy tekst pokazuje mój zakres wiedzy o żywieniu pieczarki, jaki miałem w połowie pierwszego dziesięciolecia dwudziestego pierwszego wieku oraz o możliwości skutecznego kontrolowania procesu uprawy. Co do zasady jest on aktualny. Szczególnie wobec ostatnio prowadzonych badań naukowych, które opierają się o ten proces.

Dr inż. Nikodem Sakson



PODSTAWY ŻYWIENIA PIECZARKI I ROZWOJU TECHNOLOGII UPRAWY

Dr inż. Nikodem SAKSON, Poznań, 2013 r.

Spis treści:

PODSTAWY ŻYWIENIA PIECZARKI I ROZWOJU TECHNOLOGII UPRAWY	1
Dr inż. Nikodem SAKSON, Poznań, 2013 r.	1
PODSTAWY ŻYWIENIA PIECZARKI I ROZWOJU TECHNOLOGII UPRAWY	2
Dr inż. Nikodem SAKSON, Poznań, 2013 r.	2
Streszczenie	2
WSTĘP	3
ROZWÓJ TECHNOLOGII PRODUKCJI PIECZARKI	3
ZMIANA PARADYGMATU	5
TEORETYCZNE PODSTAWY ŻYWIENIA PIECZARKI – WIEDZA O ŻYWIENIU	6
KOLONIZACJA SUBSTRATU WSTĘP DO ŻYWIENIA	10
ŻYWIENIE ENZYMATYCZNE	11
PRZYSWAJALNOŚĆ DOKARMIACZY	12
KOLONIZACJA OKRYWY I JEJ WPŁYW NA ŻYWIENIA	12
TWORZENIE I WZROST OWOCNIKÓW (FAZA GENERATYWNA ROZWOJU PIECZARKI)	13
NADMIERNY ZROST ZAWIĄZKÓW	13
TRANSPORT SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH I PRODUKTÓW PRZEMIANY MATERII	14
PRZEJŚCIE DO WYTWARZANIA ZARODNIKÓW	14
EFEKTY ŻYWIENIA; PRZYROST MASY, WYTWARZANIE SPOR	15
ŻYWIENIE A RZUTY	15
STOPIEŃ WYKORZYSTANIA PODŁOŻA A PLON	15
PODŁOŻE PO UPRAWIE	16
ZALEŻNOŚCI MIĘDZY ELEMENTAMI SYSTEMU ŻYWIENIA	16
PRAKTYCZNE WYKORZYSTANIE WIEDZY O ŻYWIENIU	16
CYKL ŻYWIENIOWY PODSTAWĄ PROCESU ŻYWIENIA	22
WYNIK ŻYWIENIA	23
BUDOWA MODELI ŻYWIENIA W OPARCIU O RÓŻNE PODŁOŻA	24
TECHNOLOGIA UPRAWY	25
PODSUMOWANIE	26
LITERATURA:	26

Streszczenie

Prowadzone w ostatnich latach badania nad genomem pieczarki pozwoliły lepiej poznać jej procesy życiowe. Jednym z nich jest żywienie; zewnętrzne, trawienie enzymatyczne i przyswajanie składników rozpuszczonych w wodzie. Pozwoliło to na sformułowanie nowej definicji uprawy jako sterowanego procesu żywienia pieczarki. W przedstawionym artykule opisany jest proces żywienia i zasady sterowania nim w okresie uprawy. Pozwala to na samodzielne skonfrontowanie własnych doświadczeń z nowymi propozycjami kontroli zachowania pieczarki i tym samym na poprawę efektywności uprawy.

WSTĘP

Warunkiem rozwoju każdej branży są zmiany w technologii, zapewniające większą efektywność zarówno techniczną, jak i ekonomiczną prowadzonej działalności. W ostatnich latach w produkcji pieczarki obserwuje się wyraźny zastój w tym zakresie. Powodem jest kryzys modelu satelitarnego produkcji pieczarki w Europie. Bardzo wyraźne jest to już w Holandii i coraz bardziej także w Polsce. Wynika to z faktu, że w satelitarnym systemie trudne są działania innowacyjne bez pomocy państwa. Nie można ich bezpośrednio skomercjalizować i w oparciu o nie rozwijać technologie produkcji pieczarki. Podzielenie poszczególnych etapów produkcji na sektory funkcjonujące autonomicznie nie stwarza warunków do rozwoju poprzez innowacje.

Nie bez znaczenia jest wyczerpanie się zdolności obecnego systemu do tworzenia innowacji w oparciu o dotychczasowe założenia teoretyczne (paradygmat), tj. sterowany proces kompostowania z udziałem pieczarki (w warunkach tlenowych). Podstawową przyczyną jest brak nowego pomysłu na rozwój technologii wytwarzania podłoża do produkcji pieczarki. Technologii, która zapewniałaby stabilne plonowanie i większe jego wykorzystanie. Nie bez znaczenia jest też zastój w hodowli, która nie oferuje ras dających większe i lepszej jakości plony pieczarki przy obecnym stanie technologii produkcji podłoża oraz efektywnym sterowaniu zachowaniem pieczarki w czasie plonowania.

Nie oznacza to braku zapotrzebowania na innowacje. Ciągłe pogorszenie sytuacji ekonomicznej producentów, którzy stale dążą do obniżania kosztów produkcji. Obniżenie rentowności wynika z rosnących kosztów produkcji przy stałej cenie oferowanej przez coraz silniejsze podmioty prowadzące obrót pieczarką. Tak funkcjonującej branży grozi utrata rentowności w ciągu kilku najbliższych lat, jeżeli nie znajdzie właściwego rozwiązania tego problemu.

ROZWÓJ TECHNOLOGII PRODUKCJI PIECZARKI

O rozwoju technologii produkcji pieczarki w najbliższych latach będą decydowały:

- 1) rozwój przemysłowej produkcji pieczarki w cyklu zamkniętym z prowadzeniem własnej polityki rozwojowej i przeznaczaniem własnych środków na badania i rozwój oraz zdolność do samodzielnego wprowadzania innowacji;
- 2) zmiana dotychczasowego procesu kompostowania z udziałem pieczarki (paradygmatu) na nowy, określany jako sterowany proces żywienia pieczarki lub inny konkurencyjny;
- 3) metoda – powtarzalny sposób na sterowanie procesem rozwoju – zmiany w technologii uprawy pieczarki stosowane w przedsiębiorstwie oraz ocena proponowanych zmian. Metoda ta zakłada powtarzający się proces rozwoju technologii uprawy pieczarki poprzez zdobywanie wiedzy teoretycznej o pieczarce i wykorzystanie jej do opracowania modeli stanowiących podstawę nowych, lepszych technologii. Z kolei zapotrzebowanie na nowe technologie może stymulować rozwój badań naukowych.

Dlaczego nie obserwuje się rozwoju technologii? Ograniczenia obecnego podejścia.

To nie tylko system satelitarny w obecnym kształcie jest czynnikiem ograniczającym rozwój technologii produkcji pieczarki, ale także stosowane technologie produkcji kompostu. Dalszy wzrost plonów ogranicza sam proces kompostowania. Kompost przygotowany w fazie gorącej kompostowania ma

potencjał plonotwórczy, wynikający z samej istoty jego przebiegu, który to wymaga stosunku węgla do azotu jak 30 : 1 i stałego dostępu tlenu. To one warunkują jego prawidłowy przebieg. Oznacza to, że zasób składników pokarmowych dostępnych dla pieczarki zależy od wyniku tego procesu oraz ilości użytego kompostu, a nie rzeczywistych potrzeb i możliwości plonowania pieczarki. Ewentualna istotna zmiana proporcji C : N zakłóca przebieg procesu kompostowania i wyprodukowane kompost ma znacznie niższy potencjał plonotwórczy. Oprócz tego wykorzystywane obecnie technologie nie pozwalają na pełną kontrolę prowadzonego procesu jego produkcji. Powoduje to istotną jego zmienność. Towarzyszy temu brak wiedzy o tym, jak ewentualnie standaryzować kompost przed wysiewem grzybni, aby miało powtarzalny potencjał produkcyjny. Patrząc perspektywicznie, produkcja standardowego kompostu jest praktycznie nieopłacalna ze względu na dużą zmienność surowców, jak i koszty ograniczenia wpływu na proces kompostowania warunków klimatycznych. Ponadto wiedza o przebiegu procesu kompostowania ciągle nie przenosi się na działania praktyczne. Co prawda plony można zwiększać przez stosowanie dużych ilości kompostu, jak to robią przykładowo Amerykanie (120 kg/m² podłoża fazy II pozwala uzyskiwać plony na poziomie 38 kg/m²). Prowadzić to może do wzrostu plonów, ale oznacza, z reguły, mniejsze jego wykorzystanie. Przy obecnych cenach kompostu oraz kosztach energii zwiększanie jego ilości jest więc nieopłacalne.

Nie sprzyja także rozwojowi sytuacja na rynku dodatków. Dotychczas używane dodatki (supplements) to z założenia produkty przeznaczone do wzbogacania kompostu. Celem ich zastosowania jest uzupełnienie brakujących składników pokarmowych w kompoście w odniesieniu do przyjętego standardu. Jednak brak odpowiednich metod ich identyfikacji powoduje, że stosuje się je rutynowo bez względu na cechy kompostu. Dodatki, głównie białkowe, produkowane są w dwóch rodzajach - w zależności od rodzaju podłoża, do którego są dodawane. Różni je dawka stosowanej formaliny. Większa dawka (6000 ppm) jest stosowana do podłoża fazy II, a mniejsza (3000 ppm) do podłoża fazy III. Z literatury wynika, że efektywność stosowanych dodatków do podłoża fazy II jest zdecydowanie mniejsza.

Analizując skład dodatków, dzisiejszą o nich wiedzę oraz praktykę produkcyjną można stwierdzić, że nie spełniały one swojej funkcji lub tylko w ograniczonym zakresie. Wynika to z faktu, że gdy zaczynano je stosować (około 30 lat temu), to osiągnąć wzrost plonów wynikał z faktu, że produkowane komposty były jak na dzisiejsze standardy ubogie, a zbierane plony niskie. Obecnie produkowane podłoża są znacznie zasobniejsze, co powoduje, że efektywność stosowania dodatków jest stosunkowo niewielka. Zwykle nie można ich stosować w większych dawkach niż do 1,6 % masy podłoża fazy III. Wynika to z wysokiego wzrostu temperatury w podłożu, jaki towarzyszy stosowaniu coraz większych dawek dodatków niż zalecane. Może to prowadzić do przegrzania podłoża i istotnego spadku plonów. Zupełnie innym zagadnieniem jest odpowiedź na pytanie: czy można ingerować w skład podłoża, jeżeli jest ono w pełni opanowane przez grzybnię pieczarki? Należy również postawić następne pytanie: czym wobec tego jest obecnie stosowanie dodatków białkowych? Z początkowego założenia wynika, że stosowanie dodatków ma zmieniać skład kompostu i powinno być prowadzone do momentu rozpoczęcia procesu pasteryzacji i dojrzewania. Natomiast od momentu opanowania podłoża przez grzybnię powinniśmy używać terminu dokarmianie, żywienie. W takiej sytuacji łatwo jest wyjaśnić małą efektywność stosowania obecnych dodatków białkowych. Mają one powodować zmianę stosunku C:N, przez zwiększenie udziału azotu, dzięki stosowaniu soi HP czy innych dodatków zbilansowanych do zawartości 46–48% białka, bez względu na ich przyswajalność dla pieczarki. Nie bez znaczenia może być wpływ diety białkowej na rozwój zielonych pleśni o charakterze konkurencyjnym. Należy przypuszczać, że dodatkowa ilość białka z dodatku oraz wzrost temperatury podłoża mogą sprzyjać rozwojowi zielonych pleśni. Są to gatunki należące do innego rodzaju niż pieczarka i głównym sposobem ograniczania ich rozwoju w substracie powinna być dieta energetyczna, łatwo przyswajalna przez pieczarkę.

Cechą charakterystyczną obecnie stosowanych dodatków jest duża zawartość soi. Nawet dokonując zmian w składzie dodatków, spowodowanych wzrostem ceny soi i problemów z GMO, wprowadzono nowe komponenty, mające uzupełnić zawartość białka. Jako składniki zastępcze okresowo stosowano mączki mięsne i kostne oraz śruty roślin krzyżowych. Wykorzystanie mączki kostnej i mięsnej do produkcji żywności kwestionowane było na przełomie 2012 i 2013 roku w Polsce i Hiszpanii. Nie poszukiwano innych rozwiązań, mimo że w *The cultivation mushroom* (1988) można znaleźć długą listę innych produktów, które można stosować jako dodatki, a wytwarzane są przykładowo z roślin rosnących w Europie, jak kukurydza, ziemniaki, pszenica, słonecznik lucerna, buraki cukrowe.

Ważny jest okres ich dostępności dla grzybni pieczarki w procesie odżywiania. Dodatki ze swego założenia mają działać z opóźnieniem, stąd traktowanie ich formaldehydem i odpowiednia granulacja. Ten sam skutek można uzyskać, stosując obróbkę termiczną. Ale rzeczywisty okres ich przyswajania przez grzybnie jest krótki; od nałożenia okrywy do zakończenia szoku. Tym samym wpływ na plonowanie pierwszego i drugiego rzutu jest ograniczony.

Najważniejszą jednak przyczyną niezadowolenia z obecnie stosowanych technologii jest brak postępu we wzroście plonów. Większe średnie roczne plony rzadko przekraczają 32 kg/m^2 i to najczęściej pod warunkiem, że duże są plony w pierwszym rzucie i dawka podłoża jest większa niż 85 kg/m^2 . Mimo że warunki techniczne umożliwiają uzyskiwanie plonów wynoszących $20\text{--}25 \text{ kg/m}^2$ w każdym rzucie, to w każdym kolejnym jest on zwykle mniejszy. Przykładowo plon 30 kg/m^2 rozkłada się na kolejne rzuty i wynosi odpowiednio 15, 10 i 5 kg/m^2 . Oznacza to, że podłoże jest wykorzystywane zazwyczaj w granicach 30–40%, a oczekuje się 50-procentowego. Fakt, że w kolejnych rzutach, czwartym i piątym, uzyskuje się plony na poziomie 5 kg/m^2 oznacza, że zasoby składników pokarmowych pobieranych w trakcie rozkładu enzymatycznego; wzrostu grzybni są zbyt małe do uzyskiwania wyższych plonów; brak biomasy, której wielkość nie przekracza w podłożu 2% jego suchej masy. Stwarza to zapotrzebowanie na dostarczenie do podłoża dodatkowych składników pokarmowych odpowiedzialnych na wzrost plonu szczególnie w drugim i trzecim rzucie.

Fakt, że niezależnie od stopnia wykorzystania podłoża ciągle jego znaczna część jest usuwana poza system produkcji jako odpad, pozwala na postawienie pytania: czy może być ono wykorzystane ponownie w uprawie jako składnik diety pieczarki? Użycie niewykorzystanego podłoża po zakończonej uprawie, szczególnie po dwóch rzutach, wydaje się niezwykle ciekawą propozycją ze względu na skład podłoża, a głównie jego selektywność dla pieczarki.

Analizowane ograniczenia nie pozwalają na dalsze zwiększenie plonów i efektywne wykorzystania kompostu mimo coraz wyższych kosztów produkcji zarówno podłoża, jak i pieczarki. Dalszy rozwój może zapewnić nowe podejście do sterowania procesem plonowania pieczarki.

ZMIANA PARADYGMATU

Obecnie produkcję pieczarki można zdefiniować jako kontrolowany proces kompostowania z wykorzystaniem pieczarki. Proponuje się zmianę tej definicji na sterowany proces żywienia pieczarki, w którym pieczarka znajduje się w centrum procesu produkcji. Oznacza to, że sposób odżywiania, sterowanie wzrostem i rozwojem są podporządkowane jej potrzebom oraz wielkości planowanego plonu, asortymentowi i cechom owocników, które zamierza się uzyskać w trakcie uprawy. O sensowności zmiany świadczą wykorzystywane już w produkcji zabiegi zapewniające wzrost plonów i lepszą jakość owocników, takie jak:

- 1) stosowanie dodatków zawierających skrobię – składnik zwiększający pieczarce (grzybowi saprofitycznemu) dostępność energii niezbędnej do życia:

- 2) odżywanie pieczarki składnikami pokarmowymi wprowadzonymi do okrywy;
- 3) stosowanie składników odżywczych w formie płynnej;
- 4) inicjowanie i kontrolowanie przebiegu cyklu żywieniowego pieczarki w kolejnych rzutach;
- 5) przeciwdziałanie ograniczaniu wzrostu wytworzonych zawiązków przez zmianę warunków uprawy.

Istotnym zabiegiem uprawowym, który skłania do zmiany podejścia, ponieważ jego wyniki są obiecujące, jest ponowne zastosowanie kompostu po zakończonej uprawie jako pełnowartościowego źródła pożywienia dla pieczarki.

TEORETYCZNE PODSTAWY ŻYWIENIA PIECZARKI – WIEDZA O ŻYWIENIU

Podstawowe znaczenie dla rozwoju tego podejścia, nazywanego kontrolowanym żywieniem pieczarki, ma znajomość procesu jej odżywania i czynników wpływających na jego przebieg oraz wynikające z nich procesy wzrostu i rozwoju pieczarki.

Proces żywienia

Potrzebom żywieniowym pieczarki poświęcono w przeszłości dużo uwagi w badaniach nad bazą żywieniową dla produkowanej grzybni pieczarki. Do życia, wzrostu i rozmnażania pieczarka potrzebuje:

- 1) Wodę. Pełni ona kilka funkcji: jest składnikiem soku komórkowego, środkiem transportu składników pokarmowych, regulatorem temperatury. Szczególne znaczenie ma woda aktywna, której rola w procesie odżywania nie została w pełni wyjaśniona.
- 2) Składniki pokarmowe, dieta. Dieta grzybów jest zbliżona do diety zwierząt i dlatego należy używać słownictwa opisującego żywienie zwierząt w żywieniu pieczarki. Składniki pokarmowe pobierane są w formie roztworów wodnych:
 - a) Substancje energetyczne - źródło energii, jak i węgla w formie wielocukrów, pobieranych jako glukoza, lub tłuszczu rozkładanego przez lipazę, a pobieranego głównie w formie kwasów tłuszczowych (przykładowo kwasu masłowego) i glicerolu. Zagadnieniu zapotrzebowania pieczarki na energię nie poświęca się specjalnej uwagi. Obserwacje prowadzone podczas testów żywieniowych wskazują, że to właśnie niepełne zaspokajanie zapotrzebowania grzybni pieczarki na energię w okresie jej aktywności enzymatycznej ogranicza wykorzystanie podłoża w dwóch pierwszych rzutach.
 - b) Azot w postaci mineralnej - głównie w formie jonów amonowych do tworzenia aminokwasów endogennych, natomiast w postaci organicznej do tworzenia aminokwasów egzogennych z białek. Zwraca się uwagę na szczególną rolę kilku aminokwasów występujących w diecie pieczarki, a zwłaszcza asparaginy. Efekt ich spożycia jest tym większy, im więcej aminokwasów jest dostępnych w diecie,
 - c) Inne składniki mineralne, w tym głównie fosfor, siarka, potas, magnez, sód wapień, mangan. Na szczególną uwagę zasługuje rola wapnia w regulowaniu odczynu podłoża i okrywy oraz jego wpływ na wiązanie owocników. Większość mikroelementów wpływa na proces żywienia za pośrednictwem enzymów, w których występują. Zwraca się uwagę na szczególną rolę manganu,
 - d) Substancje regulujące (witaminy- zwłaszcza biotyna i aneuryna oraz substancje wzrostowe).

Punktem wyjścia przy ustalaniu potrzeb żywieniowych pieczarki może być jej skład. Przeciętnie przyjmuje się, że pieczarka zawiera 90% wody, 2–4,3% białka i innych związków organicznych, w tym 0,2–0,7% węglowodanów, oraz 0,05–1,1% soli mineralnych, w tym głównie fosfor, magnez, potas, wapń, żelazo, a także mikroelementy, witaminy i substancje biologicznie czynne (czy powstają w wyniku metabolizmu w owocniku pieczarki, czy też są transportowane z wodą jako skutek trawienia oraz przebiegu procesu kompostowania przez towarzyszące pieczarce mikroorganizmy - komensalizm). Substancje regulujące, na które zwraca się obecnie szczególną uwagę, zachęcając do spożywania pieczarek, mają duży wpływ na funkcjonowanie organizmu człowieka. Przyjmując najwyższe wskazane zawartości składników pieczarki, oznacza to, że przy plonie 40 kg/m² pobiera ona z podłoża i okrywy: 36 kg wody; ilość azotu i aminokwasów potrzebną do wytworzenia 1,7 kg białka; glukozy i innych cukrów do wytworzenia 2 kg węglowodanów i do utrzymania funkcji życiowych; nienasyconych kwasów tłuszczowych do wytworzenia 0,28 kg tłuszczów; soli mineralnych - 0,44 kg.

Powszechnie przyjmuje się, że do wyprodukowania 1 kg owocników potrzebna jest 220 g suchej masy kompostu oraz 2 litry wody.

Przy programowaniu procesu żywienia ważna będzie umiejętność rozwiązywania antagonizmów między poszczególnymi składnikami diety, przykładowo wapnia i magnezu. Pieczarka reaguje większym wzrostem plonów na bogatą wieloskładnikową dietę niż na wzbogacanie pojedynczym składnikiem; mono-dietę. To stwierdzenie będzie można w przyszłości zweryfikować.

- 3) Środowiska wzrostu grzybni i odżywiania; substrat; podłoże – w naukach doświadczalnych oznacza wyjściowy element (obiekt, materiał, podłoże) stanowiący podstawę, na którą nanosi się jakieś inne elementy lub substancje. Ma ono zapewnić wymianę gazową (tlen/dwutlenek węgla), zasób wody. Jego podstawowym elementem jest nośnik, konstrukcje umiejscowienia dla grzybni, odczyn słabo kwaśny (pH 5,5–6,5), najkorzystniejszy do funkcjonowania enzymów pieczarki, i CaCO₃ stabilizujące odczyn. Powinien także zapewniać utrzymanie wymaganego zakresu temperatur. Pieczarka jako gatunek psychrofilny toleruje temperaturę maksymalną do 30°C, w której procesy życiowe nie są zakłócone. Wymagana jest także duża wilgotność atmosfery, chroniąca grzybnię przed obsuszeniem.
- 4) Środowiska inicjowania i rozwoju owocników. Powinno być zasiedlone przez mikroorganizmy (np. *Pseudomonas putida*) niezbędne w tworzeniu zawiązków. Ilość zawiązków zależy od zasolenia, odczynu (pH 7,5), stężenia dwutlenku węgla (poniżej 2000 ppm) i rasy. Wiązanie następuje na styku powietrze-okrywa. Zmiana stężenia dwutlenku węgla i temperatury powietrza inicjuje ten proces. Warstwa, w której następnie tworzą się owocniki, w pierw premodia, a z nich zawiązki, ma grubość 2–3 cm. Nakładanie wyższej około 5 cm warstwy wynika z pełnionej funkcji - zasobnika wody. W warstwie tej ważną rolę odgrywa zawartość wapnia.
- 5) Grzybni umożliwiającej odżywianie, utworzenie środowiska do odżywiania; faza wegetatywna rozwoju pieczarki. Grzybnia pieczarki stanowi jej aparat żywieniowy. Istnieje zależność między suchą masą grzybni a suchą masą owocników. Grzybnia odpowiada za trawienie składników pokarmowych, pobieranie ich po rozpuszczeniu w wodzie i gromadzenia w swych tkankach. Wynik żywienia zależy w dużej mierze od powierzchni grzybni i aktywności życiowej. W trakcie przerastania podłoża pieczarka zmienia skład mikroflory w podłożu. Z jednej strony hamuje rozwój niekorzystnych dla niej mikroorganizmów (biosupresja), a z drugiej sprzyja rozwojowi mikroflory, z której obecności korzysta w procesie żywienia jako efektu zimnego kompostowania, nazywane komensalizmem. Biosupresja, podczas opanowywania środowiska przez pieczarkę, polega na eliminacji mikroflory pozostałej po procesie pasteryzacji i dojrzewania, a zwłaszcza mikroflory

konkurencyjnej wobec pieczarki, oraz przekształcania organizmów termofilnych w biomasę. Jak to się odbywa? Moim zdaniem odbywa się to przez obniżenie odczynu (pH 6,4) środowiska, w którym się odżywia, niszczenie konkurencyjnych mikroorganizmów aktywnym tlenem (wytwarzanie nadtlenu wodoru) w procesie trawienia enzymatycznego oraz utrzymywanie wysokiego stężenia dwutlenku węgla. Proces ten kończy się z zatrzymaniem wzrostu grzybni w temperaturze poniżej 23°C; po zakończonym szoku. W warunkach laboratoryjnych proces wzrostu masy grzybni obserwowany był w okresie 45 i więcej dni przy zapewnieniu składników pokarmowych. W trakcie przerastania, w wyniku procesu komensalizmu, następuje zmiana mikroflory w podłożu. Celem tej zmiany jest stworzenie warunków do rozwoju mikroflory, która, uczestnicząc w procesie zimnego kompostowania, będzie dostarczała pieczarce łatwo przyswajalnych składników pokarmowych. Komensalizm definiowany jest jako luźny i nieobligatoryjny związek międzygatunkowy, w którym obaj partnerzy mogą egzystować niezależnie od siebie i obaj odnoszą korzyści i mają biologiczną przewagę nad osobnikami innych gatunków, które nie pozostają w takim związku. Komensal (tak nazywa się organizm czerpiący korzyści) może mieszkać w ciele swego gospodarza lub w jego siedlisku. Oznacza to, że nieodzownym elementem żywienia i tworzenia hyfosfery; grzybni jest obecność innych mikroorganizmów, a szczególnie bakterii. Pieczarka może być w takim związku ze *Scytalidium thermophilum*. Ma on odpowiadać za zaopatrzenie pieczarki w rozpuszczalne w wodzie składniki pokarmowe, uwalniane w trakcie zimnej fazy kompostowania. *Scytalidium thermophilum* rozwija się najlepiej w zakresie temperatur od 19°C do 24°C.

Rasy grzybni różnią się istotnie wykorzystaniem podłoża, biomasy. Wskazuje się na konieczność hodowli nowych ras odpowiednich dla różnych sposobów żywienia. Dotyczy to głównie sposobów korzystania z rozmaitych źródeł cukru, zapotrzebowania na substancje wzrostowe i stymulującej roli lipidów.

- 6) Trawienie i pobieranie (wchłanianie) rozpuszczonych w wodzie składników pokarmowych. Saprofity są to organizmy cudzożywne, pobierają energię z martwych szczątków organicznych, rozkładając je do związków prostych. Odbywa się to w trakcie i po wytworzeniu hyfosfery; grzybni. Pieczarka jako grzyb saprofityczny odżywia się dzięki osmotrofii; wchłanianiu na drodze osmozy do grzybni rozłożonej, dzięki trawieniu zewnętrznemu, płynnej materii po rozłożeniu do prostych związków. Ma to miejsce w trakcie wzrostu grzybni. Energia jest pozyskiwana przez rozkład i modyfikację węglowodanów dzięki aktywnym enzymom wchodzącym w skład tzw. Carbohydrate Active enzyme system; CAZyme. W trawieniu zewnętrznym pieczarki uczestniczą dotychczas odkryte 24 rodzaje peroksydazy, głównie peroksydazy manganowe oraz lakkaza, enzym odpowiedzialny za rozkład lignin podczas wzrostu grzybni. Celuloza i hemiceluloza są degradowane po nałożeniu okrywy. Na początku owocowania rośnie aktywność celulazy – enzymu rozkładającego celulozę. Podobnie zachowuje się ksyloza. Jej aktywność jest tym większa, im mniej podłoże zawiera hemicelulozy. Dodanie do podłoża podczas wysiewu grzybni niewielkiej ilości lipidów może stymulować wzrost grzybni.

Grzybnia pieczarki rozpoznaje rodzaj rozkładanego materiału energetycznego i w zależności od jego składu wykorzystuje odpowiedni zestaw enzymów. Obecnie źródłem martwych szczątków organicznych jest podłoże oraz preparaty stosowane do dokarmiania pieczarki. Wskazuje to, że plon pieczarki zależy głównie od składników energetycznych, takich jak celuloza, hemiceluloza, zawartych w podłożu, a rozkładanych przez peroksydazy i inne enzymy. W trakcie tego procesu uwalniany jest nadtlenek wodoru, który pomaga w oczyszczaniu środowiska z niekorzystnej dla pieczarki mikroflory. Drugim typem żywienia, wynikającym z równoległego przebiegu procesu zimnego kompostowania, jest pobieranie składników wytworzonych przez organizmy współżyjące

z pieczarką i uczestniczące w procesie zimnego kompostowania (komensalizm). Zaczyna ono dominować w kolejnych rzutach - po zakończeniu pierwszego. Szczególną rolę w tym procesie przypisuje się *Scytalidium thermophilum*. Zmiana sposobu żywienia jest skutkiem wyczerpywania się zgromadzonych w grzybni przed pierwszym rzutem składników pokarmowych przy braku możliwości lub silnego ograniczenia trawienia enzymatycznego (CAZyme). Powodem jest także coraz dłuższy ich transport z substratu do owocników, ponieważ wyczerpały się zasoby łatwo dostępnych składników energetycznych. Obumierające mikroorganizmy mogą stanowić bazę pokarmową żywienia osmotroficznego składnikami powstałymi w procesie zimnego kompostowania przez komensala. Należy się zastanowić, czy w okresie między rzutami można powrócić, chociażby na krótko, do trawienia enzymatycznego jak w fazie wzrostu wegetatywnego grzybni; tworząc tak zwany cykl żywieniowy. Polegać miałby on na tym, że pieczarka w fazie generatywnej okresowo wznawia aktywność enzymów i uruchamia trawienie zewnętrzne pod warunkiem, że wewnątrz podłoża jest odpowiednia temperatura. Jeżeli temperatura w podłożu po drugim i kolejnych rzutach nie rośnie, może to być przyczyną spadku plonów, gdyż pieczarka może wówczas korzystać wyłącznie z efektów kompostowania zimnego przez aktywną mikroflorę; warunki tlenowe. Świadczy o tym fakt, że na podłożu po trzecim rzucie, które użyto do ponownego założenia uprawy; nastąpiła faza wegetatywna i kontynuowano uprawę po nałożeniu okrywy jak na nowym podłożu. Uzyskiwano wówczas większe plony niż z kolejnego rzutu, w którym odżywianie odbywało się wyłącznie z wykorzystaniem komensalizmu.

Innym wytłumaczeniem wzrostu temperatury między rzutami jest wzrost aktywności pieczarki w pozyskiwaniu składników pokarmowych do wsparcia wzrostu zawiązków kolejnego rzutu, któremu towarzyszyć może rozwój *Scytalidium thermophilum*.

Taka interpretacja odżywiania wskazuje, że głównym celem uprawy powinno być dostarczanie brakujących składników pokarmowych pod każdy rzut oraz utrzymanie w każdym z nich odżywiania enzymatycznego. Stanowi to po dokładnym rozpoznaniu odżywiania pieczarki podstawę do utworzenia środowiska do uprawy pieczarki bez udziału kompostu. Wiedza o żywieniu molekularnym, o składnikach rozpuszczonych w wodzie i bezpośrednio pobieranych przez pieczarkę, zapewniających wzrost wegetatywny grzybni, jest rozległa. Związana jest ona z badaniami nad produkcją grzybni pieczarki, lecz uzyskanych wyników nie udaje się wdrożyć do praktyki. Pokonanie tej bariery umożliwiłoby dostarczanie składników pokarmowych bezpośrednio z wodą. Warunkiem jest utrzymanie wymaganego składu jak i stężenia składników pokarmowych w wodzie, którą pobiera pieczarka z okrywy i podłoża. Jest ono stosunkowo niewysokie i musi pozwalać na przyswojenie w procesie osmozy. Stężenia zbyt wysokie będą powodowały efekt odwrotny od zamierzonego. Przykładowo zestaw standardowy roztwór do odżywiania grzybni składa się z glukozy, asparaginy, soli KCl, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $NaCl_2$, $FeCl_2$, Na_2HPO_4 , KH_2PO_4 , pH 6,8 rozpuszczone w wodzie. Oznaczało by to, że możliwe jest żywienie pieczarki przez cały okres uprawy, po wytworzeniu przez nią grzybni w substracie. Żywienie polegało by na wprowadzaniu pożywki wraz z wodą w okresie plonowania do podłoża i lub okrywy lub na ich styku. Rozpuszczone składniki pokarmowe gromadzone są w grzybni i następnie wykorzystywane w żywieniu. Istnieje ścisła zależność między masą grzybni a osiąganymi plonami, zwłaszcza w pierwszym i drugim rzucie. W rzutach w kolejnych i częściowo drugim rzucie stały dostęp składników pokarmowych w pobieranej wodzie, szczególnie z okrywy, może a pierwsze testy potwierdzają to przypuszczenie istotnie zwiększać plony w każdym z nich. Masa grzybni zależy od dostępnych składników pokarmowych, a także stosowanych dokarmiaczy oraz okresu powiększania masy grzybni.

KOLONIZACJA SUBSTRATU WSTĘP DO ŻYWIENIA

Bez względu na rodzaj substratu użytego do uprawy pieczarki, proces żywienia i w konsekwencji plonowania zawsze poprzedzony jest kolonizacją podłoża; substratu. Proces kolonizacji to fizyczne opanowanie przestrzeni żywienia przez grzybnie pieczarki oraz aktywne jej podporządkowanie procesom życiowym pieczarki, a głównie pozyskiwania składników pokarmowych i wody. Obecnie rozpoznane są dwa przypadki kolonizacji podłoża w uprawie pieczarki o zróżnicowanych celach. Pierwszym to produkcja grzybni. Jej stosowanie ma za cele rozmnażanie wegetatywne pieczarki. Drugim produkcja towarowa owocników pieczarki, której celem jest osiągnięcie jak największej ich masy z użytego kompostu. W produkcji grzybni wykorzystuje się dwa podłoża, pierwsza to różnego rodzaju pożywki płynne lub stałe umieszczane na szalach Petriego lub w specjalnych pojemnikach do produkcji grzybni płynnej. Drugim rodzajem są ziarna zbóż jako nośnika grzybni wegetatywnej wykorzystywanej do kolonizacji kompostu. Zgromadzona wiedza związana z produkcją grzybni pieczarki dostarcza bogatego zakresu informacji o wzroście wegetatywnym grzybni; jej potrzebach żywieniowych, ale w warunkach, które nie mają miejsca w uprawie pieczarki; produkcji owocników. Pomijany jest wpływ mikroorganizmów znajdujących się w kompoście, jego strukturę oraz cech fizyczne jak wilgotność, odczyn, zasolenie i zawartość składników odżywczych na tempo jego kolonizacji. Oddzielnym zagadnieniem pozostaje ilość i rozmieszczenie w substracie użytej grzybni, jak i jej wigoru. Nieanalizowane był dotychczas znaczenie biosupresji jak i komensalizmu w kolonizacji podłoża i ich wpływ na plonowanie pieczarki. Uwzględniając te zjawiska jak i dotychczasową wiedzę o przeroście grzybni i jej zachowaniu do jej wysiewu do substratu do nałożenia okrywy, można podjąć próbę zbudowania modelu procesu kolonizacji i jego wpływu na plonowanie pieczarki oraz przeanalizować jego przydatność do wyjaśnienia szeregu sytuacji towarzyszących przerostowi kompostu i żywieniu. O procesie kolonizacji decyduje:

1) Substrat:

- ilość,
- dostępność łatwo przyswajalnych składników pokarmowych,
- cechy chemiczne, głównie odczyn, zawartość amoniaku, zasolenie,
- powierzchnia nośnika grzybni. Obecnie stopień rozwłóknienie słomy w kompoście, im bardziej słoma rozwłókniona tym ilość komórek słomy jest większa. Stwarza to warunki do większej powierzchni grzybni,
- skład mikrobiologiczny; selektywność podłoża w tym obecność *Scytalidium thermophilum*,
- struktura; stopień ubicia. Ma zapewnić łatwość penetrowania substratu przez strzępki grzybni zapewnia przestrzeń do powiększania masy grzybni ryzomorficznej, wymianę gazową,
- wilgotność i umiejscowienie wody w substracie.

2) Grzybnia wprowadzona do substratu:

- rodzaj użytej grzybni
- ilość w relacji do substratu
- wigor

3) Wzrost grzybni:

- opanowywanie struktury nośnej substratu i jej penetracja i jego stymulowanie wzrostu (lipidy). Tempo penetracji jest znacznie wolniejsze od opanowywania powierzchniowego struktury nośnej. Tworzenie cechy hydrofobowej podłoża. Podstawową rolę w opanowywaniu środowiska żywienia pieczarki mają strzępki grzybni,
- zakończenie opanowania powierzchni struktury nośnej substratu; obecnie źdźbeł słomy,

- rozpoczęcie procesu żywienia gromadzenie w grzybni składników pokarmowych w procesie rozkładu enzymatycznego. penetracja trudno dostępnych składników pokarmowych.; przyrost masy. Podstawowe znaczenie z punktu plonowania zaczyna przejmować sznury; ryzomorfy, w których są one gromadzone, i z których transportowane są do zawiązków i owocników,
 - tempo wzrostu i kumulacji składników pokarmowych zależne od temperatury, stężenie dwutlenku węgla.
- 4) Biosupresja;
 - eliminacja żywej mikroflory, która może być konkurencyjna lub i też źródłem pożywienia.
 - 5) Rozpoczęcie proces komensalizmu.
 - 6) Stan substratu po zakończeniu kolonizacji i rozpoczęcie żywienia enzymatycznego:
 - stopień opanowania substratu przez grzybnie,
 - długość okresu kolonizacji,
 - reakcja termiczna.

ŻYWIENIE ENZYMATYCZNE

Istotnym czynnikiem wpływającym na efekt żywienia a w konsekwencji plonowania jest okres trawienia; żywienia enzymatycznego. Jego zakończenie jest związane z obniżeniem temperatury w podłożu poniżej 23°C i rozpoczęciem wiązania zawiązków przejście w fazę generatywną. Czynione obserwacje wskazują, że im jest on dłuższy tym masa grzybni jest większa i stopień wykorzystania kompostu wyższy.

- 1) Wprowadzenie dokarmiacza:
 - rodzaj,
 - ilość,
 - woda,
 - struktura substratu
 - gromadzenie w grzybni składników pokarmowych w procesie rozkładu enzymatycznego

Rozerwanie podłoża i wprowadzenie dokarmiacza powoduje powtórny wzrost strzępek grzybni. Rozpoczęcie wykorzystania wprowadzonych dodatkowo składników pokarmowych następuje bezpośrednio po wysiewie do momentu spadku temperatury w podłożu poniżej 23°C i rozpoczęcie agregowania; tworzenia premodiów. Im dokarmiacz jest bardziej rozdrobniony lub jest w płynie tym większa jego ilość zostanie przyswojona.

- 2) Temperatura:

Utrzymywanie przez jak najdłuższy okres od nałożenia okrywy do momentu spadku temperatury w podłożu poniżej 23°C tym więcej wprowadzonego dokarmiacza zostanie przyswojona.

Reakcja termiczna na wprowadzane składniki odżywcze. Wzrost temperatury powodowany przez nasilenie procesu trawienia. Nie jest zbyt trudny do kontrolowania, bo wraz ze wzrostem ponad 27°C zaczyna samoistnie się ograniczać. Inaczej kształtuje się zachowanie *Scytalidium thermophilum*, które jako organizm termofilny zaczyna przyspieszać swoje narastanie; namnażanie i narost temperatury szczególnie przy dostępie tlenu (spadku dwutlenku węgla) wprowadzenie wody do przerośniętego podłoża gwałtownie, składnika odżywczego, który może wykorzystać do swojego wzrostu; namnażania, dodatkowej dawki wody oraz osłabienia możliwości ograniczenia jego narastania ze względu na komensalizm; oczekiwany składnik mikroflory zimnego kompostowania w kompoście; substracie.

PRZYSWAJALNOŚĆ DOKARMIACZY

O tym decydują:

- 1) Stopień rozkładu od substancji wyjściowej; celuloza, białko HP od substancji bezpośrednio wprowadzanej w roztworze wodnym do grzybni przez strzępki przykładowo, glukoza i aminokwas. Przykładowo skrobia, obróbka termiczna itp. Rozrywające wiązania
- 2) Stopień rozdrobnienie; powierzchnia styku substancji ze strzępkami.
- 3) Zdolność do pęcznienia
- 4) Czas od wprowadzenia; styku strzępki do przejścia jej w grzybnie ryzomorficzną
- 5) Dostęp do wody. W przypadku stosowania dokarmiaczy stałych. Wymagają napęcznienia.

KOLONIZACJA OKRYWY I JEJ WPŁYW NA ŻYWIENIA

W intensywnej uprawie źródłem grzybni w okrywie jest przerośnięte podłoże. To zasadniczo poziom kolonizacji podłoża i jego ilość decydują o tempie oraz stopniu przerostu okrywy. Dodatkowymi czynnikami są ilość wprowadzanej wody, struktura oraz zabieg czesania. W początkowym okresie kolonizacja okryw może odbywać się bez udziału podłoża. Wymogi środowiskowe; temperatura wilgotność, dostęp do wody stężenie dwutlenku węgla są takie same jak w przypadku kolonizacji podłoża. Oznacza to, że wpływ na kolonizację mają prowadzone zabiegi uprawowe. Prowadzone obserwacje oraz testy wskazują, że na proce żywienia okrywa wpływa następująco:

- 1) Dostępność wody szczególnie istotna w pierwszym i drugim rzucie. Czy jakość wody ma wpływ na plonowanie; odżywianie, przykładowo wysoka zawartość żelaza, odczyn, napowietrzenie?
- 2) Odczyn; spadający odczyn poniżej pH 6,4 sprzyja w trzecim rzucie rozwojowi *Penicillium* na powierzchni okryw i strat. Czy spadek odczynu powodowany wysokimi dawkami wody w okrywie ma wpływ na żywienie; pobieranie wody i ewentualnie składników pokarmowych wprowadzonych do okrywy?
- 3) Zasolenie. Zachowanie gradientu zasolenia. Zasolenie w okrywie ma tendencje do zwiększania się w kolejnych rzutach poprzez proces podsiąkania wody z podłoża do okrywy. W przypadku uprawy intensywnej ilość wody przy plonie 40 kg/m² osiąga poziom 80 l/m² co prawdopodobnie powoduje skutek odwrotny. Spadek zasolenia w okrywie. zbyt niskie silniejsze wiązanie i słabsza jakość, łatwiejszy rozwój kolonii daktylium; stabilizacja przez dodatek soli kuchennej. Stosowanie wysokich dawek wody dochodzących do 80 l/m² przez okres uprawy trzech rzutów powoduje obniżanie zasolenia w okrywie a nie wzrost jak to miało miejsce w uprawach z małą jej ilością, gdzie następował stopniowy wzrost zasolenia, jako skutku podsiąkania wody z komposty, w którym poziom zasolenia wzrastał wraz z poszczególnymi rzutami. Pozostaje także pytanie jak kształtuje się zasolenie przy wprowadzaniu tak dużych ilości wody do podłoża?
- 4) Zawartość wapnia i magnezu. Stosowanie chlorku wapnia, utrzymanie odczynu i eliminacja konfliktu z magnezem? W zasadzie stwierdza się przystosowaniu wapnia dolomitowego do produkcji okryw. Obecnie brak? Czy stosowanie wysokich dawek wody przez okrywę w okresie uprawy ma wpływ na jej wymywanie z okrywy i czy wpływa na odżywianie.
- 5) Struktura; wymiana gazowa, rozkład owocników na powierzchni, wiązanie pod gruzełkami.
- 6) Zawartość składników pokarmowych.
- 7) Użycie stymulatorów wzrostu grzybni.
- 8) Masa grzybni i jej rozmieszczenie i położenie na powierzchni okrywy.

- 9) Obecność patogenów bezpośrednio atakujące grzybnie i wpływające na proces poboru wody i zanieczyszczenia okrywy.
- 10) Obecność *Pseudomonas putida*.

TWORZENIE I WZROST OWOCNIKÓW (FAZA GENERATYWNA ROZWOJU PIECZARKI)

Tworzenie zawiązków. Rozpoczęcie rozwoju generatywnego inicjowany jest zmianami mikroklimatu (szok); obniżka stężenia dwutlenku węgla, wilgotności i temperatury powietrza. Zmiana ta pobudza wytwarzanie hormonów skutkujące wytwarzaniem premodiów przekształcających się w zawiązki. Przyjmuje się założenie, że wszystkie zawiązki tworzą się przed i podczas szoku (agregowanie). Potem są uwalniane w poszczególnych rzutach. Liczba tworzonych zawiązków pozwala na uzyskanie plonu 175 kg/m², co w znacznej mierze odpowiada potencjałowi podłoża do plonowania.

Wzrost zawiązków. Za owocnik przyjmuje się grzyb, którego średnica przekracza 1 cm. Do tej wielkości przy braku dostatecznej ilości składników pokarmowych o niezdefiniowanych właściwościach wzrost zawiązka może być zatrzymany i może on obumierać. Prawdopodobnie związane jest to z fazą ich rozwoju. Do momentu rozpoczęcia różnicowania w zawiązku trzonka i kapelusza jest on jednolitą masą. Prawdopodobnie ten moment decyduje, które zawiązki przekroczą krytyczny etap rozwoju i są zdolne do dalszego wzrostu jako owocniki. Wskazuje się na szczególne znaczenie zmiany temperatury. Korzystny wpływ na zawiązki wielkości od 2 do 6 mm ma utrzymywanie temperatury 16°C przez 2–3 dni, a następnie powrót do temperatur wyższych, w których najszybciej rosną owocniki (22–24°C podłoża). Na liczbę rosnących zawiązków może wpływać obecność lotnych substancji chemicznych, przykładowo chloru.

NADMIERNY WZROST ZAWIĄZKÓW

W przypadku pełnego dostępu do składników pokarmowych obserwujemy przeciwstawne do areztowania zawiązków zjawisko ich nadmiernej rosnącej liczby. O ile dotychczas sterowano z większym lub mniejszym sukcesem zjawisko sterownia gęstością i rozciągnięciem w czasie jako skutku sterownia procesem wiązania. Na kolejnych rzutach pojawiał się problem ze zbyt małą ilością dorastających zawiązków; areztowaniem. Na trzecim rzucie podobnie. Jednym z objawów dobrostanu jest tendencja do wzrostu dużej liczby zawiązków w drugim i trzecim rzucie. Powoduje to nadwiązanie i utratę generacji. Powoduje to konieczność dużego nakładu na ich usunięcie; tworzenie warunków do zbioru selektywnego, zbioru małych i słabych owocników uzyskując nawet plon 15 kg/m². Rozwiązaniem jest pogarszanie warunków wzrostu przy utrzymaniu efektu cebuli i okresowe polepszanie (obniżka stężenia dwutlenku węgla w odstępach kilku godzinnych) aby nie dopuszczać do wzrostu nadmiernej ilości słabych owocników (słabe zróżnicowanie trzonka i kapelusza) oraz odtworzenie generacji. Przy trzecim rzucie ujawnia się wpływ zasolenia okryw (1,6 KCl g/l) na ograniczanie wzrostu liczby zawiązków co jest istotne w związku z ograniczeniem w dostępie do składników pokarmowych. Pozwala to na osiągnięcia istotnej poprawy jakości rosnących owocników.

Prawdopodobnie istnieje zależność między procesem różnicowania trzonka i kapelusza a infekcją suchą zgnilizną. Prawdopodobnie jej strzępki wnikają tylko w zawiązki będące masą grzybni niezróżnicowaną na kapelusz i trzonek.

Poszczególne generacje zawiązków konkurują między sobą o składniki pokarmowe. Skutkuje to zatrzymaniem wzrostu lub też jego spowolnieniem. Przy dłuższym zatrzymaniu następuje ich

obumieranie. Zawiązki kolejnych generacji uaktywniają swój wzrost w drugim dniu po rozpoczęciu zbioru owocników rzutu. Zachowanie to zależy od dostępności składników pokarmowych i warunków wzrostu, tj. mikroklimatu i ruchu powietrza oraz aktywności grzybni w podłożu.

TRANSPORT SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH I PRODUKTÓW PRZEMIANY MATERII

Transport składników pokarmowych.

Pieczarka może transportować składniki pokarmowe z podłoża do owocników nawet na znaczną odległość. Przyjmuje się, że jego szybkość wynosi ona około 2 cm na dobę. Warunkiem koniecznym jest utrzymanie odparowania wody z powierzchni owocnika na poziomie $6 \text{ mg/cm}^2/\text{godz}$. Ten sposób transportu określany jest jako pasywny. Na powierzchni skórki nie ma szparek jak u roślin wyższych. Oznacza to, że transport jest proporcjonalny do tempa odparowania wody z powierzchni skórki. Przy zbyt silnym odparowaniu tworzy się łuska, aby ograniczyć odparowanie. Brak odparowania skutkuje zatrzymaniem transportu wody. Grubość warstwy podłoża i okrywy należy dostosować do długości okresu uprawy. Im krótszy okres uprawy, tym cieńsze warstwy podłoża i okrywy mogą być nakładane bez straty plonu. Tylko w uprawie na wiele rzutów, 4 i więcej, warstwa podłoża powinna być grubsza. Składniki pokarmowe zostaną wówczas dostarczone do owocników poszczególnych rzutów. Tym samym wykorzystanie podłoża powinno się zwiększać. Jak wcześniej wspomniano, w okresie owocowania zasadniczym mechanizmem transportu zgromadzonych w grzybni składników pokarmowych jest odparowanie wody z powierzchni tworzącego się zawiązka i rosnącego owocnika. Warunkiem koniecznym żywienia jest także transport aktywny, oparty o różnice ciśnień osmotycznych między otoczeniem w podłożu a komórkami grzybni. Jest to zasadnicza forma transportu w okresie wzrostu wegetatywnego grzybni.

Należy także zwrócić uwagę na koszty energetyczne, jakie pieczarka musi ponieść w trakcie transportu składników pokarmowych, to wyjaśnia zainteresowanie częściowym wykorzystaniem okrywy jako środowiska dożywiania (najkrótszy transport). Wbudowywanie substancji odżywczych w komórki pieczarki, wbudowywanie składników pokarmowych i tworzenie masy też wymagają nakładów energetycznych.

Proces wzrostu owocników jest regulowany tak, jak u roślin wyższych przez hormony wzrostu. Dostarczane do komórek składniki pokarmowe wykorzystywane są do tworzenia cytoplazmy i błon komórkowych oraz utrzymania ich funkcji życiowych.

PRZEJŚCIE DO WYTWARZANIA ZARODNIKÓW

Zagadnieniem nierozpatrywanym dotychczas, a ważnym z punktu widzenia plonowania, jest moment zakończenia przyrostu owocnika i przejścia do wytwarzania zarodników. W praktyce obserwuje się bardzo duże różnice w wielkości owocników, które rozpoczynają tę fazę. Celem uprawy jest zebranie owocników o jak największym ciężarze właściwym, zamkniętych, śnieżnobiałych (lub innych w zależności od rasy), o określonej średnicy. Zbyt wczesna utrata tych właściwości powoduje straty w ilości i jakości uzyskiwanych plonów i zakłóca organizację zbioru. Pojawia się pytanie: jakie sygnały muszą docierać do owocnika, aby rozpoczął fazę tworzenia zarodników i na ile wcześniej mogą być odbierane? Prawdopodobnie jest to spadek stężenia składników pokarmowych dostarczanych do owocnika. Poniżej

pewnego progu sygnalizującego dalszy spadek następuje zahamowanie przyrostu masy i przejście do wytwarzania spor.

EFEKTY ŻYWIENIA; PRZYROST MASY, WYTWARZANIE SPOR

Masa owocnika przyrasta o 50% w każdej dobie aż do rozpoczęcia wytwarzania spor i wykorzystywania składników pokarmowych zgromadzonych na ten cel. Towarzyszy temu napinanie i pęknięcie błony. W uprawie pieczarki jest to generalnie moment zbioru owocników otwartych, nazywanych portabella. Generalnie celem uprawy jest zbiór owocników zamkniętych. Naciągnięta błona obniża jakość owocników. Zasadnicze znaczenie dla pieczarki ma kształtowanie się masy objętościowej owocnika. Różnice mogą dochodzić do 20% między owocnikami mającymi pełen dostęp do składników a tymi, dla których jest on ograniczony. Głównym celem żywienia jest utrzymanie maksymalnej masy objętościowej wszystkich owocników przez cały okres uprawy. Żywienie ma duży wpływ na kolor. Im jest on bielszy i utrzymuje się po zbiorze, tym żywienie było lepsze.

ŻYWIENIE A RZUTY

Pieczarka plonuje rzutami. Nie ma pełnego wyjaśnienie tego zjawiska. Ważną rolę odgrywają warunki zbioru oraz poziom temperatur. W trakcie plonowania są wykorzystywane zgromadzone składniki pokarmowe w grzybni. W miarę jak wyczerpują się składniki, kończy się zbiór. Podczas przerwy w plonowaniu gromadzone są składniki pokarmowe pod kolejny rzut z zapasów zgromadzonych w grzybni. Ważną rolę w sterowaniu tym zjawiskiem odgrywa mannitol. Na jakość wpływa zawartość aminokwasów, głównie arginina i inne. Plony w poszczególnych rzutach mają tendencje malejącą. Z reguły najwyższe są w pierwszym i w drugim rzucie, a stabilizują się na zbliżonym poziomie od trzeciego do piątego rzutu. To głównie efekt niedoboru składników pokarmowych.

Jest związek między odżywianiem a zmianami plonu w poszczególnych rzutach. Wpływa na to zawartość składników pokarmowych zgromadzonych w grzybni (podłoże i okrywa) oraz odległość – zdolność do przetransportowania ich w czasie. Rzut pierwszy ma największy dostęp do składników pokarmowych zgromadzonych w maksymalnej ilości i najbliżej owocnika. Rzut ten to efekt nagromadzenia w niej substancji odżywczych w procesie przerastania grzybni i żywienia enzymatycznego. Rzut drugi - w plonie zaczyna być widoczny brak dostępu do składników, skutek transportu składników między rzutami oraz zwiększającej się odległości od składników pokarmowych. Rzut trzeci i następne zaczynają się stabilizować na poziomie 5–7 kg, powodem jest wyczerpanie się składników zgromadzonych w grzybni, zimnego kompostowania i transportu. Podczas kolejnych rzutów zmniejsza się objętość podłoża, zwłaszcza grubość warstwy, a tym samym skraca się droga transportu przy zachowaniu zdolności do odżywiania pieczarki korzystającej z procesu zimnego kompostowania. Towarzyszy temu zwiększenie ilości popiołu w podłożu i wykorzystanie podłoża powoduje zmianę jego objętości. Wynika to z faktu, że w największym stopniu ubywa składników energetycznych pochodzących ze słomy – wielocukrów, które rozkładają się na dwutlenek węgla i wodę i w trakcie tego procesu uwalniana się energia, a objętość substratu maleje.

STOPIEŃ WYKORZYSTANIA PODŁOŻA A PLON

Analizując zależność uzyskanych plonów od ilości nakładanego podłoża na jednostkę powierzchni lub jednostki wagi, można stwierdzić, że plon rośnie w miarę jak zwiększa się ilość podłoża, a maleje jego

wykorzystanie. Konieczne jest wówczas uwzględnienie wysokości nakładów na podłoże i uzyskiwanych wyników oraz kosztów kontroli temperatury podłoża i zapewnienia wymaganego mikroklimatu przy zwiększającym się zapotrzebowaniu na wymianę powietrza w miarę wzrostu plonów.

PODŁOŻE PO UPRAWIE

Podłoże nawet po czwartym rzucie zachowuje podobny skład. Oznacza to, że zużycie jest zrównoważone, a nie wybiórcze. Ubywa masy, a nie wartości odżywczych. W procesie zimnego kompostowania z udziałem pieczarki podłoże zostaje wykorzystane, lecz nie zużyte – przynajmniej do czwartego rzutu. O wykorzystaniu podłoża po uprawie można znaleźć informacje w literaturze. Z analizy dostępnych danych wynika, że jego wartość jest duża. Znacząco zwiększa się natomiast udział popiołu. Kompost w uprawie pieczarki jest wykorzystywany przeciętnie w 35%.

ZALEŻNOŚCI MIĘDZY ELEMENTAMI SYSTEMU ŻYWIENIA

Wykorzystanie składników zależy od: (1) ilości składników pokarmowych, przyswojonych i zgromadzonych w grzybni, a także dostępności wody, (2) masy wytworzonej grzybni, (3) od środowiska, w którym grzybnia bytuje, (4) przebiegu i okresu trawienia, (5) transportu składników pokarmowych (6) masy wytworzonych owocników; liczby i ciężaru objętościowego uzyskiwanych w wyniku wbudowywania składników pokarmowych podczas wzrostu i rozwoju pieczarki, które są korygowane przez wzrost grzybni i owocników. Wyznacza on efektywność procesu żywienia.

PRAKTYCZNE WYKORZYSTANIE WIEDZY O ŻYWIENIU

Wiedza o żywieniu pieczarki będzie wykorzystywana w projektowaniu modeli żywienia pieczarki, a te będą podstawą konstruowania technologii uprawy.

Projektowanie modeli plonowania pieczarki.

Nowe podejście do uprawy, w którym żywienie jest procesem sterowanym, z zakładaną możliwością uprawy bez kompostu, wymaga ponownego spojrzenia na elementy składowe procesu odżywiania i plonowania pieczarki.

Planując plonowanie pieczarki, należy uwzględnić kilka aspektów:

1) Cele:

Plon i struktura. Plon jest to liczba owocników i ich waga, przykładowo w pierwszym etapie wdrażania zamierza uzyskać się plon na poziomie 40 kg/m² owocników w trzech rzutach. Aby uzyskać ten plon (40 kg/m²), potrzeba zebrać 8 owocników o wadze 50 g do 20 sztuk przy ich wadze 20 g z powierzchni 10 cm². Po jego osiągnięciu zakłada się dalszy wzrost plonów do poziomu co najmniej 50 kg/m² poprzez przedłużenie okresu uprawy do 4 – 5 rzutów. Wzrost plonów będzie osiągany przez zwiększenie i utrzymanie maksymalnego ciężaru objętościowego owocników oraz ich liczby w drugim i kolejnych rzutach. Alternatywnym celem po osiągnięciu poziomu 40 kg/m² owocników w trzech rzutach będzie utrzymanie tego plonu przy coraz niższej wadze kompostu na jednostce powierzchni. Osiągany będzie przez wzrost udziału dokarmiaczy w podłożu do poziomu 5% ze wzrastającym udziałem w pełni zbilansowanych dokarmiaczy oraz wymaganym dostępem do wody zapewniającym pełne ich wykorzystanie. Innym celem może być maksymalizacja plonowania w uprawie na dwa rzuty. Zagadnieniem, które wymaga dodatkowego pracowania jest zwiększanie liczby owocników zbieranych w pierwszym i drugim rzucie. Planuje się działania powiększające

powierzchnie okrywy co powinno skutkować większą liczbą zebranych owocników. Ma to zapewnić plon 25 kg/m² w pierwszym rzucie.

Jakość i skład owocników pieczarki. Dąży się do produkcji owocników o maksymalnym możliwym do osiągnięcia ciężarze objętościowym i zawartości suchej masy przez cały okres uprawy. Efekt ten można uzyskać zapewniając stały dostęp do składników pokarmowych. Pozwala to na osiągnięcie długiego, minimum 7-dniowego okresu przydatności do obrotu.

Zmiany w składzie dokarmiaczy pozwolą na modyfikację składu owocników i zwiększenie zawartości składników pożądaných w diecie człowieka, przykładowo mikroelementów. Są już produkowane preparaty zawierające rozpuszczalne w wodzie mikro- i makroelementy. Można także oczekiwać poprawy plonowania i składu grzybów leczniczych, stosując odpowiednio opracowany dla nich program żywienia. Pojawić się mogą także możliwości uprawy innych gatunków pieczarki, charakteryzujących się specjalnymi walorami, np. pieczarki łąkowe o bardzo intensywnym zapachu, lecz wymagające specjalnej kontroli zawartości przyswajanych składników, szczególnie metali ciężkich.

Poprawa zdrowotności upraw przez wykorzystanie mechanizmów obronnych pieczarki oraz zmianę żywienia, co zwiększa selektywność podłoża (środowiska odżywiania). Pozwala to na obniżenie kosztów ochrony pieczarki i redukcję straty powodowane przez choroby i szkodniki.

Obniżenie kosztów produkcji przez zwiększenie plonów i poprawę jakości; wyższa średnia cena sprzedaży przy minimalnym wzroście kosztów, obniżenie kosztów energii w okresie uprawy i zmniejszenie ilości lub rezygnacja ze stosowania coraz droższego podłoża. To podstawowa korzyść z wdrożenia tego podejścia osiągnięta bez dodatkowych inwestycji przy wykorzystywaniu kompostu jako podłoża (substrat). Wszystkie niezbędne składniki do dożywiania enzymatycznego znajdują się na rynku i są tańsze niż dotychczas stosowane dodatki wytwarzane przemysłowo. Poza tym wszystkie one spełniają kryteria bezpiecznych pasz jak i diety człowieka. Przykładowo ziarno kukurydzy może być wykorzystywane do dokarmiania pieczarki.

Dodatkowe korzyści ze stosowania dokarmiaczy:

- poprawa selektywności podłoża w stosunku do grzybów konkurencyjnych, przykładowo żywienia, które nie sprzyja rozwojowi Trichodermy,
- mogą odstraszać muchówki,
- przyspieszenie regeneracji grzybni po rozerwaniu podczas wyładunku z tunelu lub przemieszaniu przerośniętego podłoża fazy II,
- przyspieszenie regeneracji podłoża użytego do kakingu,
- przyspieszenie kolonizacji okrywy, nawet po okresie 3 dni można rozpocząć szok przy dokarmianiu poprzez okrywę po jej nałożeniu.

Można wskazać jeszcze inne cele, które będą możliwe do zrealizowania w ramach tej koncepcji.

- zwiększenie powierzchni upraw ekologicznych ze względu na łatwiejszy dostęp surowców spełniających ich wymagania,
- pozyskiwanie grzybni pieczarki jako surowca do przetwórstwa.

2) Struktura:

- Grzybnia. Grzybnia pieczarki służy do jej wegetatywnego rozmnażania. Ma ona różne nośniki, głównie ziarna zbóż. Do przyspieszonego przerastania podłoża stosuje się grzybnie handlowe. Na

rynku znajdują się już grzybnie określone jako speed-spawn, które stosuje się celem skrócenia okresu przerostu kompostu i tym samym poprawie jego selektywności. Różnią się rasą pieczarki, która będzie uprawiana. Obecnie uprawia się rasy heterozyjne, które mają zróżnicowane wymagania dotyczące podłoża i zdolności jego wykorzystania. Z punktu widzenia odżywiania istotne znaczenie ma skrócenie okresu przerastania grzybnią, a tym samym wydłużenie okresu odżywiania enzymatycznego oraz wymagania rasy odnośnie struktury i dostępności składników pokarmowych. Przykładowo rasa pieczarki brązowej Heirloom ma obecnie największe wymagania pokarmowe, podobne do pieczarki białej z grupy U-1. Zresztą niemożliwość zaspokojenia ich potrzeb była powodem rezygnacji z uprawy tej grupy. Zagadnienie to wymaga szczegółowego rozpracowania. Do przyspieszonej kolonizacji okrywy używa się specjalnej grzybni do okrywy lub skolonizowany kompost - kaking.

- Obecnie stosowane podłoże (substrat) i jego ocena. Obecnie jako podłoże, w którym bytuje i odżywia się pieczarka jest kompost, któremu nadaje się strukturę przy załadunku na półki (skrzynie) – określona jest jego ilość, grubość warstwy i skład, oraz składniki pokarmowe i okrywa wykonana z różnego rodzaju torfów. Obecnie kompost pełni funkcje struktury i diety, dlatego możliwości jego wykorzystania są ograniczone. Gdyby był całkowicie przyswajalny to straciłby on strukturę, co zakłóciło by przykładowo, w bardzo krótkim czasie, wymianę gazową. Część strukturalna trudno przyswajalna stanowi źródło pokarmu pieczarki, dostarczanego do roztworu w podłożu, w trakcie zimnego kompostowania. Części strukturalne też mogą być wykorzystane do żywienia, ale w późniejszych rzutach, to jest w okresie, gdy obecnie nie uprawia się pieczarki (czwarty, piąty, szósty rzut). Obecny standard to trzy rzuty. Teoretycznie podłoże może być wykorzystywane do żywienia aż do zaniku biomasy – całkowitej mineralizacji kompostu. Jest to specyficzna cecha kompostu jako podłoża podobnie jak to, że jest produkowany z odnawialny składników pochodzących z produkcji rolniczej. Składniki te trudno zastąpić innymi. Podłożem, w tym znaczeniu, jest również okrywa, z której grzybnia nie tylko pobiera wodę, a także na jej powierzchni odbywa się wiązanie i rozwój owocników. Pojawia się więc pytanie: czy okrywa może częściowo pełnić także funkcję środowiska odżywczego (podłoża) jako mieszanka kompostu z dokarmiaczem w różnych proporcjach. Przeprowadzone testy wskazują, że tak, szczególnie gdy wprowadza się do niej dokarmiacze w płynne i podłoże po uprawie pieczarki, ale specjalnie spreparowany. Warunkiem jest przyswojenie ich przez grzybnię pieczarki przed wiązaniem. Oprócz tego wprowadzane dokarmiacze nie mogą zmieniać struktury okrywy. Ważną cechą podłoża jest masa i powierzchnia znajdującej się w nim grzybni. Próby znalezienia innego materiału niż torf, czyli okrywy syntetycznej, nie dały zadowalających rezultatów.

Nie można także pogarszać warunków fitosanitarnych na powierzchni okrywy oraz jakości owocników pozostawianych na półce w trakcie wprowadzania dokarmiacza.

- Woda. Dostępność wody, która procesie żywienia pieczarki jest obecnie czynnikiem w minimum, decydującym o przebiegu tego procesu. To właśnie zapewnienie jej dostępności w podłożu i trudności z wprowadzeniem do podłoża przerośniętego grzybnią uniemożliwiają stosowanie coraz wyższych dawek dokarmiaczy. Zasadniczo w praktyce nie przekracza się 1,6-procentowej dawki dokarmiacza. Pozwala to na osiągnięcie plonu 32 kg/m² w trzech rzutach na podłożu (kompoście) fazy III, przy obecnie produkowanych podłożach i procedurach wprowadzania wody do niego i okrywy. Przy plonach 40 kg/m² na podłożu fazy III w trzech rzutach trzeba stosować dawki dokarmiacza co najmniej 2-procentowe i większe. Powoduje to znacznie większe zapotrzebowanie na wodę niż stosowane jej dawki. Teoretycznie do wyprodukowania 40 kg/m²

owocników potrzeba 80 l/m² wody w ciągu całego cyklu uprawowego. Przy 2-procentowej dawce dokarmiacza trzeba wprowadzić do podłoża około 35 l/m² wody w bardzo krótkim czasie. Maksymalna wilgotność podłoża przerośniętego nie przekracza 74 – 76% a pojemność wodna nie przekracza około 50%. Pierwsze wstępne szacunki wskazują, że na każde przekroczenie 1,6-procentowego udziału dokarmiacza w podłożu przez zwiększenie dawki o 0,1% potrzeba 3–4 l wody do trawienia i akumulacji składników pokarmowych w grzybni. Granicę, do której można stosować dokarmiacz, stanowi obecnie 2-procentowy ich udział w podłożu ze względu na nie do końca rozpoznane skutki wprowadzania wyższych dawek wody. Jak wcześniej wspomniano prowadzone są kolejne testy nad wzrostem dokarmiacza do 5%.

Sam proces żywienia ma swoje potrzeby wodne. Wraz ze wzrostem dawek dokarmiacza maleje zawartość wody w podłożu. Może ono ulec wysuszeniu lub przegrzaniu, a plon może być mniejszy i to istotnie od założonego. Z kolei zbyt duże dawki wody i nieumiejętnie wprowadzone będą powodowały zagniwanie podłoża. Brak rozwiązania tego problemu stanowi główną przeszkodę wzrostu plonów bez względu na to, skąd pochodzą składniki pokarmowe – z podłoża czy dokarmiaczy. To też tłumaczy problemy z przekraczaniem plonów wynoszących 32 kg/m² owocników. Pojemność wodna podłoża może stać się istotną cechą w przyszłości. Woda wraz

z pobranymi składnikami jest gromadzona w grzybni. Od dostępu grzybni do wody zależy transport zmagazynowanych składników do owocników. Dawki wprowadzonych dokarmiaczy do podłoża i okrywy przed rozpoczęciem szoku muszą być ze sobą skorelowane.

- Dieta. Do opisu dokarmiania, należy wprowadzić termin dieta. Zgodnie z przyjętym założeniem, że odżywianie pieczarki jest podobne do żywienia zwierząt. Dieta to sposób odżywiania, dostosowany do uprawianej rasy pieczarki i celu jaki zamierza się osiągnąć – plony w odpowiedniej ilości i jakości. Dieta podstawowa zawiera wszystkie składniki pokarmowe w ilościach przewidzianych dla pieczarki. Może być także specjalna, gdy chce się osiągnąć dodatkowo np. zmianę składu owocników, odporność na organizmy konkurencyjne itp. Odpowiednia dieta stanowi nieodłączny element wzrostu i rozwoju, zapewniający zdolność do maksymalnej reprodukcji i utrzymania zdrowotności. Odnosi się do środowiska, w którym odżywia się pieczarka, i rodzaju składników pokarmowych, które zawiera.

Obecnie stosowana dieta i jej ocena. Możemy mówić o diecie kompostowej wzbogaconej przez soję, czyli kompostowo-sojowej; białkowej. Jak można ją ocenić z punktu widzenia koncepcji żywieniowej w uprawie pieczarki? Ma ona wiele wad. Podstawową jest mała efektywność tej diety przy wysokiej cenie kompostu. Płaci się tyle samo za składniki pokarmowe dla pieczarki i za składniki konstrukcyjne jej środowiska. Kompost zawiera niewielką ilość łatwo dostępnych składników energetycznych, a dużo trudno przyswajalnych, jak np. ligniny. Białko w dodatkach jest trudno przyswajalnym przez pieczarkę składnikiem pokarmowym oraz doskonałym środowiskiem rozwoju grzybów konkurencyjnych, głównie zielonych pleśni. Kompost powstaje w wyniku kompostowania. Aby proces ten przebiegał prawidłowo musi być określony stosunek węgla do azotu (C/N jak 30\1), a w procesie obumierania mikroorganizmów, prowadzących ten proces, jest wzbogacany w białko. To nie jest specjalny składnik odżywczy dla pieczarki. Wprowadzając dodatki do przerośniętego kompostu, jego nie wzbogacamy. Kompost można tylko wzbogacać do opanowania go przez grzybnię. Dodatek białkowy jeszcze bardziej zmniejsza selektywność podłoża dla pieczarki. Lipidy, tłuszcze dodane w zmodyfikowanych dodatkach do kompostu w pełni przerośniętego (fazy III) są zbyt słabo przyswajalne jako źródło energii. One mogą być przydatne w fazie kolonizacji podłoża, aby poprawić jego selektywność i stymulować

przerastanie. Najlepiej przyswajalna jest skrobia – polisacharydy i produkty jej rozkładu rozpuszczone w wodzie.

- Dokarmiacze – składniki diety. Dokarmiacze powinny umożliwić osiągnięcie przyjętych celów produkcji, nie powodując efektów ubocznych, jak efekt termiczny, pogorszenie warunków odżywiania – selektywności podłoża, a także powinny być wolne od chorób i szkodników pieczarki, mieć cechy żywności spożywanej przez człowieka. Dokarmiacze są wykorzystywane w różnym stopniu. Można także rozpatrzyć celowość wprowadzenia jednostki żywieniowej zarówno dla dokarmiaczy, jak i podłoża jako szczególnego przypadku dokarmiacza, a także wartości strawialnej poszczególnych komponentów dokarmiaczy, tak jak u pasz dla zwierząt.

Rodzaj i skład. Dokarmiacze różnią się między sobą wieloma cechami, które stanowią podstawę ich klasyfikacji.

Ze względu na rodzaj składników odżywczych dzielą się na:

- a) pełnoporcjowe, zbilansowane – zaspokajające wszystkie potrzeby pokarmowe pieczarki,
- b) jedno- lub kilku składnikowe:
 - organiczne zawierające węglowodany, białko, tłuszcze,
 - mineralne zawierające makro- i mikroelementy, przykładowo chlorek wapnia wzmacniający błony komórkowe, mangan poprawiający trawienie, peroksydazy, inne sole zawarte w MycroNutrient, przyspieszające wzrost grzybni i wykorzystanie pokarmu, co powoduje, że pieczarki są bielsze i mają większy ciężar objętościowy owocnika,
 - regulatory witaminy, enzymy, substancje wzrostowe.

Ze względu na formę:

- a) stałe. Na wykorzystanie dokarmiacza w formie stałej ma wpływ jego granulacja. Im jest drobniejszy, tym łatwiej przyswajalny. Powinien on także zawierać martwą materię organiczną.
- b) płynne – uwodnione. Powinny być szybciej przyswajane przez grzybnię, szczególnie od trzeciego rzutu, a także:
 - wysyczone nośniki w formie granulowanej,
 - zawiesiny. Dokarmiacze stosowane w formie zawiesiny między rzutami nie mogą powodować zmian w okrywie i muszą być łatwo usuwane z konstrukcji hali i posadzki, ponieważ rośnie wówczas zagrożenie chorobami, zwłaszcza suchą zgnilizną i daktylium. Wymaga to użycia specjalnych środków do usuwania osadów.
 - roztwory. To one są najbardziej pożądaną formą dokarmiania przez okrywę.

Ze względu na pochodzenie:

- a) naturalne,
- b) syntetyczne.

Podlegające obróbce przed zastosowaniem:

- a) traktowane środkami chemicznymi jak formalina,
- b) obrabiane termicznie.

Ze względu na cel stosowania:

- a) standaryzacja podłoża,
- b) wzrost plonów,

- c) efekty specjalne:
- odstraszanie muchówek,
 - zapobieganie rozwojowi grzybów konkurencyjnych, głównie z rodzaju *Trichoderma* spp.,
 - poprawa walorów smakowych, leczniczych, dietetycznych i wyglądu.

Ze względu na miejsce stosowania:

- a) do podłoża,
- b) do okrywy.

Sposoby oceny dokarmiaczy:

- a) Stopień rozdrobnienia: szybkość otoczenia przez strzępki
- b) Przyjmowanie wody
- c) Pęcznienie
- d) Zawartość organicznych martwych składników energetycznych,
- e) Stopień ich strawności; im bliżej glukozy (mniejsza cząstka polisacharydów); oszczędność czasu i energii w procesie trawienia
- f) Podatność na rozwój grzybów konkurencyjnych.

Metody oceny

- a) Zdolność przyswojenia wody; pojemność wodna. Dochodzi do 100%.
- b) Czas pęcznienia
- c) Frakcje przesiane przez sito

Ustalanie dawek. Dawki ustala się proporcjonalnie do wagi podłoża, z reguły wynoszą one od 0,5 do 1,6% obecnie stosowanych dodatków białkowych.

Ze względów żywieniowych niezbędne są nowe metody ustalania dawek i składu dokarmiaczy, opracowane przykładowo w oparciu o bilanse: energetyczny, wody, składników mineralnych i organicznych. Bilans energetyczny podłoża jako całości szacuje się przykładowo jako ilość energii pobranej przez pieczarkę, tj. 220 g s.m. na 1 kg pieczarek. Przy załadunku, przykładowo 30 kg/m² suchej masy podłoża zasób suchej masy pozwalałby na wyprodukowanie 180 kg/m² pieczarki, zakładając całkowite wyczerpanie zasobów suchej masy. Ale podłoże nie może być w całości wykorzystane, gdyż jego część organiczna najtrudniej rozkładana stanowi konstrukcję dla grzybni, oprócz tego w podłożu rozwijają się mikroorganizmy, które także zużywają część suchej masy. Brak jest danych jaką część stanowią składniki konstrukcyjne a jakie żywieniowe i to w różnych fazach uprawy. Nieznany jest także teoretyczny stopień maksymalnego wykorzystania suchej masy. Zupełnie inaczej wygląda bilans, gdy zakłada się, że pieczarka zawiera 10% suchej masy. Oznacza to, że z podłoża zabiera ona 4 kg suchej masy przy plonie 40 kg/m² pieczarek. Tyle samo potrzeba do podtrzymania funkcji życiowych pieczarek i 1 kg pochłania energia niezbędna do podtrzymania życia przez mikroorganizmy dostarczające składników pokarmowych w trzecim i czwartym rzucie. Oznacza to, że efektywnie zostanie wykorzystane około 9 kg s.m. Do wytworzenia 40 kg/m² owocników bez udziału podłoża, zakładając 50-procentową sprawność systemu, pieczarka potrzebuje około 13,5 kg/m² suchej masy, głównie w celu pozyskania energii. Jeszcze nie ustalono stopnia przyswajalności kompostu w żywieniu. Nie rozpatrywano też wpływu zasobności kompostu w biomasę.

Dożywiać można substancjami odżywczymi w formie płynnej lub stałej – sypkiej o różnym stopniu rozdrobnienia, i w zawieszynie. Uplynnienie i silne rozdrobnienie przyspieszają trawienie tak, jak obróbka

termiczna. Składniki odżywcze mogą być przyswajane bezpośrednio (uwodnione o wielkości molekuł przepuszczalnych przez błonę komórkową grzybni) lub pośrednio (enzymatycznie).

Terminy stosowania. Możemy je wprowadzać w różnych fazach uprawy, ale odżywianie rozpoczyna się od zetknięcia grzybni z pokarmem po zmianie w podłożu mikroflory i jego z kolonizowaniu; w trakcie przerastania podłoża i okrywy, po nałożeniu okrywy i między rzutami.

Technika żywienia. Dodatki stałe wprowadza się do kompostu w odmierzonej dawce i miesza w trakcie wyciągania podłoża z tunelu lub w trakcie nakładania na półce albo w skrzyni czy na półce po przerośnięciu kompostu z wysianą grzybnią (faz II). Do okrywy dodatki stałe można wprowadzić w wytwórni komposty, podłoża lub na półce. W formie zawiesiny lub roztworu dostarcza się przez systemy używane do podlewania. System podsiąkowy z węża wysiękowego wymaga jeszcze testów.

CYKL ŻYWIENIOWY PODSTAWĄ PROCESU ŻYWIENIA

Cykl żywieniowy jest poprzedzony procesem odżywiania enzymatycznego od momentu zakończenia przerostu; kolonizacji podłoża do zakończenia szoku; obniżki temperatury podłoża poniżej 23°C i rozpoczęciem odżywiania zawiązków. To podstawowy okres gromadzenia składników pokarmowych przez grzybnie pieczarki w procesie odżywiania enzymatycznego. Decyduje on o możliwościach uzyskania plonów w pierwszy i drugim rzucie. O jego efekcie decyduje zawartość składników pokarmowych w kompoście, ilość i skład dokarmiaczy i wody oraz okres żywienia. Na ten okres składa się czas pozostawiania w tunelu przerostowym (liczba dni od opanowania podłoża – „zamknięcia” podłoża przez grzybnie), przez nałożenie okryw do rozpoczęcia odżywiania zawiązków. Jego zbyt krótki okres powoduje zmniejszenie efektywności żywienia i pozostawianie niewykorzystanych składników pokarmowych znajdujących w kompoście i dostarczonych w dokarmiaczach. Oddzielnym zagadnieniem jest sterowanie wiązaniem zawiązków przy utrzymywaniu w podłożu przez dłuższy okres wyższej temperatury w podłożu. Obserwuje się, że w warunkach pełnego dostępu do składników pokarmowych grzybnia zachowuje się inaczej w okresie szoku. Testuje się sterowanie wiązaniem przez odpowiednie dawkowanie wody i krótko okresowy zmiany mikroklimatu.

W dożywianiu duże znaczenie przypisuje się umiejętność utrzymania temperatury w podłożu ponad 23°C do uzyskania przez zawiązki wielkości 2 do 5 mm tj. inicjowania różnicowania w zawiązkach trzonka i kapelusza. Powoduje to jednak początkowo opóźnienie tempa pojawiania się i wzrostu zawiązków.

Definicja cyklu. Dla rozwoju technologii uprawy opartej o koncepcje żywienia pieczarki ważne jest rozpoznanie i zdefiniowanie jej cyklu żywieniowego, który wyjaśnia jej cykliczne plonowanie. Pieczarka plonuje rzutami. Przerwa w owocowaniu pozwala na przemieszczenie składników pokarmowych jak najbliżej owocników, aby zapewnić im możliwie najlepsze warunki żywienia. Próbką sterowania tym zjawiskiem jest wprowadzenie pojęcia cyklu żywieniowego. Cykl żywieniowy jest to powtarzający się proces pozyskiwania składników w żywieniu bezpośrednim, rozpoczynającym się po uzyskaniu dostępu do składników odżywczych także z otoczenia do podłoża w momencie zakończenia szoku i trwa do zakończenia pierwszego rzutu. Prowadzony w kolejnych rzutach połączony jest z wprowadzaniem dokarmiaczy między rzutami, co wpływa na zachowanie zawiązków i różnicowaniem trzonka i kapelusza. Polega ono na utrzymaniu zawiązków o średnicy 2–6 mm w temperaturze w powietrzu wynoszącej 16°C przez 2–3 dni i następnie powraca się do temperatur wyższych, w których najszybciej rosną owocniki. Pomiędzy rzutami stymuluje się wzrost temperatury podłoża do ponad 23°C, tj. do 25–30°C, aby uaktywnić grzybnię, ale unikając jej wzrostu na powierzchni okrywy. Ważnym czynnikiem decydującym o efekcie żywienia jest zaspokajanie potrzeb wodnych pieczarki. Odżywianie wymaga znacznie wyższych

dawek wody między rzutami i wprowadzaniem jej przed i na zakończenie zbiory. Dawki wody mogą być nawet zwiększane o 100 i więcej %.

WYNIK ŻYWIENIA

Objawy pełnego dostępu pieczarki do składników pokarmowych, to podstawowy wskaźnik przebiegu procesu żywienia. Aby ocenić przebieg żywienia, niezbędne jest poznanie dostępności składników pokarmowych dla pieczarki na podstawie obserwacji jej zachowania w okresie od rozpoczęcia wzrostu zawiązków do zbioru owocnika. W tym wypadku można użyć określenia dobrostan pieczarki. Podstawowym celem sterowanego odżywiania pieczarki jest zapewnienie wzrostu wszystkich związanych zawiązków w każdym rzucie i utrzymanie w dobrostanie powstałych owocników, tzn. utrzymanie białego koloru, maksymalnego ciężaru objętościowego, butelkowatego kształtu trzonka do momentu jego zbioru z wodą wbudowaną w komórki, bez nadmiaru przestrzeni międzykomórkowych.

Braki w żywieniu są powodem zatrzymania wzrostu u części zawiązków mimo dobrych warunków i jest to skutek konkurencji między nimi o składniki pokarmowe.

Ważnym wskaźnikiem jest utrzymanie tempa wzrostu zapewniającego 50-procentowy przyrost wagi owocnika co dobę. Momentem utraty dobrostanu jest przyspieszony wzrost, zmiana koloru z białego na szary, prosty, wydłużający się trzonek, naciąganie błony oraz płaski kształt kapelusza. Przedwczesna utrata dobrostanu wskazuje na braki w odżywianiu, wody lub też na niekorzystny układ warunków bytowania, który inicjuje w owocniku zakończenie jego przyrastania i przejście w fazę wytwarzania zarodników. Mimo pełnego dostępu do składników pokarmowych owocniki mogą nie posiadać wymaganej jakości; będą płaskie z zagłębieniem pośrodku (jak między rzutami), szare i lekko zaczerwienione. Oznacza to, że mamy do czynienia z deficytem wody w okresie ich wzrostu.

Procesy żywienia ocenia się również na podstawie liczby owocników, które przekształciły się w owocniki w stosunku do całej liczby rosnącej w kolejnych rzutach.

Plon i jego ocena stanowią podstawę przy ustalaniu diety dla kolejnych cykli uprawowych.

Schemat budowania modelu uprawy:

- 1) Ustalenie celu uprawy zarówno w odniesieniu do wielkości, jak i jakości plonu oraz długości cyklu i ilości użytego podłoża. Określenie zagrożeń chorobami i szkodnikami.
- 2) Standaryzacja podłoża po przerośnięciu grzybnią przez dodanie pełnoporcjowych lub jednoskładnikowych dokarmiaczy. Standaryzacja podłoża obejmuje także wilgotność, co wymaga ustalenia dawek wody proporcjonalnych do zastosowanych dawek dokarmiaczy. Należy także uwzględnić poziom selektywności podłoża i zagrożenie przez szkodniki, korygowane odpowiednią dietą.
- 3) Przerastanie okrywy przez grzybnię i rozpoczęcie dokarmiania przez okrywę pierwszego rzutu. Zaspakajanie potrzeb na wodę w odżywianiu.
- 4) Kontrola wzrostu zawiązków i dożywanie płynne.
- 5) Dokarmianie przez okrywę drugiego rzutu i przeprowadzenie kontrolowanego cyklu żywieniowego. Kontrola wzrostu zawiązków i dożywanie płynne. Zaspakajanie potrzeb na wodę w odżywianiu.

- 6) Dokarmianie płynną dietą trzeciego rzutu i przeprowadzenie kontrolowanego cyklu żywieniowego. Kontrola wzrostu zawiązków i dożywianie płynne. Dożywianie płynne w trakcie wzrostu owocników w oparciu o ich wygląd i zachowanie. Zaspakajanie potrzeb na wodę w odżywianiu.
- 7) Powtarzanie cyklu zarówno w trzecim rzucie, jak i w kolejnych – czwartym i piątym rzucie. Kontrola wzrostu zawiązków i dożywianie płynne w trakcie wzrostu owocników na podstawie ich wyglądu i zachowania. Zaspakajanie potrzeb na wodę w odżywianiu.

BUDOWA MODELI ŻYWIENIA W OPARCIU O RÓŻNE PODŁOŻA

Obecnie w produkcji pieczarki wykorzystuje się jedno podłoże – kompost. Możliwe są do uzyskania inne podłoża, poszukiwane także w przeszłości, ale nie na skalę produkcyjną. Zmieniając podejście, poszukiwanie nowych podłoży można rozpocząć ponownie.

Uprawa z wykorzystaniem obecnie stosowanej ilości podłoża i zastosowaniem procedury cyklu żywieniowego z użyciem dokarmiaczy stałych i płynnych. Na zawartość składników pokarmowych w pierwszej fazie żywienia wpływa wynik dojrzewania; zawartość biomasy oraz dostępność wody dla pieczarki w podłożu. Możliwość pozyskania składników pokarmowych w pierwszej i drugiej fazie żywienia zależy głównie od przebiegu początkowej fazy kompostowania, otwierania słomy, jej rozkładu w procesie amonifikacji i wbudowania i dostępności wody. Bardzo ważnym czynnikiem jest długość okresu przerostu podłoża do rozpoczęcia dokarmiania oraz okres od jego rozpoczęcia do zakończenia wzrostu grzybni. Im są one dłuższe tym stopień wykorzystania zasobności kompostu i wprowadzonych dokarmiaczy przez grzybnie jest większy.

Założenia do budowy modelu uprawy opartej o wykorzystanie kompostu przy średniej dawce 85 kg/m² podłoża fazy III są następujące:

- 1) plon do 40 kg/m² w trzech rzutach przy maksymalnym ciężarze objętościowym,
- 2) grzybnia o najwyższym stopniu wykorzystania łatwo przyswajalnych składników pokarmowych,
- 3) dokarmianie pełnoporcjowe i energetyczne, płynne lub w zawiesinie, całkowicie przyswajalne w ciągu 10 dni; utrzymywanie jak najdłużej temperatury w podłożu na poziomie ponad 23°C a także zróżnicowany skład dokarmiaczy także przykładowo z dodatkiem zużytego podłoża; pełne zabezpieczenie substancji regulujących i mikroflory dostosowanej do żywienia.
- 4) bez efektu termicznego, maksymalny wzrost temperatury 2°C w podłożu,
- 5) osłona przed grzybami konkurencyjnymi; dieta nieużyteczna dla Trichoderma, dawka rośnie wraz z zagrożeniem,
- 6) ubicie; struktura podłoża umożliwiające przerastanie grzybni na objętość,
- 7) okrywa dwustrefowa; wiązanie, odżywianie; dodatkowa dawka jak najbliżej owocników. Dokarmianie kolejnych rzutów przez okrywę, ale składnikami w pełni dostępnymi, tak jak po rozkładzie energetycznym. Rośnie zagrożenie chorobami i szkodnikami z powodu przenoszenia dokarmiaczy na posadzkę. Minimalizuje się przenoszenie dokarmiacza poza półkę przez system podlewania pod półkowy dwurzędowy. Na powierzchniach poza półką (na jej konstrukcji i posadzce) pojawia się pożywienie dla patogenów,
- 8) wiązanie kontrolowane przez wspieranie różnicowania na kapelusz i trzonek.

Przy uprawie na dwa rzuty zaleca się 65 kg/m² podłoża fazy III. Trzeba wprowadzić do modelu dawki pełnoporcjowe dokarmiacza i uzupełnić dokarmiaczami jednoskładnikowymi, zapewniającymi dostęp dodatkowego źródła energii.

Uprawa bez kompostu lub dodatku zużytego podłoża wykorzystująca torf jako strukturę do żywienia. Procedury cyklu żywieniowego z wykorzystaniem dokarmiaczy stałych i płynnych w procesie żywienia enzymatycznego (pierwszy i drugi rzut).

Uprawa z wykorzystaniem wyłącznie płynnej diety i żywienia enzymatyczne w nowo zaprojektowanym środowisku bytowania grzybni. Jednak w prowadzonych badaniach plonowanie pieczarki nie było zadowalające. Konieczne więc będzie poszukiwanie nowego rozwiązania uprawy bez podłoża, co wymaga odpowiedzi na dwa podstawowe pytania:

1. Czy można do bytowania grzybni zbudować sztuczne środowisko?
2. Jak żywić w tym środowisku, aby uzyskiwane plony w uprawie bez podłoża nie były niższe niż w uprawie tradycyjnej?

Uprawa na podłożu zapewnia stały dostęp do podłoża odnawialnego, co oznacza, że nie ma problemu z wyczerpaniem jego zasobów. Oddzielnym zagadnieniem w uprawie jest okrywa. Stąd pytanie: czy można zastąpić nieodnawialne surowce, tj. torf, z którego produkowana jest okrywa surowcami odnawialnymi?

Każdy model wymaga weryfikacji w warunkach uprawy.

Opracowując technologię budowania modeli żywienia, należy uwzględnić:

- 1) posiadane zasoby, jak wyposażenie techniczne, grzybnie, substrat, umiejętność uprawy i zbioru, poziom higieny,
- 2) własne cele, które zamierza się osiągnąć. Należy pamiętać, że każda zmiana pociąga za sobą zarówno skutki oczekiwane i korzystne, jak i nieoczekiwane, niekorzystne. Inaczej mówiąc, wiąże się to z ryzykiem, które powinno być oszacowane i należy je minimalizować, kontrolując wdrażanie zmiany,
- 3) diagnostykę potrzeb żywienia,
- 4) dobór dokarmiaczy,
- 5) receptury,
- 6) dawki i harmonogram wlewania wody do podłoża i okrywy,
- 7) sposoby dokarmiania,
- 8) harmonogram żywienia i podlewania,
- 9) gromadzenie danych o przebiegu uprawy,
- 10) ocenę uzyskanych wyników.

TECHNOLOGIA UPRAWY

W kolejnych działaniach należy, w oparciu o uzyskane wyniki testów modeli, opracować następujące technologie uprawy:

Technologie uprawy pieczarki białej.

- 1) Pieczarki na dwa rzuty:
 - a) na rynek świeży,

b) dla przetwórstwa

2) Pieczarki na trzy i więcej rzutów:

a) na rynek świeży,

b) dla przetwórstwa.

Technologie uprawy pieczarki brązowej.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone dotychczas testy i wdrożenia wskazują, że w pełni możliwe jest oparcie uprawy pieczarki w oparciu o proces żywienia i sterowanie nim. Także realne są wskazany poziom plonów i cech jakościowe. Obok wskazanych zmian w podejściu do uprawy; żywieniem pieczarki ciągle otwartym zagadnieniem pozostaje sterowanie tym procesem jak i skutków jakie ono wywołuje. Sterowanie wiązaniami; liczba i rozciągnięcie zawiązków w czasie (generacje) są zagadnieniem kluczowym. Przy pełnym dokarmieniu mniej niebezpieczne jest nadwiązanie. Nie mniej jest to czynność ciągle oparta o indywidualne podejście osoby prowadzącej szok. Konieczne jest prowadzenie działań obiektywizujące przebieg i efekt tej czynności. Będą poszukiwane stosowne rozwiązania w ramach dalszego rozwoju technologii uprawy pieczarki w warunkach przemysłowych. Oddzielnym zagadnieniem jest zbiór owocników pieczarki. Przykładowo, aby wykorzystać dłuższy okres wzrostu na półce dokarmionych owocników trzeba zmienić organizację zbioru. Powinien być to zbiór selektywny – zbiór w pełni wyrośniętych owocników, z możliwie najmniejszą liczbą zbieraczek, jednozmiarowy. Wsparcie technikami informatycznymi zbioru ręczny i przygotowanie się do zbioru robotami to kolejne zadanie rozwojowe.

Interesująca z punktu widzenia praktyki jest odpowiedź na pytanie: czy zmniejszenie odległości między składnikami pokarmowymi znajdującymi się w podłożu i okrywie a odżywianymi owocnikami pozwoli na zwiększenie plonów? Na to pytanie mają dać odpowiedź testy z dwuwarstwową okrywą.

Ciągle niewykorzystane są w pełni rasy grzybni. Testowanie ich przydatności jest ograniczone przez produkcję podłoża w oparciu o jedną rasę grzybni.

Duże nadzieje wiążą się z rozwojem produktów firmy Nutrigain, specjalizującej się w produkcji dokarmiaczy płynnych. Nie bez znaczenia jest opracowanie diety pełnoporcjowej oraz zmiany w produkcji podłoża fazy III, pozwalające na zdecydowanie większe gromadzenie składników pokarmowych w grzybni przed nałożeniem okrywy.

Niniejsze opracowanie stanowi wstęp do rozwoju nowego podejścia w uprawie pieczarki. Tylko zmiany ilościowe i skokowe mogą zapewnić wzrost plonów i poprawę efektów ekonomicznych w branży.

LITERATURA:

Bonnen, A.M., Anton, L.H., Orth, A.B. 1994. Lignin-degrading enzymes of commercial button mushroom, *Agaricus bisporus*. *Applied and Environmental Microbiology*, Mar. 960-965.

Chen, Y., Chefetz, B., Rosario, R., Heemst van, J.D.H., Romaine, C.P., Hatcher P.G., 2000. Chemical Nature and Composting of Compost During Mushroom Growth, Vol. 8, No. 4.

Dijkstra, F.I.J. 1976. Submerged cultures of mushroom mycelium as sources of protein and flavor compounds, Dissertation Delft.

Flegg, P.B., Spencer, D.M., Wood, D.A. 1985. The biology and technology of the cultivated mushroom.

Gapiński M., Woźniak W. 1999. Pieczarka. Technologia uprawy i przetwarzania.

Grievsen, van L.J.L.D. 1988. The cultivation of mushrooms.

Ilyama, K., Stone, B.A., Macaukey, B.J., 1994. Compositional Changes in Compost during Composting and Growth of *Agaricus bisporus*, *Applied and Environmental Microbiology*, 1538-1546.

Patyshakulyeva, A., and an others, 2013. Carbohydrate utilization and metabolism highly differentiated in *Agaricus bisporus*, *BMC Genomics*.

Strarsma, g., Sonnenberg, A. S. M., Grievsen, van L.J.L.D. 2013. Development and growth of fruit bodies and crops of the button mushroom *Agaricus bisporus*, *Fungal Biology*.

Weail, D.A., Beelman, R.B., Beyer D.M. 2006. Manganese and micronutrient additions to improve yield of *Agaricus bisporus*, *Bioresource Technology*, 97, 1012-1017.

Trechow, C., 1944. Nutrient of the cultivated mushroom. *Dansk Botanisk Arkiv*, 11.

Zied, D.C., Savoie, J-M., A. 2011. Soybean the Main Nitrogen Source in Cultivation Substrates of Edible and medicinal Mushrooms, *Agriculture and Biological Science*, Chapter 22.