4 – 10 فاز II کمپوست‌سازی

امیدوارم توضیحات فاز I کمپوست سازی مفید فایده قرار گرفته باشد. خوب حالا کمربندها را محکم ببندید که می خواهیم در باره فاز II کمپوست سازی برای قارچ دکمه ای صحبت کنیم. این مرحله، در محیطی کاملا قابل کنترل از نظر دما و هوادهی، یعنی در تونل پاستوریزاسیون انجام می شود. اگر یادتان باشد، بونکرهای با فضای باز محیطی کاملا بسته نبودند. سیرکولاسیون هوا در بونکرها انجام نمی شد. قسمت ورودی کمپوست هم درب نداشت. اما تونل پاستوریزاسیون محیطی کاملا مسقف و با درب و یا دربهای کیپ و عایق گرما می باشد. تونل پاستوریزاسیون ایده آل باید دو درب داشته باشد.

1- یک درب برای ورود کمپوست که در مقابل و یا روبروی بونکر ها است.

2- درب دیگر باید به محوطه سرپوشیده و تمیز برای مایه زنی باز شود.

کف تونل باید مشبک باشد بطوریکه یک سوم کف را منافذ تشکیل دهند.

فاز II کمپوست سازی بین 5 تا 7 روز طول می کشد. در مجموع کل دوره فاز I و II حدود 16 تا 20 روز طول می کشد. هدف از فرایند فاز II کمپوست سازی چیست؟ چه امکاناتی برای انجام فاز II لازم است؟ تونل پاستوریزاسیون چیست؟ آیا جایگزینی برای تونل پاستوریزاسیون وجود دارد؟ اصلا چرا پاستوریزاسیون؟ و خیلی از مفاهیم و نکات دیگر وجود دارد که در فاز II کمپوست سازی مورد بحث قرار خواهند گرفت.

فاز دوم کمپوست‌سازی چیست؟ دارای چه شرایط و پارامترهایی باید باشد. جواب به این سؤالات و سؤالات دیگر می‌تواند بعد از تجزیه و تحلیل بیشتر کمپوست سازی فاز I بدست آید. وقتی که اولین فاز کمپوست سازی را توضیح می‌دادیم، نقش درجه حرارت کمپوست را در فرایند تهیه آن یادآوری کردیم.

هدف کارشناس کمپوست‌سازی این است که در خلال فاز I کمپوست‌سازی از تکنیکی استفاده نماید که حداکثر حجم از کمپوست فاز I آماده شود. از طرق مختلفی برای رسیدن به این هدف می‌توان استفاده کرد، از روش سنتی تشکیل توده و یا قالب زنی کمپوست تا استفاده از سیستم بونکر و دمیدن هوای تازه برای تهیه فاز I کمپوست. با این وجود، در صورتیکه فقط از کمپوست فاز I استفاده شود، هیچکدام از این روشهای نمی‌تواند تضمین کننده تولید کمپوستی با کیفیت بالا باشد. برای اینکه کمپوست فاز I کاملاً برای رشد میسلیوم قارچها مناسب شود، فاز دوّم کمپوست‌سازی ابداع شد و به مرحله پاستوریزاسیون و شیرین سازی معروف شد. در فاز II کمپوست‌سازی واکنشهای بیولوژیکی بیشتر از واکنشهای شیمیایی انجام می‌شود. حذف آمونیاک مهمترین رخدادی است که در طی فاز II کمپوست سازی بوقوع می‌پیوندد. این عمل در واقع به دو صورت اتفاق می‌افتد: یکی تثبیت یعنی تبدیل آمونیاک (NH_3) به آمونیوم ($NH4^+$) و در نهایت تولید پروتئین میکروبی و کربوهیدرات‌های آزاد و دیگری خروج گاز آمونیاک از داخل کمپوست می‌باشد. تثبیت آمونیاک در دمای 48-51°C توسط تعدادی از باکتری‌های هوازی ترموفیلیک که در فاز II حضور دارند انجام می شود

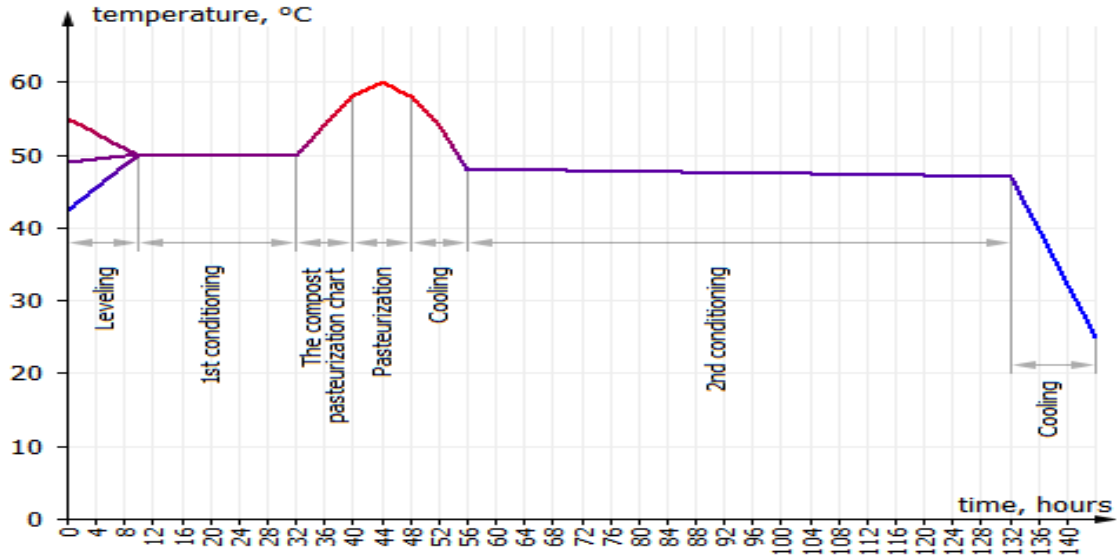
تصویر 4 - 23 کمپوست انتهای فازI که آماده انتقال به تونل پاستوریزاسیون می باشد.

4 – 10 – 1 تونل پاستوریزاسیون

یکی از شرایط اصلی برای انجام فاز II وجود یک تونل برای پاستوریزاسیون می‌باشد. هدف اصلی از ساخت تونل پاستوریزاسیون، تولید و تنظیم درجه حرارت و توزیع هوا به صورت یکنواخت در تمام حجم کمپوستی است که در تونل پر شده است. کیفیت هر تونلی، از هر چیزی که ساخته شده باشد، به توانایی آن به انجام این وظایف، با کمترین هزینه ساخت و عمل پر کردن و خالی کردن و انجام پاستوریزاسیون آن بستگی دارد. یکنواخت پر کردن تونل بسایر مهم است. هرگز و تحت هیچ عنوان نمی توان قسمتی از تونل پاستوریزاسیون را خالی گذاشت. مگر اینکه آن قسمت خالی را طوری بپوشانیم که هوا از داخل ان هرگز عبور نکند.

پاستوریزاسیون کمپوست

در ذیل دیاگرام پاستوریزاسیون و دستورات تقریبی انجام این فرایند تکنولوژیکی آورده می‌شود.



شکل 4 – 24 منحنی روند زمان و درجه حرارت داخل سالن پاستوریزاسیون

طبق آنچه در گراف فوق (4– 15) مشاهده می کنید، فرایند تکمیل کمپوست در تونل پاستوریزاسیون را می توان به سه مرحله تقسیم کرد

1- شیرین سازی اول

هدف از این مرحله در واقع همسطح نمودن درجه حرارت در تمام توده کمپوست و تنظیم درجه حرارت جهت کاهش غلظت آمونیاک یا شیرین کردن اولیه است. پارامترهای این شیرین کردن- درجه حرارت، میزان هوادهی و زمان- توسط کارشناس مربوط تعیین می‌شود که بستگی به نتایج کمپوست فاز I دارد. درجه حرارت استاندارد در این مرحله 48 تا 51°C است. طول مدت این مرحله معمولاً 24 ساعت می‌باشد. در عمل، مدت زمان این مرحله بستگی به مقدار نیتروژن آمونیاکی در کمپوست فاز I دارد. شیرین کردن اولیه تا زمانی که غلظت آمونیاک هوای بالای کمپوست به 0/015% (150ppm) برسد، ادامه می‌یابد. مدت زمان شیرین کردن اولیه با مقدار نیتروژن آمونیاکی استاندارد 0/4% حدود 30 ساعت می‌باشد. میزان باز بودن دریچه هوای تازه در طی شیرین کردن اولیه بستگی به سنسور درجه حرارت کمپوست دارد. با افزایش درجه حرارت کمپوست به بیش ازآنچه که مد نظر است، این دریچه بیشتر باز می‌شود.

عامل اصلی همسطح کردن درجه حرارت کمپوست، سیرکولاسیون هوا (چرخش هوا) در داخل آن می‌باشد. میزان هوای مورد نیاز بستگی به درجه حرارت کمپوست دارد. وقتی که درجه حرارت کمپوست کمتر از درجه حرارت شیرین کردن اولیه است (48-51°C)، میزان هوادهی بایستی کاهش پیدا کند. بر عکس، زمانیکه درجه حرارت کمپوست بیشتر از این درجه حرارت است، میزان هوادهی به کمپوست بایستی افزایش یابد. با تنظیم سرعت فن هوادهی، می‌توان درجه حرارت کمپوست را تغییر داد. وقتی که درجه حرارت کمپوست کم است سرعت فن بایستی پایین باشد و برعکس. **هوایی که به تونل پاستوریزاسیون وارد می‌شود بایستی از فیلترهای هپا عبور داده**

شود تا باکتری‌ها و قارچهای پاتوژن وارد کمپوست نشوند. بعد از پر کردن تونل، دمای کمپوست (تاکید می کنم دمای داخل کمپوست) را به 48 تا 51 درجه سانتی گراد برسانید. اگر دمای کمپوست در تونل بیشتر از 51˚C است با افزایش ورود هوای تازه آن را سرد و اگر کمتر از 48 است، با کاهش هوای تازه ورودی و افزایش سیرکولاسیون (چرخش هوای داخل سالن) آن را گرم کنید. در همین دما ترمز را بکشید و با هوادهی ملایم و سیرکولاسیون به مدت 24 ساعت دما را در همین حد نگه دارید. به این عمل شیرین سازی اولیه گویند. کاری که در اکثر واحدهای کمپوست سازی در ایران انجام نمی شود !!!! دلیل و فلسفه انجام این مرحله کوتاه شیرین سازی قبل از پاستوریزاسیون چیست؟

هدف از فاز II کمپوست سازی، در واقع پاستوریزاسیون و سپس حذف آمونیاک (تبدیل آن به پروتئین میکروبی) و شیرین کردن کمپوست است. شیرین نمودن کمپوست توسط ترموفیل هایی انجام می شود که در دمای 48 تا 51˚C بیشترین فعالیت را دارند. ولی با پاستوریزاسیون جمعیت آنها به شدت کاهش پیدا می کند و عمل شیرین سازی اصلی یا به خوبی انجام نخواهد شد و یا خیلی طول خواهد کشید. برای اینکه چنین اتفاقی نیفتد، راهکار این است که قبل از پاستوریزاسیون جمعیت آنها را افزایش دهیم و یا کمپوست را قبل از ورود به تونل پاستوریزاسیون، با مقداری کمپوست آماده مایه زنی، که مملو از ترموفیل است، تلقیح کنیم. اگر کمپوست را قبل از اعمال پاستوریزاسیون، به مدت 30 ساعت در دمای بهینه رشد ترموفیل ها (51˚C – 48) قرار دهیم، جمعیت آنها به چندین برابر افزایش پیدا می کند. بنابراین تعداد زیادتری از آنها از دمای پاستوریزاسیون جان سالم بدر برده و بعد از پاستوریزاسیون در غیاب قارچها و باکتریهای پاتوژن، با خیال راحت تکثیر نموده و کمپوست را شیرین می کنند. بگذارید مثالی بزنم. فرض کنید خدای نکرده بیماری طاعون بیاید و 99% مردم یک جزیره ایزوله را به لقاالله بفرستد. اگر این جزیره فقط 100 نفر جمعیت داشته باشد، بعد از طاعون انتظار داریم یک نفر باقی بماند که باید دو دستی بر سر خود بزند، چون تنهایی کاری از دستش بر نمی آید. حال اگر همین جزیره قبل از طاعون با سبدهای حمایتی دولت و تشویق مردمش به زاد و ولد، جمعیتش به 10000 نفر برسد و نرخ کشتار طاعون هم همان 99% باشد، انتظار داریم تعداد 100 نفر از 10000 نفر، از طاعون جان سالم بدر برند و با منابعی که باقی مانده است به زندگی خود ادامه دهند. در نتیجه به زودی جمعیتشان زیاد خواهد شد و جزیره را آباد خواهند کرد.

2 – پاستوریزاسیون

در طی پا ستوریزا سیون، حشرات، نماتدها، مگس‌ها، بیدها و پاتوژن‌های قارچی (و دیگر آفات یا انگل‌ها) که ممکن ا ست در کمپو ست حضور داشته باشند، از بین می‌روند. در منابع مختلف روش‌های متفاوتی برای پاستوریزاسیون ارائه شده است. اما باید توجه داشت که درجه حرارت ذکر شـده با مدت زمان ویژه خودش به کار رود. مثلا در دمای 60 ˚C به مدت 8 سـاعت و در دمای 62 ˚C به مدت 6 ساعت مخلوط را پا ستوریزه می‌کنند. هرچه درجه حرارت افزایش پیدا کند به مدت زمان کمتری برای پا ستوربزا سیون نیاز می با شد. گرمای لازم برای پاستوریزا سیون توسط بخار آب تامین می شود. وجود بخار آب به ویژه برای شکستن خواب برخی از آفات همچون نماتدها بسیار ضروری است. در طی پاستوریزاسیون در هر دما و مدت زمانی، انگل‌های خاصی از بین می‌روند. مثلاً نماتدها در دمای 60˚C پس از 3 ساعت کشته می‌شوند. وقتی درجه حرارت هوای اتاق پیرامون کمپوست درحدود 57ºC باشد، درجه حرارت کمپوست به 60ºC – 59 می‌رسد. در هر حال درجه حرارت کمپوست در مرحلهٔ پاستوریزا سیون نباید از 66 درجه بیشتر شود، چراکه اگر درجه حرارت از 66 ºC بالاتر رود، آمونیاک زیادی تولید شده و میکروارگانیسم‌های مفید در اثر سمیت آمونیاک ازبین می‌رود و عملکرد قارچ کاهش می‌یابد.

بعد از مرحله اول شـیرین سـازی، به آهسـتگی، **تاکید می کنم به آهسـتگی اجازه دهید دمای کمپوسـت افزایس پیدا کند** (ساعتی 1 تا 1,5 درجه). چرا اینقدر آهسته؟ باز هم دلیلش مدارا کردن با ترموفیل ها است. نمی خواهیم به آنها آسیب جدی وارد شود. افزایش تدریجی دما از 51 به 59 درجه این خاطر اسـت که میکروارگانیسـم‌هایی که در وضـعیت درجه حرارت شـیرین کردن زندگی می‌کنند، بتوانند خود را به درجه حرارت پاسـیتوریزاسـیون تطابق دهند. طی 8 تا 10 سـاعت دما را از 48 به 58 تا 59 و حداکثر 60˚C برسانید. به **مدت تا 12-8 ساعت در این دما نگه دارید. برای پاستوریزاسیون کمپوست های درون تونل (حدود 80 تن) دمای C**

60° به مدت 8 ساعت کفایت می کند. فاکتور دیگری که طول مدت فرآیند پاستوریزاسیون را تعیین می‌نماید، غلظت گاز آمونیاک می‌باشد. وقتی که غلظت آمونیاک به 0/03% (300ppm) و بیشترمی‌رسد، توصیه می‌شود که درجه حرارت کمپوست پایین آورده شود. اثر طولانی مدت درجه حرارت و غلظت بالای آمونیاک می‌تواند میکروارگانیسم‌هایی را که برای اتمام موفقیت آمیز فاز II لازمند، از بین ببرد. گاز آمونیاک برای میکروارگانیسم‌ها سمی است.

رطوبت کمپوست در زمان پر کردن تونل تایستی حدود 72% باشد. رطوبت کمتر باعث از دست رفتن درجه حرارت کمپوست و سرد شدن آن می شود. رطوبت زیاد باعث عدم تهویه مناسب و تخمیر بی هوازی می گردد. شرایط بی‌هوازی باعث رشد قارچ‌های ناخواسته مثل Chaetomium یا کپک سبز زیتونی می‌شود.

دمای همه جای کمپو ست از جمله و سط کمپو ست باید 58 تا 60 ˚C با شد. هوای تونل باید سیرکوله شود. در ضمن دمای هوای داخل تونل هم نباید از 60 ˚C بیشتر شود. درجه حرارت کمپوست معمولاً به صورت خودبخودی در اثر کاهش هوادهی و کاهش سرعت فن بالا می‌رود. از بخار آب نیز می‌توان برای افزایش درجه حرارت کمپوست استفاده کرد. در هر حالت، در طی پا ستوریزا سیون هوادهی به حداقل خود کاهش داده می شود. تو صیه می شود قبل از اینکه فن را رو شن کنید، درجه حرارت تونل را به 60˚C برسانید.

هدف از پاستوریزاسیون تخریب و کشتن آفات و امراض در کمپوست می‌باشد. پاستوریزاسیون زمانی شروع می شود که درجه حرارت تونل به 57/6˚C می‌رسد. در خلال پاستوریزاسیون درجه حرارت کمپوست نبایستی از 61 ˚C بیشتر شود. مجموع زمان پاستوریزاسیون 12-8 ساعت می‌باشد. تأمین هوا و سرعت فن حداقل می‌باشد. در عمل در تمام مراحل پاستوریزاسیون کمپوست، دریچه سیرکولاسیون 100% باز است و میزان هوادهی با سرعت فن تنظیم می‌شود. در خلال پاستوریزاسیون نبایستی درجه حرارت هوای بالا و پایین کمپو ست به پایین تر از 57 ˚C برود. درجه حرارت کمپو ست را می‌توان با بخار آب که به داخل تونل فر ستاده می شود نگهداری کرد. در تونل‌های پا ستوریزا سیون که حجم زیادی از کمپو ست را در خود جای داده ا ست، درجه حرارت به خودی خود به 60 ˚C و یا بیشتر از آن می‌رسد.

اگر درجه حرارت اتاق پاستوریزاسیون بیشتر از 60 شود، پس از پاستوریزاسیون زمان بیشتری برای تبدیل آمونیاک به پروتئین میکروبی طول خواهد کشید، چون تعدا بیشتری از ترموفیل‌ها کشته و یا غیر فعال می شوند. برای توضیح بیشتر این موضوع فرض کنید تعداد باکتری در زمان شروع پاستوریزاسیون 1000000 می‌باشد. اگر درجه حرارت بشتر از 71 درجه شود، 90% باکتری‌ها کشته خواهند شد و ما فقط 100000 باکتری برای شیرین سازی کمپوست خواهیم داشت. اگر درجه حرارت اتاق پاستوریزاسیون را کمتر بگیریم، فقط 50% باکتریها کشته خواهند شد بطوریکه 500000 باقی خواهند ماند. درنتیجه زمان کمتری برای شیرین سازی و تبدیل آمونیاک به پروتئین طول خواهد کشید. البته این بدان مفهوم نیست که درجه حرارت پا ستوریزا سیون را از حد ا ستاندارد پایین تر بیاوریم. اگر این عمل را انجام دهیم هدف از پاستوریزاسیون، که از بین بردن باکتری ها و قارچ های مضر می باشد، محقق نخواهد شد. با توجه به مطالب مذکور دو نکته را بایستی مد نظر قرار دهیم. یکی مواظب درجه حرارت اتاق پاستوریزاسیون باشیم تا از حد مطلوب و بهینه پایین تر و بالاتر نرود. دوم اینکه قبل از پا ستوریزا سیون جمعیت میکروبهای مفید را با انجام مرحله پیش شیرین سازی افزایش دهیم تا پس از پاستوریزاسیون تعداد آنها برای شیرین سازی کمپوست در زمان مورد انتظار کفایت نماید.

3 – شیرین سازی آخر

هدف از شیرین‌کردن کمپو ست، آماده کردن آن برای ر شد قارچ خوراکی ا ست. بعد از پا ستوریزا سیون اجازه دهید به آرامی دمای کمپوست کاهش پیدا کند و مجددا به 51˚C تا 48 برسد. در این دما کمپوست ر در این مرحله، گاز آمونیاک تولید شده در فاز I کمپو ست سازی، بایستی از بین برود، چراکه وجود آمونیاک حتی در مقادیر کم برای ر شد میسلیوم و گسترش آن در بستر کشت مضر است. حذف آمونیاک در اصطلاح تولید کنندگان قارچ، شیرین سازی نامیده می شود. در این مرحله، درجه حرارت بایستی به تدریج کم شده و هوای تازه به داخل اتاق وارد شود. مثلاً می‌توان از 60˚C، در هر ساعت 1/5 تا 2 درجه سانتی‌گراد از درجه حرارت اتاق

پاستوریزاسیون کم کرد و همزمان با استفاده از وسایل تهویه، هوای تازه را به داخل اتاق پاستوریزاسیون وارد کرد. در این مرحله کمپوست را در تونل آنقدر نگه دارید (حدود 4 شبانه روز) تا شیرین شود. در نهایت سطح آمونیاک به کمتر از 20 ppm برسد. معمولا با استشمام کمپوست می‌توان به عاری بودن آن از آمونیاک پی برد. هدف این مرحله کاهش درجه حرارت کمپوست به 48-50 $^{\circ}C$ است. درجه حرارت کمپوست با افزایش سرعت فن و ورود هوای تازه به تونل پاستوریزاسیون کاهش می‌یابد. توصیه می‌شود که فرآیند سرد کردن 2 ساعت قبل از اتمام پاستوریزاسیون شروع شود (لحظه مناسب شروع سردکردن بستگی به فعالیت کمپوست دارد). سرعت سرد کردن بایستی حداکثر $2^{\circ}C$ در ساعت باشد. درصد باز بودن دریچه هوا بستگی به نوسانات درجه حرارت کمپوست دارد. با کاهش درجه حرارت کمپوست ورود هوای تازه بایستی کاهش پیدا کند و با افزایش درجه حرارت کمپوست این دریچه بایستی بیشتر باز شود. دریچه سیرکولاسیون هوا 100% باز است. سرعت فن بستگی به درجه حرارت کمپوست دارد. مدت زمان شیرین سازی کمپوست 60-48 ساعت می‌باشد.

اگر پرکردن تونل بطور صحیح انجام نشود، کمپوستی که بخوبی در فاز اول مخلوط شده است، از دست می‌رود. دماهای متفاوت در نقاط مختلف کمپوست، مناطق خیس و لجن در کمپوست بعد از پاستوریزاسیون و مشکل حذف آمونیوم از جمله مشکلاتی هستند که در صورت پر نشدن درست تونل، بوجود خواهند آمد.

ارتفاع کمپوست در تونل پاستریزاسیون در شرایط استاندارد نباید از 2 متر کمتر و از 2/5 متر بیشتر باشد. در این محدوده، با هر ارتفاعی که تونل پاستوریزاسیون را پر می کنید، باید در همه جای آن فشردگی و ارتفاع کمپوست یکسان باشد. در غیر اینصورت سرعت جریان هوا در قسمتهای متراکم تر و با ارتفاع بیشتر، نسبت به قسمتهای دیگر کمتر خواهد شد و در چنین شرایطی کمپوستی یکنواخت از نظر کیفیت نخواهید داشت. در ضمن، حتما باید فاصله سطح کمپوست تا سقف تونل 70 و یا بیش از 70 سانتی متر باشد. این فضا برای سیرکولاسیون هوای داخل تونل و همگن سازی دمای کمپوست لازم است. اگر بنا به دلایلی ارتفاع کمپوست در تونل کمتر از 2 متر باشد، باید میزان ورود هوای تازه به تونل و مقدار هوای سیرکوله را کمتر کنیم. اگر مقدار هوای تازه کمتر نشود، رطوبت کمپوست، بیش از حد نرمال از دست خواهد رفت.

در حالت نرمال در طی فرایند پاستوریزاسیون و شیرین سازی حدود 8% رطوبت کمپوست را از دست می دهیم. یعنی از 75% به 67% می رسیم. اگر میزان رطوبت و ارتفاع کمپوست در تونل از حد استاندارد خارج شود، دستورالعمل های ارائه شده جواب نخواهد داد و باید تغییراتی در آنها اعمال گردد. اینکه این تغییرات چقدر باید باشد، بایستی با آزمون و خطا و اجرای طرح های آزمایشی و تجربه مقدار شان را بدست آورد. این کار وقت‌گیر و هزینه‌بر است. بنابراین بهتر است شرایط استاندارد، شرایطی که محققان در طی سالیان متمادی با اجرای طرح های آزمایشی، مقدار بهینه آنهارا بدست آورده اند، را رعایت کنیم تا کیفیت کمپوست تولید شده در سری های مختلف دچار نوسان نشود. هرگز و تحت هیچ عنوان نمی توان قسمتی از تونل پاستوریزاسیون را خالی گذاشت. مگر اینکه آن قسمت خالی را طوری بپوشانیم که هوا از داخل ان هرگز عبور نکند. چگونه؟ بنابراین تونل پاستوریزاسیون شتری است که خالی بار راه نمی رود.

عواملی که در طول مدت دوره فاز II موثر می باشند، عبارتند از:

دمای سالن پاستوریزاسیون،

میزان آمونیاک کمپوست در زمان پرکردن تونل و

میزان اکسیژن در تونل.

دما: بهترین دما برای رشد آکتینومایستها که از آمونیاک موجود در کمپوست استفاده می کنند، 48 تا $51^{\circ}C$ است. در دمای پایین تر از 40 و بالاتر از $55^{\circ}C$، میزان حذف آمونیاک از کمپوست به شدت کاهش پیدا می کند، چون میزان رشد آکتینومایستها کاهش می یابد.

میزان آمونیاک: هرچه میزان آمونیاک کمپوست در مرحله پرکردن سالن پاستوریزاسیون کمتر باشد، زمان کمتری برای شیرین سازی کمپوست لازم است. البته ممکن است سوال شود بهتر نیست اجازه دهیم در آخرین بونکر آمونیاک کمپوست به کلی خارج شود و در

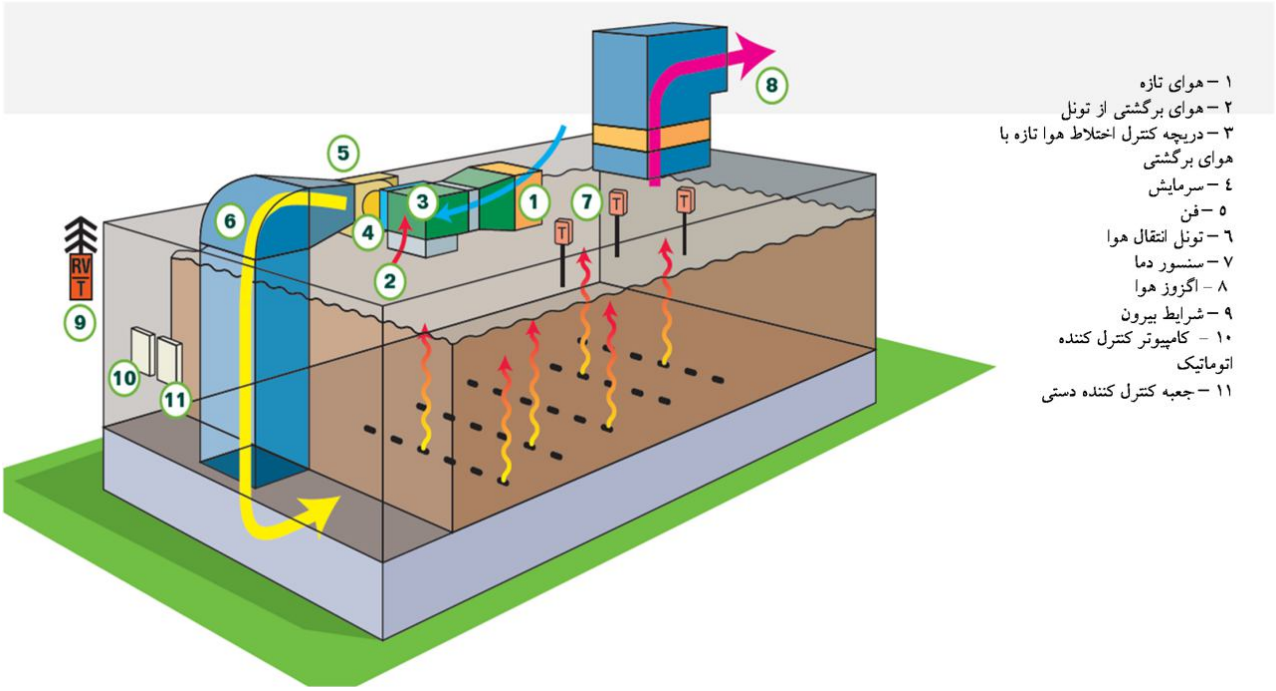
واقع کمپوست شیرین شود، سپس آن را وارد تونل پاستوریزاسیون نماییم؟. جواب منفی است چون برای پاستوریزاسیون و سپس شیرین سازی کمپوست به ترتیب به دمای 58 تا 60°C و دمای 48 تا 51°C نیاز می باشد. این دما بایستی توسط فعالیت میکروبی خود کمپوست تامین شود. اگر کمپوست قبل از ورود به تونل پاستوریزاسیون کاملا شیرین شود، در تونل به اندازه کافی گرم نخواهد کرد و این دما ها باید به صورت تکمیلی از منابع حرارتی دیگر تامین شود.

اکسیژن: تامین اکسیزن با هوادهی و ورود هوای تازه صورت می گیرد. در تونل پاستوریزاسیون هم سیرکولاسیون باید انجام شود و هم ورود هوای تازه. در بونکرهای باز سیرکولاسیون هوا انجام نمی شد. در طی 8 ساعت پاستوریزاسیون، چون باید دما در 58 تا 60C حفظ شود، باید با سیرکولاسیون هوای تونل، ضمن پخش یکنواخت دما در همه قسمتهای کمپوست، این مهم انجام پذیرد. در این زمان شاید نتوان میزان بالایی از اکسیژن به تونل وارد کرد. معذالک مادامیکه بتوانیم دما را در حد 58 تا 60°C حفظ کنیم، ورود هوای تازه ضرری ندارد. در زمان شیرین سازی کمپوست میزان اکسیزن در تونل هرچه بیشتر باشد بهتر است، مادامیکه بتوانید دما را در حد 48 تا 50°C حفظ کنید و در اثر شدت ورود هوای تازه، دمای تونل کاهش پیدا نکند. قطعا چون قرار است دما در حدود مذکور حفظ شود، شما نمی توانید اکسیژن تونل را در حد اکسیژن محیط (21%) حفظ کنید، مگر اینکه هوای ورودی به سالن را گرم کنید، که این کار ممکن است مقرون به صرفه نباشد. بجای اینکار به مقدار کمتری از اکسیژن در تونل پاستوریزاسیون رضایت می دهیم و همراه با ورود هوای تازه، برای حفظ دمای تونل و استفاده از گرمای حاصل از تنفس آکتینومایستها، سیرکولاسیون هوای تونل را هم انجام می دهیم. دریچه ورود هوای تازه و سیرکولاسیون طوری در کنار هم و یا مرتبط با هم طراحی شده اند که با باز شدن یکی از انها، دیگری بسته خواهد شد. اگر یکی کاملا باز باشد، دیگری کاملا بسته خواهد شد. اگر یکی 25% باز شود، دیگری 75% بسته می شود. یعنی جمع عدد باز بودن یکی و بسته بودن دیگری 100% می شود. تحت هیچ عنوان اجازه ندهید درصد اکسیزن کمپوست در طی مرحله شیرین سازی از 16% پایین تر بیاید.

برای تشخیص وجود اکسیژن لازم، می‌توان شمع روشنی را روی کمپوست گرفت، در صورتیکه شمع خاموش نشود، نشانه‌ی کافی بودن اکسیژن است. اما اگر شمع خاموش شد، یعنی آنکه اکسیژن کم است. اگر دستگاه اندازه گیری اکسیژن موجود است درصد اکسیژن بایستی بین 15 تا 18% باشد. قابل ذکر است که درصد اکسیژن در هوای آزاد حدود 21% می‌باشد. وارد کردن هوای تازه باید به میزانی باشد که درجه حرارت اتاق پاستوریزاسیون در حد لازم حفظ شود. هوای تازه بایستی عاری از باکتریها و قارچها باشد. برای این منظور بهتر است هوا قبل از ورود به اتاق از فیلترهای هپا (HEPA) عبور داده شود.

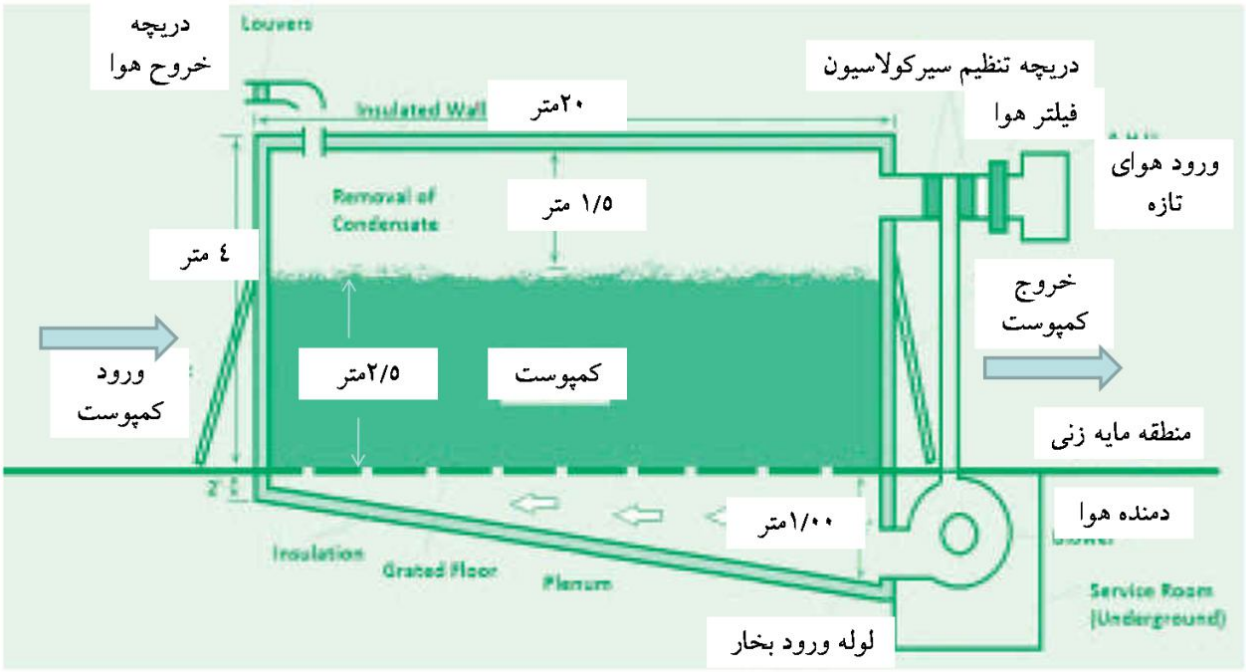
از کجا متوجه شویم که بعد از 4 روز کمپوست شیرین شده است؟

کارشناسان با تجربه با استشمام بخار متصادعد شده از تونل پاستوریزاسیون به راحتی متوجه شیرین بودن و یا نبودن کمپوست می شوند. معذالک کپسول هایی برای این منظور ساخته شده است که می تواند بر اساس pHکمپوست مقدار آمونیاک انرا تعیین نماید. رابطه مستقیم و معنی دای بین pH و مقدار آمونینیک موجود در کمپوست وجود دارد. هرچه میزان آمونیاک کمتر شود pH پایین تر می آید. وقتی کپسول مقدار آمونیاک در هوای سیرکولاسیون را کمتر از 0.005 ppm. نشان دهد، کمپوست به اندازه کافی شیرین شده است. این کپسول ها بر اساس خاصیت رنگ پذیری کاغذ تورنسل عمل می کنند و یکبار مصرف می باشند. راهکار ساده تر و بسیار کم هزینه این است که pH آب تقطیر شده ناشی از بخار موجود در تونل را اندازه گیری کنید. در محل دریچه هوای برگشتی از تونل (دریچه شماره 2 در شکل 4 - 25) چون با هوای تازه برخورد می کند، قطرات آب تشکیل می شود که باید با تعبیه یک سینی در فاصله 30 سانتی متری از سقف این آب جمع آوری شده و به بیرون از سالن هدایت شود. pH این آب را که معمولا توسط لوله ای پلاستیکی شفاف به بیرون از تونل هدایت می شود، در ابتدای شروع شیرین سازی اندازه گیری نمایید که باید حدود 8,2 باشد. وقتی pH این آب خروجی از تونل به 7,5 و یا کمتر از آن رسید، نشانه این است که کمپوست درون تونل شیرین شده است.



شکل 4 - 25 نمایی شماتیک از تونل پاستوریزاسیون کمپوست

تصویر فوق ▲محل قرارگرفتن سنسور های دما و اکسیژن در تونل پاستوریزاسیون را نشان می دهد. شماره 1 تا 6 سنسورهای دما و شماره 15 سنسور اکسیژن می باشد.



شکل 4 - 26. نمایی از تونل پاستوریزاسیون کمپوست

هدف این مرحله کاهش غلظت آمونیاک به کمتر از 0/1% می‌باشد. شیرین سازی در درجه حرارت 48-50°C انجام می‌شود. درجه حرارت کمتر از 40 °C درجه سانتی‌گراد اصلاً مفید نیست، چراکه میکروارگانیسم‌های مزوفیلیک شروع به فعالیت می‌کنند و ماده آلی کمپوست را به مصرف می‌رسانند. درجه حرارت بالاتر از 50°C نیز مضر می‌باشد چون باعث شکستن پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه به NH_3 و تولید مجدد آمونیاک می‌شود. آمونیاک سمی است و باعث کشتن آکتینومایست‌های گرما دوست می‌شود.

می شود. کمپوست‌سازی فعال هستند، انجام می‌پذیرد.

چرا آمونیاک در کمپوست باقی می ماند و یا بعدا در آن بوجود می آید.

1 . طول مدت پاستویزان بسیار کوتاه بوده است. توصیه می شود این مدت 8 تا 12 ساعت باشد. دمای پاستوریزاسیون از 57,6 درجه سانتیگراد شروع می شود. دمای پاستوریزاسیون نباید از 60 درجه سانتیگراد بیشتر شود.

2 . نوسانات دمایی زیاد در طی فرایند پاستوریزاسیون.

3 . عدم هوادهی کافی در خلال پاستوریزاسیون

4. افزایش دما به بالاتر از 62 درجه سانتیگراد در خلال پاستوریزاسیون.

5 . ایجاد شرایط بی هوازی در خلال پاستوریزاسیون به خاطر ارتفاع بیش از اندازه کمپوست در تونل و یا رطوبت بالای کمپوست فاز 1 که وارد تونل پاستوریزاسیون می شود.

6 . افزایش بیش از اندازه کود های شیمیایی مثل سولفات آمونیوم و اوره به کمپوست.

7. استفا ه از کود مرغ با کیفیت ضعیف. کود مرغ باید آنقدر خشک باشد تا بتواند خوب آسیاب شود و به پودر تبدیل گردد. در غیر اینصورت کلوخه های آن موجب حبس آمونیاک در کمپوست خواهند شد. اگر به دلایلی مجبور شدید از کود مرغ خیس استفاده کنید، حتما آنرا در آب حل کنید و به صورت دوغاب در آورید.

8. افزایش دمای کمپوست در طی حمل به سالن کشت و یا بعد از آن

اصولاً کمپوست در طی مراحل مختلف کمپوست‌سازی، گسترش میسلیوم در بستر کشت و حتی مراحل تشکیل و عمل آوری اندامهای باردهی دستخوش تغییرات ساختمانی و شیمیایی متعددی می‌گردد. اما در هر فاز شکل و میزان فعالیت میکروارگانیسم‌های کمپوست با هم متفاوت است. در فاز I کمپوست‌سازی، فعالیت اصلی غالباً به منظور تبدیل مواد خام به مواد قابل نفوذ و نرم برای میسلیوم قارچ دکمه‌ای می‌باشد و در طی آن انرژی گرمایی آزاد می‌شود. همچنین در این فاز بعنوان یک محصول جانبی ناشی از فعالیت میکروارگانیزم‌ها، آمونیاک فراوانی تولید می‌شود. در فاز II کمپوست‌سازی، عمل شیمیایی فاز قبل همچنان ادامه می‌یابد، عمل حذف و تثبیت آمونیاک انجام می‌شود و به علاوه آفات و برخی از بیماری‌ها تا حدودی از بین می‌روند. در مراحل بعدی نیز عمل شیمیایی میکروارگانیسمها، در کمپوست ادامه می‌یابد و شبکه میسلیومی در بستر کشت نفوذ کرده و از عناصر غذایی کمپوست و پروتئین میکروبی موجود در آن استفاده می‌کند. در طی زمان، بستر کشت به‌تدریج تحلیل رفته، محیط آن اسیدی شده و برای عمل باکتری‌ها نامناسب می‌شود. نتیجه نهایی آنکه شرایط برای توسعه و رشد بیشتر میسلیوم (رویشی و زایشی) قارچ نامطلوب می‌شود.

4 – 11 سرد کردن کمپوست برای مایه زنی

هدف از این مرحله رساندن درجه حرارت کمپوست به 24-25 °C در اسرع وقت می‌باشد. درجه حرارت کمپوست در تونل پاستوریزاسیون به فصل سال و زمانی که طول می‌کشد کمپوست از تونل خارج شود، بستگی دارد. در زمستان بهتر است که درجه حرارت کمپوست مقداری بیشتر باشد، به‌طوریکه کمپوست وقتی که به محل سالن‌های کشت برده می شود، زیاد سرد نشود. اگر قرار است که فرآیند تخلیه تونل پاستوریزاسیون خیلی طول بکشد، کمپوست بایستی به درجه پایین تری سرد شود تا از خود گرم کردن آن جلوگیری شود. پس از اتمام فاز II کمپوست‌سازی و سرد کردن کمپوست برای مایه‌زنی و سپس رشد میسلیوم قارچ خوراکی، اکثر باکتری‌های ترموفیلیک می‌میرند و غشای لیپید- پروتئینی خود را به جای می‌گذارند. غشای این باکتری‌ها حاوی اسیدهای چرب خصوصا اسید لینولئیک می‌باشد که نقش محرک را در تولید قارچ بازی می‌کند. همچنین پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و ویتامین‌های موجود در ساختار سلولی این باکتری‌ها، اندوخته‌ای غنی برای میسلیوم قارچ دکمه‌ای محسوب می‌گردد.

شکل 4 - 27 کمپوست پایان فاز II که آکتینومایستها و قارچهای گرمادوست آنرا کاملا اشغال کرده اند

در مورد کاهش و یا افزایش رطوبت کمپوست بعد از بیرون آوردن از تونل پاستوریزاسیون و قبل از مایه زنی و انتقال به سالن تولید، کار خاصی نمی توان کرد. رطوبت کمپوست باید درست قبل از انتقال به تونل پاستوریزاسیون تنظیم شود. اگر وقتی که هنوز کمپوست داخل تونل است، متوجه رطوبت بیش از حد آن شدید، با وارد کردن هوای گرم و خشک به داخل تونل، رطوبت آنرا می توان کاهش داد، اما عکس آن تغریبا میسر نیست. هرگز در فاصله بین بیرون آوردن کمپوست از تونل تا افزایش اسپاون به آن، هیچ چیز، نه آب برای افزایش رطوبت و نه گچ و مواد رطوبت گیر دیگر برای کاهش رطوبت، به آن اضافه نکنید. چون به این طریق انواع کپک هارا با دست خود به کمپوست وارد می کنید. نسبت مواد زنده کمپوست شامل میسلیوم قارچ، اکتینومایست‌ها و باکتری‌ها در یک بستر کشت آماده مایه‌زنی به ترتیب 1:8:2 است. در مجموع ماده زنده میکروبی یک بستر کشت آماده مایه‌زنی، بایستی در حدود 2% وزن خشک کمپوست باشد. بایستی یادآور شد که هر مترمکعب کمپوست تازه در اتاق پاستوریزاسیون، وزنی حدود 500 کیلوگرم دارد.

پس از اتمام مراحل کمپوست‌سازی به هر طریقی که صورت بگیرد، یک بستر کشت آماده مایه‌زنی بایستی مشخصات زیر را داشته باشد:

- *بوی آمونیاک ندهد*
- *لزج نباشد*
- *pH آن در حد 7/5 باشد*
- *نرم و قابل انعطاف باشد*
- *وقتی به هم فشرده شود، شکل خود را حفظ کند*
- *محتوای رطوبتی آن درحد 67 درصد باشد*
- *محتوای نیتروژن آن حدود 2 تا 2/3درصد باشد*
- *نسبت کربن به نیتروژن در آن 17 به 1 باشد*
- *از نظر ظاهری مملو از آکتینومایستها و قارچهای گرما دوست باشد (مثل اینکه آرد جو روی کمپوست پاشیده باشند)*

4 - 9 .تعدادی از پارامترها، دامنه مناسب و مقدار بهینه آنها در یک کمپوست خوب در انتهای فاز II

پارامتر مورد نظر	دامنه	هدف
آمونیاک	(ppm)0.001 – 0.006	0.005 (ppm)
pH	7.3 – 8.7	7.3-7.5
%N	1.8- 2.5	2.3- 2.4
درصد رطوبت	63- 69	67- 69
درصد کربن	35- 41	34- 36
نسبت کربن به ازت	10- 17	14 - 15
درصد خاکستر	18- 29	22 - 24

مفهوم انتخابی بودن کمپوست یا Sellectivenessچیست؟

انتخابی بودن یعنی کمپوست خصوصیاتی داشته باشد که از رشد میسلیوم قارچ خوراکی دکمه ای حمایت نماید، ولی از رشد کپکهای رقیب و باکتریها حمایت نکند. اگر در کمپوست آماده تلقیح، انتهای فاز II، قندهای ساده وجود داشته باشند، در فاز III کپکها، خصوصا کپکهای سبز و کپکهای آردی حمله خواهند کرد . حذف قندهای ساده در فاز I صورت می پذیرد. ارگانیسمهای مزوفیل این کار را انجام می دهند. نسبت C/N و میزان هوادهی در کمپوست فاز I بسیار مهم است، چون این دو فاکتور تاثیر بسیار زیادی در میزان فعالیت مزوفیل ها دارند. بنابراین عدم حضور قندهای ساده در کمپوست فاز II یکی از پارامترهای انتخابی بودن کمپوست است. حضور آکتینومایستها در کمپوست بارامتر دیگر می باشد. عرض کردم که آکتینومایستها خاصیت آنتی بیوتیکی و یا ضد باکتریایی دارند. حضور انها در کمپوست فاز 2، به میسلیوم قارچ خوراکی کمک می کند که در رقابت با باکتریها در اشغال کمپوست پیروز شود. پارامتر سوم حضور ترموفیل ها در سطح کلش و دیگر اجزای کمپوست فاز 2 است که مورد تغذیه میسلیوم قارچ خوراکی قرار می گیرند و با تغذیه از آنها میسلیوم در سطح کمپوست رشد نموده و همه قسمتهای آنرا اشغال می کند.

2- 11- 1: طراحی و اجرای بونکرها:

ابعاد بونکرها بسته به حجم کمپوست متغیر است، عرض بونکرها بین 6 تا 8 متر و طول آنها بین 20 تا 40 متر و ارتفاع دیوارها بین 6 تا 7/5 متر از کف متغیر می‌باشد. دیوار بونکرها از بتون مسلح ساخته می‌شود، هواسازهای بونکر در پشت دیوار عقب بونکر در یک راهروی تاسیساتی نصب می‌گردد. هوای مورد نیاز هر تن کمپوست بین 5 تا 15 متر مکعب در ساعت با فشار 3000 تا 4000 پاسکال است که بستگی به میزان رطوبت کمپوست و سنگینی مواد پرشده دارد (مجله کشاورز، شماره 349).

مقدار کمپوست در هر بونکر بستگی به مساحت بونکر دارد. در هر متر مربع بونکر حدود 1300 تا 1700 کیلوگرم کمپوست می توان قرار داد. عرض و طول بونکر را طوری طراحی می کنند که کمپوست داخل آن در انتهای فازI بتواند ظرفیت یک، دو و یا سه تونل

پا ستوریزه را به طور کامل، تکمیل نماید. ابعاد تونل پا ستوریزا سیون نیز باید طوری طراحی شود که برای یک، دو، سه ،..... سالن کشت ا ستاندارد، کمپو ست فاز II تحویل دهد. فرض کنید ابعاد تونل پا ستوریزا سیون 3 ×25×4 متر ا ست. اگر این تونل تا ارتفاع 2/2 تا 3/2 متری از کمپوست پر شود، در انتهای فاز II حدود 180 متر مکعب کمپوست تحویل خواهید داد (ارتفاع کمپوست در طی سه تا 5 روز دوره پا ستوریزا سیون و شیرین سازی، کاهش پیدا می کند). وزن هر متر مکعب کمپو ست آماده مایه زنی با رطوبت 67%، حدود 450 تا 500 کیلوگرم است. با این مقدار کمپوست می توان چهار سالن استاندارد 23 تا 25 تنی (20 × 6 در پنج طبقه) را پر نمود.