

تهیه بستر کشت (کمپوست)

مقدمه

قارچ‌های خوراکی به دلیل نداشتن کلروفیل قادر نیستند انرژی مورد نیاز خود را از نور خورشید بگیرند. قارچ خوراکی دکمه‌ای سفید نیز جزء موجودات زنده هتروتروف بوده و برای تغذیه خود به مواد آلی نیاز دارد. از طرف دیگر این قارچ گندرو است و لذا می‌تواند از کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و املاح معدنی موجود در بقایای موجودات مرده که به شکل قابل جذب برای قارچ درآمده‌اند، مواد غذایی مورد نیاز خود را تامین کند. نکته قابل توجه اینکه قارچ دکمه‌ای سفید، یک تجزیه‌کننده ثانویه (Secondary decomposer) است، یعنی قبل از اینکه میسلیم این قارچ بتواند در ماده زمینه‌ای خام (مثلاً کلش گندم) رشد کند، باید باکتری‌ها و قارچ‌های دیگر این مواد خام را به مواد قابل جذب تبدیل نمایند. به مواد خام یا ترکیبات تجزیه شده که به عنوان بستر کشت در اختیار میسلیم قارچ‌های خوراکی قرار می‌گیرد، **کمپوست (Compost)** و به فرآیند تهیه آن، **کمپوست‌سازی (Composting)** می‌گویند. در این فصل اساس علمی، روش‌ها و منابع تهیه کمپوست قارچ دکمه‌ای سفید مورد بررسی قرار می‌گیرد. بیشتر قارچ‌های خوراکی دیگر نظیر قارچ‌های صدفی، شاه صدف، انوکی و شی‌تاکه تجزیه‌کننده اولیه محسوب می‌شوند. یعنی می‌توانند مستقیماً از مواد خام (مثلاً کاه و کلش غلات و چوب دختان) برای رشد خود استفاده نمایند. در این قارچ‌ها به تهیه کمپوست (به آن صورت که در قارچ دکمه‌ای مرسوم است) نیازی نیست. در ابتدای صنعت پرورش قارچ، از کود اسب به عنوان کمپوست استفاده می‌شد. بتدریج به دلیل تغییر وسایط نقلیه از اسب به ماشین، از تعداد اصطبل‌های نگهداری اسب کاسته شد و لذا دیگر امکان این نبود که برای پرورش قارچ در سطح تجاری به کود اسبی تکیه شود. این امر ایجاب می‌کرد که تولید کنندگان این قارچ در فکر منابع جدیدی برای تهیه کمپوست بیفتند. به‌طوری‌که کم شدن تعداد اسب‌ها در طی سالهای 1920 باعث شد تا کشاورزان اروپایی برای تهیه کمپوست به منابع جدید (کلش گندم و کود مرغ) روی آورند. تهیه یک بستر کشت مناسب و انتخابی، که در اصطلاح کمپوست نامیده می‌شود، می‌تواند شرایطی را برای قارچ خوراکی دکمه‌ای سفید فراهم نماید که مواد خام اولیه به مواد قابل جذب برای میسلیم این قارچ تبدیل شوند. بنابراین هدف از تهیه یک بستر کشت مناسب برای قارچ دکمه‌ای می‌تواند به صورت زیر خلاصه شود:

1. تولید بستری که برای رشد قارچ خوراکی دکمه‌ای سفید مناسب باشد.
 2. تهیه یک بستر کشت انتخابی به طوری که دیگر موجودات زنده رقابت‌کننده با قارچ دکمه‌ای و میکروارگانیسم‌های همزیست آن نتوانند به راحتی بر روی آن رشد کنند.
 3. تهیه مقادیر مناسب مواد غذایی، آب و اسیدهای آمینه که به آسانی در دسترس میسلیم قارچ دکمه‌ای قرار گیرند.
 4. تهیه یک بستر مناسب برای فعالیت باکتری‌های گرمادوست و مزوفیل به منظور انجام تخمیر مواد اولیه کمپوست.
 5. بهبود ساختمان فیزیکی مواد غذایی زمینه‌ای به گونه‌ای که رطوبت و هوای مورد نیاز برای رشد مطلوب میسلیم فراهم شود.
- از منابع موجود برای تهیه کمپوست می‌توان از کود اسبی، کلش گندم و یا غلات دیگر و کود مرغ، سبوس گندم و کنجاله سویا و پنبه دانه نام برد. در کشور ما با توجه به کمبود کود اسبی، بهترین و با صرفه‌ترین کمپوست برای پرورش قارچ خوراکی دکمه‌ای، کمپوست حاصل از کلش گندم و کود مرغی است. کلش غلات خصوصاً گندم به عنوان مهمترین منبع کربن مورد نیاز در کمپوست می‌باشد. علاوه بر این کلش باعث بهبود کیفیت ساختمان کمپوست به منظور جذب و نگهداری آب و تهویه مطلوب آن می‌شود. هزینه مواد تشکیل دهنده کمپوست در مقایسه با سایر هزینه‌ها از جمله هزینه‌های ثابت و کارگری ناچیز می‌باشد.

بطور کلی هدف اصلی از فرآیند کمپوست‌سازی، تهیه یک بستر کشت مطلوب است، به نحوی که برای رشد میسلیم قارچ دکمه‌ای مناسب بوده ولی برای قارچ‌های رقیب مناسب نباشد. در طی فرآیند تولید کمپوست انتخابی، بتدریج عناصر غذایی مطلوب برای میکروارگانیسم‌های رقیب، کاهش می‌یابد، در حالیکه عناصر غذایی مطلوب برای قارچ دکمه‌ای به تدریج تجمع می‌یابد. البته فرایند کمپوست‌سازی علاوه بر تهیه یک بستر کشت انتخابی و مطلوب برای قارچ، باید بتواند ساختمان فیزیکی مناسب و همچنین مقدار مناسب آب و اسیدیته را در اختیار این قارچ قرار دهد. از آنجاییکه کمپوست، مواد غذایی را برای رشد قارچ فراهم می‌کند، ترکیب مواد تشکیل دهنده آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. علاوه بر این، نحوه عمل‌آوری کمپوست و تجزیه میکروبی آن بسیار حائز اهمیت است. تغییرات شیمیایی که در مواد کمپوست توسط میکروارگانیسم‌ها رخ می‌دهد، همراه با واکنش‌های شیمیایی و گرمای حاصله از فعالیت میکروارگانیسم‌ها، کمپوست را تبدیل به یک منبع غذایی بسیار مناسب برای رشد قارچ خوراکی کرده و موجب حذف باکتری‌ها و قارچ‌های مضر می‌شود.

4-1 منابع تهیه کمپوست

در ایران همچون بسیاری از کشورهای دیگر، کود اسبی (کمپوست طبیعی) به ندرت یافت می‌شود. بنابراین استفاده از کود اسبی به تنهایی به عنوان کمپوست برای پرورش قارچ خوراکی منتفی است. در عوض در کشور ما دامپروری‌های صنعتی و سنتی متعددی وجود دارد که از کود آنها استفاده بهینه به عمل نمی‌آید. گاوداری‌ها مدفوع دامهای خود را انبار می‌نمایند و پس از پوسیدن به کشاورزان برای حاصلخیزی زمینهایشان می‌فروشند. گاهی اوقات تولیدکنندگان آجر فشاری، کودهای تازه را خشک کرده و از آنها به عنوان سوخت استفاده می‌کنند. خاکستر این کودها با خرده‌های آجر کوره‌پزخانه‌ها مخلوط و غیرقابل استفاده می‌شود. در صورتی که بتوانیم قبل از تخمیر و پخش کودهای دامی در زمینهای زراعی و باغات، آنها را به صورت کمپوست برای پرورش قارچ خوراکی در آوریم، ارزش اقتصادی آنها بیشتر خواهد شد.

برای تهیه بستر کشت می‌توان از فرآورده‌های فرعی کشاورزی (by-product)، نظیر کلش غلات، ساقه ذرت، تفاله نیشکر یا دیگر پس‌مانده‌های سلولزی استفاده کرد. از آنجاییکه فرآورده‌های فرعی مذکور مقدار نیتروژن مورد نیاز و دیگر ترکیبات لازم برای فرآیند تخمیر را ندارند، لازم است از مواد مکملی که بتواند نیتروژن و عناصر ضروری دیگر را به مقدار کافی برای شروع فرآیند تخمیر فراهم کند، استفاده شود. برخی از این مواد مکمل عبارتند از:

- (1) کودهای حیوانی که معمولاً منبع خوبی برای نیتروژن هستند. مهمترین کود مورد استفاده کود اسبی می‌باشد، که در صورت موجود بودن می‌تواند به تنهایی عملکرد قابل ملاحظه‌ای تولید نماید. بطوریکه این کود به نام کمپوست طبیعی معروف شده است. اما به دلیل کمبود آن از کلش گندم به همراه کود مرغی و منابع دیگر استفاده می‌شود.
 - (2) منابع کربوهیدرات (نظیر ملاس چغندر قند، تفاله سیب زمینی و قسمتهای گوشتی میوه‌هایی نظیر سیب، گلابی و انگور). این منابع غنی از کربوهیدرات بوده و برای تعدیل نسبت کربن به نیتروژن و استقرار جمعیت میکروبی در بستر کشت بسیار مناسب هستند.
 - (3) کودهای نیتروژنی که عموماً شامل اوره، نترات آمونیوم، نترات کلسیم و سولفات آمونیوم می‌باشد. درصد نیتروژن در این کودها بالا است (46 - 25%)، و نیتروژن آنها به سرعت آزاد می‌شود.
 - (4) پودر کنسانتره از قبیل سبوس گندم یا برنج، دانه‌های خشک شده جو و آرد دانه‌های پنبه، سویا، خردل، کرچک و کتان می‌باشد. این مواد هم کربوهیدرات و هم نیتروژن مورد نیاز برای کمپوست را تأمین می‌نمایند.
- قارچ خوراکی دکمه‌ای سفید برای رشد علاوه بر کربن و نیتروژن به عناصر دیگری هم نیاز دارد. از کودهای پتاسیم، سوپرفسفات و دیگر عناصر برای برآورده کردن این نیاز استفاده می‌شود. از کربنات کلسیم و سولفات کلسیم هیدراته به ترتیب برای تنظیم اسیدیته، نفوذ بهتر اکسیژن در کمپوست و حذف حالت لزجی و چربی آن استفاده می‌شود.

4-2 فرمول‌های مختلف تهیه کمپوست

هدف اصلی از بکاربردن یک فرمول مناسب، رسیدن به یک تعادل بین میزان کربن و نیتروژن (C:N) (یعنوان دو عنصر مهم و اساسی در ترکیب کمپوست) در بستر کشت می‌باشد. با فرمول مناسب علاوه بر تنظیم نسبت کربن به نیتروژن، نیاز قارچ به سایر عناصر درشت و

ریز مغذی نیز تأمین می‌شود. بایستی توجه داشت که هر کشوری بنابر امکانات و شرایط اقلیمی خود از فرمولی استفاده می‌کند که هم بیشترین تأثیر را بر رشد قارچ داشته باشد و هم از نظر اقتصادی باصرفه باشد. در ذیل برخی از فرمول‌های رایج در تهیه بستر کشت برای قارچ خوراکی دکمه‌ای سفید آورده شده اند (جداول 1-4 تا 4-4).

در تهیه کمپوست برای قارچ دکمه‌ای نسبت C:N بسیار مهم است. این نسبت در زمان‌های مختلف تهیه کمپوست متفاوت است. مثلاً بایستی در زمان مخلوط کردن اجزا 30:1، در زمان ورود به تونل پاستوریزاسیون 20:1 و در زمان مایه‌زنی 17:1 باشد. اگر نسبت C:N زیادتر از حد بهینه باشد، مشکلات عدیده‌ای به وجود می‌آید که در ادامه همین فصل توضیح داده خواهد شد. نکته مهم در تمام فرمول‌های ترکیب کمپوست این است که درصد نیتروژن بر حسب وزن خشک کمپوست در ابتدای کمپوست‌سازی، یعنی زمان مخلوط کردن اجزا برابر با 1,9 و 2,0 باشد. درصد نیتروژن در انتهای کمپوست‌سازی یعنی مرحله مایه‌زنی بایستی برابر با 2/23 باشد. رطوبت کمپوست در مرحله اولیه باید در حدود 75% و در پایان کمپوست‌سازی برابر با 70 - 68% باشد.

ممکن است سؤال شود که چگونه این درصد را حساب نماییم؟.

برای محاسبه درصد N در ترکیب اولیه کمپوست، بایستی درصد نیتروژن مواد خامی که در ترکیب کمپوست استفاده می‌شوند، را بدانیم. درصد نیتروژن در بعضی از این ترکیبات توسط محققین قبلی مشخص شده است و از یک نمونه به نمونه دیگر فرق زیادی نمی‌کند. مثلاً درصد نیتروژن در کلش گندم، سبوس گندم، ملاس چغندر قند و کودهای شیمیایی قبلاً مشخص شده است و نیازی به اندازه‌گیری مجدد آنها نیست (جدول 1-4 و 4-2)، فقط باید درصد رطوبت بعضی از آنها را اندازه گیری کرد. اما درصد N در کود مرغ از یک نمونه به نمونه دیگر معمولاً فرق می‌کند. این مقدار بسته به نوع مرغ‌ها از نظر گوشتی و یا تخمگذار بودن، ترکیبات و جیره غذایی مورد استفاده، موادی که به عنوان بستر استفاده می‌شوند، نحوه انبار کردن کود، مدت زمان انبار نمودن و درصد رطوبت آن فرق می‌کند. بنابراین هر بار که کود مرغی را از مرغداری‌ها تهیه می‌نمایید، بایستی درصد N آن را اندازه گیری کنید. این عمل معمولاً توسط دستگاه کج‌لدال در آزمایشگاه‌های خاکشناسی و یا صنایع غذایی انجام می‌شود.

جدول 1-4: نسبت C:N در تعدادی از ترکیبات مورد استفاده در کمپوست سازی

نام ترکیب	درصد C:N
خاکستر چوب	25:1
مقوا	350:1
ساقه ذرت	75:1
ضایعات میوه جات	35:1
برگهای درختان	60:1
روزنامه	175:1
پوسته بادام خاکی	35:1
خاک اره	325:1
کلش گندم	75:1
تراشه چوب	40:1
یونجه	12:1
شبدر	23:1
پوسته قهوه	20:1
ضایعات مواد غذایی	20:1
ضایعات باغبانی	30:1

25:1	علف خشک
15:1	کود گاوی
19:1	جلبک دریایی - خزه
25:1	خرده سبزیجات
30:1	علفهای هرز

برای اندازه گیری درصد رطوبت نمونه، ابتدا وزن نمونه را یاد داشت نمایید (وزن اولیه). سپس نمونه را به درون ظرفی (فلزی یا شیشه‌ای پیرکس) که وزن آن قبلاً مشخص شده است، منتقل کنید. سپس ظرف حاوی نمونه را در آون °C 105 به مدت 24 ساعت قرار دهید. بلافاصله بعد از بیرون آوردن نمونه از آون، آن را با ظرف وزن کنید. حال وزن خالی ظرف را از آن کم کنید. مقدار حاصل در واقع وزن خشک نمونه است (وزن ثانویه)

حال درصد رطوبت نمونه را طبق فرمول زیر به دست آورید.

$$\text{درصد رطوبت} = \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$$

با مشخص شدن درصد رطوبت و درصد N ترکیبات مورد استفاده در کمپوست، می‌توان درصد N را در ترکیب اولیه کمپوست (فرمول مورد استفاده) حساب نمود. به عنوان مثال اگر ترکیب فرمول کمپوست مورد استفاده، درصد رطوبت و درصد N در ترکیبات آنها به قرار جداول زیر باشد.

جدول 4 - 2 فرمول پیشنهادی الف برای تهیه کمپوست

ماده مورد استفاده	وزن تازه	درصد رطوبت	وزن خشک	درصد نیتروژن	مقدار نیتروژن
کلش گندم	287	14	250	0,5	1,43
کود مرغ	82,50	17	68	4,2	2,88
نیترات آمونیوم	5,00	صفر	5	26	1,30
اوره	3,00	صفر	3	44	1,32
ملاس چغندر	15,00	35	10	1/3	0/20
گچ	15,00	صفر	15	صفر	صفر
جمع کل			352		7,13

جدول 4 - 3 فرمول پیشنهادی ب برای تهیه کمپوست

ماده مورد استفاده	وزن تازه	درصد رطوبت	وزن خشک	درصد نیتروژن	مقدار نیتروژن
کلش گندم	287	15	250	0/5	1,43
سبوس گندم	82	17	70	2/4	1,97
نیترات آمونیوم	6,5	صفر	6,5	26	1,70
اوره	4	صفر	4	44	1,76
ملاس چغندر	15	35	10	1/3	0/20
گچ	15	صفر	15	صفر	صفر
جمع کل			355		7,06

درصد نیتروژن را در دو فرمول کمپوست الف و ب طبق فرمول زیر حساب می‌کنیم.

وزن خشک (kg) / (100 × نیتروژن (kg)) = درصد N

در فرمول پیشنهادی الف درصد نیتروژن برابر است با:

$$N \text{ درصد} = (7/13 \times 100) / 352 = 2/0$$

در فرمول پیشنهادی ب (جدول 4 - 2) درصد نیتروژن برابر است با:

$$N \text{ درصد} = (7/06 \times 100) / 355 = 1/98$$

خوب تا اینجا یاد گرفتیم که چه نسبت از هر ماده برای تهیه کمپوست استفاده نماییم. مقادیر داخل جداول وزن تر و وزن خشک مواد مورد استفاده در ترکیب اولیه می باشد. ممکن است فردی از شما سوال کند که اگر به 40 تن کمپوست آماده مایه زنی نیاز داشته، چه مقدار از هر یک از مواد موجود در جدول را استفاده نمایم؟ جواب این است که معمولا از هر 1000 کیلو گرم یا یک تن ترکیب مواد اولیه، حدود 1500 تا 1600 کیلوگرم یا 1/5 تا 1/6 تن کمپوست آماده مایه زنی بدست می آید. با تقسیم 40 به 1/6 عدد 25 بدست می آید. بنابراین برای تولید 40 تن کمپوست بایستی حدود 25 تن ماده اولیه را خیس و مخلوط نمایید. بسته به فرمولی که استفاده می نمایید (فرمول الف و یا ب و یا هر فرمول تایید شده دیگر)، با یک تناسب ساده مقدار هریک از ترکیبات بدست می آید. مثلا با استفاده از فرمول الف، چون به ازاء هر 352 کیلوگرم ماده خشک 287 کیلوگرم کلش با رطوبت 15% باید استفاده شود، بنابراین برای 25 تن ماده خشک، مقدار کلش خشک مورد نیاز حدود 17/5 تن خواهد بود و کلش مورد نیاز با رطوبت 15% حدود 20/7 تن خواهد شد. مقدار بقیه مواد را هم می شود به همین طریق حساب کرد. مقدار کود مرغ با 17% رطوبت برای 25 تن ترکیب اولیه و یا 40 تن کمپوست آماده مایه زنی حدود 5800 کیلوگرم خواهد بود. توصیه می شود که مقادیر ترکیبات در کمپوست را بر حسب وزن خشک حساب کنید چون رطوبت کلش و کود مرغ از محموله ای به محموله دیگر و از فصلی به فصل دیگر فرق می کند.

در کشور ما طبق مشاهدات میدانی و صحبت‌های کمپوست سازان، کارشناسان کمپوست ساز به ازای هر تن کمپوست آماده مایه زنی حدود 400 کیلو کلش با رطوبت 12% و یا 350 کیلو کلش خشک (با فرض بدون رطوبت، چون ما در حالت معمولی در مزرعه و یا محل دپوی کلش، کلش بدون رطوبت نداریم. میزان رطوبت را طبق آنچه قبلا عرض کردم اندازه می گیرند) استفاده می کنند. متأسفانه بعضی از کمپوست سازان درصد کود مرغ را بر حسب مقدار کلشی که خیس می کنند بیان می نمایند، که البته از نظر استاندارد های علمی اشتباه است و قابل قبول نیست. وقتی صحبت از درصد مواد در یک ترکیب می شود، یعنی مقدار آن ماده مورد نظر نسبت به کل مواد مورد استفاده ضربدر 100. به هر حال اگر قرار است که از منابع علمی و تجربه دیگران و پیشگامان این صنعت استفاده کنیم و آنها هم زبان ما را متوجه شوند و به ایرادات ما پی ببرند و توصیه های لازم را بنمایند، باید به زبان علمی صحبت کنیم. در همه کشورها وقتی چراغ راهنما و رانندگی قرمز می شود، باید توقف کرد و وقتی چراغ سبز شد باید شروع به حرکت کرد. یکسان بودن معانی و مفاهیم اصطلاحات، فرمول ها و آیین نامه ها به ما کمک می کند که زبان یکدیگر را بهتر بفهمیم و تبادل اطلاعات راحت تر و دقیق تر صورت بگیرد. اگر یک نفر متخصص تولید کمپوست در اروپا از کارشناس شرکت کمپوست سازی در ایران میزان کود مرغ مورد استفاده را بپرسد و ایشان در جواب بگوید 67% متخصص اروپایی قطعاً تعجب خواهد کرد که چطور چنین چیزی ممکن است. درحالیکه در واقع درصد کود مورد استفاده توسط کارشناس ایرانی 40% بوده است. می بینید که اگر از مفاهیم علمی و بین المللی استفاده نکنیم سوء تفاهم پیش می آید..

معمولا اگر استاندارد ها رعایت شود، به ازای هر کیلوگرم کلش خشک در کمپوست سازی، 2,8 کیلوگرم کمپوست آماده مایه زنی حاصل می شود. وقتی با یکی از کمپوست سازان کشورمان صحبت می کردم قسم می خوردند که به ازای هر کیلو کلش 2,5 کیلو گرم کمپوست بیشتر بدست نمی آید. قطعاً ایشان درست می فرمودند. پس این اختلاف 2/8 با 2/5 ناشی از چیست؟ این اختلاف ناشی از عدم رعایت مفاهیم بین المللی است. کمپوست ساز کشور ما وزن رطوبت کلش را در نظر نمی گیرد. غافل از اینکه رطوبت نسبی کلشی که استفاده می کند حدود 12% می باشد. یعنی به ازای استفاده از 100 کیلو کلش، در واقع 88 کیلو کلش خشک بدون رطوبت استفاده کرده است. اگر عدد 2/5 را بر 0/88 تقسیم کنیم همان عدد 2/8 بدست می آید. بنابراین آنچه بنده در این فرمولها ذکر می کنم برحسب وزن خشک ماده مورد استفاده می باشد. در واقع اگر بخواهیم با مفاهیم بین المللی صحبت کنیم و در تولید کمپوست ثبات داشته باشیم باید و حتما باید از وزن خشک مواد در ترکیب کمپوست و فرمول ها استفاده کنیم.

جدول 4-4 درصد نیتروژن موجود در بعضی از ترکیبات کمپوست

ماده مورد استفاده	درصد نیتروژن
کلش	0/62
اوره	46
سولفات آمونیوم	21
کود مرغ	3/5 – 5/.
کود اسب	1/2
یونجه تازه	1/1
NH ₄ NO ₃	26

جدول 4-5- برخی از فرمول‌های رایج برای کمپوست‌سازی

(1)

ماده	مقدار (برحسب کیلوگرم)
کلش گندم و برنج	300
نیترات آمونیوم-کلسیم	9
اوره	3
سوپر فسفات	3
پتاس	3
سبوس گندم	15
ملاس چغندر قند	5
سولفات کلسیم هیدراته	30

منبع: Garcha, 1981 cited by Pathak et. al., 1998

(2)

ماده	مقدار (برحسب کیلوگرم)
کود اسبی	1000
کلش گندم	350
اوره	30-40
سولفات کلسیم هیدراته	3

منبع: IARI cited by Pathak etl a., 1998

(3)

ماده	مقدار (برحسب کیلوگرم)
کلش گندم	300
کود مرغی	123
سبوس گندم	15
اوره	5/5
سولفات کلسیم هیدراته	20

منبع: Solan cited by Pathak et. al., 1998

(4)

ماده	مقدار (برحسب کیلوگرم)
کلش برنج	150
ساقه ذرت	150
سبوس برنج	50
پودر پنبه دانه	5
سولفات آمونیوم	9
سوپرفسفات	9
کربنات کلسیم	10
اوره	4
سولفات کلسیم هیدراته	12

منبع: Bangalore cited by Pathak et. al., 1998

(5)

ماده	مقدار (برحسب کیلوگرم)
کلش گندم	300
ملاس چغندر قند	12
اوره	4/5
پتاس	2
پودر پنبه دانه	5
سولفات کلسیم هیدراته	15

منبع: Srinagar cited by Pathak et. al., 1998

(6)

ماده	مقدار (برحسب کیلوگرم)
کلش گندم	1000
کود مرغی	400
دانه جو تقطیر شده	72
اوره	14/5
سولفات کلسیم هیدراته	30

منبع: Solan cited by Pathak et. al., 1998

(7)

ماده	مقدار (برحسب کیلوگرم)
کلش گندم	11/65
کود اسبی (10 درصد)	22/69
فضولات خشک ماکیان	0/92
اوره	0/74
پوست پنبه دانه	0/92
پودر پنبه دانه	1/38

0/46	سولفات کلسیم هیدراته
0/46	پودر دانه کلزا
0/46	تورب

منبع: <http://www.mushroomadvantures.com/compost.htm>

(8) فرمولی که توسط نویسندگان استفاده شده است

ماده	درصد وزنی
کلش گندم	62
کود مرغی	35
مالس چغند قند	1/5
اوره	1/5
جمع کل	100
سنگ گچ	به مقدار لازم

(9)

ماده	مقدار بر حسب کیلوگرم
کلش گندم	1000
کود مرغ	500
سبوس گندم	72
کنجاله پنبه دانه	20
اوره	15
گچ	40

(10)

ماده	مقدار بر حسب کیلوگرم
کلش گندم	1000
کود مرغ	500
سبوس گندم	120
اوره	16
گچ	40

(11)

ماده	مقدار بر حسب کیلوگرم
کلش گندم	6000
کود مرغ	3500

100	اوره
100	ملاس چغندر
300	سولفات کلسیم هیدراته

در فرمول فوق رطوبت کلش 12% و رطوبت کود مرغ 20% در نظر گرفته شده است. ازت کود مرغ 4% مقدار ملاس در ترکیب کمپوست در حد 1% است که تغییر زیادی در نسبت کربن به ازت ایجاد نمی کند. برای محاسبه دقیق نسبت اجزای ترکیب کمپوست باید درصد رطوبت و میزان ازت کود مرغ مورد استفاده را حتما داشته باشید.

همانطور که مشاهده می شود در تمام این فرمول ها توصیه می شود که از کلش گندم و یا برنج به عنوان فراهم کننده منبع سلولز استفاده شود. ترکیبات دیگر به عنوان فراهم کننده منبع نیتروژن و سایر عناصر ضروری برای رشد قارچ مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین از آنجاییکه کود مرغی دارای مقدار زیادی نیتروژن و کلسیم و همچنین مواد ضروری دیگر می باشد، غالباً به عنوان یکی از اجزاء اصلی کمپوست مورد استفاده قرار می گیرد.

4-3 کمپوست سازی

موفقیت در پرورش قارچ به صورت مستقیم به این بر می گردد که چقدر به اهمیت نقش کمپوست در زندگی قارچ پی برده ایم. درک اهمیت نقش کمپوست از آنجا شروع شد که تولید کنندگان تشخیص دادند که توده کمپوست فقط مخلوط فیزیکی کاه و کلش خیس خورده و کود مرغ نیست. توده کمپوست در واقع دنیایی است که تعداد بیشماری میکروارگانیسم زنده در آن زندگی می کنند. ما برای هدف مشخص و معینی توده کمپوست را ایجاد می کنیم. در واقع مکانی را برای رشد میسلیم قارچ و شرایطی برای فعالیت های حیاتی آن از قبیل تغذیه، رشد و تکثیر فراهم می کنیم.

کمپوست و مواد تشکیل دهنده آن عامل اصلی کیفیت و عملکرد قارچ می باشد. کیفیت و کارایی بالای کمپوست منتج به زمان نگهداری طولانی، بافت جامد قارچ و عملکرد سودآور می شود. اگر کمپوست به درستی تهیه نشده باشد، منجر به تولید قارچ هایی با بافت نرم، رطوبت بالا و قابلیت نگهداری اندک می شود. شرط اصلی سودمندی بالای صنعت پرورش قارچ، تولید کمپوستی با کیفیت بالا است، که حداکثر تناسب را برای رشد میسلیم قارچ داشته باشد. به عبارت دیگر کمپوست انتخابی باشد، یعنی بیشترین حمایت را از رشد میسلیم قارچ خوراکی بنماید نه اینکه از قارچ های مضر و رقیب حمایت کند. تهیه چنین کمپوستی فقط زمانی میسر است که در تولید کمپوست حساسیت و جدیت وجود داشته باشد. یعنی عملیات تهیه کمپوست بایستی براساس تکنولوژی برگزیده و استفاده از مواد خام با کیفیت، به کارگیری کارگرانی ماهر، ثبت دقیق و منظم داده ها و رخدادها انجام شود.

اگر کمپوست را نوعی کود و یا حتی چیزی بدمنظر و کنیف تصور کنیم، تهیه کمپوستی با کیفیت عالی غیرممکن خواهد بود. خوب حالا این سوال را مطرح نماییم که کمپوست خوب و با کیفیت عالی چیست؟ در جواب باید گفت که کمپوست خوب و با کیفیت چیزی است که مهمترین رکن اساسی در زندگی قارچ را بازی می کند یعنی غذای آن را تأمین می نماید. ماده خشک قارچ غالباً از مواد آلی تشکیل شده است. بنابراین قارچ ها ماده آلی نیاز دارند و هرچه مقدار آن در کمپوست بیشتر باشد، مقدار محصول تولیدی در واحد سطح افزایش خواهد یافت. راستی قارچ ها چگونه غذایشان را بدست می آورند. قارچها فقط می توانند از غذاهایی که قابل حل در آب هستند استفاده کنند. آب جزء بسیار ضروری برای زندگی قارچ است (البته تنها جزء نیست). خوب چه چیزی می تواند آب را در کمپوست نگه دارد. جواب همان ماده آلی است. این بدین مفهوم است که در تهیه کمپوست باید از این منظر هم نگاهی داشته باشیم. چه چیزی برای قارچ بسیار مهم است؟ آنچه برای قارچ بسیار مهم است خلاص شدن از هر نوع ماده اضافی است که می تواند برای میکروارگانیسم های دیگر به عنوان غذا استفاده شود و رقابت را به نفع قارچها و باکتریهای رقیب تمام کند. مواد اضافی در پایان کمپوست سازی همان کربوهیدرات های سهل الوصول و یا آمونیاک باقیمانده در کمپوست هستند. هدف یک متخصص صنعت قارچ این است که از این ترکیبات در تهیه کمپوست انتخابی استفاده نماید. اجرای این شرایط باعث افزایش راندمان تولید کمپوست از مواد خام اولیه خواهد شد. دومین نکته که بایستی مورد علاقه هر تولیدکننده کمپوست باشد، تولید فاز I کمپوست سازی در حداقل زمان ممکن می باشد که باعث افزایش

راندمان از ترکیبات کمپوست و مکانهای تهیه کمپوست می‌شود و نکته‌ای است که برای اجرای آن باید تلاش نمود. آخرین نکته‌ای که باید قبل از شروع تهیه کمپوست در باره آن بیندیشیم کاهش هزینه تولید به ازای هر تن کمپوست می‌باشد. یعنی اینکه تا جایکه ممکن است فرآیندهای تکنولوژیکی را ساده نماییم و از ترکیب بهینه‌ای از ماشین آلات و نیروی انسانی استفاده نماییم. هزینه خرید ماشین آلات متفاوت است، اما یادمان باشد که صرفاً ماشین‌های گرانتر تولید کمپوستی با کیفیت بالاتر را تضمین نمی‌کنند.

4-3-1 کلش

بهتر است از کلش گندم برای تهیه کمپوست استفاده شود. البته از مخلوطی از کلش گندم و چاودار هم می‌توان استفاده کرد. به خاطر فراوان بودن کلش گندم در ایران و اینکه سخت‌ترین کلشی است که ساختمان خود را حفظ می‌کند، بیشتر از این کلش در تهیه کمپوست قارچ دکمه‌ای استفاده می‌شود. بنابراین تکنولوژی تولید کمپوست با استفاده از کلش گندم (شکل 4-1) را توضیح می‌دهیم.



شکل 4-1 کلش (ساقه گندم) مناسب در تهیه کمپوست

زمان خرید کلش، به کیفیت آن توجه خاصی بایستی مبذول شود. کلش بایستی خشک باشد. کلش خیس و یا باران خورده خرید نکنید. کلش بایستی رنگ طلایی و سطحی براق و تمیز داشته باشد، خاک و علف هرز نداشته باشد، آشفال و خار و خاشاک نداشته باشد، کپک زده و پوسیده و گندیده نباشد و توسط موشها آسیب ندیده باشد. همچنین نبایستی دارای کلوخه خاک باشد. در طی انبار و ذخیره کردن کمپوست رنگ کلش عوض می‌شود، کدر می‌شود و رنگش به خاکستری می‌گراید. در صورتیکه بقیه پارامترهای کیفی تغییر نکند، تغییر در رنگ در عملکرد کمپوست تأثیری ندارد. توصیه می‌شود که طول متوسط ذرات کلش مورد استفاده حدود شش سانتی متر باشد، کوتاهتر بودن طول آن در میزان خلل و فرج و تهویه آن تأثیر منفی دارد. با این وجود هرچه طول کاه و کلش بلندتر باشد کار با آن سخت تر می‌شود.

رطوبت کلش نباید بیشتر از 20% باشد. این درصد خصوصاً برای کلشی که قرار است ذخیره شود، بسیار مهم است. اگر کلش رطوبت بیشتری داشته باشد، بهتر است از آن سریعاً در تهیه کمپوست استفاده گردد و ذخیره نشود.

کلش در فصل زمستان نبایستی یخ بزند و قطعات یخ در آن نبایستی وجود داشته باشد. وجود برف به مقدار کم در کلش ایرادی ندارد. بهتر است کلش در سطح بتونی با یک شیبی که آب باران خارج شود، ذخیره گردد. اگر قصد ذخیره دراز مدت کلش را دارید، خطر آتش‌سوزی را جدی بگیرید و تمهیدات خاموش‌کردن آتش و بیمه آتش‌سوزی را فراموش نکنید. در زمان ذخیره کلش، بسته‌های مرطوب، پوسیده و کبک زده را دور بریزید تا از خود گرم شدن و فاسد شدن کلش خوب جلوگیری شود.



شکل 4 - 2- ملاس چغندر قند

ملاس چغندر قند هم یکی از اجزای کمپوست می تواند باشد. این ماده مملو از قندهای ساده (پنتوز) است که در تسریع شروع فرایند کمپوست سازی بسیار موثر است.

4 - 3 - 2 کود مرغ

دومین جزء ترکیب کمپوست قارچ خوراکی دکمه ای، کود مرغ است. معمولاً از کود مرغ گوشتی استفاده می شود، که ممکن است در بستر خاک اره (پوشال چوب)، پوسته بذور و نرمه کاه و یا مقوا و یا کارتن جمع شده باشد. سعی شود از کود مرغی که در بستر مقوا و کارتن جمع آوری شده است استفاده نکنید. مقوا و کارتن معمولاً از روزنامه های خوانده شده و تاریخ گذشته شده درست می شود. در چاپ روزنامه از فلز سرب استفاده می شود. سرب از طریق کارتنهای مورد استفاده در بستر قارچ وارد و جذب قارچ می شود. با مصرف قارچ در نتیجه سرب وارد بدن مصرف کننده (انسان) می شود. می توانید مضرات مصرف سرب را در اینترنت جستجو نمایید. امکان استفاده از کود مرغ تخمگذار هم وجود دارد. علی رغم اینکه ترکیب این کود شبیه ترکیب کود مرغ گوشتی است، اما در عمل کسی از این کود استفاده نمی کند. کود مرغی بایستی خشک باشد به طوریکه به راحتی پودر و آسیاب شود و تکه های آشغال نداشته باشد. این نوع کود به راحتی به کلش اضافه می شود، به صورت یکنواخت توزیع و با کلش مخلوط می شود و در نتیجه ترکیب مواد همگن شده و کمپوست از کیفیت بیشتری برخوردار خواهد شد. میزان بهینه نیتروژن در کود مرغ $3/5$ تا 5% است، حداقل میزان نیتروژن در کود مرغ مناسب برای کمپوست سازی $3/5\%$ می باشد.



شکل 4 - 2 کود مرغ خشک که برای کمپوست سازی مناسب است

کود مرغ، بایستی در مکانی مسقف با کف سیمانی یا آسفالت ذخیره شود، بطوریکه در معرض برف و باران قرار نگیرد. به خاطر از دست دادن نیتروژن کود مرغ ذخیره شده، خصوصاً وقتی که رطوبت کود مرغ زیاد است، شرایط مناسب برای تکثیر کپک های زرد و سبز فراهم می شود. توصیه می شود کود مرغ آسیاب گردد تا به صورت همگن در کاه و کلش توزیع شود. وجود تکه های کود مرغ در کمپوست عامل بوی آمونیاک در انتهای فاز II کمپوست سازی می باشد که باعث کاهش کیفیت کمپوست می گردد. برای آسیاب کردن

کود مرغ درصد رطوبت آن نبایستی زیاد باشد، اگر رطوبت کود مرغ به حدی باشد که نتوان آن را آسیاب کرد و خودش هم به اندازه کافی به صورت پودر نباشد، بهتر است آنرا در مخازن آب حل کرده، توده را خوب بهم زد و سپس این سوسپانسیون (دوغ آب) به کاه و کلش اضافه شود. اگر کود مرغ مرطوب و کلوخه ای را به کمپوست اضافه نمایید، پس از جذب آب این کلوخه ها به صورت توده ای لزوج باقی خواهند ماند و آمونیاک آن ها خارج نخواهد شد. آمونیاک موجود در این کلوخه ها در تونل پاستوریزاسیون مانع از شیرین شدن کمپوست می شود. آمونیاک ساطع شده از این کلوخه ها در فاز III کمپوست سازی باعث کشتن میسلیم قارچ می شود.

روزی یکی از کمپوست ساز ها با من تماس گرفتند که پنج روز بعد از پاستوریزاسیون و شروع شیرین سازی کمپوست می گذرد و لی هنوز pH کمپوست بالا است و آمونیاک آن خارج نشده است. (بین pH و آمونیاک موجود در کمپوست رابطه ای معنی دار وجود دارد) بعد از بررسی فرایندی که طی کرده بودند، متوجه شدم که کود مرغی مورد استفاده شان 40% رطوبت داشته است. از کارشناس کمپوست سازی سوال کردم شما چطوری توانستید کود مرغ با این رطوبت را آسیاب کنید! اصلا ممکن نیست بتوان این کود مرغ را آسیاب کرد و آن را به ذرات کوچک تبدیل نمود. قطعا آمونیاک باقیمانده در کمپوست داخل تونل پاستوریزاسیون از همان کلوخه های چسبنده و پخش نشده کود مرغ ناشی می شد. در این جور مواقع وقتی امکان آسیاب کردن کود مرغ وجود ندارد بایستی دوغاب درست کرد تا از شر کلوخه های چسبنده در کود مرغ رها شوید. محل ذخیره کود مرغ را دور از محل تهیه کمپوست و خصوصا سالن های کشت انتخاب کنید. جون باکتری ها و قارچهای زیادی در کود مرغ رشد و تکثیر می نمایند که می توانند باعث آلودگی شدید مزرعه قارچ شوند.

4-3-3 درصد کود مرغ در کمپوست

فضولات مرغ یک کود غیرشیمیایی است. این کود منبع بسیار خوبی برای تامین نیتروژن می باشد. در این کود مقدار ازت (N) 3,5 تا 5 %، فسفر (P) 2% و پتاس (K) 1% می باشد. pH کود مرغ 6,5 تا 8 است. رطوبت این کود بین 20 تا 40% است، که هرچه خشک تر باشد، بهتر است. کود مرغ علاوه بر این که منبع قابل اعتمادی برای تامین نیتروژن است، ارزان بوده و دارای مقدار زیادی از کربوهیدراتهای قابل تجزیه می باشد. وجود این کربوهیدراتهای سهل التجزیه، باعث فعالیت سریع باکتریها می شود و کمپوست سریعا شروع به گرم کردن می کند. البته بدون کود مرغ هم می توان کمپوست برای قارچ خوراکی دکمه ای درست کرد. در این صودت بایستی از منابع دیگر حاوی هیدراتهای کربن قابل تجزیه سریع مثل ملاس چغندر قند و منابع تامین ازت، مثل سیوس گندم و کنجاله پنبه دانه استفاده کرد. آنچه که در ترکیب کمپوست مورد نظر ما جایگزینی ندارد، کلش غلات و گچ می باشد.

توصیه بنده برای میزان افزودن کود مرغ به ترکیب کمپوست این است که مقدار آن حداکثر از نصف مقدار کلش مورد استفاده تجاوز نکند (البته بر حسب وزن خشک). اگر قرار است 100 کیلوگرم ماده اولیه را با هم مخلوط کنیم در واقع بایستی بر حسب وزن خشک، 31% آن کود مرغ باشد (یعنی 31 کیلو گرم کود مرغ بدون رطوبت)، 63 کیلو گرم کلش خشک و 4 تا 5 کیلوگرم گچ و 1 تا 2 کیلوگرم کود شیمیایی. مجددا تاکید می شود که این اعداد بر حسب وزن خشک است. قبل از استفاده از کود مرغ بایستی درصد رطوبت و درصد ازت آن را دقیقا اندازه گیری کنیم. مثلا اگر رطوبت کود مرغ 20% است، به این معنی است که درصد وزن خشک آن 80% است. باید یک تناسب ساده ببندیم و محاسبه کنیم که برای افزایش 31 کیلوگرم کود مرغ خشک، چقدر از این کود با رطوبت 20% بایستی اضافه کنیم.

راه حل:

عدد 31 را بر 80 تقسیم کنید و حاصل را در 100 ضرب کنید. در این مثال مقدار کود مورد نیاز 38,5 کیلوگرم به دست می آید. یعنی اگر 38,5 کیلوگرم کود مرغ با رطوبت 20% اضافه کنید، در واقع 31 کیلوگرم کود مرغ خشک اضافه کرده اید.

سوالی که ممکن است ایجاد شود این است که درصد ازت را چگونه تنظیم کنیم؟

فرض کنید که درصد ازت کود مرغ مورد نظر ما 4% می باشد. اگر عدد 31 را در 4% ضرب کنیم، عدد 1,24 کیلوگرم ازت به دست می آید. از طرف دیگر در 63 کیلوگرم کلش گندم با فرض 0,5% ازت، مقدار 0,315 کیلوگرم ازت خواهیم داشت. مجموع این دو مقدار 1,56 کیلوگرم ازت خواهد شد. حال با توجه به درصد ازتی که قرار است در ترکیب کمپوست در زمان مخلوط کردن اجزا، وجود داشته باشد، بقیه آن را بایستی از طریق افزودن کودهای شیمیایی و یا ترکیبات ازت دار دیگر مانند کنجاله پنبه دانه یا کنجاله سویا تامین کنیم. مثلا اگر

بخواهیم درصد ازت مخلوط کمپوست 1,9 باشد و برای تامین باقیمانده ازت، از سولفات آمونیوم استفاده کنیم، چون مقدار ازت این کود برابر با 21% است بایستی به مقدار 1,5 کیلوگرم از این کود در ترکیب کمپوست (به ازای صد کیلوگرم ماده کل) استفاده کنیم. اگر کود مرغ درصد ازت کمتری مثلاً 3,5% داشته باشد، در 31 کیلوگرم کود مرغ خشک 1,085 کیلوگرم ازت وجود خواهد داشت که با اضافه کردن 0,315 کیلوگرم ازت موجود در کاه، مجموع این دو 1,400 کیلوگرم می شود. با توجه به درصد ازت مورد نظر ما در ترکیب اولیه کمپوست (1,9%)، 0,5 کیلوگرم ازت، کم خواهیم داشت که بایستی آن را توسط تقریباً 2,5 کیلوگرم سولفات آمونیوم تامین کنیم. اگر درصد ازت کود مرغ از 3,5% هم کمتر است، از منابع دیگر ازت برای جبران آن استفاده کنید. استفاده بیش از حد از کود مرغ باعث سنگینی کمپوست و مشکل تهویه هوا و خروج آمونیاک و در نتیجه ایجاد مشکل در شیرین سازی کمپوست خواهد شد. استفاده بیش از حد از کود های شیمیایی هم مشکلات خاص خودش را خواهد داشت. ازت موجود در کود مرغ به مرور زمان در طی فرایند کمپوست سازی آزاد می شود و مورد استفاده میکروارگانیسم های کمپوست قرار می گیرد. در حالیکه ازت کود شیمیایی فوری آزاد می شود و آمونیاک تولید می کند و قسمت زیادی از آن تصعید می شود. تولید آمونیاک در ابتدای شروع فرایند کمپوست سازی لازم است چرا که باعث نرم شدن کلس و از بین بردن لایه مومی آن می شود و کار تجزیه کلس را راحت تر می کند. اما آمونیاک سمی است و باعث کشتن و از بین رفتن میکروارگانیسم های موجود در کمپوست می شود. در حالیکه حضور این میکروارگانیسم ها برای فرایند کمپوست سازی و تخمیر مواد لازم می باشد.

4 - 3 - 4 گچ

گچ نقش بسیار مهمی در فرآیند تهیه کمپوست ایفا می نماید، اگر چه به مقدار نسبتاً کمی، 60 کیلوگرم به ازای هر تن کمپوست، استفاده می شود. بهتر است از گچ ساختمانی معمولی قبل از رفتن به کوره و حرارت دیدن استفاده کرد. مقدار دقیق گچ به ازای هر تن کمپوست بستگی به کیفیت گچ مورد استفاده دارد (20 تا 90 کیلوگرم به ازای هر تن مواد خام). گچ نقش تصمیم گیرنده ای در ساختمان و سطح pH کمپوست بازی می نماید. سطح pH به نوبه خود، میزان نیتروژن در کمپوست را تعیین می نماید. pH نشانگر مهمی برای تغذیه میسلیم قارچ می باشد. نکته اینجاست که میسلیم قارچ از نیتروژن آلی استفاده می کند و می تواند از آمونیاک تغذیه نماید، ولی وقتی که سطح pH بالاست، آمونیاک به صورت گاز در می آید که برای میسلیم قارچ سمی است. یکی از مهمترین علائم کمپوست خوب در پایان دوره شیرین سازی یا همان فاز II فقدان کامل بوی آمونیاک در آن می باشد. گچ بایستی در جای محصور و اتاق خشک ذخیره شود، بطوریکه به صورت خشک و پودری باقی بماند. رطوبت گچ بایستی از 20% بیشتر شود و مثل هر مکمل دیگری، گچ بایستی به صورت همگن به توده کمپوست اضافه شود.



شکل 4 - 3 گچ مورد استفاده در کمپوست سازی

4 - 3 - 5 آب بازیافتی

آب بازیافتی نام خود را از روش استفاده اش در کمپوست سازی گرفته است. سیستم منبع آب در تهیه کمپوست به صورت یک حلقه بسته کار می کند. آب مخزن یا برای مرطوب کردن کاه و یا برای مرطوب کردن کمپوست در زمان مخلوط کردن استفاده می شود. اکثر آبی که به کاه اضافه می شود توسط توده کاه جذب می شود و بقیه آن به مخزن برگردانده می شود. اگر مخزن پایین تر از کف زمین قرار گیرد، آب اضافی خودش به آنجا جریان پیدا خواهد کرد. اگر بالاتر از سطح زمین قرار گرفته باشد بایستی به داخل آن پمپ شود.



شکل 4 - 4 حوضچه جمع آوری و هوادهی آب بازیافتی

آبی که به کمپوست فرستاده می‌شود به فرم آزاد است و آبی که از کمپوست خارج می‌شود، حاوی محتویات کمپوست است. آب بازیافتی حاوی نیتروژن و جمعیت‌هایی از میکروارگانیسم‌های ویژه می‌باشد که در فرآیند کمپوست‌سازی نقش بسیار مهمی ایفا می‌نمایند. به این دلیل استفاده از آب بازیافتی به طور قابل ملاحظه‌ای فرآیند کمپوست‌سازی را در مقایسه با استفاده از آب تازه بهبود می‌بخشد.

علاوه بر پارامترهای مذکور در مورد کیفیت آب، غلظت نیتروژن و مقدار میکروارگانیسم‌ها، pH یا معیار اسیدیته آن نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد. آب بازیافتی خوب بایستی واکنش قلیایی داشته باشد. نکته اینجاست که یک لایه مومی در سطح کلش تازه وجود دارد که آب را دفع. وقتی که واکنش آب قلیایی است، این لایه مومی حل می‌شود و کلش به خوبی رطوبت را جذب می‌کند. این کار در زمان تهیه کمپوست و اضافه کردن کود مرغ، خیس خوردن کلش را تسهیل می‌کند. در تهیه آب بازیافتی به نکات ذیل بایستی توجه شود.

1. لبه‌های مخازن آب بازیافتی بایستی حدود نیم متر بالاتر از سطح زمین قرار گیرد تا روان آب باران به داخل آنها سرانجام نگیرد (شکل 4 - 4).

2. حجم مخزن در زمان طراحی و ساخت بایستی محاسبه شود. برای خیس کردن توده کاه در زمان تهیه کمپوست مقدار کافی از آب بازیافتی بایستی وجود داشته باشد.

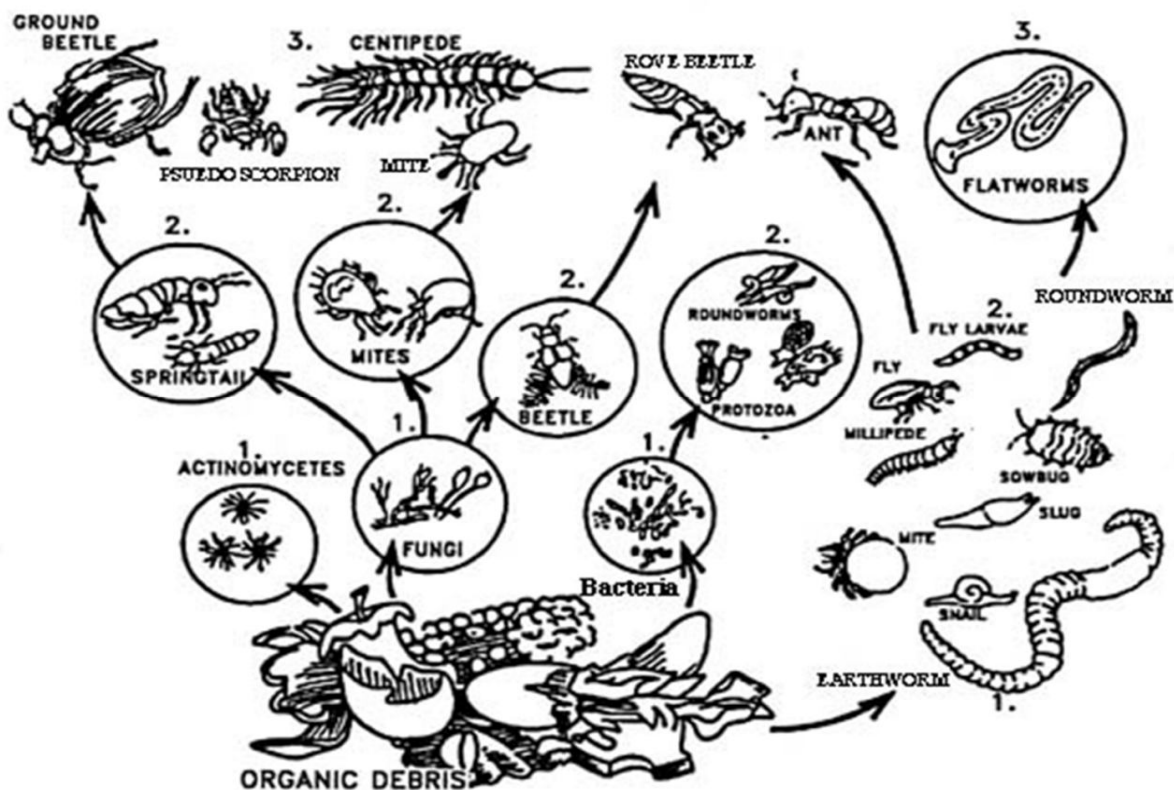
3. بایستی به مقدار کافی آب بازیافتی در مخزن باقی بماند تا از جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید حمایت نمایند. در عمل، محاسبات براساس نیاز هر تن کمپوست به 4 متر مکعب آب بازیافتی (آب قرمز یا گودی واتر) می‌باشد. معمولاً این مقدار برای خیس کردن کاه و مقدار مورد نیاز برای باقیماندن در مخزن کفایت می‌کند.

4. غلظت نیتروژن در آب بازیافتی بایستی حدود 0/3% باشد. نیتروژن موجود در آب بازیافتی نقش بسیار مهمی در فاز I کمپوست‌سازی، خصوصاً در همان اوایل این مرحله، ایفاء می‌کند. علاوه بر این، با حضور نیتروژن در آب بازیافتی، پیامد منفی استفاده از کود مرغ با غلظت پایین نیتروژن کم می‌شود. در تامین نیتروژن آب قرمز از نترات آمونیوم یا کاربامید آمونیوم استفاده می‌شود. بسته به نوع کود شیمیایی مورد استفاده بایستی محاسبه شود که چند کیلوگرم از این کود بایستی در یک مترمکعب آب اضافه شود تا غلظت مورد نیاز نیتروژن بدست آید. سپس برای حجم کامل مخزن مقدار کود مورد نیاز محاسبه می‌شود. این عمل بایستی در هر بار که آب تازه به مخزن اضافه می‌شود، انجام شود. بایستی قادر باشیم مقدار آب جذب شده توسط کلش را در زمان تهیه کمپوست اندازه گیری نماییم. این کار معمولاً با یک میله مدرج که در داخل مخزن به صورت عمودی قرار می‌گیرد انجام می‌شود. داده‌ها بایستی در دفتر مخصوص ثبت شود تا در حل مشکلاتی که در فاز I کمپوست‌سازی پیش می‌آید کمک نماید.

5. علاوه بر نیتروژن، آب بازیافتی خوب حاوی گروه‌های ویژه‌ای از میکروارگانیسم‌ها است. معمولاً بعد از چند بار کمپوست‌سازی مقدار کافی از آنها در آب بازیافتی وجود دارد. در اولین کمپوست‌سازی بایستی مقداری کود مرغ در آب بازیافتی حل شود تا به تکثیر این ارگانیسم‌ها کمک کند. به این دلیل استفاده از تمام آب بازیافتی بدون گذاشتن باقیمانده، مطلوب نیست.

6. آب بازیافتی، به منظور حفظ شرایط مطلوب و جلوگیری از فرآیندهای بی‌هوازی در آن، بایستی هوادهی شود. بوی نامطبوع و pH پایین از علائم تخمیر بی‌هوازی می‌باشد. انتخاب روش هوادهی، مدت و شدت آن در هر زمانی بسته به امکانات موجود در واحد تولیدی فرق می‌کند. آب بازیافتی خوب دارای رنگ قهوه‌ای و نسبتاً شفاف است و کمی بوی آمونیاک می‌دهد.

چه موجوداتی در ترکیب اولیه مواد خام کمپوست حضور دارند؟ کلش غلات از جمله گندم، منبع کربن و کود مرغ منبع مهم نیتروژن در کمپوست سازی است. آب و اکسیژن هم که برای انجام واکنش‌های شیمیایی لازم است. برای همین است که در شروع کمپوست سازی مواد را خیس می‌کنیم. علاوه بر اینها برای انجام تخمیر زیستی و یا میکروبی و فراهم نمودن غذا برای میسلیم قارچ خوراکی، یک سری موجودات بایستی در کمپوست حضور داشته باشند تا این وظیفه را انجام دهند. در وهله اول به اصطلاح از شیر مرغ تا جان آدمیزاد در توده کمپوست پیدا می‌شود، اما به تدریج تعداد زیادی از آنها در اثر افزایش دمای کمپوست و سپس انتخابی شدن آن، حذف می‌شوند. تصویر زیر گروهی از موجوداتی که در ابتدای کمپوست سازی در توده کمپوست وجود دارند را نشان می‌دهد.



تصویر 4 - 5 انواع موجوداتی که در شروع کمپوست سازی در توده کمپوست حضور دارند.

همه موجودات فوق در تخمیر میکروبی کمپوست دخالت ندارند، بلکه تعدادی از قارچها و باکتریها هستند که این وظیفه مهم را به انجام می‌رسانند. میکرو ارگانیسم‌ها ی دخیل در کمپوست سازی را می‌توان از نظر دمای رشد به چهار گروه تقسیم کرد.
(الف) : سرمادوستها (Psychrophiles) این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند در صفر درجه و یا حتی در دمای پایین‌تر تا منهای 10 درجه سانتیگراد رشد کنند.

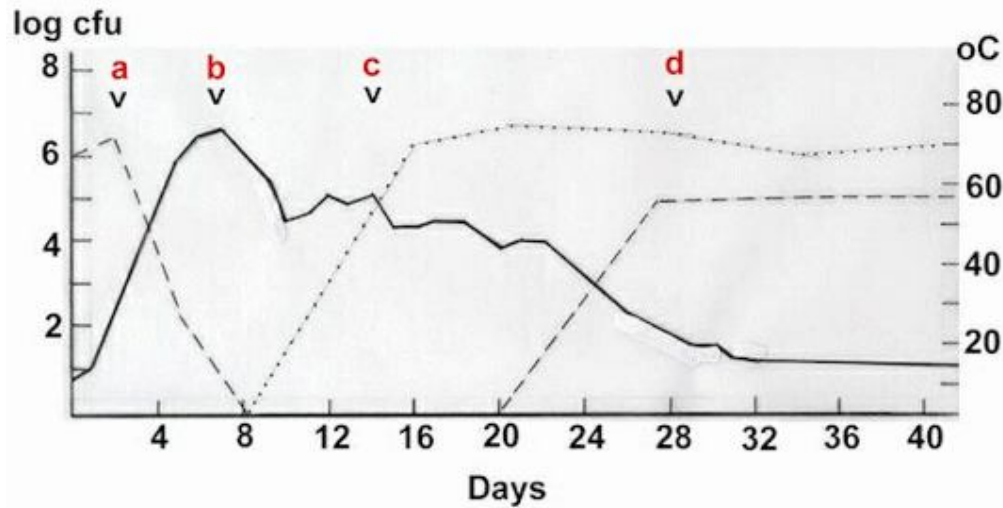
(ب) : مزوفیلها (Mesophiles) در درجات حرارت و یا دمای متوسط 20 تا 40 درجه سانتیگراد رشد می‌کنند.

(ج) : ترموفیلها یا گرمادوست‌ها (Thermophiles) دمای بهینه برای رشد اینها 50 درجه سانتیگراد و یا بیشتر می‌باشد. دمای حداقل برای رشد اینها 20 و دمای حداکثر 70 درجه سانتیگراد می‌باشد.

(د) : هایپرتروموفیلها (Hyperthermophiles) دمای بهینه برای رشد اینها بیشتر از 75°C است. مثلاً جنس *Pyrodictium* در دمای 82°C حداقل رشد، در دمای 105°C رشد بهینه خود را خواهد داشت و می تواند تا 110°C را نیز تحمل کند.

4-3-6 میکروبیولوژی کمپوست

کمپوست در واقع ترکیبی از مواد آلی قابل تجزیه است که به صورت توده ای با مواد غذایی کافی، رطوبت و تهویه مناسب برای مدتی روی هم انباشته می شود. فرایند طبیعی کمپوست سازی در گراف زیر خلاصه شده است.



تصویر ۴-۶ فرایند کمپوست سازی طبیعی

توضیح گراف

در ابتدا با استفاده از قندها و اسید آمینه های موجود و به راحتی قابل دسترس (از قبیل ملاس و اوره به عنوان تامین کننده قند و نیترژن)، مزوفیل ها شروع به رشد می کنند و در اثر متابولیسم مواد غذایی گرما تولید می نمایند. با افزایش دمای کمپوست در اثر فعالیت این موجودات، عرصه زندگی برای خودشان تنگ می شود و نمی توانند این دما را تحمل نمایند و در نتیجه جمعیتشان شروع به کاهش می نماید (گراف a).

سپس تعدادی از قارچهای گرما دوست (*Rhizomucor pusillus*) و تعدادی از باکتریهای گرما دوست (*Bacillus stearothermophilus*) وارد عمل می شوند و فرایند تجزیه را ادامه می دهند تا دما در طی یکی دو روز به 70°C تا 80°C درجه سانتیگراد برسد (گراف b).

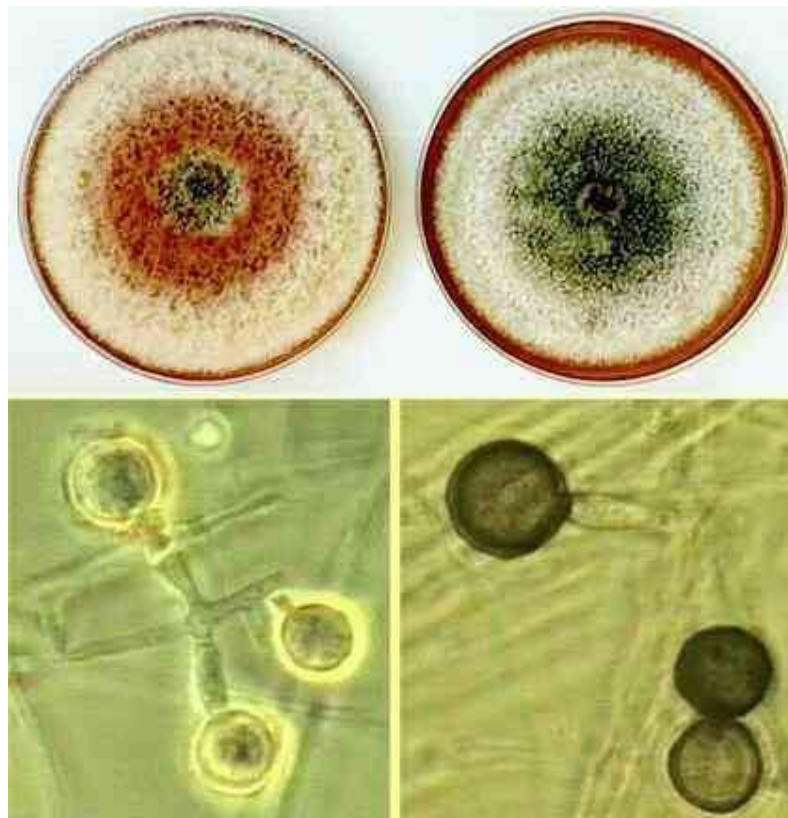
این افزایش دما (b) نقش بسزایی در فلور میکروبی کمپوست بازی می کند. چون موجودات گروه مزوفیل و ترموفیل های اولیه را (از قبیل *Rhizomucor pusillus*) تخریب و یا غیر فعال می کند و منجر به شزایطی می شود که برای فعالیت گونه های ترموفیل (موجودات اصلی فراوری کمپوست و انتخابی نمودن آن) مناسب است. در این جا تعداد بسیار کمی از ترموفیل ها می توانند این دمای بالا را تحمل نمایند و وقتی دما در 40°C تا 60°C درجه نگه داری شد، به رشد خود ادامه دهند. در این مرحله گروه دومی از قارچهای ترموفیل شروع به فعالیت می نمایند منحنی (c) این قارچها عبارتند از:

Chaetomium thermophile, *Humicola insolens*, *Humicola (Thermomyces) lanuginosus* (Figure G), *Thermoascus aurantiacus* (Figure H)

در نهایت دما کاهش پیدا می کند و مزوفیل ها مجدداً جای ترموفیل ها را می گیرند منحنی (d) معذالک بعضی از گونه های مقاوم به گرما مثل *Aspergillus fumigatus* می توانند به رشد خود ادامه دهند. این گونه می تواند از دمای 12°C تا 55°C درجه سانتیگراد به رشد خود ادامه دهد. گونه *Aspergillus fumigatus* یک ترموفیل محسوب نمی شود چون دمای بهینه برای رشد آن زیر 50°C درج سانتیگراد است، اما یکی از اعضای مهم جمعیت موجودات گرما دوست کمپوست می باشد.



Rhizomucor pusillus



Humicola (or Thermomyces) lanuginosus



Thermoascus aurantiacus



Aspergillus fumigatus

تصویر 4-7 قارچ هایی که در فرایند کمپوست سازی دخالت دارند
 اسپوره های قارچ *Aspergillus fumigatus* برای کارگران کمپوست سازی مشکل تنفسی ایجاد می کند. کارگران منطقه کمپوست سازی حتما باید از ماسک هایی استفاده نمایند که مانع از ورود اسپوره های این قارچ به ریه هایشان شود.
 اگرچه قارچ های گرما دوست نقش بسیار مهمی در تجزیه سلولز و دیگر پلیمرهای کمپوست بازی می نمایند، اما آزمایشات نشان داده است که باکتریها هم در این فرایند بدون سهم نیستند. باکتریهای جنس *Thermus* که در دامنه دمایی بین 40 تا 80 درجه سانتیگراد رشد می نمایند و دمای بهینه برای رشد آنها 65 تا 75 درجه است، به فراوانی یک میلیون تا یک میلیارد در هر گرم ماده خشک کمپوست دیده می شوند.

کمپوست ویژه قارچ دکمه ای

آنچه در متن های فوق گفته شد، میکروفلور کمپوست سازی طبیعی را به تصویر کشید. یعنی اگر توده ای از مواد حاوی ترکیبات سلولوزی و قندی فراهم کنید و رطوبت آنها را به حدی برسانید که برای فعالیت قارچها و باکتریها مناسب باشد، این فعالیت ها در این توده کمپوست رخ خواهد داد و مواد سلولوزی و دیگر پلیمرهای موجود در این توده در نهایت بدین طریق تجزیه می شوند. برای پرورش قارچ دکمه ای باید فرایند تجزیه مواد در کمپوست به طریقی مدیریت شود تا ضمن حصول حداکثر راندمان در تجزیه ترکیبات سلولوزی و پلیمرهای دیگر، حداقل هدر رفت مواد را داشته باشیم. از طرف دیگر کمپوستی که برای قارچ دکمه ای درست می کنیم باید انتخابی (Selective) باشد. در رابطه با انتخابی بودن کمپوست در ادامه () صحبت خواهد شد. متخصصان کمپوست سازی، برای سهولت درک و توضیح کامل این فرایند، آنرا به چند مرحله (فاز) تقسیم کرده اند.

4-4 فاز I کمپوست سازی

استفاده از بونکر و تونل در کمپوست سازی

در سال 1972 لایورد و همکارانش با توجه به اثر مثبت مخلوط کردن کامل مواد خام، کنترل دما و هوادهی خوب در کمپوست ها در رابطه با تهیه کمپوست در مدت زمان کوتاه کار کردند. بر اساس نتایج این گروه، انجام یک مرحله با دمای بالا تحت شرایط کاملاً کنترل شده با هوادهی خوب مفید بوده و احتمالاً برای تولید یک محیط غذایی انتخابی و پرمحصول برای کشت قارچ تکمه ای ضروری می باشد. تحقیقات جدیدتر نشان داد که انجام مرحله اول در تونل، که امکان بالا رفتن خود به خودی دما تا 80°C را میسر می سازد، تحت شرایط نسبتاً هوازی، عملکرد و همچنین کیفیت قارچ را بهبود می بخشد.

لایورد و همکارانش در سال 1987 برای شبیه سازی شرایط دمایی توده کمپوست در مرحله اول و تولید کمپوست با عملکرد بالا سیستمی با دمای کنترل شده اولیه بین 70°C تا 80°C را ابداع کردند. در این سیستم دمای بالای 70°C برای چندین ساعت، میکروفلور لازم برای تولید یک کمپوست انتخابی برای رشد قارچ را از بین می برد. به همین دلیل پس از پایان مرحله اول، کمپوست در دمای پایین تر (50°C تا 48°C) برای تلقیح میکروبی (جمعیت طبیعی باکتری ها، قارچ ها و آکتینومیسیت ها) نگهداری می شود.

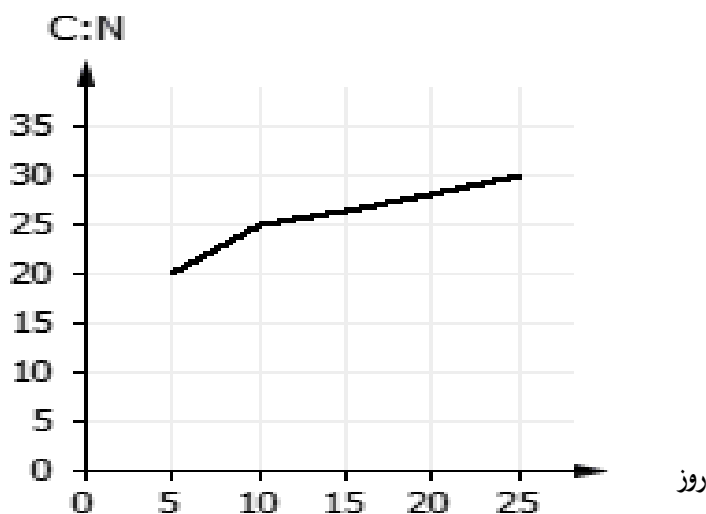
در سال 1993 گریتیس و آوراستیجنس فرایندی را که بصورت جزئی کنترل می شد پیشنهاد کردند. در این روش با جریان هوای کم دمای قسمتی از کمپوست به 70°C تا 80°C می رسد، با اینحال یک لایه سردتر (30°C تا 40°C) در زیر توده کمپوست نگهداری می شود. این سیستم نیز مانند سیستم لایورد و همکاران نیازمند مخلوط کردن اضافی و انجام پاستوریزاسیون قبل از شیرین سازی در دمای 40°C تا 50°C برای حذف NH_3 می باشد.

4-4-1 فرمول کمپوست

فرمول کمپوست به معنی ترکیب نسبت بهینه ای از مواد خام مورد استفاده برای تهیه کمپوست می باشد. برای بدست آوردن یک محصول زیاد و با کیفیت اولین مرحله تعیین فرمول مناسب ترکیب کمپوست می باشد. برای اینکه فرآیند تخمیر در جهت صحیحی پیش برود، محاسبه نسبت های اولیه اجزاء براساس کیفیت مواد خام موجود بسیار ضروری است. با تعیین نسبت C:N در توده کمپوست بعد از مخلوط کردن و در شروع فرآیند تخمیر می توان غلظت عناصر را تنظیم کرد. در شرایط سنتی تهیه کمپوست این نسبت 30:1 می باشد. یعنی برای هر قسمت از نیتروژن بایستی 30 قسمت کربن موجود باشد. سوالی که بلافاصله پیش می آید این است که چرا نباید این نسبت بیشتر و یا کمتر باشد؟ جواب در تجربه عملی تهیه فاز I نهفته است. فرض کنید مقدار اولیه نیتروژن بیش تر از حد باشد. فرآیند کمپوست سازی در این شرایط فعال تر شروع می شود، و مقدار زیادی آمونیاک تولید می شود که می تواند به صورت غیر منتظره ای باعث کاهش فرآیند تخمیر شود، چون میکروارگانیسم های موجود در کمپوست که برای تجزیه ترکیبات کمپوست ضروری هستند، در اثر غلظت زیاد آمونیاک در توده کمپوست می میرند. این اتفاق بویژه زمانی رخ می دهد که مقدار زیادی از کود نیتروژن معدنی (کود شیمیایی)

استفاده شود. از طرف دیگر اگر همه نیتروژن مورد نیاز به فرم کود مرغ اضافه شود، کمپوست سنگین تر می شود و میزان خاکستر اضافه می گردد. در نتیجه کمپوست سنگین چسبنده و لزج می شود که اثر نامطلوبی در فرایند تهویه آن خواهد داشت. فقدان اکسیژن ناگزیر منجر به فرآیندهای بی هوازی می شود، که در مراحل بعدی مورد علاقه میسلیوم قارچ نخواهد بود. افزودن گچ برای بهبود ساختمان کمپوست چسبنده و لزج مطلب بسیار مهمی است که در قسمت جداگانه ای (4-7) بحث شد.

شکل 4-8: رابطه نسبت کربن و نیتروژن در زمان

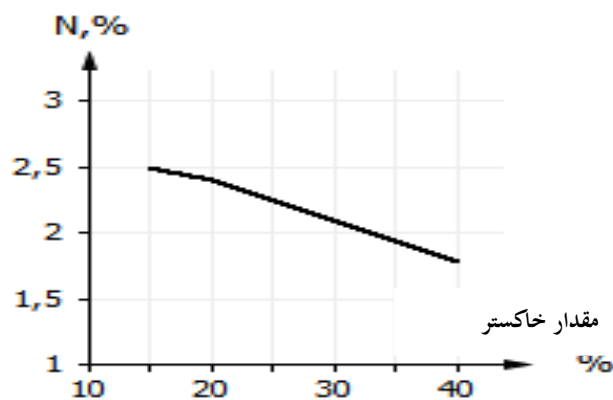


ترکیب اجزاء با مدت زمان تهیه کمپوست فاز I

از طرف دیگر در شرایط تهیه کمپوست به روش سنتی استفاده از نیتروژن اضافی بی‌مفهوم است. نکته اینجاست که در شرایط سنتی، فاز I 25-20 روز و گاهی اوقات بیشتر طول می‌کشد. در خلال این مدت، از دست رفتن ماده خشک بسیار زیاد خواهد بود و باقیمانده کربن در پایان این فرآیند نمی‌تواند نیتروژن اضافی را مصرف نماید. نیتروژن اضافی خود را در فاز II کمپوست به صورت مقدار زیادی از نیتروژن آمونیاکی، آمونیاک آزاد، نشان خواهد داد، چیزی که نباید اتفاق بیفتد. در صورت زیاد بودن نیتروژن و کمبود کربن در کمپوست، ترکیبات آمین‌دار در کمپوست باقی خواهند ماند و باعث ترغیب رشد قارچ‌های آمین‌دوست نظیر قارچهای جوهری می‌شوند. از طرف دیگر نیز کمبود نیتروژن در زمان ترکیب مواد خام کمپوست پیامدهای منفی خواهد داشت. در صورت کمبود نیتروژن، در تمام مراحل تهیه کمپوست فعالیت کمپوست پایین خواهد بود، رشد میسلیم و میوه دهی کاهش خواهد یافت. با این حال، مقداری از کمبود نیتروژن می‌تواند توسط اضافه نمودن انواع متعددی از مکمل‌ها (سبوس گندم، کنجاله سویا و یا پنبه دانه) جبران شود. در صورت کمبود نیتروژن بعد از تخمیر، ترکیبات کربن‌دار باقی خواهند ماند و غذایی مناسبی برای قارچ‌های رقیب خواهند شد و قارچ‌های رقیب باعث جذب کنه‌ها می‌شوند. در صورتیکه نسبت کربن به نیتروژن بیش از حد مورد نیاز باشد، پس از اتمام نیتروژن، قندهای ساده در کمپوست باقی خواهند ماند و منابع غذایی خوبی برای قارچ‌های دیگر از قبیل اسپریلوس خواهند بود.

استفاده از روشهای نوین در تهیه کمپوست فاز I، زمان لازم برای تهیه کمپوست را کاهش می‌دهد. کل مدت فاز I، وقتی که از کف قابل هوادهی (اسپیگوت) و بونکر استفاده شود، معمولاً 12 تا 14 روز می‌باشد و می‌تواند به کمتر از این نیز کاهش پیدا کند. در این حالت از دست رفتن ماده خشک خیلی کمتر است. بقایای ماده آلی بیشتر همراه با کربن در انتهای این مرحله به عنوان غذا برای میسلیم قارچ جهت تشکیل اندام میوه دهی استفاده می‌شود. اما برای استفاده از این نوع غذا به صورت مؤثر، بایستی مقدار مناسبی از نیتروژن در کمپوست وجود داشته باشد. در ترکیب این کمپوست سریع، استفاده از فرمول 30:1 کربن به نیتروژن می‌تواند اثر منفی بر عمل آوری و حاصلخیزی کمپوست داشته باشد. در این شرایط کاربرد نیتروژن بیشتر ایده مناسبی است. در اینجا بسیار مهم است که یادآور شویم اگر به دلایلی فرآیند تخمیر در کمپوست خوب پیش نرود، پیامدهای نیتروژن اضافی می‌تواند مصیبت بار باشد. در گراف 4 - 5 می‌توانید نسبت بهینه کربن و نیتروژن را در زمان تهیه ترکیب کمپوست و مدت فرآیند تهیه کمپوست ببینید. در گراف 4 - 6 می‌توانید وابستگی مقدار نیتروژن در فاز II را به میزان خاکستر در کمپوست مشاهده کنید.

پارامترهای مورد نیاز مواد خام برای فرمولاسیون کمپوست توسط بررسی‌های آزمایشگاهی تعیین می‌شود. بویژه بسیار مهم است که کیفیت کود مرغ - منبع اصلی نیتروژن در کمپوست - مشخص باشد. پارامترهای اصلی کیفیت کود مرغ که برای محاسبه لازم می‌باشند عبارتند از مقدار نیتروژن، رطوبت و مقدار خاکستر. هر زمانی که کود مرغ جدیدی به مزرعه قارچ وارد می‌شود، لازم است تعیین کیفیت شود.



شکل 4-9 رابطه بین مقدار خاکستر و درصد ازت

پارامترهای کیفی کلش گندم به اندازه کافی ثابت است و لزومی ندارد که در هر بار آنها را اندازه‌گیری کرد. تنها استثناء رطوبت کلش می‌باشد که برای فرمول ترکیب کمپوست بسیار مهم می‌باشد. کیفیت آب بازیافتی (Goody water) که برای مرطوب کردن کلش در تهیه کمپوست اضافه می‌شود T نقش بسیار مهمی در تهیه کمپوست بازی می‌کند. بنابراین توصیه می‌شود که مقدار نیتروژن در آن تعیین

شود و در زمان تهیه فرمول کمپوست مد نظر قرار گیرد. در ضمن استفاده از آب شرب شهری که دارای کلر می باشد برای تهیه کمپوست مناسب نیست. چون کلر موجود در آب باعث کشتن باکتری هایی می شود که برای فرآوری کمپوست لازم است. همچنین در مورد گچ بایستی به دو کیفیت اساسی آن توجه نماییم: رطوبت و pH. اگر هر مکملی را در فاز I تهیه کمپوست اضافه می کنیم، همان پارامترهای مذکور در مورد کود مرغ در مورد آنها هم بایستی اندازه گیری شود.

4-4-2 آماده سازی کلش

آماده سازی کلش از شل کردن بسته های کلش پرس شده و باز کردن و جمع آوری نخ هایی که برای پرس کردن کلش استفاده شده است، شروع می گردد. اگر نخ های بسته های کلش جمع آوری نشوند به دور قطعات ماشین آلات می پیچند و باعث صدمه به آنها می شوند. اگر کلش ها بسته بندی شده اند بایستی بسته بندی آنها باز شود. در صورت استفاده از کمپوست سازی کوتاه مدت در فاز I، کلش بایستی به قطعات کوچکتر (6-5 سانتی متر) خرد شوند.

4-4-3 خیس نمودن کلش

قبل از مخلوط نمودن اجزای کمپوست برای شروع تخمیر هوازی توسط باکتریها و قارچهای گرما دوست، به منظور تهیه بستری مناسب برای رشد قارچ دکمه ای، باید کلش را خوب خیس نمود. بعضی از منابع علمی اصطلاح *prewetting* یا "خیساندن مقدماتی" را به کار می برند که به نظر بنده این اصطلاح درست نیست، چون اصل خیس نمودن کلش در همین مرحله است. در این مرحله هرچه کلش آب جذب می کند به آن تقدیم کنید. در طی دو تا سه روز با آبیاری مداوم و یا منقطع و زیر و رو کردن کلش، آن را خوب خیس کنید. محل خیساندن کلش باید طوری باشد که زه آب را به سمت چاله ای (مخزن آب قرمز) جهت جمع آوری و انتقال مجدد به روی توده کلش هدایت نماید. این محل می تواند شبیه شیشه ساعت (ساعت های جیبی بابا بزرگ ها، نه ساعتهای کامپیوتری ما، ببخشید شما جوانها) باشد که زه آب به مرکز آن هدایت می شود. برای خیس کردن کلش به صورت همگن و یکنواخت، بایستی آنها را به صورت یکنواخت و با ارتفاع و ضخامت یکسان پخش نمود و روی آن آب پاشید و مجدداً آن را زیر و رو کرد. مقدار کلش در لایه پخش شده بستگی به امکانات تکنیکی انتقال آب بازیافتی دارد.

در موقع خیس کردن کلش مقداری آب از آن خارج می شود، این آب قرمز رنگ بایستی به سمت حوضچه جمع آوری آب هدایت و سپس بر روی کلش پاشیده شود. در طی سه روز اول، هر روز کلش را هم بزنید. در خیس کردن کلش در شروع کمپوست سازی بایستی هر چه کلش آب جذب می کند به آن آب داد، هرچه آب بیشتری جذب کند بهتر است. در این مرحله نگران غرقاب نمودن کمپوست و یا آب دادن بیش از حد نیاز نباشید، چون آب اضافی خارج می شود و خطر بی هوازی شدن وجود ندارد. در اوایل این مرحله خارج شدن آب از کمپوست به معنی اشباع شدن کلش از آب نیست. علاوه بر این افزودن کود مرغ خشک قسمتی از آب کلش را جذب می کند. برعکس، وضعیتی که غالباً اتفاق می افتد، فقدان آب کافی در کلش می باشد و مخلوط کلش و کود خیلی خشک می شود که اثر منفی بر فعالیت کمپوست در شروع کار دارد. مقدار بهینه رطوبت در این مرحله 75-70% است. آبیاری بعدی کمپوست فاز I بایستی با احتیاط انجام شود. غرقاب کردن کمپوست خصوصاً وقتی که درجه حرارت پایین است، کار ساده ای است، اما تصحیح وضعیت غیرممکن خواهد بود و ادامه کار روی این کمپوست سخت خواهد شد.

پس از سه روز، اگر فرایند خیساندن کلش را درست انجام داده باشید، رنگ کلش زرد تیره متمایل به قهوه ای روشن خواهد بود (تصویر 4-7). خوب حالا که تا اینجا خوب پیش رفته اید، کود مرغ آسیاب شده را به کلش اضافه کنید و خوب آن را با کلش مخلوط کنید. مقدار کود شیمیایی و ملاس را هم فراموش نکنید در همین مرحله اضافه کنید



تصویر 4 - 10 تصویر فوق کلشی که سه روز از خیساندن آن توسط آب قرمز (Goody water) گذشته است را نشان می دهد. این کلش در این مرحله آماده دریافت کود مرغ، ملاس و کود های شیمیایی می باشد.

ممکن است سوال شود در این مرحله درصد رطوبت کلش چقدر باید باشد؟ مگر طبق توصیه های قبلی هرچه کلش آب خواسته است به آن اضافه نکرده اید؟ به طوریکه از یر کلش آب خارج شود؟ اگر چنین کرده باشید که که آب از زیر آن راه افتاده بود. خوب پس تنظیم رطوبت در این مرحله مفهومی ندارد. با این وجود اگر رطوبت کلش خوب خیس شده را در این مرحله (پس از سه روز از شروع خیساندن) اندازه گیری نمایید، حدود 77% است. حالا موقع مخلوط کردن کود مرغ با کلش می باشد. کود مرغ را با کلش خوب مخلوط نمایید. هرگز اجازه ندهید قطعات درشتی از کود مرغ در کمپوست وارد شود. اگر این اتفاق بیفتد، در مرحله شیرین سازی و حذف آمونیاک در فاز II مشکل خواهید داشت. همین قطعات کود مرغ باقیمانده، محل تولید آمونیاک و رشد کپک های سبز خواهند شد. بعد از اختلاط کامل کود مرغ با کلش، ملاس و کودهای شیمیایی دیگر، کمپوست را به بونکر منتقل نمایید.

کیفیت کلش و کود مرغ در ایران از کیفیت کلش و کود مرغ در اروپا، بالا تر است. ماشین آلات مورد استفاده هم که مثل هم است. به برکت ارتباطات خوب با کشورهای پیشرو در زمینه تولید قارچ و دسترسی آسان به اطلاعات، آخرین دستورالعمل تهیه کمپوست را هم در اختیار داریم. بنابراین انتظار می رود که کیفیت کمپوست در ایران بهتر از کیفیت آن در اروپا باشد. با اطلاعاتی که به بنده می رسد، در بعضی از موارد، کیفیت کمپوستهای شرکتهای مجهز کشور ما عالی تر از کمپوستهای اروپا است. به طوریکه سالنهای با تجربه ما، در دو فلاش اول و دوم، در مجموع حدود 30% برداشت می کنند. اگر برای فلاش سوم هم صبر کنند، برداشت 35% را هم تجربه خواهند کرد.

آنچه که کمپوست سازان و به تبع آن سالناران را می آزارد، نوسانات کیفیت کمپوست در ایران است. می گویند کمپوست فلان برند، "آمد نیامد دارد". این نوسانات در شرکتهای پیشگام و با تجربه، کمتر می باشد. گزارشات رسیده حاکی از آن است که کیفیت کمپوست های ما در فصل تابستان کاهش چشمگیری پیدا می کند. البته بنده شرایط سخت سالنداری را در فصل تابستان به خوبی درک می کنم. بطوریکه در فصل تابستان، بخش تولید قارچ دانشکده را تعطیل می کنیم. بنابراین قصد ندارم کمبود بار در بازار را در این فصل

سال، که هر ساله تکرار می شود، تماماً متوجه کاهش کیفیت کمپوستها نمایم. بسیاری از سالنی هایی که مثل ما به دلیل نداشتن وسایل سرمایشی، فصل تابستان را تعطیل می کنند و باعث کمبود بار در بازار عرضه می شوند. علی رغم این، باز هم سالن داران با تجربه و مجهز ما از کیفیت کمپوست تابستان گله مند هستند. اگر با این توضیحات، قبول کنیم که کیفیت کمپوستهای ما در تابستان کاهش پیدا می کند، باید آسیب شناسی کنیم که چرا چنین اتفاقی می افتد؟ راستی چرا؟

4-5-5 افزودن کود مرغ به کلش

بعد از خیس کردن کلش و جذب حداکثری آب توسط آن، نوبت به اضافه نمودن کود مرغ و یا ترکیبات ازت دار دیگر (سبوس گندم) و مقداری کود شیمیایی، به کلش می باشد. گچ را در این مرحله اضافه نکنید. دست نگه دارید. چرا؟ خیلی از شرکتهای تولید کننده کمپوست، همراه با کود مرغ گچ را هم اضافه می کنند. گچ را با کود مرغ مخلوط کرده و به کلش خیس خورده اضافه می نمایند. بنده توصیه می کنم که شما این کار را نکنید. دست نگه دارید تا موقع افزودن گچ فرا برسد. اگر کود مرغی که استفاده می کنید رطوبت بالایی دارد و با مخلوط کردن گچ به آن می خواهید رطوبت آن را کم تا بتوانید آن را آسیاب کنید، این روش کار نیست. کود مرغی را که رطوبتش بالا است، قبل از استفاده دوغاب کنید تا کلوخه های آن همه خرد شوند. سپس این دوغاب را به کلش اضافه نمایید.

در افزودن کود مرغ به کلش ضرورت دارد که دو جنبه اساسی را مد نظر قرار دهید. اول اینکه کود مرغ را به مقداری بیفزایید که براساس فرمول ترکیب کمپوست محاسبه شده است. مقدار کود مرغ مورد استفاده به حجم کلش مورد استفاده، کیفیت کود مرغ و درصد رطوبت آن بستگی دارد. دوم اینکه کود مرغ را تا حد ممکن در توده کلش به صورت یکنواخت و همگن توزیع کنید. معمولاً کیفیت کار بستگی مستقیم به فاکتور انسانی یعنی کارگرانی دارد که مسئول افزودن کود مرغ می باشند. مخلوط کردن کود مرغ با کلش می تواند به طرق مختلفی انجام شود. هر چه مخلوط کردن همگن تر و یکنواخت تر باشد، بهتر است. انتخاب روش مورد استفاده بستگی به امکانات تکنولوژیکی و صرفه های اقتصادی دارد. آنچه باقی می ماند پر کردن بونکر با کلش و کود مرغ به صورت دقیق و همگن می باشد. در اینجا ممکن است سوالی پیش بیاید که چرا کود مرغ را به کاه خیس شده می افزاییم. چرا آنرا به کاه خشک، قبل از خیس کردن، اضافه نمی کنیم؟ دلیل آن این است که با تکنولوژی و امکانات موجود در مخلوط کردن اجزاء کمپوست، وقتی که کمپوست را آب می دهیم، امکان از دست رفتن مقدار قابل ملاحظه ای از ترکیبات کود مرغ وجود دارد. با آب دادن به کمپوست کود مرغ شسته می شود. به همین دلیل بعد از اضافه کردن کود مرغ توصیه می شود به کلش آب اضافه نشود. وقتی که کود مرغ را به کلش خیس شده می افزایید، ذرات آن به کلش می چسبند و در توده کلش حفظ می شود. اگر قبل از اضافه نمودن کود مرغ، کلش را خوب خیس کرده باشید، پس از اضافه کردن کود مرغ نیازی به افزودن آب به کلش نیست، مگر در موارد محدود آن هم چند روز بعد از شروع کمپوست سازی. در این صورت نیز بایستی دقت شود به اندازه لازم آب روی کمپوست بپاشید که بعد از اضافه کردن کود مرغ به کمپوست، آب از توده کمپوست خارج نشود.

فرایند کمپوست شدن، به دلیل رشد و تکثیر میکروارگانیسم ها، احتیاج به اکسیژن دارد. اینکه چه مقدار اکسیژن، چه موقع و چگونه بایستی به کمپوست برسد، یکی از مهمترین شرایط بدست آوردن کمپوست خوب می باشد. اکسیژن از طریق نفوذ هوا به داخل کمپوست نامین می شود. مقدار اکسیژن در هوای معمولی حدود 21% است. اگر مقدار هوادهی زیاد باشد، کمپوست گرم نشده و فرایند کمپوست شدن شروع نمی شود (به همین خاطر درجه حرارت سطح توده کمپوست با درجه حرارت هوای اطراف آن تفاوتی ندارد). وقتی درجه حرارت کمپوست به اندازه کافی بالا نرود، باکتریها و قارچهای مزوفیل در توده فعال خواهند بود که فعالیت آنها منجر به از دست رفتن مقدار زیادی از ماده آلی خواهد شد. برای جلوگیری از تخمیر بی هوازی و فعالیت بهینه آکتینومایستها و قارچهای گرما دوست در کمپوست، لازم است میزان اکسیژن در توده کمپوست در حد 18-15% حفظ شود (درصد اکسیژن در هوا 21% می باشد). با کم شدن درصد اکسیژن در توده کمپوست فرایندهای بی هوازی شروع می شوند که اثر منفی بر کیفیت کمپوست خواهد داشت (جدول 4-3).

وظیفه کارشناس تولید کمپوست این است که با توجه به کیفیت کلش، ساختمان کمپوست، رطوبت آن و درجه حرارت هوایی که کمپوست در آن ساخته می شود و البته میزان آمادگی کمپوست، میزان هوادهی کمپوست را تنظیم کند. بایستی سعی شود که بیشترین به طور منظم باید درجه حرارت قسمت های مختلف کمپوست اندازه گیری شود. قرائت درجه حرارت قسمت های مختلف کمپوست، اطلاعاتی از وضعیت توده کمپوست را منعکس می نماید.

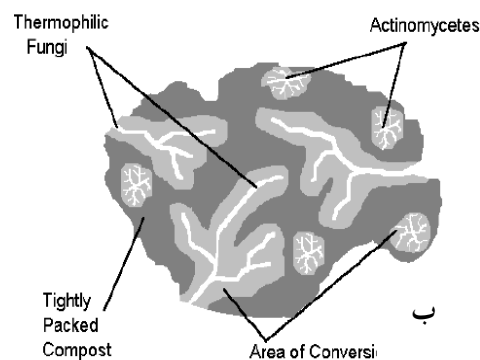
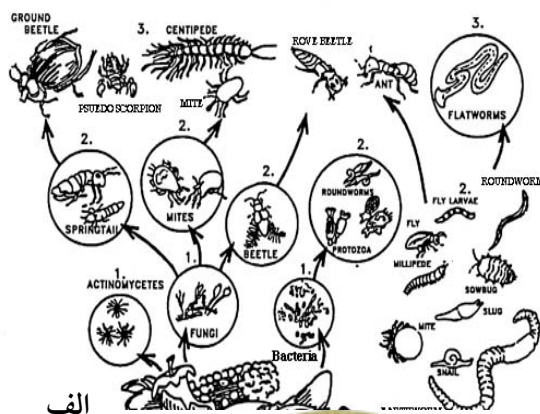
تراکم و فشردگی زیاد کمپوست در بونکر، که اثر خوبی بر گرم کردن کمپوست دارد، همیشه عاری از عیب نیست. یکی از این معایب توازن منفی ورود اکسیژن به توده کمپوست می‌باشد. یعنی اکسیژن مصرفی توسط واکنش‌های شیمیایی و میکروارگانیسم‌های درون توده کمپوست بیشتر از اکسیژن ورودی به درون توده کمپوست خواهد بود (شکل 4 - 8). این امر منجر به تشکیل شرایط بی‌هوازی در کمپوست می‌شود که بر کیفیت کمپوست اثر منفی دارد. اگر توده کمپوست از اکسیژن اشباع شود و سپس جلوی ورود اکسیژن به درون توده گرفته شود، پس از 20 دقیقه موجودی اکسیژن به اتمام می‌رسد و واکنش‌های بی‌هوازی شروع می‌شوند. دو راه حل برای تامین اکسیژن وجود دارد. یکی دمیدن مستقیم هوا به توده کمپوست (سیستم بونکر در فاز I کمپوست‌سازی که بعداً توضیح داده خواهد شد) و دیگری همزدن کمپوست، یعنی انتقال آن از یک بونکر به بونکر دیگر.

پس از اینکه ترکیبات کمپوست مخلوط شد و رطوبت کافی در آن مهیا گردید، باکتری‌ها و قارچ‌های مزوفیل شروع به رشد و تکثیر می‌نمایند. در اثر فعالیت اینها، کمپوست گرم شده و باکتری‌ها و قارچ‌های ترموفیل جایگزین مزوفیل‌ها می‌شوند. در اثر فعالیت ترموفیل‌ها باز هم درجه حرارت افزایش پیدا می‌کند و از حد قابل تحمل آنها (حدود 55°C) نیز می‌گذرد. بهترین درجه حرارت برای فعالیت ترموفیل‌ها $45 - 55^{\circ}\text{C}$ است. معذالک درجه حرارت کمپوست تا 75°C الی 83°C بالا می‌رود و باعث مرگ باکتری‌ها و قارچ‌های گرمادوست می‌شود. اگر درجه حرارت کمپوست در 75°C الی 80°C ثابت بماند، اکسیژن زیادی لازم نیست، چون واکنش‌های تخمیری به حداقل رسیده اند، در عوض واکنش‌های شیمیایی شروع شده اند که جزء ضروری یک فرایند کمپوست‌سازی با کیفیت می‌باشد. اگر در طی فاز I کمپوست‌سازی برای چند روزی بتوان توده کمپوست را در همین محدوده حرارتی نگه داشت، نه تنها ضرری ندارد، بلکه مفید نیز می‌باشد. اما با مرگ ترموفیل‌ها و کاهش جمعیت آنها گرمایی تولید نشده و کمپوست شروع به سرد شدن می‌نماید. اینجاست که همزدن کمپوست، از طریق جابجایی از یک بونکر به بونکر دیگر، ضرورت پیدا می‌کند. در غیر این صورت در اثر سرد شدن کمپوست و کمبود اکسیژن در آن تخمیر بی‌هوازی شروع می‌شود (شکل 4 - 8). در جابجا کردن کمپوست ضمن فراهم نمودن تلقیح مجدد باکتری‌ها و قارچ‌های مزوفیل، بایستی میزان رطوبت کمپوست نیز تنظیم گردد. اگر کمپوست را بدون ضرورت به دفعات زیادی جابجا شود، علاوه بر اینکه مانع از گرم شدن توده می‌شوید و شرایط را بیشتر برای مزوفیل‌ها فراهم می‌کنید، کلش در اثر این عمل خرد می‌شود و از نفوذ هوا به داخل آن کاسته شده و خطر تخمیر بی‌هوازی بیشتر می‌شود. در عمل، در روش‌های مدرن (استفاده از بونکر) کمپوست هر 2 تا 4 روز یکبار جابجا می‌شود. اگر به طریقی می‌توانستید بدون برگرداندن کمپوست، درجه حرارت مورد نیاز و رطوبت کمپوست را در همه جای آن به طور یکنواخت حفظ کنید، باکتری‌ها و قارچ‌های گرمادوست را که در اثر افزایش درجه حرارت از بین رفته اند، به آن برگردانید و اکسیژن کافی هم به آنها برسانید، شاید دلیلی برای جابجا کردن کمپوست وجود نداشت.

برای آنکه مواد و عناصر موجود در بستر کشت به یک محیط مناسب برای رشد و نمو قارچ دکمه‌ای تبدیل شود، ابتدا بایستی این مواد به خوبی تخمیر شوند. این عمل به وسیله میکروارگانیسم‌های هوازی داخل بستر کشت انجام می‌شود. در واقع هوادهی و به هم زدن متوالی کمپوست باعث می‌شود که شرایط برای فعالیت میکروارگانیسم‌های کمپوست ساز فراهم شود. بصورت کلی آنچه که اتفاق می‌افتد آن است که در فرایند تخمیر هوازی، ابتدا باکتری‌ها و قارچ‌های مزوفیل فعال می‌شوند که می‌توانند در دمای 25°C به خوبی رشد کنند. با افزایش درجه حرارت این موجودات از بین رفته و گروه دیگری که می‌توانند دماهای حدود 48°C را تحمل کنند، فعال می‌شوند. در این ارتباط می‌توان به گروهی اشاره کرد که در حرارت $45 - 55^{\circ}\text{C}$ به خوبی رشد می‌کنند. پس از مرگ باکتری‌ها و قارچ‌های گرمادوست، میسلیوم قارچ دکمه‌ای می‌تواند برای رشد و نمو خود از پروتئین‌ها و سایر ترکیبات مفید بدن آنها استفاده کند. علاوه بر این، در طی تهیه بستر کشت، قسمتی از نیتروژن با وزن مولکولی پایین به مولکول‌های لیگنین کمپوست پیوند می‌خورند و یک ترکیب پیچیده مفید به نام لیگنین - هوموس با ازت فراوان به وجود می‌آورند. این عمل زمانی اتفاق می‌افتد که دما و pH بالا بوده، لیگنین تا حدی شکسته شده و آمونیاک در اثر تجزیه پروتئین و اوره آزاد شده است.

در فاز I کمپوست‌سازی، هدف تخمیر شیمیایی ترکیبات تشکیل دهنده کمپوست، خصوصاً کلش می‌باشد. برای اینکه تخمیر شیمیایی صورت بگیرد، دمای توده باید افزایش پیدا کند و به بالای 72°C درجه برسد. هرچه تخمیر شیمیایی بهتر و بیشتر انجام شود، در فاز II کمپوست‌سازی در تونل پاستوریزاسیون، تخمیر میکروبی بهتر انجام خواهد شد. بنابراین هدف ما در فاز I کمپوست‌سازی این است که همه قسمت‌های توده برای مدتی، حدود 7 شبانه روز، دمای بالاتر از 72°C درجه را تجربه کنند. در عمل این دما در بعضی از نقاط

توده کمپوست به 83 هم می رسد. هوایی که به درون توده دمیده می شود، هوای محیط است و دمای آن تابع دمای محیط می باشد. اگر این هوا به صورت پیوسته و ممتد به درون توده دمیده شود، دمای قسمتهای زیرین توده، همیشه کمتر از دمای قسمتهای بالای توده خواهد بود و قسمتهای زیرین دمای بالا را تجربه نخواهند کرد. بنابراین برای فرصت دادن به قسمتهای زیرین توده جهت افزایش دما، هوادهی به صورت منقطع انجام می شود. مثلاً 5 دقیقه فن برای هوادهی روشن می شود و 15 دقیقه خاموش می ماند. در این 15 دقیقه فرصت برای گرم شدن قسمتهای زیرین فراهم می شود، اگرچه بازهم دمای قسمتهای زیرین توده، به دمای قسمتهای بالایی توده نمی رسد. برای همین هر دو یا سه روز یک بار کمپوست را از یک بونکر به بونکر دیگر منتقل می کنیم تا ضمن تامین رطوبت از دست رفته توده، در زمان پر کردن بونکر بعدی، قسمتهای بالایی در بونکر قبلی در زیر و قسمتهای پایینی در بالا قرار بگیرند تا کمپوستی یکنواخت حاصل شود. اگر می توانستیم در مواقع لزوم دمای هوای دمیده شده به بونکر را به بالاتر از 60 درجه افزایش دهیم، آنگاه بهتر بود که هوا را به صورت ممتد وارد توده نماییم. در این صورت طول دوره فاز I کمپوست سازی از 12 روز به 7 تا 8 روز کاهش پیدا می کرد. در روش هوادهی منقطع توصیه می شود که زمان خاموش بودن فن از 20 دقیقه تجاوز نکند. چون تجربه نشان داده است که در اوج فعالیت آکتینومایستها، همان ریزموجوداتی که در اثر فعالیت و تنفس باعث گرم شدن کمپوست می شوند، اگر هوادهی انجام نشود، اکسیژن درون توده را حداکثر طی 20 دقیقه تمام خواهد کرد.

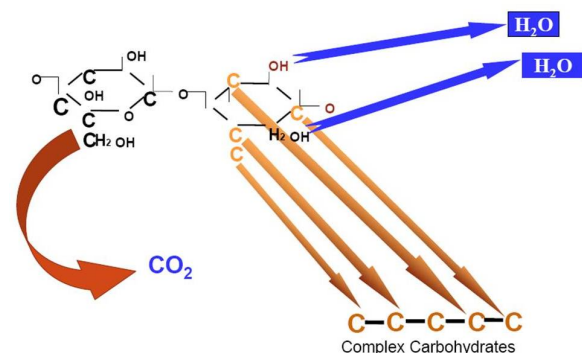


ج

شکل 4-11 آکتینومایستها و قارچهای گرما دوست درون کمپوست. در شکل الف در شروع کمپوست سازی یعنی مرحله مخلوط نمودن ترکیبات انواع و اقسام موجودات در کمپوست دیده می شود. با گرم شدن کمپوست و افزایش درجه حرارت آن فقط موجوداتی که می توانند درجات حرارت بالا را تحمل کنند و در درجات حرارت بالا بیشترین سرعت رشد را دارند، باقی می مانند شکل ب، ج و د. گروهی از آکتینومایستها و قارچهای گرما دوست که در درجه حرارت 49 تا 51 درجه بیشترین رشد را دارند. لذا در انتهای کمپوست فاز I آنها باقی می مانند (شکل د)

اکنون ثابت شده است که اگر کمپوستی درجه حرارت بالای 75°C را نبیند و فقط دمای 51°C - 48°C را تجربه کند، چنین کمپوستی بیش از 70% از پتانسیل عملکرد خود را به نمایش نخواهد گذاشت. در درجه حرارت بالای 75°C واکنشهای شیمیایی که رخ می دهند ترکیباتی به وجود می آورند که برای رشد میسلیم قارچ مفید می باشند. با تداوم افزایش درجه حرارت، به تدریج از تعداد باکتریهای گرما دوست نیز کم می شود.

Charcoal (Darkening of Straw)



شکل 4-12 فعالیت شیمیایی که باعث تیره شدن کمپوست می‌شود

بنابراین در طی فاز I کمپوست سازی، ابتدا کمپوست را در معرض درجه حرارت بالا قرار داده تا واکنش‌های شیمیایی انجام شود و پس از آن کمپوست را در معرض باکتری‌ها و قارچ‌های گرما دوست قرار می‌دهند (در محیط آزاد به مدت یک شبانه روز رها می‌کنند) و یا آنرا با این میکروارگانیسم‌ها تلقیح می‌نمایند (با استفاده از کمپوست مرحله پایانی فاز II و یا کشت خالص این میکروارگانیسم‌ها). در خلال فاز I، علاوه بر تجزیه مواد خام، ترکیبات مرتبط با آمونیوم (آمین‌ها، آمیدها، و آمونیاک) نیز بعنوان محصولات جانبی تولید می‌شود. ترکیبات آمونیومی تولید شده در فاز I، بعداً مورد استفاده باکتری‌های ترموفیلیک در فاز II قرار خواهند گرفت و تبدیل به پروتئین میکروبی خواهند شد.

جدول 4-6: محصولات نهایی حاصل از تخمیر بی‌هوازی گلوکز

Acetate	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CH_3COO + 3H^+$
Propionate, acetate, H_2	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2COO + CH_3COO + 2H^+ + CO_2 + H_2$
Butyric, H_2	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$
Ethanol	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$
Lactate	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH(OH)COO + 2H^+$
Methanol	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 4CH_3OH + 2CO_2$
Methane	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CH_4 + 3CO_2$
$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 6O_2 + 6CO_2 + 6H_2O$	
واکنش هوازی اصلی کلوکز	

در فاز I کمپوست‌سازی، چنانچه به جای تخمیر هوازی، تخمیر بی‌هوازی صورت بگیرد، ترکیبات ناخواسته‌ای در کمپوست تولید می‌شوند که به طور ناقص تجزیه شده‌اند (جدول 4-6). مثلاً ممکن است باکتری‌های تولید کننده گوگرد تجمع حاصل نمایند. وقتی که pH و درجه حرارت کمپوست کاهش پیدا کرد، از واکنش‌های شیمیایی مورد نیاز برای تولید مواد انتخابی جلوگیری می‌شود و شرایط بهتری برای تجمع ترکیبات نامطلوب فراهم می‌شود. قارچ Chaetomium از این ترکیبات نامطلوب استفاده می‌کند. در طی فرآیند کمپوست‌سازی، دو گروه از ترکیبات آلی با منشاء گیاهی در کمپوست تولید می‌شوند: ترکیبات مقاوم (از قبیل روغن‌ها، موم‌ها و لیگنین) و ترکیبات جدید سستز شده (از قبیل پلی‌ساکاریدهای پیچیده، پروتئین‌ها و لیپیدها). ترکیبات اخیر توسط میکروارگانیسم‌های ترموفیلیک سستز می‌شوند و جزء بافتهای سلولی آنها می‌شوند. این دو گروه از ترکیبات چارچوب اصلی برای تغذیه میسلیم قارچ دکمه‌ای را تشکیل می‌دهند و قدرت یک کمپوست به همین مساله بستگی دارد که چقدر می‌تواند موجب تغذیه میسلیم قارچ دکمه‌ای شود.

4-4-7 افزودن گچ

افزودن گچ به کمپوست قارچ سبب می شود تا حالت چسبندگی یا گریسی کمپوست به حداقل خود برسد و نفوذ هوا به داخل کمپوست راحت تر صورت بگیرد. گچ باعث افزایش لخته شدن مواد شیمیایی خاصی در کمپوست می شود که آنها را قادر خواهد ساخت تا به مواد آلی بچسبند. یکی از مزایای جانبی این پدیده این است که هوا می تواند با سرعت بیشتری در توده کمپوست نفوذ کند و همانطور که واضح است هوادهی مناسب یک فاکتور اساسی در فرایند کمپوست سازی می باشد.

گچ همچنین با جلوگیری اتلاف نیتروژن، کمک به سزایی در فرایند کمپوست سازی می کند. گچ با استفاده از نیتروژن موجود در کمپوست، سولفات امونیوم تولید می کند. از دیگر مزایای اضافه کردن گچ به کمپوست میتوان به هوادهی بهتر کمپوست و افزایش رشد میکروارگانیسم ها اشاره کرد. لازم به ذکر است که باقیماندن نیتروژن در کمپوست، سبب افزایش گرما و کاهش بوهای نامطبوع در طول فرایند تولید کمپوست می شود. گچ کلسیم و گوگرد را در اختیار میکروارگانیسم های کمپوست قرار می دهد، که سرانجام منجر به تولید کمپوست با کیفیت بهتر خواهد شد. بدون گچ یک سری تغییرات غیرقابل برگشت و نامطلوب در کمپوست اتفاق خواهد افتاد.

در اولین فاز تهیه کمپوست از گچ به منظور بهبود ساختمان کمپوست و تنظیم سطح pH آن استفاده می شود. برای نهایی کردن فرآیند تکنیکی تهیه اولین فاز کمپوست، کارشناس تهیه کمپوست بایستی مسائل زیر را در رابطه با استفاده از گچ حل نمایند.

اول: تعیین مقدار گچ به ازاء هر تن توده کمپوست

دوم: تعیین زمان افزودن گچ به کمپوست در اولین فاز

سوم: روش افزودن گچ به کمپوست

در منابع پرورش قارچ، معمولاً افزودن 60 کیلوگرم گچ به ازاء هر تن از توده کمپوست توصیه می شود. اما بسته به کیفیت مواد خام مورد استفاده و توانایی های تکنیکی تهیه کمپوست و برنامه کاری، مقدار 20 تا 90 کیلوگرم گچ به ازاء هر تن کمپوست استفاده می شود. در عمل بسته به میزان لزجی کمپوست و با مد نظر قرار دادن سطح pH در هر واحد پرورش و یا در هر دفعه مقدار افزایش گچ بایستی بهینه شود.



تصویر 4 - 13 افزودن گچ به کمپوست

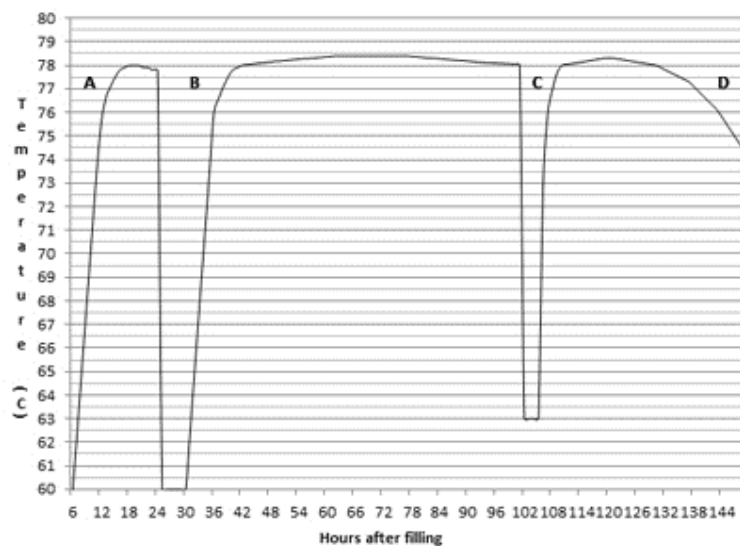
بهترین زمان افزودن گچ به کمپوست چه موقع است؟ برای جواب به این سؤال اجازه دهید کمی تامل کنیم. فرایندهای واکنش گچ با کمپوست به زمان احتیاج دارد و کمپوست بایستی در وضعیت ویژه ای از آمادگی باشد تا بتواند با گچ واکنش انجام دهد. برای مثال اگر گچ در پایان فرآیند کمپوست سازی فاز I اضافه شود، یعنی درست قبل از پاستوریزه کردن کمپوست، برای کمپوست مفید فایده نخواهد بود، چون وقت کافی برای انجام واکنش وجود نخواهد داشت. در مقابل اگر گچ در اول فاز I اضافه شود، زمانی که هنوز فرآیند کمپوست سازی شروع نشده است، چیزی وجود ندارد که گچ با آن واکنش انجام دهد. بنابراین افزودن گچ در اوایل و یا اواخر فاز I گزینه خوبی نیست. با توجه به آنچه گفته شد بهتر است گچ را زمانی بیفزاییم که کمپوست در حداکثر فعالیت (اواسط فاز I) می باشد. گچ را به هر طریقه دلخواهی می توان اضافه کرد. مهم این است که گچ به صورت یکنواخت به توده کمپوست اضافه شود، بطوریکه کلوخه های گچ در کمپوست ایجاد نشود.

4-4-8 آب دادن کمپوست

شاید یکی از مهمترین نکات در اولین مرحله تهیه کمپوست، کنترل مقدار آب در آن و یا میزان رطوبت آن است. آب بدهیم یا ندهیم. اگر آب بدهیم چقدر آب بدهیم و چه موقع آب بدهیم. این سؤالات باعث دردسر مداوم کارشناس تهیه کمپوست می‌باشد. اگر کمپوست غرقاب شود خصوصاً در فصل زمستان قضیه خیلی حادتر می‌شود، چون تصحیح کمپوست غرقاب شده بسیار مشکل است. از طرفی به ندرت می‌توان بدون آب دادن کمپوست را مدیریت کرد (منظور از آب دادن علاوه بر آب لازم برای خیس کردن اولیه کمپوست می‌باشد). بدون شک آب دادن به کمپوست در زمان مخلوط کردن کمپوست راحت تر می‌باشد. بنابر این در زمان همزدن و برگرداندن کمپوست و یا موقع انتقال کمپوست به بونکر توسط پرکننده بونکر، مقدار آب مورد نیاز کمپوست را باید تأمین کرد. علاوه بر این در انتخاب نمونه‌ای که مقدار رطوبت آن بررسی می‌شود، تا تصمیم بگیریم آب بدهیم یا نه بایستی توجه ویژه‌ای نمود. برای مثال، اگر نمونه کمپوستی که گرفته می‌شود در زمستان از سطح توده باشد، نتیجه همیشه میزان رطوبت بالایی نشان می‌دهد. نکته اینجاست که وقتی هوای گرم و مرطوب از لایه‌های عمیق کمپوست به سمت بالای کمپوست می‌آید، چون لایه بالای کمپوست سرد است، هوای گرم و مرطوب شدیداً سرد می‌شود. در نتیجه این سرد شدن قطرات آب تشکیل می‌شود که سطح بالایی کمپوست را خیلی خیس می‌نماید. در هوای گرم و خشک عکس این عمل مشاهده می‌شود، سطح بالایی کمپوست خیلی خشک می‌شود. بنابراین با توجه به مطالب مذکور بایستی در انتخاب نمونه به منظور بررسی میزان رطوبت کمپوست دقت کافی مبذول گردد. و ترجیحاً از قسمتهای میانی توده نمونه گرفته شود.

در عمل، همیشه امکان اندازه گیری رطوبت کمپوست در همه واحدهای تولیدی میسر نیست. غالباً کارشناس مربوطه با بررسی عینی و ظاهری بایستی تصمیم بگیرد که چه موقع به کمپوست آب بدهد. برای این تصمیم‌گیری با دقت بالا چند روش وجود دارد. یک کارشناس با تجربه با نگاه به توده کمپوست می‌تواند تصمیم بگیرد که کمپوست را آب بدهد یا نه. در فاز I اگر توده کمپوست در مشت فشرده شود، بایستی چند قطره آب از دست بچکد. در حالیکه از مرحله پاستوریزاسیون به بعد اگر توده کمپوست در مشت فشرده شود نبایستی آبی از دست بچکد، بلکه فقط کف دست مرطوب گردد و توده کمپوست پس از فشرده شدن از هم به راحتی باز گردد. اگر کارشناس کمپوست تصمیم می‌گیرد که کمپوست را آبیاری کند، چه روشی را بایستی انتخاب نماید؟. آب دادن به توده کمپوست به سادگی آب دادن به گلدان نیست. آب مورد نیاز بایستی در زمان همزدن کمپوست به روی قسمتهای خشک پاشیده شود. آب دادن به سطح کمپوست در فاز I کمپوست‌سازی در فصل تابستان توصیه می‌شود چون در این فصل سطح کمپوست خشک می‌شود. برای افزایش رطوبت همه کمپوست، بایستی در زمان برگرداندن کمپوست به آن آب داده شود، چون آبی که روی سطح کمپوست پاشیده می‌شود به اعماق توده نفوذ نمی‌کند. آخرین تنظیم و تصحیح میزان آب کمپوست بایستی درست قبل از ورود کمپوست به تونل پاستوریزاسیون انجام شود.

Phase I: fermentation



شکل 4 - 14 نمودار دمایی در فاز I کمپوست سازی. همانطور که ملاحظه می نمایید بعد از 6 ساعت از پرکردن بونکر 1 دمای کمپوست طی 15 ساعت به 78 درجه می رسد. در اثر افزایش دما به بالاتر از 72 درجه فعالیت میکروبی کمپوست به شدت کاهش پیدا می کند و تخمیر شیمیایی شروع می شود. با از بین رفتن فعالیت میکروبی در توده، دمای کمپوست شروع به کاهش می کند. بعد از 24 ساعت از شروع پرکردن بونکر 1 کمپوست آن بیرون آورده شده و پس از چند ساعت هوادهی، به بونکر دوم منتقل می شود. توده کمپوست حدود سه شبانه روز (72 ساعت) در بونکر 2 می ماند و سپس به بونکر سوم منتقل می شود. توده کمپوست در بونکر سوم حدود 32 تا 40 ساعت باقی می ماند و سپس تخلیه شده و به مدت 12 ساعت در معرض هوای آزاد قرار می گیرد. این کمپوست در این مرحله آماده انتقال به تونل پاستوریزاسیون می باشد.

بعد از پر کردن بونکر، در اثر فعالیت مزوفیل ها و سپس ترموفیل ها، توده شروع به گرم شدن می نماید و همانطور که گراف 4 - 14 نشان می دهد ظرف مدت 12 تا 14 ساعت دمای آن به 78°C درجه می رسد. گرم شدن توده به خاطر فعالیت های شیمیایی گرمازا و یا تنفس میکروارگانیسمهای موجود در توده کمپوست می باشد. برای این که واکنش ها هوای باشند و تنفس بی هوای اتفاق نیفتد، باید توسط دمنده پشت بونکر، هوا به مقدار کافی به درون پایپ ها (لوله ها) دمیده شود. در 5 تا 6 ساعت اولیه تا دما به 60 درجه سانتیگراد برسد، باید هوادهی به صورت ممتد و به اندازه کافی به توده دمیده شود (باید میزان هوادهی طوری باشد که ضمن فراهم نمودن اکسیژن کافی برای فعالیت میکروارگانیسم های درون توده کمپوست، دمای توده نیز ساعتی 2 تا 3 درجه افزایش پیدا کند. بعد از رسیدن دما به بیشتر از 60°C ، نیاز به اکسیژن کم می شود و می توان سانتریفیوژ را به صورت منقطع روشن و خاموش نمود و با افزایش دمای توده، فواصل بین هوادهی را بیشتر کرد. در بونکر فقط می توانیم مقدار هوادهی (اکسیژن) و به صورت غیر مستقیم دما را کنترل نماییم (افزایش هوادهی باعث کاهش دما می شود چون با افزایش هوادهی سرعت گرم نمودن توده کمپوست کمتر می شود و برعکس). هوادهی را طوری تنظیم نماییم که دمای توده در هر ساعت 2 تا 3°C افزایش یابد. بعد از 24 ساعت توده کمپوست را به بونکر دیگر منتقل می کنیم. در حین انتقال اگر آب و یا گچ نیاز داشته باشد، باید به آن اضافه شود.

دلیل اینکه بونکر اول را زود تخلیه می کنیم این است که آب آزاد درون توده کمپوست در اثر نیروی ثقل، به پایین توده منتقل می شود و باعث افزایش رطوبت قسمت تحتانی توده کمپوست می گردد. علی رغم اینکه هوا از درون اسپیگوت ها به توده کمپوست دمیده می شود، به علت رطوبت زیاد، اکسیژن کافی به قسمتهای تحتانی توده نرسیده و در نتیجه تخمیر بی هوای صورت می گیرد. به این دلیل بونکر اول را زود تخلیه می کنیم.

برای اینکه تخمیر خوبی در بونکر صورت بپذیرد، میزان رطوبت و مقدار آمونیاک کمپوست در این مرحله بسیار مهم است. مقدرا آمونیاکی که می تواند توسط کمپوست جذب شود، بستگی به میزان رطوبت کمپوست دارد. برای اینکه تخمیر مواد به خوبی صورت بگیرد، میزان رطوبت کمپوست باید در حد 75% باشد. برای رسیدن به این میزان رطوبت، برای خیساندن مواد به ازای هرتن کلش خشک، حدود 4 تا 5 تن (متر مکعب) آب لازم است. یعنی به ازای مصرف یک تن مواد اولیه (ترکیب کلش و مقدار مناسب کود مرغ و گچ و مکمل های دیگر)، مقدار حدود 5,0 تا 5,5 تن کمپوست خیس در شروع فاز I خواهیم داشت. چون در این مرحله میزان آب کمپوست برابر با حداکثر مقدار آبی است که کلش و دیگر ترکیبات کمپوست می توانند جذب نمایند، خارج شدن قسمتی از آب کمپوست از زیر توده در روز اول پر کردن بونکر، امری معمول است. به خاطر وزن لایه های بالایی و مقدار رطوبت بالای کمپوست در لایه زیرین، در این مرحله، برای اینکه هوادهی در لایه های زیرین به خوبی انجام شود، به فشار هوای بالایی 4000 تا 5000 پاسکال نیاز می باشد. چون لایه های زیرین متراکم تر هستند، احتمال تخمیر بی هوای در این لایه بیشتر از لایه های بالایی است. برای همین است که بعد از 24 ساعت بونکر اولی را تخلیه و پس از همزدن کمپوست و مخلوط نمودن لایه پایینی با لایه های بالایی و همگن نمودن کمپوست، دوباره آن را به بونکر (بونکر دوم) منتقل می کنیم. هدف این است که در انتهای فاز I رطوبت کمپوست به حد 74 تا 75%، میزان نیتروژن آن به حد 2%، میزان NH_4 در حد 0,65% (شصت و پنج صدم درصد) و pH آن در حد 8,5 باشد.

پس از 24 ساعت بونکر اول را تخلیه کنید. بعد از هوادهی، اختلاط کافی اجزا و افزودن آب و گچ مورد نیاز به توده کمپوست، آنرا وارد بونکر دوم می نمایند. بعضی از این موارد همچون هوادهی و تنظیم رطوبت، در حین پر کردن بونکر دوم انجام می شود. بونکر 2 را به صورت یکنواخت با کمپوست پر کنید.

در این جابجایی به دنبال کاهش رطوبت کمپوست نباشید. بلکه به فکر افزایش رطوبت آن باشید. به دلیل افزایش دما در طی نگه داری کمپوست در بونکر و تبخیر آب و همچنین جذب آب توسط کلش، در زمان انتقال آن به بونکر دوم، نیاز است که به آن آب اضافه شود. دقت کنید از این مرحله به بعد خیلی با احتیاط و به اندازه لازم به کمپوست آب بدهید. میزان رطوبت کمپوست در راندمان تخمیر نقش بسیار مهمی دارد. اگر رطوبت کمپوست در بونکر کم باشد، کمپوست به اندازه کافی گرم نخواهد کرد. اگر میزان رطوبت کمپوست زیاد باشد، اکسیژن کافی برای تنفس میکروارگانیسمهای تخمیر کننده کمپوست وجود نخواهد داشت، چون آب جای هوا را در خلل و فرج کمپوست می گیرد. وقتی کمپوست را به بونکر 2 منتقل کردید، به جز تنظیم میزان هوادهی به کمپوست، کاری از دستتان بر نمی آید. اگر بطور متوسط در هر ساعت دمای کمپوست در بونکر 2 تا 3°C درجه افزایش یابد، نشان از عادی بودن شرایط تخمیر می باشد.

هرچه جلوتر می رویم، حجم کمپوست کمتر می شود، چون هم کلش نرم تر و قابل انعطاف تر می شود و هم مقداری از کمپوست به گرما و گاز کربنیک تبدیل شده و به هوا متصاعد می شود. طی 10 تا 12 ساعت دمای کمپوست در بونکر دوم مجدداً به حدود 78°C تا 80°C می رسد. وقتی دمای کمپوست در طی این فاصله به 80°C می رسد، یعنی فرایند کمپوست سازی به خوبی پیش رفته است. نشانه این است که اکسیژن و رطوبت در توده کمپوست درون بونکر به اندازه کافی بوده است که فعالیت میکروارگانیسمها را سبب شده است. کمپوست را سه تا چهار روز در این بونکر نگه دارید و سپس آن را تخلیه نموده و پس از تنظیم رطوبت و در صورت لزوم افزودن گچ به کمپوست برای رفع لزجی آن، آنرا به بونکر 3 منتقل کنید.

در بونکر 3 مجدداً در اثر فعالیت میکروارگانیسم ها، دمای کمپوست افزایش می یابد. مواظب تغییرات دما در بونکر 3 باشید. ضمن هوادهی به میزان توصیه شده، به محض اینکه دمای کمپوست در بونکر 3 شروع به کاهش کرد، یعنی از $^{\circ}\text{C}$ درجه شروع به کاهش کرد و سیر نزولی پیش گرفت، آنرا تخلیه نموده و در فضای مناسبی به مدت 24 تا 36 ساعت دپو کنید. وقتی دمای کمپوست در بونکر، درحالیکه رطوبت و هوای کافی در آن وجود دارد، شروع به کاهش می کند، به این مفهوم است که منابع ازت و یا کربن در کمپوست رو به اتمام است و یا میکروارگانیسم های درون توده از بین رفته اند. اگر بونکر 3 را دیرتر از موعد تخلیه کنید، دمای آن در تونل پاستوریزاسیون به اندازه لازم (60°C) افزایش پیدا نخواهد کرد، مگر اینکه تمهیداتی دیگر اندیشیده شود. ممکن است سوال شود که چرا کمپوست بونکر 3 را مستقیماً به تونل پاستوریزاسیون منتقل نمی کنیم و باید آنرا به مدت 24 ساعت در محوطه بیرون دپو کنیم؟ قبل از اینکه به این سوال پاسخ دهم اجازه دهید ببینیم چه مشکلاتی ممکن است در طی فاز I کمپوست سازی، که مهمترین فاز است، رخ دهد و راه علاج آنها کدام است.

خوب ممکن است سوال شود چرا در بونکر کمپوست سازی فاز I، هوادهی به صورت منقطع اعمال می شود؟ ای کاش می شد و یا بشود که در فاز I کمپوست سازی، هوا به صورت پیوسته در بونکرها وارد کمپوست می شد. در این صورت طول دوره فاز I کوتاه تر می شد. خوب چرا نمی شود؟

در فاز I کمپوست سازی، هدف تخمیر شیمیایی ترکیبات تشکیل دهنده کمپوست، خصوصاً کلش می باشد. برای اینکه تخمیر شیمیایی صورت بگیرد، دمای توده باید افزایش پیدا کند و به بالای 72°C برسد. هرچه تخمیر شیمیایی بهتر و بیشتر انجام شود، در فاز II کمپوست سازی در تونل پاستوریزاسیون، تخمیر میکروبی بهتر انجام خواهد شد. بنابراین هدف ما در فاز I کمپوست سازی این است که همه قسمتهای توده برای مدتی حدود 7 شبانه روز دمای بالاتر از 72°C را تجربه کنند. در عمل این دما در بعضی از نقاط توده کمپوست به 83°C هم می رسد. هوایی که به درون توده دمیده می شود، هوای محیط است و دمای آن تابع دمای محیط می باشد. اگر این هوا به صورت پیوسته و ممتد به درون توده دمیده شود، دمای قسمتهای زیرین توده، همیشه کمتر از دمای قسمتهای بالای توده خواهد بود و قسمتهای زیرین دمای بالا را تجربه نخواهند کرد. بنابراین برای فرصت دادن به قسمتهای زیرین توده جهت افزایش دما، هوادهی به صورت منقطع انجام می شود. مثلاً 5 دقیقه فن برای هوادهی روشن می شود و 15 دقیقه خاموش می ماند. در این 15 دقیقه فرصت برای گرم شدن قسمتهای زیرین فراهم می شود، اگرچه بازهم دمای قسمتهای زیرین توده، به دمای قسمتهای بالایی توده نمی رسد.

برای همین هر دو یا سه روز یک بار کمپوست را از یک بونکر به بونکر دیگر منتقل می کنیم تا ضمن تامین رطوبت از دست رفته توده، در زمان پر کردن بونکر بعدی، قسمتهای بالایی در بونکر قبلی در زیر و قسمتهای پایینی در بالا قرار بگیرند تا کمپوستی

یکنواخت حاصل شود. اگر می توانستیم دمای هوای دمیده شده به بونکر را به بالاتر از 60°C افزایش دهیم، آنگاه بهتر بود که هوا را به صورت ممتد وارد توده نماییم. در این صورت طول دوره فاز I کمپوست سازی از 12 روز به 7 تا 8 روز کاهش پیدا می کرد. در روش هوادهی منقطع توصیه می شود که زمان خاموش بودن فن از 20 دقیقه تجاوز نکند. چون تجربه نشان داده است که در اوج فعالیت آکتینومایستها، همان ریزموجوداتی که در اثر فعالیت و تنفس باعث گرم شدن کمپوست می شوند، اگر هوادهی انجام نشود، هوای درون توده حداکثر 20 دقیقه کفاف تنفس آنها را خواهد کرد.

تا زمان انتقال کمپوست به تونل پاستوریزه هر تغییر و یا تعدیلی که از نظر رطوبت، pH، میزان امونیاک و درصد ازت لازم است، انجام دهید و مقدار آنها را با جدول 4 - 7 مقایسه کنید. بعد از ورود کمپوست به داخل تونل پاستوریزاسیون، اعمال بعضی از تغییرات مثل افزایش رطوبت و pH و تغییر نسبت C:N غیر ممکن است. معذالک کاهش رطوبت و pH هنوز میسر می باشد. بنابراین قبل از بردن کمپوست به تونل پاستوریزاسیون، آزمایشات لازم را انجام دهید و وقتی از مقادیر بهینه پارامترهای مهم طبق جدول 4 - 7 مطمئن شدید، کمپوست را وارد تونل نمایید و ضمن توکل به خدا، چهار چشمی مواظبش باشید.

فاز I کمپوست سازی چند روز طول می کشد؟ سه روز خیساندن و همزدن + یک روز در بونکر 1 + سه تا چهار روز در بونکر 2 + دو تا سه روز در بونکر 3. یازده روز شد؟ بله بسته به نوع و کیفیت کلش، مقدار ازت و میزان هوادهی، فاز I کمپوست سازی در بونکر بین 10 تا 14 روز ممکن است طول بکشد.

آیا می توان با بونکر نیمه پر کمپوست خوبی فراوری کرد؟ در کف بونکر سیستم اسپیگوت تعبیه شده است، بطوریکه هوا با فشار زیاد از این لوله ها خارج شده و کمپوست را تهویه می نمایند. در بونکر اول و دوم ارتفاع کمپوست می تواند تا چهار متر هم برسد. در حالیکه دامنه ارتفاع کمپوست در بونکر نسبت به ارتفاع آن در تونل پاستوریزاسیون، از حساسیت کمتری برخوردار است، اما محاسبات و استنباط من این است که بونکر نیز باید به صورت همگن پر شود. یعنی استفاده از آن به صورت نیمه پر، (قسمتی از آن کاملاً خالی باشد) به صلاح نیست. به شکل زیر که بونکر نیمه پر را نشان می دهد توجه کنید



شکل 4 - 15 تصویری از بونکر نیمه پر در حال خروج هوا از اسپیگوت ها

درست است که فشار هوا در کلکتور زیاد است، اما این بدان مفهوم نیست که مقدار خروجی هوا از منافذی که 3 تا 4 متر کمپوست روی آنها قرار گرفته است، با مقدار خروجی هوا از منافذی که هیچ کمپوستی روی آنها نیست، برابر می باشد. به نظر من در روزهای اول کمپوست سازی، ممکن است این کاهش فشار قابل ملاحظه نباشد، ولی با پیشرفت کار و نرم شدن کمپوست، سهم هوای خروجی از منافذی که یالای آنها به ارتفاع سه متر کمپوست قرار گرفته است، کمتر خواهد شد. در قسمتی که کمپوست قرار ندارد، تعدادی از منافذ آزادند و هوا راحت تر از آنها خارج می شود.

بنابراین توصیه می‌کنم کمپوست را در بونکر مثل پرکردن تونل، یکنواخت پر کنید و هیچ جای انرا خالی نگذارید. بونکر تغییرات ارتفاع کمپوست را تا حدی که گرمای تولیدی اش خیلی کم نشود و بتواند به 80 درجه سانتیگراد برسد، می‌تواند تحمل کند. البته با کاهش ارتفاع کمپوست در بونکر، باید سیکل روشن و خاموش بودن فن سانتریفیژ تغییر کند بطوریکه زمان روشن بودن آن کمتر شود تا ضمن رساندن اکسیژن کافی به کمپوست، مانع از سرد شدن بیمورد آن شویم.

جدول 4-7 مقادیر پارامترهای کلیدی در انتهای فاز I کمپوست سازی

پارامتر مورد نظر	دامنه قابل قبول	مقدار بهینه
آمونیاک	0.1 – 0.35ppm	0.24 ppm
pH	7.8 – 8.5	8.2
درصد N	1.4 – 2.3	2.0
درصد وزن خشک	25.8 – 31.0	28.0
درصد کربن	35.5 – 40.0	38.5
C/N	15 - 20	17 - 18
درصد خاکستر	14.7 – 19.0	18.0

خصوصیات کمپوست خوب در پایان فاز I.

- 1- دارای رنگ قهوه‌ای تیره است.
- 2- کلش نرم و انعطاف پذیر است ولی در برابر شکستن مقاومت می‌کند.
- 3- رطوبت در حد 75 – 70 % است.
- 4- اگر در مشت فشرده شود، قطرات آب در بین انگشتان ظاهر می‌شود و یکی دو قطره از بین انگشتان می‌چکد.
- 5- بوی آمونیاک به خوبی استشمام می‌شود.
- 6- pH حدود 8/2 تا 8/4 می‌باشد
- 7- سطح کمپوست تا عمق 10 تا 20 سانتی متری به صورت جزئی توسط آکینومایستها سفید رنگ اشغال شده است
- 8- مقدار نیتروژن آن بین 1/8 تا 2 % است و
- 9- غلظت آمونیوم حدود 800ppm می‌باشد

به علت اینکه کار روی روش‌های جایگزین کمپوست‌سازی سنتی برای اولین بار با استفاده از سیستم کاملاً بسته انجام شد، این روش کمپوست‌سازی **تونلی** نام گرفته است. این روش نام‌های دیگری مانند کمپوست سازی سریع با هوادهی و کمپوست سازی در محیط کنترل شده نیز نامیده می‌شود.

از تسهیلات کمپوست‌سازی تونلی برای تولید فازهای مختلف کمپوست قارچ (فاز I، II و III) استفاده می‌شود. سیستم کمپوست‌سازی تونلی بر اساس کمپوست کردن مواد آلی در یک محفظه بسته (تونل) می‌باشد. بعد از اینکه تونل با مواد اولیه کمپوست پر شد، درب آن بسته شده و برنامه کنترل محیط آن آغاز می‌شود. تونل‌های کمپوست‌سازی از نظر دما، اکسیژن و میزان رطوبت برای بهینه کردن فرایند کمپوست‌سازی، مهیا کردن شرایط برای کاهش پاتوژن‌ها و دستیابی به اهداف کلی فرایند کنترل می‌شوند.

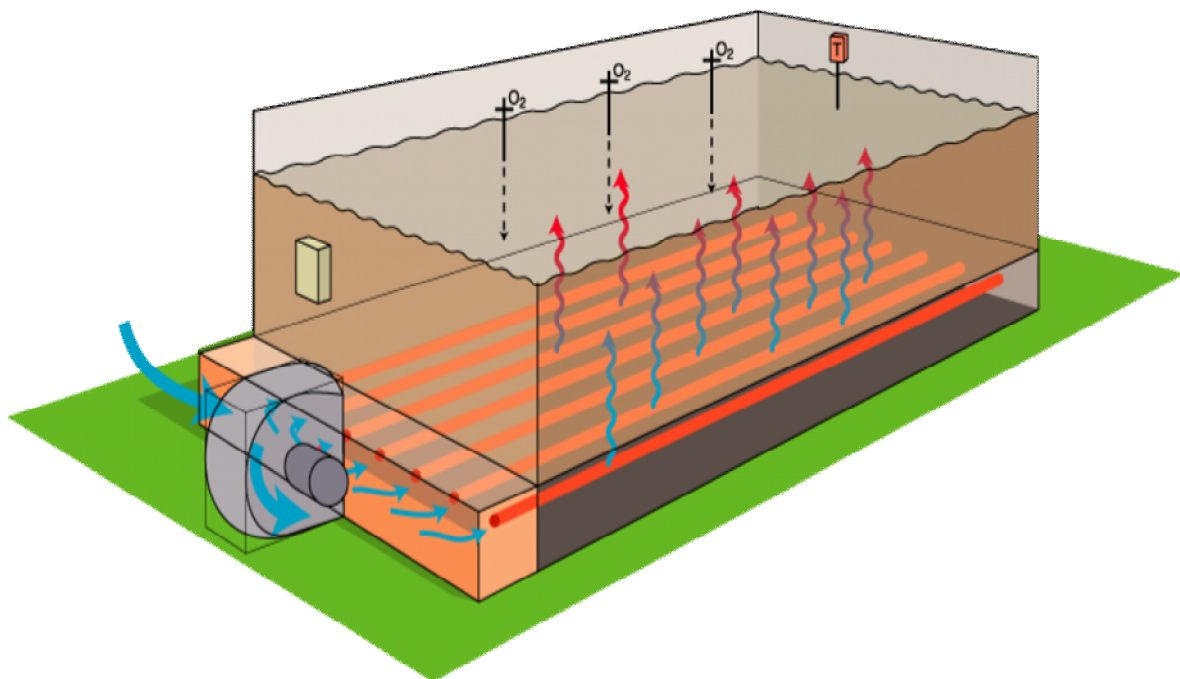
در روش کمپوست سازی تونلی، که در کشورهای فرانسه، ایتالیا و بلژیک متداول است، فاز اول در دمای ثابت 80°C به مدت 2 تا 3 روز انجام می‌شود و بدنال آن فاز دوم در دمای 50°C برای 5 تا 7 روز می‌باشد. چون دمای بسیار بالای بدست آمده در حین مرحله اول این روش اکثر میکروب‌ها که شامل ترموفیل‌های مفید نیز می‌باشد را از بین می‌برد. بعد از سرد کردن کمپوست به دمای 50°C ، تلقیح مجدد آن با کمپوست رسیده یا باکتری‌ها و قارچ‌های گرمادوست در این فرایند ضروری می‌باشد.

کیفیت کمپوست مرتبط با مواد خام و نوع فرایندها می‌باشد. بنابراین تعجبی ندارد که در کمپوست‌سازی تونلی کمپوستی تولید شود که از جنبه‌های تکنیکی/اقتصادی، فیزیولوژیکی و میکوبیولوژیکی با کمپوست تولید شده با روش سنتی تفاوت داشته باشد.

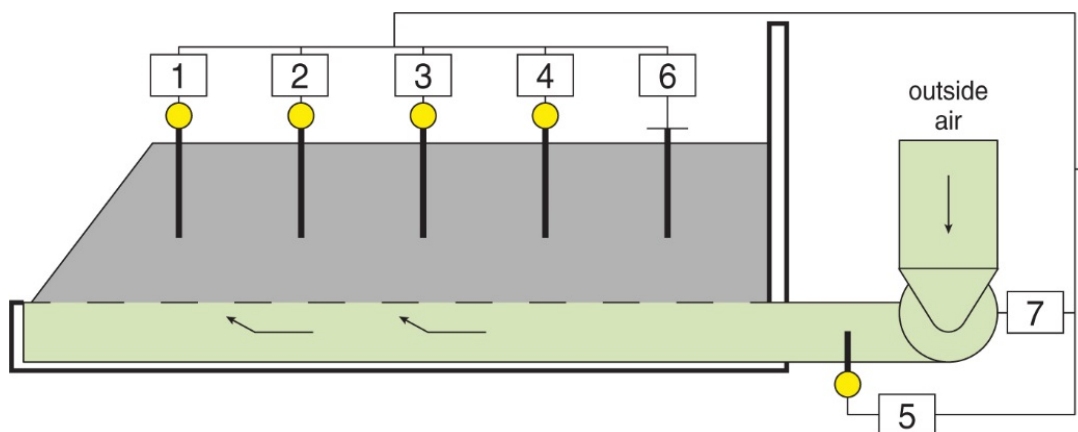
مقدار کمپوست در هر بونکر بستگی به مساحت بونکر دارد. در هر متر مربع بونکر حدود 1300 تا 1700 کیلوگرم کمپوست می‌توان قرار داد. عرض و طول بونکر را طوری طراحی می‌کنند که کمپوست داخل آن در انتهای فاز 1 بتواتد ظرفیت یک، دو و یا سه تونل پاستوریزه را به طور کامل، تکمیل نماید. ابعاد تونل پاستوریزاسیون نیز باید طوری طراحی شود که برای یک، دو، سه، سالن کشت استاندارد، کمپوست فاز 2 تحویل دهد. فرض کنید ابعاد تونل پاستوریزاسیون $3 \times 25 \times 4$ متر است. اگر این تونل تا ارتفاع $2/2$ تا $3/2$ متری از کمپوست پر شود، در انتهای فاز 2 حدود 180 متر مکعب کمپوست تحویل خواهید داد (ارتفاع کمپوست در طی سه تا 5 روز دوره پاستوریزاسیون و شیرین سازی، کاهش پیدا می‌کند). وزن هر متر مکعب کمپوست آماده مایه زنی با رطوبت 67٪، حدود 450 تا 500 کیلوگرم است. با این مقدار کمپوست می‌توان چهار سالن استاندارد 23 تا 25 تنی (6×20 در پنج طبقه) را پر نمود.

مزایای سیستم کمپوست‌سازی تونلی (در شرایط بسته)

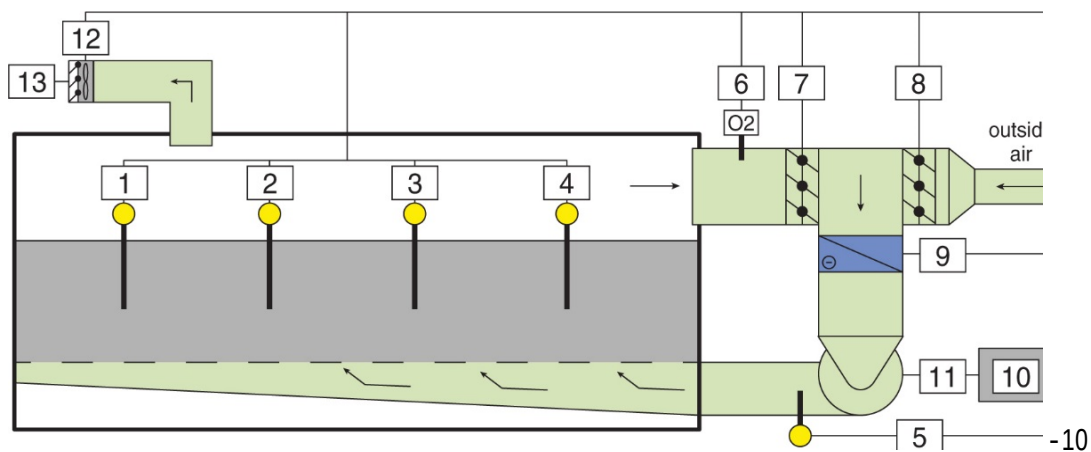
- کنترل بسیار خوب فرایند کمپوست‌سازی
- نیاز به مواد خام کمتر و در نتیجه افزایش محصول نهایی
- کاهش مدت زمان لازم برای تولید کمپوست
- کنترل بوی تولید شده در حین کمپوست‌سازی
- عدم نیاز به وجود وسایل در اتاق فرآوری که در نتیجه آن هیچ خوردگی وجود ندارد
- تناسب محیط کار با استانداردهای وضع شده
- بررسی اتوماتیک فرایند
- عدم وجود آب هرز
- فرایند فعال و کنترل شده در محیط کاملاً بسته



شکل 4 - 16 شمای گرافیکی یک بونکر



شکل 4 - 17 نمای شماتیکی از بونکر با فضای باز



شکل 4 - 18 نمای شماتیکی از بونکر با فضای بسته در تهیه کمپوست قارچ خوراکی در طی بیش از صد سال گذشته به تدریج توسعه یافته و با انواع دیگر کمپوست که برای مقاصد دیگر استفاده می‌شوند، متفاوت است.

هوادهی در بونکر:

در سال 1990 اولین کف‌های اسپيگوت¹ ساخته شدند. در فاز یک (بونکرها) معمولاً از این نوع استفاده می‌شود. در این روش امکان جابجایی کمپوست با ماشین آلات سنگین (لودر) میسر می‌باشد. تهویه در کف اسپيگوت با هوای خروجی از فن و لوله‌های تعبیه شده در زیرکف از اسپيگوت‌هایی با دهانه مخروطی شکل صورت می‌گیرد. تعداد لوله‌ها، فاصله بین لوله‌ها و فواصل بین اسپيگوت‌ها و قطر سوراخ بالای آن، بستگی به مقدار کمپوست، جریان هوای مورد نیاز و مواد اولیه دارد. تونل‌ها (در فاز دو و سه) یا با کف اسپيگوت یا کف‌گريد² ساخته می‌شوند که ساختار هریک از آنها نیز نسبت به مقدار کمپوست و جریان هوای مورد نیاز متفاوت خواهد بود.

بعد از پر کردن تونل و آغاز برنامه کنترل شرایط محیطی، دمنده‌های با دور متغیر (با ظرفیت 50 متر مکعب هوادهی در هر ساعت به ازای هر تن کمپوست) که در پشت تونل تعبیه شده‌اند، شروع به کار کرده و هوا توسط سیستم هوادهی که در کف تونل تعبیه شده است (لوله‌های پلی اتیلن فشار قوی با قطر 16 الی 20 سانتی متر که با فاصله 40 تا 60 سانتی متر به موازات هم در کف بونکر قرار گرفته اند. بر روی این لوله‌ها با فواصل 40 تا 50 سانتی متر سوراخهایی با قطر 4 تا 6 میلیمتر برای خروج هوا تعبیه شده است. هوا با فشاری که در درون لوله‌ها دارد (حدود 5000 تا 8000 پاسکال)، به درون توده کمپوست نفوذ می‌کند. هوا دهی می‌تواند به صورت ممتد و پیوسته و یا به صورت منقطع باشد. مقدار هوادهی به مقدار کمپوست در بونکر و به مرحله و درجه حرارت کمپوست در بونکر بستگی دارد. در مراحل اولیه پر کردن بونکر که درجه حرارت کمپوست پایین است، فعالیت‌های میکروبی بسیار بالا است. در نتیجه برای جلوگیری از تخمیر بی‌هوازی اکسیژن بیشتری مورد نیاز می‌باشد (حدود 18-15%). ولی با افزایش درجه حرارت به 75 الی 80 سانتیگراد از میزان فعالیت‌های میکروبی کاسته شده و فعالیت‌های شیمیایی جایگزین آن می‌شوند. در این شرایط مقدار اکسیژن مورد نیاز حدود 3% می‌باشد. ورود اکسیژن زیاد باعث سرد شدن کمپوست می‌شود، در حالیکه درجه حرارت بایستی در حدود 80°C نگه داری شود.

هوادهی در بونکر بسیار مهم است. چون در غیاب اکسیژن تخمیر بی‌هوازی رخ می‌دهد که محصول آن برای میسلیم قارچ مفید نیست. جدول زیر انواع محصولات ناشی از تخمیر بی‌هوازی گلوکز $C_6H_{12}O_6$ نشان می‌دهد. بعد از پر کردن تونل و آغاز برنامه کنترل شرایط محیطی، دمنده‌های با دور متغیر که در پشت تونل تعبیه شده‌اند شروع به کار کرده و هوا توسط سیستم هوادهی که در کف تونل تعبیه شده است (لوله‌های پلی اتیلن فشار قوی با قطر 16 الی 20 سانتی متر که با فاصله 40 تا 60 سانتی متر به موازات هم در کف بونکر قرار گرفته اند. بر روی این لوله‌ها با فواصل 40 تا 50 سانتی متر سوراخهایی با قطر 4 تا 6 میلیمتر برای خروج هوا تعبیه شده است. هوا با فشاری که در درون لوله‌ها دارد (حدود 5000 تا 8000 پاسکال)، به درون توده کمپوست نفوذ می‌کند. هوا دهی می‌تواند به صورت ممتد و پیوسته و یا به صورت منقطع باشد. مقدار هوادهی به کمپوست در بونکر و به مرحله و درجه حرارت کمپوست در بونکر بستگی دارد. در مراحل اولیه پر کردن بونکر که درجه حرارت کمپوست پایین است، فعالیت‌های میکروبی بسیار بالا است. در نتیجه برای جلوگیری از تخمیر بی‌هوازی اکسیژن بیشتری مورد نیاز می‌باشد (حدود 18-15%). ولی با افزایش درجه حرارت به 75 الی 80°C از میزان فعالیت‌های میکروبی کاسته شده و فعالیت‌های شیمیایی جایگزین آن می‌شوند. در این شرایط مقدار اکسیژن مورد نیاز حدود 3% می‌باشد. ورود اکسیژن زیاد باعث سرد شدن کمپوست می‌شود، در حالیکه درجه حرارت بایستی در حدود 80°C نگه داری شود. مسیر چرخش هوا در تونل به صورت زیر می‌باشد:

- دمیده شدن هوا به درون یک محفظه به نام کلکتور که در پشت هر تونل قرار دارد،
- انتقال هوا از کلکتور به سیستم لوله‌کشی شده در کف تونل،
- دمیدن هوا به درون توده کمپوست،

دما، رطوبت، غلظت اکسیژن و دی اکسیدکربن و فشارهوا در نقاط مختلف کمپوست اندازه‌گیری می‌شوند 10لته در خیلی از واحدها فقط دما اندازه گیری می‌شود). پارامترهای ذکر شده بطور پیوسته با نرم‌افزارهای کامپیوتری کنترل می‌شوند. نرم‌افزار برای کنترل متغیرهای

¹ Spigot Floors

² Grid Floor

معین در زمانهایی خاصی که از قبل تعیین شده‌اند و یا در نقاط خاصی از مسیر در چرخه تونل، برنامه‌ریزی شده‌اند. برای دستیابی به شرایط مطلوب در توده کمپوست دور دمنده و میزان چرخش هوا تغییر داده می‌شود.



شکل 4 - 19 تصویری از لوله های خوابانیده شده در کف بونکر



شکل 4 - 20 کمپوست فاز I در بونکر



شکل 4 - 21 بونکر مورد استفاده در مرحله I کمپوست سازی

مشخصات یک بونکر کوچک را که برای واحدهای 220 تن قارچ در سال مناسب است را در جدول 4 - 8 می بینید. مقدار حداقل و مقدار نرمال کمپوست در این بونکر ارائه شده است. با یک تناسب ساده می توانید این مقادیر را برای بونکرهای خودتان

محاسبه نمایید. این جدول از منابع علمی معتبر اقتباس شده است. اگر خالی بودن قسمتی از سطح بونکر مشکلی ایجاد نمی کرد، آوردن حداقل کمپوست در بونکر مفهومی پیدا نمی کرد.

جدول 4 - 8

مشخصات بونکر ها برای یک واحد ۲۲۰ تنی (۲۲۰ تن قارچ در سال) که شامل هشت سالن تولید با ظرفیت ۲۰ تا ۲۳ تن کمپوست و شش دوره کشت در سال می شود..	
تعداد بونکر	۳ عدد
طول بونکر	۱۱ تا ۱۲ متر
عرض بونکر	۳.۷ تا ۴.۰ متر
حداقل مقدار کمپوست در بونکر	۴۵ تن
مقدار نرمال کمپوست در بونکر	۵۶ تن
تعداد پایپ (لوله) در کف بونکر	۹ یا ۱۰ عدد
تعداد سوراخها در هر پایپ	۲۸ تا ۳۱ عدد
قطر هر سوراخ	۵.۶ میلی متر
مجموع سوراخها	۲۵۲ تا ۳۱۰ عدد
قطر داخلی هر لوله (پایپ)	۱۰ سانتی متر
قطر داخلی لوله اصلی	۳۳ تا ۳۵ سانتی متر
ظرفیت فن برای مقدار نرمال کمپوست	۹۰۰ تا ۱۱۰۰ CMH
ظرفیت فن برای مقدار حداکثر کمپوست	۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰ CMH
فشار فن	20 cm WG

4 - 10 فاز II کمپوست سازی

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 کاملاً قابل کنترل از نظر دما و هوادهی، یعنی در تونل پاستوریزاسیون انجام می شود. اگر یادتان باشد، بونکرها محیطی کاملاً بسته نبودند. سیرکولاسیون هوا در بونکرها انجام نمی شد. قسمت ورودی کمپوست هم درب نداشت. اما تونل پاستوریزاسیون محیطی کاملاً مسقف و با درب و یا درهای کیپ و عایق گرما می باشد. سالن 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 سالن باید مشبک باشد بطوریکه یک سوم کف را منافذ تشکیل دهند. به طرح ذیل که تونلی برای 20 تا 22 تن کمپوست می باشد، توجه کنید.

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؟ اصلاً چرا پاستوریزاسیون؟ و خیلی از مفاهیم و نکات دیگر وجود دارد که در فاز II کمپوست سازی مورد بحث قرار خواهند گرفت.

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

با اتمام فاز I در فعالیت فرایندهای کمپوست سازی کاهش تدریجی رخ داده تا اینکه کاملاً متوقف شود. در این مرحله کمپوست عاری از آمونیاک است، حضور آمونیاک برای قارچها مناسب نیست. عمق این منطقه در عمل می تواند چند سانتی متر باشد هدف کارشناس کمپوست سازی این است که در خلال فاز I کمپوست سازی از تکنیکی استفاده نماید که حداکثر حجم از نوع کمپوست آماده باشد. از راههای مختلفی می توان برای رسیدن به این هدف کمک گرفت، از روش سستی تشکیل توده و یا قالب زنی کمپوست تا استفاده از سیستم بونکر و دمیدن هوای تازه برای تهیه فاز I کمپوست. اما متأسفانه در صورتیکه فقط از کمپوست فاز I استفاده شود، هیچکدام از این روشهای نمی تواند تضمین کننده تولید کمپوستی با کیفیت بالا باشد.

برای اینکه کمپوست فاز I کاملاً برای قارچها مناسب باشد، فاز دوم کمپوست سازی ابداع شد و پاستوریزاسیون نام گرفت.

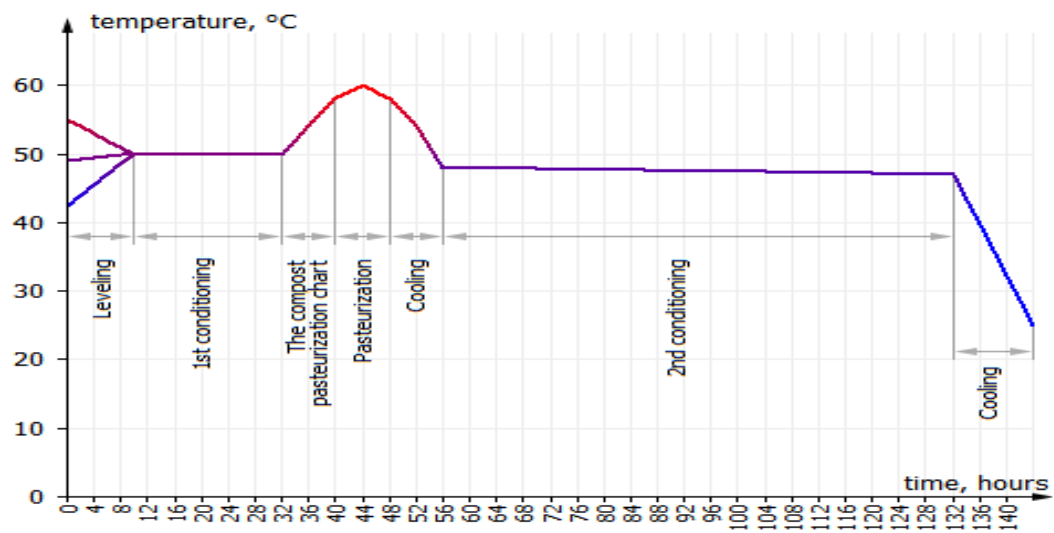


4 - 10 - 1 تونل پاستوریزاسیون

یکی از شرایط اصلی برای انجام فاز II وجود یک تونل (اتاق درب بسته) برای پاستوریزاسیون می باشد. هدف اصلی 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. 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 آن هرگز عبور نکند.

پاستوریزاسیون کمپوست

در ذیل دیاگرام پاستوریزاسیون و دستورات تقریبی انجام این فرایند تکنولوژیکی آورده می شود. این فرایند به مراحل زیر تقسیم می شود.



شکل 4-15 منحنی روند زمان و درجه حرارت داخل سالن پاستوریزاسیون

طبق گراف پاستوریزاسیون که در بالا می بینید، بعد از پر کردن سالن، دمای کمپوست (تاکید می کنم دمای داخل کمپوست) را به 48 درجه سانتی گراد برسانید. اگر دمایش بیشتر از 48°C است با ورود هوای تازه آن را سرد و اگر سردتر است، با سیرکولاسیون (چرخش هوای داخل سالن) آن را گرم کنید. به این عمل **Leveling** گویند. در همین دما ترمز را بکشید و به مدت 24 ساعت استراحت کنید. کاری که در اکثر واحدهای کمپوست سازی در ایران انجام نمی شود !!! دلیل و فلسفه این مرحله کوتاه شیرین سازی قبل از

پاستوریزاسیون چیست؟

مطلب ادامه دارد