الفصل الثانى

تجهيز الكمبوست

يعد الكمبوست compost أحد أهم دعائم الإنتاج العضوى؛ ولذا نولى عملية تجهيز الكمبوست عناية خاصة، نظرًا لأهميته البالغة بالنسبة لمنتجى الزراعات العضوية.

وقد قدَّم Fitzpatric وآخرون (٢٠٠٥) عرضًا تاريخيًا لتطور تقنيات تجهيز الكمبوست خلال القرن العشرين.

يبدأ تجهيز الكمبوست بتحضير ما يعرف باسم "المكمورة".

والمكمورة عبارة عن كومة تحوى مخلوطًا من المواد العضوية، مثل بقايا نباتات المزرعة والمخلفات الحيوانية؛ حيث يخلط بالتربة مع ترطيبهما إلى أن يتم تحللهما. وتسمى هذه العملية باسم "الكمر" composting، والسماد الناتج باسم "الكمبوست".

ويجب عند تحضير المكمورة أن يستفاد من كل مخلفات المزرعة، مثل بقايا النباتات، والقش، والحشائش، وكذلك المخلفات الحيوانية، وإن كان ذلك ليس شرطًا لعمل المكمورة. وتخصص مساحة ٦م٢ لكل طن من المادة العضوية المراد خلطها فى المكمورة؛ على أن يكون مكان المكمورة قريبًا من مصدر للمياه العذبة، لاحتياجها إلى كميات كبيرة من الماء طوال فترة الكمر لتشجيع تحلل المادة العضوية.

ويعرف الكمبوست بأنه البقايا النباتية المتحللة جزئيًا، أما عندما يكتمل تحلله فإنه يتحول إلى دبال humus.

تصبح كومة الكمبوست جاهزة عندما لا يؤدى قلبها إلى توليد مزيد من الحرارة، وحينئذٍ لا يمكن تمييز المادة العضوية الأولية التى استعملت فى عمل كومة الكمبوست قبل كمرها.

وتفيد إضافة الكمبوست إلى التربة فيما يلي:

١- زيادة قدرة الأراضى الرملية على الاحتفاظ بالرطوبة.

٢- تحسين الصرف والتهوية فى الأراضى الثقيلة.

٣- زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالعناصر الضرورية للنبات.

٤- زيادة نشاط ديدان التربة والكائنات الدقيقة المفيدة للنمو النباتى.

٥- تقليل تكون القشور crusts على سطح التربة؛ مما يحسن إنبات البذور.

ومع استمرار إضافة الكمبوست سنة بعد أخرى يتحسن قوام التربة، وتتوقف سرعة التحسن على معدلات الإضافة.

ويوفر الكمبوست قدرًا من العناصر الضرورية اللازمة للنبات، ولكن ذلك لا يكون بالقدر الكافى إلا إذا أضيف الكمبوست بكميات كبيرة.

هذا .. ويتراوح pH معظم أنواع الكمبوست بين ٧، و ٨، ويجب ألاّ تسبب تلك القلوية القليلة للكمبوست أية مشاكل عند خلطه بالتربة (McLaurin & Wade ٢٠٠٨).

مجمل عمليات تحضير المكامير وتجهيز الكمبوست

لعمل المكامير الكبيرة – بهدف تحضير سماد الكمبوست على نطاق واسع – يوصى Nelson (١٩٨٥) بمراعاة ما يلى:

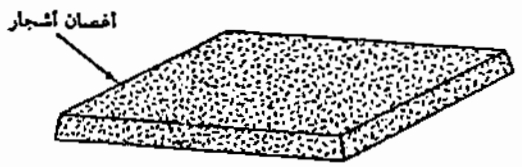
توضع المواد العضوية التى يُراد وضعها فى المكمورة فى كومات يبلغ عرضها عند القاعدة نحو ٢١٠ سم، بينما يزيد طولها على ذلك، ويصل ارتفاعها إلى ١٥٠ سم. تكون الكومة مستدقة – تدريجيًّا – نحو القمة، بحيث تقل جوانبها – عند القمة – بنحو ٦٠ سم عما يكون عليه الحال عند القاعدة.

تتكون المواد العضوية التى يجب وضعها فى المكمورة من مجموعتين؛ كما يلى:

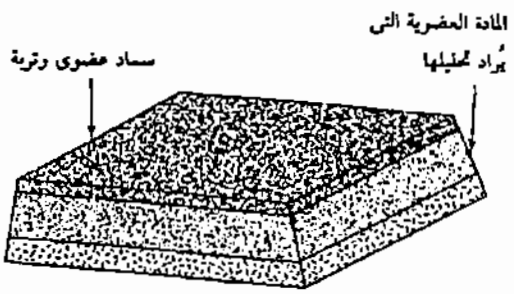
١- مواد كربونية تكون فقيرة فى محتواها من النيتروجين، وغنية نسبيًّا فى محتواها من الكربون؛ مثل: القش، وبرى الخشب، ونشارة الخشب.

٢- مواد نيتروجينية تكون غنية بالنيتروجين مقارنة بالكربون؛ مثل: النباتات الخضراء، والسماد الحيوانى.

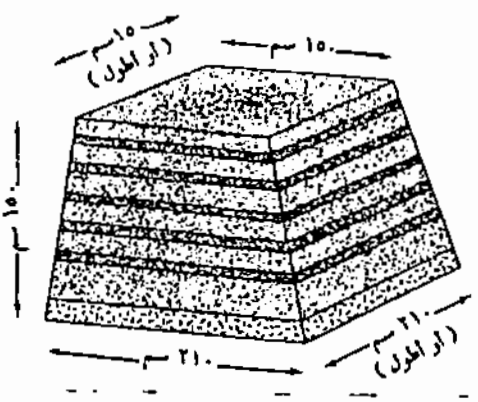
يجب خلط هذه المواد معًا بنسبة ٧٥٪ مواد كربونية إلى ٢٥٪ مواد نيتروجينية (شكل ٢-١).



١ - تكون القاعدة - عادة - من ١٥ سم من أغصان الأشجار



٢ - يوضع على طبقة الأغصان السفلى ٣٠سم من مخلوط النفايات العضوية ، ثم ٥ سم من السماد العضوى ، ثم ٢.٥ سم من الترية



شكل (٢-١): طريقة عمل الكمورة (يُراجع المتن للتفصيل).

يوضع أسفل الكومة – عادة – طبقة من الأغصان النباتية (الناتجة من عمليات التقليم) سُمكها ١٥ سم؛ لتوفير التهوية اللازمة للتحلل الجيد. يلى ذلك إضافة طبقة من مخلوط المواد الكربونية والنيتروجينية (بنسبة ٣ : ١) بسمك ٣٠ سم، تليها طبقة من مادة نيتروجينية – مثل السماد الحيوانى – سُمكها ٥ سم، ويوضع على قمتها طبقة من التربة سُمكها ٢,٥ سم. يكرر بعد ذلك إضافة هذه الطبقات – ولكن مع عدم تكرار إضافة طبقة الأغصان النباتية، وتقليل سمك طبقة مخلوط المواد الكربونية والنيتروجينية إلى ١٥ سم – حتى تصبح الكومة بارتفاع ١٥٠ سم.

يراعى أن تكون قمة الكومة مقعرة من أعلى؛ حتى يمكن إضافة الماء عليها. يعتبر الماء ضروريًا لعملية الكمر والتحلل، ويجب أن تتراوح نسبته – بالوزن – من ٥٠٪ إلى ٦٠٪. وعند إضافة أية مواد جافة إلى الكومة فإنه يتعين ترطيبها.

تحتاج الكائنات الدقيقة التى تقوم بعملية تحليل المواد العضوية إلى كميات كبيرة من الأكسجين. وإذا كانت الكومة زائدة الرطوبة – إلى الحد الذى تصبح معه منضغطة أثناء التحلل – فإن الأكسجين الموجود فيها يستهلك بسرعة أكبر من سرعة نفاذه إلى داخلها. ويترتب على ذلك نشاط مجموعة أخرى من الكائنات الدقيقة ينتج منها رائحة كريهة، وتكون نواتج التحلل غير مرغوب فيها.

وبينما يكون التحلل زائدًا فى الكومات التى يزيد ارتفاعها على ١٨٠ سم، فإن الكومات غير العميقة (٦٠ سم مثلاً) لا تكون معزولة بقدر كاف للمحافظة على الحرارة العالية اللازمة للتحلل.

يجب خلط الكومة جيدًا من آن لآخر؛ وذلك لإعادة تكوين المسافات البينية التى تسمح بالتهوية، ولنقل الأجزاء السطحية – التى لم تتحلل – من الكومة إلى مركزها. وتزداد سرعة التحلل بزيادة معدل تقليب الكومة. وبينما يمكن أن تستكمل الكومة تحللها فى ستة شهور فى الجو البارد إذا قلبت كل ستة أسابيع، فإن عملية التحلل يمكن استكمالها فى أسبوعين فى الجو الحار إذا قلبت الكومة بعد أربعة أيام؛ ثم فى اليوم السابع، واليوم العاشر.

تتوفر الكائنات الدقيقة التى تلزم لعملية التحلل فى كل من السماد العضوى والتربة المضافَيْن إلى المخلوط. وتحصل الكائنات الدقيقة على النيتروجين اللازم لها من المواد النيتروجينية الموجودة فى الخلطة. وإذا لم تتوفر المواد النيتروجينية بكميات كافية فى الخلطة كان من الضرورى إضافة بعض الأسمدة الآزوتية إليها، وإلا طالت فترة الكمر اللازمة.

يكون السماد العضوى الناتج من المكمورة فقيرًا فى محتواه من العناصر المغذية؛ حيث يحتوى الكمبوست الجاف — عادة — على ١,٥٪–٣,٥٪ نيتروجينًا، و ٠,٥٪–١,٠٪ فوسفورًا، و ١,٠٪–٢,٠٪ بوتاسيوم. ويكون الـ pH — عادة — متعادلاً إلى قليل القلوية.

مكونات المكمورة

تصلح أنواع كثيرة من المواد العضوية لعمل الكمبوست منها، إلا أن تلك التى تحتوى على الكربون إلى النيتروجين بنسب معينة هى المفضلة، كما سيأتى بيانه لاحقًا. وعمومًا .. فإن جميع المخلفات العضوية تصلح لعمل الكمبوست باستثناء الأخشاب ومخلفات التقليم الخشبية. ويفضل دائمًا فرم الفروع الشجرية التى يزيد قطرها عن ٦ مم. وتضاف للكومبوست قبل عملية الكمر كمية قليلة من التربة. كذلك يمكن إضافة نشارة الخشب إذا ما توفر مصدر إضافى للنيتروجين. ويلزم — تقريبًا — كيلوجرام واحد من النيتروجين N (مثلاً: ٣ كجم نترات نشادر) لتحلل ١٠٠ كجم من نشارة الخشب. ويجب عدم استعمال المخلفات النباتية التى سبقت معاملتها بمبيدات الحشائش إلا بنسب بسيطة. ويجب — كذلك — عدم استعمال أى مخلفات عضوية يمكن أن تكون مصدرًا لمشاكل صحية، مثل مخلفات الإنسان. وما لم ترتفع الحرارة فى جميع أجزاء كومة الكمبوست إلى ٦٥–٧٥°م بالتقليب الجيد — وهى الحرارة التى تقتل المسببات المرضية — فإن إضافة مخلفات نباتية مصابة بالأمراض قد يسبب مشاكل عند استعمال الكمبوست المجهز دون تقليب جيد، حيث تحتفظ جراثيم المسببات المرضية بحيويتها.

ولا يفضل كمر الحشائش التى تكون محملة بالبذور؛ ذلك أنه على الرغم من موت

بعض البذور أثناء عملية الكمر، فإن تواجد أعداد كبيرة منها فى المكمورة يعنى أن كثيرًا منها سوف لن يتأثر بعملية الكمر؛ ليشكل مشكلة عند استعمال ذلك الكمبوست بعد ذلك.

ولا يجوز أن يُستخدم ضمن مكونات المكمورة أي من المواد التالية:

١- نشارة الخشب المتحصل عليها من أخشاب سبقت معاملتها كيميائيًا، ذلك لأنها تحتوى على الزرنيخ الشديد السمية بالإضافة إلى الكروم والنحاس.

٢- النباتات المصابة بالأمراض:

على الرغم من أن الكمر الجيد والكامل يؤدى إلى التخلص التام من جميع مسببات الأمراض، إلا أن الأمر لا يخلو من وجود أجزاء نباتية لم تتعرض للكمر الكامل فى المنتج النهائى، وهى التى تكون مصدرًا للإصابة المرضية.

٣- مخلفات الإنسان؛ نظرًا لأنها قد تحتوى على مسببات مرضية للإنسان، وما يترتب على ذلك من مخاطر على الصحة العامة.

٤- بقايا اللحوم والعظام والأغذية الدهنية:

تعد تلك المواد جاذبة للفئران وغيرها من الحيوانات، بالإضافة إلى أن الأغذية الدهنية تعد بطيئة التحلل بدرجة كبيرة؛ نظرًا لأن الدهون يمكن أن تشكل حاجزًا أمام الأكسجين الذى تحتاجه الكائنات الدقيقة التى تقوم بعملية التحلل.

٥- الحشائش الخبيثة:

لا تجوز إضافة الحشائش الخبيثة إلى مكونات المكمورة إلا إذا كانت ميتة تمامًا، وأفضل وسيلة لتحقيق ذلك هى تركها - بعد تقليعها - لتجف على سطح التربة لمدة أسبوعين.

٦- مخلفات الحيوانات الأليفة المنزلية مثل مخلفات القطط والكلاب:

قد يلجأ البعض إلى استخدام تلك المخلفات عند عمل الكمبوست فى الحدائق المنزلية، إلا أن ذلك يجب تجنبه لما قد تحتويه تلك المخلفات من مسببات مرضية يمكن أن تصيب الإنسان.

الإضافات الأخرى للمكمورة

يتأثر نشاط الكائنات الدقيقة المحللة للكمبوست بنسبة الكربون إلى النيتروجين فى المخلفات العضوية المتحللة. ونظرًا لأن تلك الكائنات تحتاج إلى قدر معين من النيتروجين لأيضها ونموها، فإن نقص النيتروجين يبطء عملية التحلل بشدة، وذلك كما يحدث عند تحلل القش ونشارة الخشب، ما لم تتم إضافة النيتروجين إلى الكومة. وتعد السبلة مصدرًا جيدًا للنيتروجين. أما الفوسفور والبوتاسيوم فإنهما يتواجدان — عادة — بكميات كافية للتحلل.

تُنتج الأحماض العضوية خلال المراحل الأولى لعملية التحلل، مما يؤدى إلى خفض pH المكمورة، وتلك ظروف تناسب نشاط معظم الكائنات الدقيقة المحللة للمادة العضوية. ويؤدى رفع الـ pH بإضافة الجير إلى تحول النيتروجين الأمونيومى إلى غاز الأمونيا؛ ليفقد فى الهواء. وعلى الرغم من أن الجير قد يُسرع عملية التحلل، فإن الفاقد فى النيتروجين يكون كبيرًا؛ ولذا .. لا يوصى بإضافة الجير.

ومن بين المواد التى يمكن إضافتها إلى كومة الكمبوست لتحسين قيمته المغذية للنبات، ما يلى:

المادة	المعدل (كجم/م³)	التأثير
الكبريت الزراعى	٣–٥	تحسين الـ pH — زيادة تيسر العناصر
صخر الفوسفات	٧–١٠	زيادة تيسر الفوسفور
سلفات بوتاسيوم طبيعى	٧–١٠	زيادة عنصر البوتاسيوم
سلفات مغنيسيوم طبيعى	١–٢	زيادة عنصر المغنيسيوم

تضاف هذه الصخور أثناء تجهيز الكمبوست على ألاّ تقل الفترة بين إضافتها واستعمال الكمبوست عن شهر؛ لإعطاء الفرصة للكائنات الدقيقة أن تعمل فعلها وتزيد من تيسر العناصر.

لقد وجد أن إضافة تلك الصخور الطبيعية (صخر الفوسفات — الفلدسبار — الكبريت

الزراعى – الدولوميت – البنتونيت) للمخلفات العضوية أثناء عملية الكمر الهوائى وإنتاج الكمبوست أدت إلى ذوبان تلك الصخور وتيسر العناصر منها، وكانت الزيادة فى محتوى الكمبوست من العناصر الميسرة أعلى عندما أضيفت الصخور فى بداية عملية الكمر عنها عندما كانت إضافتها بعد ستة أسابيع من بداية الكمر كما يلى (الحجار وآخرون – المؤتمر الدولى الثانى للزراعة العضوية – القاهرة – ملخصات البحوث – ٢٠٠٤).

العنصر	الزيادة (٪) عند إضافة الصخر	
	فى بداية الكمر	بعد ٦ أسابيع من بداية الكمر
الفوسفور	٢٧,٤	٢١,٨
البوتاسيوم	٣٨,٥	٣٢,١
الكالسيوم	٥٩١–٧٢١	٥٢٩–٥٨٦
المغنيسيوم	٥٩,٤	٤٨

متطلبات الكمر الجيد

إن من أهم الأمور التى يتعين مراعاتها فى عملية الكمر، ما يلى:

١– تتحلل المادة العضوية بشكل جيد إذا تراوحت أجزاؤها بين ١,٥ إلى ٤ سم فى الحجم، ولا يجب فرم الأنسجة الغضة الطرية إلى أجزاء صغيرة جدًا لأنها تتحلل سريعًا. وبعكس ذلك .. فإن الأنسجة الصلبة والخشبية يفضل أن تكون صغيرة الحجم لكى تتحلل سريعًا، ويتعين طحن المواد الخشبية.

٢– لكى تتم عملية الكمر بكفاءة عالية ينبغى أن تبدأ المكمورة بنسبة كربون إلى نيتروجين ٣٠:١، علمًا بأن خلط أحجام متساوية من المادة النباتية الخضراء والمادة النباتية الجافة يعطى – تقريبًا – تلك النسبة.

٣– يكون التحلل جيدًا عندما تكون نسبة الرطوبة فى مكونات المكمورة ٥٠٪، علمًا بأن التحلل يكون بطيئًا أو لا هوائيًا عندما تكون المكمورة مشبعة بالرطوبة، ويكون بطيئًا أو يتوقف كلية عندما تكون المكمورة جافة.

٤- يحافظ الحجم المناسب للمكمورة على الحرارة التى تنتج من عملية التحلل، وهى التى تسرع التحلل وتقضى على مسببات الأمراض وبذور الحشائش التى قد توجد فى المكمورة.

ويجب ألاّ تقل أبعاد كومة المكمورة عن متر واحد عرضًا ومتر واحد ارتفاعًا؛ ذلك لأن عملية الكمر والتحلل لا تتم بصورة جيدة فى الكومات الأقل حجمًا عن ذلك، والأفضل زيادة تلك الأبعاد إلى ١,٥م عرضًا، و ١,٥م عمقًا، وبأى طول على ألا يقل عن ١,٥ م.

٥- وكما أسلفنا تتكون كومة المكمورة من عدة طبقات، كما يلى:

أ- توضع المادة العضوية ذات الأجزاء الكبيرة فى قاع الكومة؛لأن ذلك يسرع من تحللها، كما أن وجودها بالقاع يسمح بحركة الهواء حول قاعدة الكومة نحو داخلها حيث يتحرك إلى أعلى، مما يؤدى إلى رفع حرارة الكومة . ويراعى ترطيب جميع الطبقات أثناء إضافتها للكومة.

ب- تضاف المخلفات العضوية ذات الأجزاء الأصغر حجمًا بسمك ٢٠-٢٥ سم، مع رشها بالماء إلى أن تصبح رطبة، ولكن دون أن تتشبع بالماء.

جـ- تضاف سبلة الماشية فى طبقة بسمك حوالى ٢,٥ سم.

د- تضاف التربة فوق السبلة فى طبقة أخرى بسمك حوالى ٢,٥ سم أيضًا.

تعد التربة مصدرًا جيدًا للكائنات التى تقوم بتحليل المخلفات العضوية. كما تحتوى المخلفات — هى الأخرى — على تلك الكائنات، بما يعنى عدم الحاجة إلى استعمال بادئ من الكمبوست الجاهز أو البيئات الميكروبية.

تتكرر إضافة جميع الطبقات التى أسلفنا بيانها — مع استمرار ترطيبها — إلى أن تصل الكومة إلى الارتفاع المطلوب. ويلى ذلك تغطيتها بنحو ١٥-٢٠ سم من القش.

٦- يتعين حماية كومة الكمبوست من الرياح التى تؤدى إلى سرعة جفافها، وهو أمر غير مرغوب فيه. كما أن حماية الكومة من الرياح، مع تعرضها لأشعة الشمس يُسرعان من ارتفاع حرارتها، وذلك أمر مرغوب فيه. ولكن يتعين كلما ازداد التعرض للشمس أو للرياح — زيادة معدلات رش الكومة بالماء.

٧- ينبغى قلب الكمورة لكى لا تزيد الحرارة عما ينبغى فى مركزها، مع إعطاء الفرصة للحواف لأن تصبح فى المركز. تؤدى عملية قلب الكمورة إلى برودتها قبل أن يبدأ التحلل وترتفع الحرارة من جديد، كما تعمل على تحسين التهوية فيها. يؤدى قلب الكمورة يوميًا إلى اكتمال تحللها فى خلال أسبوعين، وإذا ما كان قلبها كل يومين فإن تحللها يستغرق ثلاثة أسابيع، وتزداد المدة التى يتطلبها التحلل كلما تأخر قلب الكمورة.

وعمومًا .. يتعين قلب كومة الكمبوست مرة شهريًا (أو كل ثلاثة أسابيع فى الجو الحار)، لأجل إسراع التحلل، ومنع تكون الروائح الكريهة، ولتعريض البذور ويرقات الحشرات ومسببات الأمراض للحرارة المميتة لها داخل الكومة. ويمكن إجراء عمليتى القلب والخلط إما بقلب أجزاء من الكومة، وإما بنقلها إلى مكان مجاور. ويستدل على كفاءة عملية القلب والخلط بغياب الروائح الكريهة، لأن الحرارة العالية داخل الكومة تؤدى إلى قتل البكتيريا المكونة لتلك الروائح. ويراعى - دائمًا - الإبقاء على الكومة رطبة، ولكن دون أن تكون مشبعة بالماء. وقد تتكون الروائح الكريهة جراء وجود كميات كبيرة من المواد العضوية التى يرتفع - كثيرًا - محتواها من الرطوبة - مثل الثمار - فى الكومة، أو بسبب زيادة ترطيب الكومة عما ينبغى. هذا مع العلم بأن الكومة النشطة فى التحلل تصل الحرارة فى منتصفها إلى ٥٤-٧١°م فى خلال أيام قليلة، وحينئذٍ يلاحظ أن الكومة قد بدأت تستقر وترسخ فى مكانها، ويعد ذلك علامة جيدة على نشاط عملية الكمر.

وإذا لم ترتفع حرارة الكومة، فإن ذلك قد يكون بسبب واحد أو أكثر من العوامل التالية:

أ- صغر حجم الكومة.

ب- عدم احتواء الكومة على قدر كافٍ من النيتروجين.

جـ- غياب الأكسجين.

د- زيادة الرطوبة بشدة.

هـ- عدم توفر الرطوبة بالقدر الكافى.

ويفيد قلب الكومة فى توصيل الأكسجين والمواد غير المتحللة إلى مركز الكومة؛ مما يؤدى إلى توليد حرارة جديدة بالكومة. وتعد عملية الكمر قد استكملت عندما لا يؤدى قلب الكومة إلى توليد مزيد من الحرارة فيها.

٨- بمجرد بدء الكمر يجب التوقف عن إضافة أى شئ إلى المكمورة (باستثناء ما يأتى بيانه تحت رقم ١٠)؛ ذلك لأن أى إضافات عضوية جديدة للمكمورة تعنى ضرورة إطالة فترة الكمر حتى ينتهى تحلل تلك الإضافات.

٩- إذا جُهزت الكومة بشكل جيد فإن حرارتها ترتفع كثيرًا فى خلال ٢٤-٤٨ ساعة، وإذا لم يحدث ذلك فإن هذا يعنى أن الكومة زائدة الرطوبة، أو شديدة الجفاف، أو أنها لا تحتوى على قدر كافٍ من المادة النباتية الخضراء. فإن كانت الكومة زائدة الرطوبة يتعين نشرها لفترة حتى تفقد جزءًا من رطوبتها، وإن كان زائدة الجفاف يتعين رشها بالماء، وخلاف ذلك تكون الكومة فقيرة فى النيتروجين حيث يتعين تزويدها بنباتات خضراء أو سبلة دواجن أو بول حيوانات مخفف بالماء بنسبة ١ : ٥.

١٠- إذا كانت نسبة الكربون إلى النيتروجين فى المكمورة أقل من ٣٠:١ فإن المادة العضوية تتحلل سريعًا، ولكن مع حدوث فقد فى جزء من النيتروجين على صورة أمونيا، ؛ فإذا ظهرت رائحة الأمونيا حول المكمورة فإن ذلك يعنى حدوث فقد فى النيتروجين. ويمكن وقف هذا الفقد بإضافة مادة غنية بالكربون إلى المكمورة مثل نشارة الخشب. وبخلاف إضافة الماء للكومة لكى لا تجف، فإن نشارة الخشب هى المادة الوحيدة التى قد تضاف للمكمورة — عند الضرورة — أثناء عملية الكمر.

١١- إن من أهم مظاهر التحلل السريع للمكمورة ظهور رائحة مقبولة، وارتفاع حرارة الكومة (الأمر الذى يمكن رؤيته فى صورة بخار ماء ينطلق عند قلب الكومة)، ونمو فطريات بيضاء على المادة العضوية المتحللة، ونقص حجم المكمورة، وتغير لون المادة العضوية إلى البنى الداكن.

١٢- يعرف انتهاء التحلل ببرودة المكمورة وانخفاض حرارتها. وتجدر الإشارة إلى

احتمال بقاء بعض أجزاء المكمورة كبيرة الحجم إن لم تكم المادة العضوية قد فرمت جيدًا قبل بدء عملية الكمر. ويمكن غربلة تلك الأجزاء باستعمال غرابيل سعة ثقوبها ٢,٥ سم، حيث يمكن إضافتها إلى مكمورة جديدة لكى يكتمل تحللها.

وتصبح الكومة جاهزة — عادة — فى خلال شهرين أو أقل من ذلك فى الجو الحار إلى أربعة شهور أو أكثر من ذلك فى الجو البارد.

ويتعين التأكد من أن عملية الكمر أصبحت مكتملة قبل إضافة الكمبوست إلى التربة، لأن عدم اكتمالها يعنى ارتفاع نسبة الكربون فى ذلك الكمبوست، وحصول الكائنات الدقيقة التى تكمل التحلل على حاجتها من النيتروجين من التربة.

وعند انتهاء عملية الكمر، فإن الكومة تصبح حوالى نصف حجمها الابتدائى، وتكون لها رائحة التربة (earthy smell).

وبعد تمام التحلل يمكن خزن السماد الناتج فى حيز أصغر، وكبسه، مع استمرار ترطيبه بالماء وحمايته من الحرارة.

العوامل المؤثرة فى تحلل مكونات المكمورة

يعتمد تحلل المادة العضوية فى كومة المكمورة على المحافظة على النشاط الميكروبى فيها، فأى عامل يبطئ أو يوقف النمو الميكروبى يعوق — كذلك — عملية الكمر. ويكون الكمر فعَّالاً إذا ما حوفظ على كل من التهوية، والرطوبة، وحجم أجزاء المادة العضوية، ومستوى النيتروجين فى المجال المناسب للنشاط الميكروبى.

التهوية

يعد الأكسجين ضروريًا للميكروبات لكى تحلل المواد العضوية بكفاءة. وعلى الرغم من أن بعض التحلل يحدث فى غياب الأكسجين (فى الظروف اللاهوائية)، فإن العملية تكون بطيئة، وتصاحبها روائح كريهة. ويوفر قلب وإعادة خلط كومة المكمورة مرة أو مرتان شهريًا الأكسجين الضرورى. ويسرع كثيرًا من عملية التحلل، ذلك لأن الكومة

التى لا تُقلب ويعاد خلطها قد يحتاج تحللها إلى ٣-٤ أضعاف الوقت الذى يلزم لتحلل الكومات التى تقلب بانتظام. ويفيد رفع الكومة عن سطح التربة قليلاً – أثناء تجهيزها – فى سحب الهواء الجديد من أسفل ليحل محل الهواء الساخن الذى يتصاعد أعلى الكومة إلى خارجها. ويتحقق ذلك بوضع مواد غير دقيقة (خشنة coarse) أسفل الكومة، لتسمح بمرور الهواء من خلالها، على أن يتم التخلص منها بعد انتهاء التحلل.

الرطوبة

تعد الرطوبة الكافية ضرورية للنشاط الميكروبى، فالكومة الجافة لا تتحلل بكفاءة. وتشجع الرطوبة المناسبة نمو وتكاثر الكائنات الدقيقة التى تحلل المادة العضوية إلى دبال. وتلزم إضافة الماء للكومة على فترات – رثًّا – للمحافظة على معدل ثابت ومستقر للتحلل. يضاف الماء بالقدر الذى يجعل الكومة رطبة، ولكن ليست مشبعة؛ لأن الماء الزائد يمكن أن يجعل ظروف التحلل لاهوائية، مما يبطئ العملية، وتظهر معها روائح كريهة. وإذا ما أصبحت الكومة زائدة الرطوبة بطريق الخطأ، يتعين قلبها لتجف. والرطوبة المثلى هى تلك التى تتسبب فى ترطيب اليد، دون أن يتساقط الماء عندما يضغط باليد على عينة من المكمورة تؤخذ من عند عمق ٢٠ سم تقريبًا.

حجم أجزاء المادة العضوية

يؤدى فرم المادة العضوية إلى أجزاء صغيرة إلى تقيل الفترة التى تلزم لتحللها كثيرًا، ذلك لأن الفترة التى تلزم للتحلل تتناسب طرديًا مع حجم أجزاء المادة المتحللة.

درجة الحرارة

لدرجة حرارة الهواء الخارجى للكومة أهمية كبيرة فى نشاط الكائنات الدقيقة التى تقوم بعملية التحلل؛ التى يزداد نشاطها طرديًا مع الارتفاع فى درجة الحرارة. وتقع الكائنات الدقيقة التى تقوم بالتحلل ضمن فئتين، هما: الوسطية mesophylic، وهى التى تعيش وتتكاثر فى حرارة تتراوح بين ١٠، و ٤٥°م، والمحبة للحرارة

thermophilic، وهى تعيش وتتكاثر فى حرارة تتراوح بين ٤٥، و ٧٠°م؛ علمًا بأن المكمورة المخلوطة جيدًا والتى تنشط فيها عملية الكمر ترتفع حرارتها إلى ٤٣-٧١°م أثناء نشاط الكائنات الدقيقة فيها. وتساعد تلك الحرارة العالية على قتل بذور الحشائش ومسببات الأمراض فى الكومة. ويلى ذلك انخفاض حرارة الكومة — تدريجيًا — إلى أن تتساوى مع حرارة الهواء المحيط بها.

النشاط الميكروبى فى المكمورة والتغيرات فى الرقم الأيدروجينى

من المفيد إضافة قليل من التربة الجيدة الخصبة إلى كومة المكمورة أثناء إعدادها، حيث يُعد ذلك بمثابة تلقيح لها بأنواع متباينة من الكائنات الدقيقة التى تقوم بعملية التحلل.

يمكن لعديد من الكائنات الدقيقة البقاء فى الحرارة الشديدة الارتفاع، وهى التى تعرف باسم extremophiles، مثل *Thermus thermophilus* التى تلعب دورًا هامًا فى عملية الكمر أثناء الارتفاع الشديد لدرجة الحرارة.

وتتباين أنواع الكائنات الدقيقة التى تنشط أثناء عملية الكمر كما يلى:

١- عند صفر-١٥°م تسود الـ psychrophiles، لتبدأ عملية التسخين مع تكاثرها.

٢- عند ١٥-٤٠°م تسود الـ mesophiles وتموت الـ psychrophiles، أو أنها تبقى فقط عند الحواف.

٣- عند ٤٠-٧٠°م تنشط الـ thermophiles؛ لتستهلك - أثناء نشاطها — عديدًا من الأنواع البكتيرية الأخرى التى تموت خلاياها بفعل الحرارة العالية.

وتحدث تغيرات مماثلة فى pH الكومة أثناء تحللها. ففى البداية تكون المادة العضوية — المتحصل عليها من مصادر نباتية طازجة — حامضية قليلاً؛ حيث يكون رقم حموضتها حوالى ٦.٠. ومع تحلل المادة العضوية تتكون الأحماض العضوية التى تخفض الـ pH إلى ٤.٥-٥,٠. ومع ارتفاع درجة الحرارة تحدث تغيرات كيميائية أخرى تؤدى إلى رفع الـ pH إلى ٧.٥-٨.٥. وفى النهاية يثبت الـ pH عند حوالى ٧.٠-٧.٥ (عن Nelson ١٩٨٥).

حجم أجزاء مكونات المكمورة

يحدث التحلل لمكونات المكمورة عند سطح الجزيئات المتحللة أو قريبًا منه، حيث يتوفر النيتروجين، وتتواجد الكائنات الدقيقة التى تقوم بعملية التحلل. ولذا .. فإن الجزيئات الصغيرة التى تُزداد فيها المساحة السطحية لكل وحدة وزن منها تزداد سرعة تحللها متى كانت التهوية فيها جيدة. ويمكن لسرعة تحلل مكونات المكمورة أن تتضاعف إذا ما تم طحن تلك المكونات مسبقًا، إلاّ أن الحجم المناسب للجزيئات يتراوح بين ١,٥ سم فى حالة التهوية بالدفع الجبرى للهواء خلال المكمورة إلى ٧,٥ سم فى حالة التهوية السلبية العادية مع التقليب.

ونظرًا لأن الأكسجين لا يمكنه الوصول بسهولة إلى مركز الجزيئات التى يزيد قطرها عن السنتيمتر، فإن التحلل عند المركز يكون غالبًا لاهوائيًا وبطيئًا. هذا .. إلاّ أن مشكلة التحلل اللاهوائى ربما تكون أكبر عند صغر أحجام الجزيئات المكونة للمكمورة، حيث تكون الفراغات المتواجدة بين جزيئاتها صغيرة الحجم وممتلئة بالماء بفعل الخاصية الشعرية.

وتتأثر مسامية المكمورة بشكل الجزيئات المكونة لها وحجمها، وكيفية ترتيبها معًا، فجميعها عوامل تؤثر فى مدى اندماج الجزيئات معًا، ومدى ملئها للفراغات بينها، ومن ثم تؤثر فى مدى نفاذية ومسامية المكمورة. وحتى مع توفر مسافات بينية غير مملؤة بالماء، فإن حركة الهواء فى المسافات البينية الضيقة تكون أضعف من حركته فى المسافات الواسعة؛ بسبب احتكاك الهواء بالحبيبات المحيطة بتلك المسام، فضلاً عن أن تلك المسام ليست أنابيب مستقيمة متصلة، وإنما هى كثيرة التعرجات، وكثيرًا ما تكون مغلقة؛ مما يزيد من مقاومة نفاذ الهواء خلالها.

نسبة الكربون إلى النيتروجين فى مكونات المكمورة

عندما ينخفض كثيرًا مستوى النيتروجين فى مكونات المكمورة فإن الكائنات الدقيقة لا يمكنها النمو والتكاثر بمعدلات عالية، مما يؤدى إلى بطء التحلل. وفى

المقابل فإن زيادة النيتروجين كثيرًا يسمح بالتكاثر الميكروبى السريع، ومن ثم سرعة التحلل، إلا أن ذلك قد يترتب عليه ظهور روائح كريهة نتيجة الاستهلاك السريع للأكسجين وحدوث تنفس ونشاط ميكروبى لاهوائى. وبالإضافة إلى ذلك فإن جزءًا من النيتروجين الزائد ينطلق فى الهواء على صورة غاز الأمونيا الذى يشكل جزءًا من تلك الروائح الكريهة، فضلاً عما يعنيه ذلك من فقد فى النيتروجين؛ ولذا .. يجب تداول المخلفات الغنية بالنيتروجين — مثل المخلفات الخضراء الغضة — بحرص شديد، مع خلطها بمخلفات أخرى غنية بالكربون. وأفضل نسبة يمكن البدء بها للكربون إلى النيتروجين هى ٣٠:١ بالوزن، حيث تكون الكائنات الدقيقة التى تقوم بتحليل المادة العضوية فى أوج نشاطها.

وتتباين نسبة الكربون إلى النيتروجين (C/N ratio) فى مختلف المواد العضوية التى يمكن أن يجمع منها الكمبوست، كما يلى:

المادة	نسبة الكربون إلى النيتروجين
مخلفات الثمار فى مصانع الأغذية	١ : ٣٥
الأوراق الجافة	١ : ٤٠–٦٠
مخلفات قصب السكر	١ : ٥٠
حطب الذرة	١ : ٦٠
القش	١ : ٤٠–١٠٠
الورق	١ : ١٧٠
نشارة الخشب	١ : ٥٠٠
الخشب	١ : ٧٠٠
قلف الأشجار	١ : ١٢٠
سبلة الماشية	١ : ٢٠
الأوراق الصغيرة النامية	١ : ٢٠
سبلة الخيل	١ : ٢٥

المادة	نسبة الكربون إلى النيتروجين
النموات الخضرية البقولية	١٥ : ١
سبلة الدواجن	١٠ : ١
مخلفات الخضر والفاكهة فى مصانع الأغذية	١٢-٣٥ : ١

تعرف المواد الغنية بالكربون باسم browns، بينما تعرف تلك الغنية بالنيتروجين (التى ينخفض فيها نسبة الكربون إلى النيتروجين) باسم greens، حتى وإن لم تكن ورقية خضراء مثل سبلة الدواجن.

يتعين تحديد نسبة الكربون إلى النيتروجين (C/N) فى مخلوط المواد الداخلة فى عمل المكمورة، علمًا بأن النباتات الخضراء تنخفض فيها تلك النسبة، بينما تزداد النسبة فى المكونات الجافة. وإذا ما كان المخلوط شديد الانخفاض فى النيتروجين فإن حرارته لا ترتفع، بينما يمكن أن ترتفع الحرارة إلى درجة قاتلة للكائنات الدقيقة إذا كان المخلوط شديد الارتفاع فى محتواه من النيتروجين، وقد تصبح بيئة الكمر لاهوائية جراء استهلاك الأكسجين فى النشاط الميكروبى؛ مما يؤدى إلى ظهور روائح كريهة. وأفضل نسبة كربون إلى نيتروجين يمكن البدء بها هى ٣٠ : ١، علمًا بأن هذه النسبة تنخفض — تدريجيًا — أثناء الكمر مع تحول جانب من الكربون إلى ثانى أكسيد كربون (مع افتراض بقاء الفقد النيتروجينى فى حدود منخفضة) إلى أن تصل النسبة إلى ١٠ : ١ فى المنتج النهائى.

وإذا عُلِمَ محتوى النيتروجين فى أحد مكونات المكمورة، ولكن لم يُعلم محتوى الكربون أو نسبة الكربون إلى النيتروجين، فإنه يمكن تقدير نسبة الكربون إذا علم محتوى المواد الصلبة القابلة للتطاير volatile solids content، وهى المكونات (غالبيتها كربون وأكسجين ونيتروجين) التى تحترق وتتبخر من العينة الجافة عند تعريضها لحرارة ٥٠٠-٦٠٠°م، حيث لا يتبقى من العينة سوى الرماد (الذى تكون غالبيته من الكالسيوم والمغنيسيوم والفوسفور والبوتاسيوم وعناصر معدنية أخرى لا تتأكسد). ونجد فى معظم المواد العضوية

أن نسبة الكربون تتراوح بين ٤٥٪، و ٦٠٪ من محتوى المواد الصلبة القابلة للتطاير، بمتوسط قدره حوالى ٥٥٪ (Cornell composting — Richard — ٢٠١٠ — الإنترنت).

ولأجل التوصل إلى نسبة الكربون إلى النيتروجين التى يُرغب فى البدء بها، تتبع الخطوات التالية:

١- يتعرف على نسبة الكربون إلى النيتروجين من الجداول التى تعرض تلك المعلومة للمواد الداخلة فى تكوين المكمورة.

٢- يتم تحديد نسبتا النيتروجين والرطوبة فى كل مادة بالتحليل المعملى.

٣- تحسب نسبة الكربون فى كل مادة من المعادلة التالية:

نسبة الكربون = نسبة النيتروجين الفعلية بالمادة × نسبة الكربون إلى النيتروجين فيها

٤- تُحسب نسبة الكربون إلى النيتروجين فى مخلوط مكونات المكمورة حسب المعادلة التالية:

نسبة الكربون إلى النيتروجين = [كمية المكون الأول بالوزن (نسبة الكربون فى المكون الأول × (١٠٠-نسبة الرطوبة فى المكون الأول)] + [كمية المكون الثانى بالوزن (نسبة الكربون فى المكون الثانى × (١٠٠- نسبة الرطوبة فى المكون الثانى)] + ... إلخ/[كمية المكون الأول بالوزن (نسبة النيتروجين فى المكون الأول × (١٠٠ — نسبة الرطوبة فى المكون الأول)] + [كمية المكون الثانى بالوزن (نسبة النيتروجين فى المكون الثانى × (١٠٠ — نسبة الرطوبة فى المكون الثانى)] + ... إلخ.

وإذا تكون المخلوط من مادتين — وليكونا مخلفات نباتية خضراء وقش — فإنه يمكن تحديد الكمية التى يتعين استعمالها من القش فى المخلوط للحصول على نسبة الكربون إلى النيتروجين المرغوب فيها لبدء الكمر إذا علمت نسب الكربون والنيتروجين والمحتوى الرطوبى للمادتين، والكمية المتوفرة من المخلفات الخضراء، وذلك حسب المعادلة التالية:

الكمية المطلوبة من القش = {الكمية المستعملة من المخلفات الخضراء × نسبة النيتروجين فى المخلفات الخضراء × [نسبة الكربون إلى النيتروجين فى المخلفات الخضراء

– (نسبة الكربون في المخلفات الخضراء/نسبة النيتروجين في المخلفات الخضراء)] × (١٠٠ – نسبة الرطوبة في المخلفات الخضراء)}/{نسبة النيتروجين في القش × [(نسبة الكربون في القش/نسبة النيتروجين في القش) – نسبة الكربون إلى النيتروجين في القش] × (١٠٠ – نسبة الرطوبة في القش)}.

وطبيعي أنه يمكن تطبيق هذه المعادلة على أي مكونين للمكمورة (Richard & Trautmann – Cornell Composting – الإنترنت – ٢٠١٠).

وفيما يلي تكرارًا – بالإنجليزية – لمعادلات التوصل إلى نسبة الكربون إلى النيتروجين المرغوب فيها في مخلوط المكمورة (R).

● المعادلة الأساسية لحساب نسبة الكربون إلى النيتروجين في مكونات المكمورة:

$$R = [Q_1(C_1 \times (100\text{-}M_1) + Q_2(C_2 \times (100\text{-}M_2) + Q_3(C_3 \times (100\text{-}M_3) + \dots] / [Q_1(N_1 \times (100\text{-}M_1) + Q_2(N_2 \times (100\text{-}M_2) + Q_3 (N_3 \times (100 - M_3) + \dots]$$

● ولتحديد كمية مادة من مادتين للوصول إلى نسبة الكربون إلى النيتروجين المرغوبة:

$$Q_3 = \{Q_1 \times N_1 X [R\text{-} (C_1/N_1)] \times (100 - M_1)\} / N_2[(C_2/N_2) - R)] \times (100 - M_2)$$

● ولتحديد كمية مادة من ثلاث مواد للوصول إلى نسبة الكربون إلى النيتروجين المرغوبة.

$$Q_3 = RQ_1N_1(100\text{-}M_1) + RQ_2N_2(100\text{-}M_2) - Q_1C(100\text{-}M_1) - Q_2C_2(100\text{-}M_2) / Q_3(100\text{-}M_3) - RN_3 (100 - M_3)$$

حيث إن:

R: نسبة الكربون إلى النيتروجين المرغوب فيها في مخلوط المكمورة.

Q: الكميات الفعلية الرطبة الطازجة من مختلف المكونات 1، 2، 3 ... إلخ.

M: النسبة المئوية للرطوبة في مختلف المكونات 1، 2، 3 ... إلخ.

C: النسبة المئوية للكربون في مختلف المكونات 1، 2، 3 ... إلخ.

N: النسبة المئوية للنيتروجين في مختلف المكونات 1، 2، 3 ... إلخ.

يجب الحرص عند تعديل نسبة الكربون إلى النيتروجين فى مكونات المكمورة بإضافة النيتروجين المعدنى؛ ذلك لأن الكائنات الدقيقة تستهلكه سريعًا، على خلاف النيتروجين المتوفر فى المخلفات العضوية والذى يكون أبطأ تيسرًا، والذى يضاف طبقًا للمعادلات التى أسلفنا بيانها. إن توفر النيتروجين من المصادر العضوية يكون تبعًا لمعدل وتكاثر الكائنات الدقيقة التى تقوم بتحليل مكونات الكمبوست، وبذا .. فإنها تكون أكثر كفاءة فى إمداد الكائنات الدقيقة بحاجتها من النيتروجين عن الأسمدة المعدنية. وتزداد مشكلة استخدام الأسمدة المعدنية فى الجو البارد، حينما ينخفض كثيرًا نشاط الكائنات الدقيقة وتقل — تبعًا لذلك — حاجتها للنيتروجين. وللتغلب على تلك المشكلة — ولو جزئيًا — يوصى بأن تكون إضافة النيتروجين المعدنى بكميات بسيطة على عدة دفعات. ويستدل من وجود رائحة الأمونيا فى الكمبوست أثناء تحلله على زيادة جرعات النيتروجين المضافة عن قدرة الكائنات الدقيقة على تثبيته فى صورة مركبات يصعب تحللها سريعًا. وعمومًا .. فإن إضافات النيتروجين المعدنى تكون فى حدود ١/٢ إلى ٢/٣ الكمية التى يستدل عليها من المعادلات، وهى التى تكون خاصة بالمصادر العضوية للنيتروجين.

المكونات الكربونية البوليمرية وأهميتها

تتكون الجدر الخلوية النباتية من ثلاثة مكونات، هى: السيليلوز، واللجنين، ونصف السيليلوز hemicellulose. ويعد اللجنين — خاصة — صعب التحلل، كما أنه يقلل التيسر البيولوجى للمكونات الخلوية الأخرى بالنسبة للكائنات الدقيقة التى تحللها.

إن السيليلوز عبارة عن سلسلة طويلة من جزيئات الجلوكوز التى ترتبط معًا برابطة β(1-4) جلوكوسيدية. ونظرًا لبساطة تركيب السيليلوز فإنه يتحلل بفعل عدد قليل من الإنزيمات. وعلى الرغم من عدم قدرة الإنسان على تحليل السيليلوز، فإن بعض الكائنات الدقيقة يمكنها ذلك. وتوفر الماشية وغيرها من المجترات بيئة مناسبة فى جهازها الهضمى لبقاء ونشاط تلك الكائنات الدقيقة التى تقوم بتحليل السيليلوز وتحويله إلى أحماض دهنية ونمو ميكروبى، حيث يمكن لمعدة الحيوان أن تهضم تلك الميكروبات ذاتها وتستفيد منها.

أما نصف السيليلوز فهو بوليمر متفرع يتكون من كل من: الزيلوز xylose، والأرابينوز arabinose، والجالاكتوز galactose، والمانّوز mannose، والجلوكوز glucose. يقوم النصف سيليلوز بلصق حزم من لُييفات السيليلوز cellulose fibrils معًا، لتكوين ميكروليُييفات microfibrils تُسهم فى ثبات الجدر الخلوية. كذلك يرتبط النصف سيليلوز مع اللجنين؛ لتكوين شبكة معقدة تضيف إلى متانة الجدر الخلوية، وتكون مقاومة للتحلل الميكروبى.

وأما اللجنين فهو بوليمر معقد من وحدات الفينيل بروبين phenyl propane يرتبط بعضه ببعض بعدة أنواع من الروابط الكيميائية. وبسبب ذلك التعقيد فإن التركيب المفصل للجنين لم يمكن التعرف عليه، فضلاً عن مقاومته الشديدة للتحلل الميكروبى. هذا .. إلاّ أن بعض الكائنات الدقيقة — وخاصة بعض الفطريات — تتوفر لديها الإنزيمات التى يمكنها تكسير جزيئات اللجنين إلى أجزاء. وتتحقق التفاعلات الأولى بواسطة إنزيمات معينة (extracellular lignin and manganese peroxidases) تفرزها فطريات العفن الأبيض. كذلك يمكن للأكيتنوميسيتات تحليل اللجنين، ولكنها لا تحلل سوى أقل من ٢٠٪ من كمية اللجنين الكلية المعرضة للتحلل. ولا يتم ذلك التحلل إلاّ فى الظروف الهوائية، أما فى الظروف اللاهوائية فإن اللجنين يقاوم التحلل لفترات طويلة جدًّا.

وتعنى صعوبة تحلل اللجنين أن زيادة نسبته فى المواد العضوية المكونة للمكمورة يُضعف من تيسر المادة العضوية للتحلل، فضلاً عن أنه قد يشكل حاجزًا فيزيائيًّا حول المادة العضوية الأخرى؛ مما يقلل من فرصة وصول الكائنات الدقيقة المحللة لها إليها (Cornell Composting-Richard — ٢٠١٠ — الإنترنت)

رطوبة المكمورة

يقل معدل التحلل كثيرًا عندما تنخفض رطوبة المكمورة عن ٣٥٪-٤٠٪، ويتوقف التحلل تمامًا عند رطوبة تقل عن ٣٠٪. وفى المقابل، فإن زيادة الرطوبة كثيرًا تعد أحد العوامل الرئيسية المسئولة عن التنفس اللاهوائى وتكوين الروائح الكريهة. ويتباين الحد

الأقصى للرطوبة الممكن باختلاف مكونات المكمورة، ويتأثر بكل من حجم جزيئات المكمورة وبنائها، وهما الصفتان المؤثرتان فى مسامية المكمورة. وفى معظم المكامير يتراوح الحد الأقصى المناسب للرطوبة بين ٥٥٪، و ٦٠٪. ونظرًا لأن عملية الكمر تعمل على جفاف مكونات المكمورة (بسبب التبخير الناشئ عن الحرارة العالية التى تُحدثها الكائنات الدقيقة أثناء نشاطها)، فإنه يفضل أن تبدأ عملية الكمر بالحد الرطوبى الأعلى.

يلزم لكى يبدأ المخلوط المستعمل فى عمل المكمورة بنسبة الرطوبة المناسبة اتباع الخطوات التالية:

١- حساب النسبة المئوية للرطوبة فى كل مكون من المكونات التى يرغب فى إدخالها فى المكمورة، علمًا بأن: نسبة الرطوبة = [(الوزن الرطب لعينة من أحد المكونات – الوزن الجاف للعينة بعد تجفيفها على ١٠٥-١١٠°م لمدة ٢٤ ساعة)/ الوزن الرطب] × ١٠٠.

٢- تحديد النسبة المئوية للرطوبة التى يُرغب فى البدء بها.

٣- حساب الكميات النسبية من المواد التى يُرغب فى إدخالها فى المكمورة، والتى تتحقق بها النسبة المئوية المرغوبة للرطوبة فى المخلوط، والتى تقدر كما يلى:

النسبة المئوية المرغوبة = [الكمية من المكون أ × نسبة محتواه الرطوبى) + (الكمية من المكون ب × نسبة محتواه الرطوبى) + (الكمية من أى مكون آخر × نسبة محتواه الرطوبى) ... إلخ]/ كمية المكون أ + كمية المكون ب + كمية أى مكون آخر ... إلخ.

ويمكن بالتعديل فى الكميات النسبية للمكونات التى يُعلم محتواها لرطوبى الوصول إلى النسبة المئوية للرطوبة المرغوب فيها فى المخلوط.

يسهل تطبيق تلك المعادلة عندما يُرغب فى تحديد كمية القش أو الحطب أو نشارة الخشب أو الأوراق الجافة أو غيرها من المكونات القليلة الرطوبة التى تلزم إضافتها لأجل خفض المحتوى الرطوبى إلى المستوى المرغوب فى خليط مع مواد عالية الرطوبة كالنموات النباتية الخضراء أو السبلة الحيوانية الطازجة. ويمكن دائمًا تحديد كميات المواد عالية

الرطوبة – كل على انفراد – قبل استخدام المعادلة فى تحديد كمية المادة قليلة الرطوبة التى يتعين خلطها معها (Cornell Composting – Trautmann & Richard – ٢٠١٠ – الإنترنت).

وفيما يلى معادلات التوصل إلى الرطوبة المرغوب فيها فى مخلوط المكمورة (G)

- المعادلة الأساسية (التى أسلفنا بيانها بالعربية) لتحديد نسبة الرطوبة فى المخلوط:

$$G = (Q_1 \times M_1) + (Q_2 \times M_2) + (Q_3 \times M_3) + \ldots / Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots$$

- ولتحديد كمية مادة من مادتين للوصول إلى الرطوبة المرغوبة:

$$Q_2 = [(Q_1 \times G) - (Q_1 \times M_1)] / M_2 - G$$

- ولتحديد كمية مادة من ثلاث مواد للوصول إلى الرطوبة المرغوبة:

$$Q_3 = [(G \times Q_1) + (G \times Q_2) - (M_1 \times Q_1) - (M_2 \times Q_2)] / M_3 - G$$

حيث إن:

G: الرطوبة المرغوب فيها فى مخلوط المكمورة.

Q: الكميات الفعلية الرطبة الطازجة من مختلف المكونات 1، 2، 3 ... إلخ.

M: النسبة المئوية للرطوبة فى مختلف المكونات 1، 2، 3 ... إلخ.

مشاكل الكمر والحلول المقترحة لها

من بين مشاكل الكمر والحلول المقترحة لها، ما يلى:

العَرَضُ	المشكلة	الحل
● وجود روائح كريهة	عدم توفر الهواء بالقدر الكافى	قلب الكومة، مع إضافة مواد عضوية جافة إن كانت رطوبة الكومة زائدة
● جفاف مركز الكومة	عدم تزويد الكومة بالقدر الكافى من الرطوبة	ترطيب الكومة وقلبها

العَرَض	المشكلة	الحل
● مركز الكومة – فقط – هو الذى يدفأ قليلاً	صغر حجم الكومة	إضافة مادة عضوية جديدة للكومة وخلطها بها
● جودة مظهر الكومة وجودة رائحتها، ولكن حرارتها تبقى غير عالية	نقص النيتروجين	إضافة مصدر عضوى للنيتروجين، مثل المواد العشبية الغضة والسبلة

الروائح الكريهة للمكمورة: أسبابها ووسائل تجنبها

قد يبدأ ظهور الروائح فى مكونات المكمورة حتى قبل تجهيز المكمورة، وذلك عندما تكون تلك المكونات قد خزنت فى ظروف لاهوائية لمدة أسبوع أو أكثر قبل نقلها للموقع. وما أن تخلط مكونات المكمورة معًا، فإن مشاكل الروائح الكريهة التى قد تظهر تكون نتيجة لنقص الأكسجين داخل المكمورة. يتولد عن الظروف اللاهوائية إنتاج مدى واسع من المركبات. وتعد المركبات الكبريتية المختزلة أشدها إسهامًا فى الروائح الكريهة، ومن أمثلتها:

- hydrogen sulfide
- dimethyl sulfide
- dimethyl disulfide
- methanethiol

وكذلك مركبات الأحماض الدهنية المتطايرة، والمركبات الأخرى المتطايرة والأمينات. وتعد الأمونيا أكثر المركبات شيوعًا، ولكنها يمكن أن تُنتج فى كل من الظروف الهوائية واللاهوائية.

ولا علاج لمشكلة الروائح – سواء أكانت من المواد الأولية الواصلة للموقع، أم من المكمورة أثناء عملية الكمر – سوى بالتقليب، وخلط المكونات الدقيقة بأخرى ذات جزيئات أكبر، وتوفير كافة الظروف التى تسمح بحرية نفاذ الهواء إلى داخل كومة المكمورة.

وتجدر الإشارة إلى أن الغازات ذات الروائح الكريهة التى تنبعث من مركز المكمورة –

حيث تسود فيها ظروف لاهوائية — قد تتعرض للتأكسد البيولوجى أثناء مرورها على الأجزاء الخارجية من المكورة — التى تسود فيها ظروف هوائية — وذلك بفعل بعض الكائنات الدقيقة المتواجدة فيها، وهى العملية التى تعرف باسم "الترشيح البيولوجى فى المكان" in situ biofilteration. هذا .. علمًا بأن الإكثار من تقليب كومة المكمورة يحد كثيرًا من كفاءة عملية الترشيح البيولوجى.

تظهر رائحة الأمونيا فى كل من الظروف الهوائية واللاهوائية، وذلك عندما يتوفر النيتروجين بتركيزات عالية. تتميز الأمونيا بأن كثافتها منخفضة (تبلغ حوالى ٦٠٪ من كثافة الهواء)؛ ولذا .. فهى تتسرب إلى أعلى سريعًا ولا تتجمع فى الأماكن المنخفضة كما يحدث بالنسبة للغازات الكبريتية.

ومن بين العوامل المؤثرة فى تطاير الأمونيا الرقم الأيدروجينى؛ فالأمونيا الغازية NH_3، وأيون الأمونيوم NH_4^+ يكونا فى حالة توازن عند pH = ٩,٠، وبارتفاع الـ pH عن ذلك يتحول أيون الأمونيا إلى أمونيا غازية تتسرب إلى الهواء الخارجى. وعلى العكس من ذلك فإنه بانخفاض الـ pH عن ٩,٠ يزداد أيون الأمونيوم على حساب الأمونيا الغازية التى ينخفض تركيزها إلى الصفر عند pH حوالى ٧,٥.

ومن أهم العوامل التى تؤدى إلى تكوين الروائح التى تنتج فى الظروف اللاهوائية، هى ما يلى:

١- الرطوبة الزائدة بالمكمورة.

٢- ضعف مسامية المكمورة.

٣- تواجد مكونات شديدة القابلية للتحلل بالمكمورة.

٤- زيادة حجم كومة المكمورة عما ينبغى.

إن جميع هذه العوامل تجعل من الصعوبة أن ينفذ الأكسجين خلال الكومة قبل استنفاذه، أو أنها تسمح بنفاذ الهواء خلال أقل المنافذ مقاومة حول أجزاء كبيرة تكون فيها الظروف لاهوائية.

هذا ويتحرك الأكسجين خلال الكومة بفعل ظاهرة الانتشار diffusion (من الأجزاء التى يزداد فيها تركيزه حتى ٢١٪ – كما فى الهواء – إلى الأجزاء التى يقل فيها تركيزه كثيرًا فى مركز الكومة)، والحمل convection مع التهوية السلبية.

إن الرطوبة الزائدة تُسرع من تكوين الظروف اللاهوائية لسببين، هما:

١– تُعد جزيئات الكمبوست محبة للرطوبة hydropillic حيث تدمص جزيئات الماء وتجذبها إليها بقوة، وتزداد سمك طبقة الماء التى تحيط بها بزيادة الرطوبة؛ بما يعنى صعوبة نفاذ الأكسجين إلى وسط جزيئات الكمبوست؛ نظرًا لبطء نفاذ الأكسجين خلال الماء مقارنة بنفاذه خلال الهواء.

٢– تمتلئ المسافات البينية (وهى المسام التى توجد بين جزيئات مكونات المكمورة) بالماء بفعل الخاصية الشعرية؛ مما يبطئ من انتشار الهواء وسرعة تكوين الظروف اللاهوائية.

خصائص الكمبوست ومكوناته

تتباين نتائج تحليل الكمبوست حسب المكونات الأولية التى تدخل فى تكوينه وظروف الكمر، كما يلى:

الخاصية	مدى التحلل
اللون	بنى داكن إلى أسود
القوام	إسفنجى
السعة التشبعية بالماء	١٣٥٪–٣٠٠٪
وزن المتر المكعب الجاف	٤٤–٦٢٥ كجم
وزن المتر المكعب الرطب	٥٧٥–٧٧٥ كجم
الرطوبة	٢٠٪–٣٠٪
الـ pH (١٠:١)	٦,٦–٨,٢
الـ EC (١٠:١)	١,٦–٧,٥ ديسى سيمنز/م

الخاصية	مدى التحلل
النيتروجين الكلى	٪١,٢–٪٢,٥
النيتروجين الأمونيومى	٢٥٠–٦٠٠ جزء فى المليون
النيتروجين النتراتى	٢١–٣١٥ جزء فى المليون
المادة العضوية	٪٣٣–٪٧٥
الكربون العضوى	٪١٩–٪٣٤
الدبال كنسبة مئوية من المادة الصلبة	٪٨,٨
الدبال كنسبة مئوية من المادة العضوية	٪٢٢,٧
الرماد	٪٢٥–٪٦٥
نسبة الكربون إلى النيتروجين	١:١٥ إلى ١:٢١
الفوسفور الكلى	٪٠,٣٥–٪١,٥
البوتاسيوم الكلى	٪٠,٦–٪٣,٤
الكالسيوم	٣٨٥ جزء فى المليون
الحديد	٦٣٠–١٩٦٠ جزء فى المليون
المنجنيز	٣٠–٣٧٠ جزء فى المليون
النحاس	٣–٢٠٠ جزء فى المليون
الزنك	١٤–٣٨٠ جزء فى المليون

هذا .. إلا أن تحليل الكمبوست وخصائصه تختلف – أيضًا – باختلاف مدة تحلل المكمورة، كما يتبين من جدول (٢–١).

الفيرميكمبوست

إن الـ vermicomposting هى العملية التى تتحلل فيها أو تكمر المادة العضوية بواسطة الديدان الأرضية، وفيها يكون الكمر أسرع كثيرًا وأسهل عما فى الكمر العادى، ويرجع ذلك إلى أن الديدان يمكنها هضم وزنها من المادة العضوية يوميًّا، وتنتج منتجًا يطلق عليه

فيوميكمبوست vermicompost يكون أغنى وأعلى فى محتواه من العناصر المغذية عما يكون عليه الحال فى الكمبوست التقليدى.

جدول (٢-١): خصائص المكمورة (٢ سبلة ماشية: ١ قش قمح بالحجم) الطازجة (التى لم تكمر بعد) والحديثة الكمر (بعمر ٧٤ يوم)، والتى وصلت إلى مرحلة الثبات (بعمر ١١١ يوم) (عن Raviv ٢٠٠٥).

الخاصية	فئة الكمبوست		
	طازج	حديث	قديم (ناضج)
عمر الكمبوست (يوم)	صفر	٧٤	١١١
المادة العضوية (٪)	٧٤,٨	٥٥,٧	٥٣,٣
النيتروجين (٪)	١,٦٧	٢,١٧	٢,٣٩
الفوسفور (٪)	٠,٥٢	٠,٧٩	٠,٧٤
البوتاسيوم (٪)	١,٣١	١,٧٩	٢,١١
الـ pH (١:١٠ مستخلص مائى)	٧,٦	٧,٥	٦,٨
التوصيل الكهربائى (ديسى سيمنز/م)	٤,٠٢	٥,٧٦	٧,٧٤
النيتروجين النتراتى (mmol/l)	٠,٠١	٠,٣	١٦٤,٤
النيتروجين الأمونيومى (mmol/l)	٠,٩	١٤,٩	١٩,٥
النيتروجين العضوى الذائب(جزء فى المليون)	١٤٢,٩	٩٨,٧	٨١,٥
نسبة الكربون إلى النيتروجين	١:٢٦	١:١٥	١:١٣
الاحتياجات البيولوجية للأكسجين (جم لكل كجم/يوم)	١٦,١	٩,٣	٤,٧

يعرف الفيرميكمبوست — كذلك — باسم مخرجات الديدان worm castings، ودبال الديدان worm humus، وسبلة الديدان worm manure، وجميعها تعنى المنتج النهائى لتحلل المادة العضوية بواسطة بعض أنواع الديدان الأرضية.

وأكثر أنواع الديدان الأرضية استعمالاً لهذا الغرض، هى:

- Red wigglers (*Eisenia foetida* or *E. andrei*).

- European nightcrawlers (*E. hortensis*)
- Blueworms (*Perionyx excavatus*).

والنوع الأخير هو الأكثر شيوعًا فى المناطق الاستوائية. وتتواجد جميع الأنواع — حسب توزيعها الجغرافى — فى الأراضى الخصبة الغنية بالمادة العضوية، حيث تعيش على تلك المادة العضوية.

يُنتج الفيرميكمبوست تجاريًا فى كندا وإيطاليا واليابان والفلبين والولايات المتحدة، حيث تتوفر فيها المعامل التى تقوم بتربية الديدان، كما يمكن تجميع الديدان اللازمة من الأراضى الخصبة وأكوام السبلة.

وقد استخدم المستخلص المائى للفيرميكمبوست فى مكافحة بعض الآفات. حُضِّر المستخلص المائى بخلط الكمبوست مع الماء بنسبة ١ : ٥ بالحجم، فكان المستخلص ٢٠٪ محلول مائى. ودرس بعد ذلك تأثير سقى التربة بتخفيفات ٢٠٪، و ١٠٪، و ٥٪ من مستخلص الفيرميكومبوست عند إنبات البذور، ثم أسبوعيًا بعد ذلك — على إصابة الطماطم والخيار بكل من منّ الخوخ الأخضر *Myzus persicae*، وحنفساء الموالح المغبرة *Planococcus citri*، والعنكبوت الأحمر *Tetranychus urticae*. ولقد وجد أن جميع معاملات المستخلص المائى للفيرميكومبوست ثبطت جوهريًا الإصابة بالآفات الثلاث، وثبطت معدل تكاثرها، كما أدت — عند استعمال أعلى تركيز — إلى موت الآفات المتواجدة بالفعل على النباتات بعد ١٤ يومًا من المعاملة. وبصورة عامة .. تناسب معدل التثبيط طرديًا مع تركيز المستخلص المائى المستعمل. وربما حدث التثبيط بسبب المركبات الفينولية الذائبة الكبيرة التى تتواجد فى الكمبوست، والتى يعتقد بامتصاص النباتات لها، وهى مواد تعرف بكونها غير جذابة للآفات، فضلاً عن تأثيرها السلبى على معدل تكاثر الآفات وبقائها (Edwards وآخرون ٢٠١٠).

كما وجد أن الفيرميكمبوست يمكن استعماله كحامل لبكتيريا الأسمدة الحيوية *Azotobacter chrococcum*، و *Bacillus megaterium*، و *Rhizobium leguminosarum*،

حيث احتفظت فيه بحيويتها لمدة وصلت إلى عشرة شهور، الأمر الذى لم يحدث عندما استعمل اللجنيت lignite كمادة حاملة (Sekar & Karmegam ٢٠١٠).