

الفصل الثاني

تجهيز الكمبوست

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

وقد قدّم Fitzpatrick وآخرون (٢٠٠٥) عرضاً تاريخياً لتطور تقنيات تجهيز الكمبوست خلال القرن العشرين.

يبدأ تجهيز الكمبوست بتحضير ما يعرف باسم "المكمورة".

والمكمورة عبارة عن كومة تحوى مخلوطاً من المواد العضوية ؛ مثل بقايا نباتات المزرعة والمخلفات الحيوانية ؛ حيث يخلط بالتربة مع ترطيبهما إلى أن يتم تحليلهما. وتسمى هذه العملية باسم "الكمّر" 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 شرطاً لعمل المكمورة. وتخصص مساحة ٦م^٢ لكل طن من المادة العضوية المراد خلطها فى المكمورة؛ على أن يكون مكان المكمورة قريباً من مصدر للمياه العذبة، لاحتياجها إلى كميات كبيرة من الماء طوال فترة الكمّر لتشجيع تحليل المادة العضوية.

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

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

وتنفيذ إضافة الكمبوست إلى التربة فيها يلي:

- ١- زيادة قدرة الأراضي الرملية على الاحتفاظ بالرطوبة.
 - ٢- تحسين الصرف والتهوية في الأراضي الثقيلة.
 - ٣- زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالعناصر الضرورية للنبات.
 - ٤- زيادة نشاط ديدان التربة والكائنات الدقيقة المفيدة للنمو النباتي.
 - 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 الكافي إلا إذا أضيف الكمبوست بكميات كبيرة.
- هذا .. ويتراوح pH معظم أنواع الكمبوست بين ٧، و ٨، ويجب ألا تسبب تلك القلوية القليلة للكمبوست أية مشاكل عند خلطه بالتربة (McLaurin & Wade ٢٠٠٨).

مجمل عمليات تحضير الكامير وتجهيز الكمبوست

لعمل الكامير الكبيرة - بهدف تحضير سماد الكمبوست على نطاق واسع - يوصى Nelson (١٩٨٥) بمراعاة ما يلي:

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

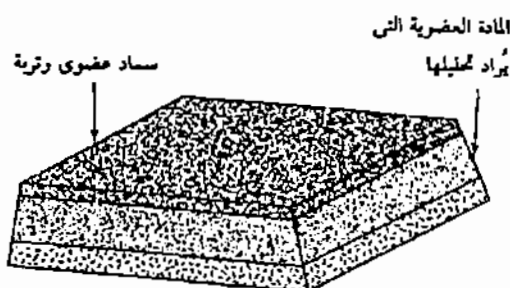
تتكون المواد العضوية التي يجب وضعها في المكمورة من مجموعتين؛ كما يلي:

- ١- مواد كربونية تكون فقيرة في محتواها من النيتروجين، وغنية نسبياً في محتواها من الكربون، مثل: القش، وبرى الخشب، ونشارة الخشب.

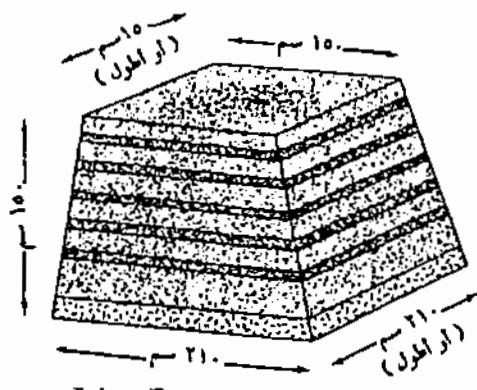
الفصل الثاني: تجهيز الكمبوست

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

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



٢ - يوضع على طبقة الأغصان السلي ٣٠ سم من مخلوط التفايات العضوية ، ثم ٥ سم من السماد العضوي ، ثم ٢.٥ سم من التربة



شكل (١-٢): طريقة عمل الكمبورة (يراجع المتن للتفصيل).

يوضع أسفل المكورة - عادة - طبقة من الأغصان النباتية (الناتجة من عمليات التقليم) سُمكها ١٥ سم، لتوفير التهوية اللازمة للتحلل الجيد. يلي ذلك إضافة طبقة من مخلوط المواد الكربونية والنيتروجينية (بنسبة ٣ : ١) بسُمك ٣٠ سم، تليها طبقة من مادة نيتروجينية - مثل السماد الحيواني - 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 ضرورياً 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 زائداً 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 المكورة جيداً 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 تحليلها 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 التي تلزم لعملية التحلل في كل من السماد العضوي والتربة المضافين إلى المخلوط. وتحصل الكائنات الدقيقة على النيتروجين اللازم لها من المواد النيتروجينية الموجودة في الخلطة. وإذا لم تتوفر المواد النيتروجينية بكميات كافية في الخلطة كان من الضروري إضافة بعض الأسمدة الآزوتية إليها، وإلا طالبت فترة الكمر اللازمة.

يكون السماد العضوي الناتج من المكمورة فقيراً في محتواه من العناصر الغذائية؛ حيث يحتوى الكمبوست الجاف - عادة - على ١,٥-٣,٥٪ نيتروجيناً، و ١,٥-١,٠٪ فوسفوراً، 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 التي تحتوى على الكربون إلى النيتروجين بنسب معينة هي المفضلة، كما سيأتى بيانه لاحقاً. وعموماً.. فإن جميع المخلفات العضوية تصلح لعمل الكمبوست باستثناء الأخشاب ومخلفات التقليم الخشبية. ويفضل دائماً فرم الفروع الشجرية التي يزيد قطرها عن ٦ سم. وتضاف للكمبوست قبل عملية الكمر كمية قليلة من التربة. كذلك يمكن إضافة نشارة الخشب إذا ما توفر مصدر إضافي للنيتروجين. ويلزم - تقريباً - كيلوجرام واحد من النيتروجين N (مثلاً: ٣ كجم نترات نشادر) لتحلل ١٠٠ كجم من نشارة الخشب. ويجب عدم استعمال المخلفات النباتية التي سبقت معاملتها بمبيدات الحشائش إلا بنسب بسيطة. ويجب - كذلك - عدم استعمال أى مخلفات عضوية يمكن أن تكون مصدراً لمشاكل صحية، مثل مخلفات الإنسان. وما لم ترتفع الحرارة في جميع أجزاء كومة الكمبوست إلى ٦٥-٧٥°م بالتقليب الجيد - وهى الحرارة التى تقتل مسببات 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 التي تكون محملة بالبذور؛ ذلك أنه على الرغم من موت

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

ولا يجوز أن يُستخدم ضمن مكونات المضمورة أى من المواد التالية،

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

٢- النباتات المصابة بالأمراض:

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

٣- مخلفات الإنسان، نظراً 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 ببيئة التحلل بدرجة كبيرة؛ نظراً لأن الدهون يمكن أن تشكل حاجزاً أمام الأكسجين الذى تحتاجه الكائنات الدقيقة التى تقوم بعملية التحلل.

٥- الحشائش الخبيثة:

لا تجوز إضافة الحشائش الخبيثة إلى مكونات الكمورة إلا إذا كانت ميتة تماماً، وأفضل وسيلة لتحقيق ذلك هى تركها - بعد تقطيعها - 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 في المخلفات العضوية المتحللة. ونظرًا لأن تلك الكائنات تحتاج إلى قدر معين من النيتروجين لأيضها ونموها، فإن نقص النيتروجين يبطئ 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.

تنتج الأحماض العضوية خلال المراحل الأولى لعملية التحلل، مما يؤدي إلى خفض pH المكمورة، وتلك ظروف تناسب نشاط معظم الكائنات الدقيقة المحللة للمادة العضوية. ويؤدي رفع الـ pH بإضافة الجير إلى تحول النيتروجين الأمونيومي إلى غاز الأمونيا؛ ليفقد في الهواء. وعلى الرغم من أن الجير قد يُسرّع عملية التحلل، فإن الفاقدة في النيتروجين يكون كبيراً، ولذا .. لا يوصى بإضافة الجير.

ومن بين المواد التي يمكن إضافتها إلى كومة الكمبوست لتحسين قيمته المغذية للنبات، ما يلي:

المادة	المعدل (كجم/م ³)	التأثير
الكبريت الزراعي	٣-٥	تحسين الـ pH - زيادة تيسر العناصر
صخر الفوسفات	٧-١٠	زيادة تيسر الفوسفور
سلفات بوتاسيوم طبيعي	٧-١٠	زيادة عنصر البوتاسيوم
سلفات مغنيسيوم طبيعي	١-٢	زيادة عنصر المغنيسيوم

تضاف هذه الصخور أثناء تجهيز الكمبوست على ألا 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

أصول الزراعة العضوية: ما لها وما عليها

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).

الزيادة (%) عند إضافة الصخر		
المنصر	فى بداية الكمر	بعد ٦ أسابيع من بداية الكمر
الفوسفور	٢٧,٤	٢١,٨
البوتاسيوم	٣٨,٥	٣٢,١
الكالسيوم	٧٢١-٥٩١	٥٨٦-٥٢٩
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 جداً لأنها تتحلل سريعاً. ويعكس ذلك .. فإن الأنسجة الصلبة والخشبية يفضل أن تكون صغيرة الحجم لكى تتحلل سريعاً، ويتعين طحن المواد الخشبية.

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

٣- يكون التحلل جيداً عندما تكون نسبة الرطوبة فى مكونات المكمورة ٥٠٪، علماً بأن التحلل يكون بطيئاً أو لا هوائياً عندما تكون المكمورة مشبعة بالرطوبة، ويكون بطيئاً أو يتوقف كلية عندما تكون المكمورة جافة.

٤- يحافظ الحجم المناسب للمكمورة على الحرارة التي تنتج من عملية التحلل، وهي التي تسرع التحلل وتقضى على مسببات الأمراض وبذور الحشائش التي قد توجد في المكمورة.

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

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

أ- توضع المادة العضوية ذات الأجزاء الكبيرة في قاع الكومة؛ لأن ذلك يسرع من تحللها، كما أن وجودها بالقاع يسمح بحركة الهواء حول قاعدة الكومة نحو داخلها حيث يتحرك إلى أعلى، مما يؤدي 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.

ج- تضاف سلة الماشية في طبقة بسمك حوالى ٢,٥ سم.

د- تضاف التربة فوق السلة في طبقة أخرى بسمك حوالى ٢,٥ سم أيضاً.

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

تتكرر إضافة جميع الطبقات التي 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 التي تؤدي إلى سرعة جفافها، وهو أمر غير مرغوب فيه. كما أن حماية الكومة من الرياح، مع تعرضها لأشعة الشمس يسرعان من ارتفاع حرارتها، وذلك أمر مرغوب فيه. ولكن يتعين كلما ازداد التعرض للشمس أو للرياح - زيادة معدلات رش الكومة بالماء.

٧- ينبغى قلب الكمورة لى 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 يومياً 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.

وعموماً .. يتعين قلب كومة الكمبوست مرة شهرياً (أو كل ثلاثة أسابيع فى الجو الحار)، لأجل إسراع التحلل، ومنع تكون الروائح الكريهة، ولتعريض البذور ویرقات الحشرات ومسببات الأمراض للحرارة الميته لها داخل الكومة. ويمكن إجراء عمليتي 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 - دائماً - الإبقاء على الكومة رطبة، ولكن دون أن تكون مشبعة بالماء. وقد تتكون الروائح الكريهة جراء وجود كميات كبيرة من المواد العضوية التى يرتفع - كثيراً - 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، وحينئذ يلاحظ أن الكومة قد بدأت تستقر وترسخ فى مكانها، ويعد ذلك علامة جيدة على نشاط عملية الكم.

وإذ 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.
- ج- غياب الأكسجين.
- د- زيادة الرطوبة بشدة.
- هـ- عدم توفر الرطوبة بالقدر الكافى.

الفصل الثاني: تجهيز الكمبوست

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

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

٩- إذا جُهِزت الكومة بشكل جيد فإن حرارتها ترتفع كثيراً 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 جزءاً 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 المكورة أقل من ٣ : ١ فإن المادة العضوية تتحلل سريعاً، ولكن مع حدوث فقد فى جزء من النيتروجين على صورة أمونيا، فإذا ظهرت رائحة الأمونيا حول المكورة فإن ذلك يعنى حدوث فقد فى النيتروجين. ويمكن وقف هذا الفقد بإضافة مادة غنية بالكربون إلى المكورة مثل نشارة الخشب. وبخلاف إضافة الماء للكومة لكى لا تجف، فإن نشارة الخشب هى المادة الوحيدة التى قد تضاف للمكورة - عند الضرورة - أثناء عملية الكمر.

١١- إن من أهم مظاهر التحلل السريع للمكورة 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 المكورة، وتغير لون المادة العضوية إلى البنى الداكن.

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

احتمال بقاء بعض أجزاء الكمورة كبيرة الحجم إن لم تكم المادة العضوية قد فرمت جيداً قبل بدء عملية الكمر. ويمكن غرلة تلك الأجزاء باستعمال غرابيل سعة ثقبها ٢,٥ سم، حيث يمكن إضافتها إلى كمورة جديدة لكي يكتمل تحليلها.

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

ويتعين التأكد من أن عملية الكمر أصبحت مكتملة قبل إضافة الكمبوست إلى التربة، لأن عدم اكتمالها يعنى ارتفاع نسبة الكربون في 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 الكمورة

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

(التهوية)

يعد الأكسجين ضرورياً للميكروبات لكي 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 الكمورة مرة أو مرتان شهرياً الأكسجين الضرورى. ويسرع كثيراً من عملية التحلل، ذلك لأن الكومة

الفصل الثانى: تجهيز الكمبوست

التي لا تُقلب ويعاد خلطها قد يحتاج تحليلها إلى ٣-٤ أضعاف الوقت الذى يلزم لتحلل الكموات التي تُقلب بانتظام. وبغيد 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 الميكروبي، فالمكمورة الجافة لا تتحلل بكفاءة. وتشجع الرطوبة المناسبة نمو وتكاثر الكائنات الدقيقة التى تحلل المادة العضوية إلى دبال. وتلزم إضافة الماء للكومة على فترات - رثاً - 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 تقريباً.

حجم أجزاء المادة العضوية

يؤدى فرم المادة العضوية إلى أجزاء صغيرة إلى تقليل الفترة التى تلزم لتحللها كثيراً، ذلك لأن الفترة التى تلزم للتحلل تتناسب طردياً 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 طردياً 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؛ علماً بأن المكمورة المخلوطة جيداً والتي 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 - تدريجياً - إلى أن تتساوى مع حرارة الهواء المحيط بها.

النشاط الميكروبي 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 دوراً هاماً فى عملية الكمر أثناء الارتفاع الشديد لدرجة الحرارة.

وتتباين ألوان المائلات الذهبية 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 - عديداً 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 قريباً منه، حيث يتوفر النيتروجين، وتتواجد الكائنات الدقيقة التي تقوم بعملية التحلل. ولذا .. فإن الجزيئات الصغيرة التي 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 مسبقاً، إلا أن الحجم المناسب للجزيئات يتراوح بين ١,٥ سم في حالة التهوية بالدفع الجبرى للهواء خلال المكمورة إلى ٧,٥ سم فى حالة التهوية السلبية العادية مع التقليب.

ونظراً لأن الأكسجين لا يمكنه الوصول بسهولة إلى مركز الجزيئات التي يزيد قطرها عن السنتيمتر، فإن التحلل عند المركز يكون غالباً لاهوائياً وبطيئاً. هذا .. إلا 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 معاً، فجميعها عوامل تؤثر فى مدى اندماج الجزيئات معاً، ومدى ملئها للفراغات بينها، ومن ثم تؤثر فى مدى نفاذية ومسامية المكمورة. وحتى مع توفر مسافات بينية غير مملوءة 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، وكثيراً ما تكون مغلقة، مما يزيد من مقاومة نفاذ الهواء خلالها.

نسبة الكربون إلى النيتروجين فى مكونات المكمورة

عندما ينخفض كثيراً مستوى النيتروجين فى مكونات المكمورة فإن الكائنات الدقيقة لا يمكنها النمو والتكاثر بمعدلات عالية، مما يؤدي إلى ببطء التحلل. وفى

المقابل فإن زيادة النيتروجين كثيراً يسمح بالتكاثر الميكروبي السريع، ومن ثم سرعة التحلل، إلا أن ذلك قد يترتب عليه ظهور روائح كريهة نتيجة الاستهلاك السريع للأكسجين وحدوث تنفس ونشاط ميكروبي لاهوائي. وبالإضافة إلى ذلك فإن جزءاً من النيتروجين الزائد ينطلق في الهواء على صورة غاز الأمونيا الذي يشكل جزءاً من تلك الروائح الكريهة، فضلاً عما يعنيه ذلك من فقد في 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 هي ١:٣٠ بالوزن، حيث تكون الكائنات الدقيقة التي تقوم بتحليل المادة العضوية في أوج نشاطها.

وتتباين نسبة الكربون إلى النيتروجين (C/N ratio) في مختلف المواد العضوية التي يمكن أن يجمع منها السمبوسك، كما يلي:

المادة	نسبة الكربون إلى النيتروجين
مخلفات الثمار في ممانع الأغذية	١ : ٣٥
الأوراق الجافة	١ : ٦٠-٤٠
مخلفات قصب السكر	١ : ٥٠
حطب الذرة	١ : ٦٠
القش	١ : ١٠٠-٤٠
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	١ : ١٥
سبلة الدواجن	١ : ١٠
مخلفات الخضر والفاكهة فى مصانع الأغذية	١٢-٣٥ : ١

تعرف المواد الغنية بالكربون باسم browns، بينما تعرف تلك الغنية بالنيتروجين (التي 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 الكمورة، علماً 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 الميكروبي، مما يؤدي إلى ظهور روائح كريهة. وأفضل نسبة كربون إلى نيتروجين يمكن البدء بها هى ٣٠ : ١، علماً بأن هذه النسبة تنخفض - تدريجياً - 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 الكمورة، ولكن لم يُعلم محتوى الكربون أو نسبة الكربون إلى النيتروجين، فإنه يمكن تقدير نسبة الكربون إذا علم محتوى المواد الصلبة القابلة للتطاير للتلطير volatile solids content، وهى المكونات (غالبيتها كربون وأكسجين ونيتروجين) التى تحترق وتتبخّر 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 يُرغِبُ فى البدء بها،
تتبع الخطوات التالية،

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

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

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 الكمورة 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 / كـمـيـة
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]

الفصل الثاني: تجهيز الكمبوست

— (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 تكراراً - بالإنجليزية - لمعادلات التوصل إلى نسبة الكربون إلى النيتروجين المرغوب فيها في مخلوط المكمورة (R).

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

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

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

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

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

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

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 في مكونات الكمبوست بإضافة النيتروجين المعدني؛ ذلك لأن الكائنات الدقيقة تستهلكه سريعاً، على خلاف النيتروجين المتوفر في المخلفات العضوية والذي يكون أبطأ تيسراً، والذي يضاف طبقاً للمعادلات التي أسلفنا بيانها. إن توفر النيتروجين من المصادر العضوية يكون تبعاً لمعدل وتكاثر الكائنات الدقيقة التي تقوم بتحليل مكونات الكمبوست، وبذا .. فإنها تكون أكثر كفاءة في إمداد الكائنات الدقيقة بحاجتها من النيتروجين عن الأسمدة المعدنية. وتزداد مشكلة استخدام الأسمدة المعدنية في الجو البارد، حينما ينخفض كثيراً نشاط الكائنات الدقيقة وتقل - تبعاً لذلك - حاجتها للنيتروجين. وللتغلب على تلك المشكلة - ولو جزئياً - يوصى بأن تكون إضافة النيتروجين المعدني بكميات بسيطة على عدة دفعات. ويستدل من وجود رائحة الأمونيا في الكمبوست أثناء تحلله على زيادة جرعات النيتروجين المضافة عن قدرة الكائنات الدقيقة على تثبيته في صورة مركبات يصعب تحليلها سريعاً. وعموماً .. فإن إضافات النيتروجين المعدني تكون في حدود $\frac{1}{4}$ إلى $\frac{1}{3}$ الكمية التي يستدل عليها من المعادلات، وهي التي تكون خاصة بالمصادر العضوية للنيتروجين.

المكونات الكربونية البوليمرية وأهميتها

تتكون الجدر الخلوية النباتية من ثلاثة مكونات، هي: السيليلوز، واللجنين، ونصف السيليلوز hemicellulose. ويعد اللجنين - خاصة - صعب التحلل، كما أنه يقلل التيسر البيولوجي للمكونات الخلوية الأخرى بالنسبة للكائنات الدقيقة التي تحللها.

إن السيليلوز عبارة عن سلسلة طويلة من جزيئات الجلوكوز التي ترتبط معاً برابطة $\beta(1-4)$ جلوكوسيدية. ونظراً 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 في جهازها الهضمي لبقاء ونشاط تلك الكائنات الدقيقة التي تقوم بتحليل السيليلوز وتحويله إلى أحماض دهنية ونمو ميكروبي، 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، والمانوز mannose، والجلوكوز glucose. يقوم النصف سيليلوز بلصق حزم من أليافات السيليلوز cellulose fibrils معاً، لتكوين ميكروأليافات microfibrils تُسهم في ثبات الجدر الخلوية. كذلك يرتبط النصف سيليلوز مع اللجنين؛ لتكوين شبكة معقدة تضيف إلى متانة الجدر الخلوية، وتكون مقاومة للتحلل الميكروبي.

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 الميكروبي. هذا .. إلا أن بعض الكائنات الدقيقة - وخاصة بعض الفطريات - تتوفر لديها الإنزيمات التي يمكنها تكسير جزيئات اللجنين إلى أجزاء. وتحقق التفاعلات الأولى بواسطة إنزيمات معينة (extracellular lignin and manganese peroxidases) تفرزها فطريات العفن الأبيض. كذلك يمكن للأكتينوميسيتات تحليل اللجنين، ولكنها لا تحلل سوى أقل من ٢٠٪ من كمية اللجنين الكلية المعرضة للتحلل. ولا يتم ذلك التحلل إلا في الظروف الهوائية، أما في الظروف اللاهوائية فإن اللجنين يقاوم التحلل لفترات طويلة جداً.

وتعني صعوبة تحليل اللجنين أن زيادة نسبته في المواد العضوية المكونة للمكمورة يُضعف من تيسر المادة العضوية للتحلل، فضلاً عن أنه قد يشكل حاجزاً فيزيائياً حول المادة العضوية الأخرى؛ مما يقلل من فرصة وصول الكائنات الدقيقة المحللة لها إليها (Cornell Composting-Richard - ٢٠١٠ - الإنترنت)

رطوبة المكمورة

يقل معدل التحلل كثيراً عندما تنخفض رطوبة المكمورة عن ٣٥٪-٤٠٪، ويتوقف التحلل تماماً عند رطوبة تقل عن ٣٠٪. وفي المقابل، فإن زيادة الرطوبة كثيراً تعد أحد العوامل الرئيسية المسؤولة عن التنفس اللاهوائي وتكوين الروائح الكريهة. ويتباين الحد

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

إلا أنه يجب أن يلاحظ المستعمل في عمل الكمورة بنسبة الرطوبة المناسبة اتباع الخطوات التالية:

- ١- حساب النسبة المئوية للرطوبة في كل مكون من المكونات التي يرغب في إدخالها في الكمورة، 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 التي يُرغب في البدء بها.
 - ٣- حساب الكميات النسبية من المواد التي يُرغب في إدخالها في الكمورة، والتي تتحقق بها النسبة المئوية المرغوبة للرطوبة في المخلوط، والتي تقدر كما يلي:
- النسبة المئوية المرغوبة = [الكمية من المكون أ × نسبة محتواه الرطوبي] + (الكمية من المكون ب × نسبة محتواه الرطوبي) + (الكمية من أى مكون آخر × نسبة محتواه الرطوبي) ... إلخ / [كمية المكون أ + كمية المكون ب + كمية أى مكون آخر ... إلخ.
- ويمكن بالتعديل في الكميات النسبية للمكونات التي يُعلم محتواها لرطوبي الوصول إلى النسبة المئوية للرطوبة المرغوب فيها في المخلوط.

يسهل تطبيق تلك المعادلة عندما يُرغب في تحديد كمية القش أو الحطب أو نشارة الخشب أو الأوراق الجافة أو غيرها من المكونات القليلة الرطوبة التي تلزم إضافتها لأجل خفض المحتوى الرطوبي إلى المستوى المرغوب في 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 في تحديد كمية المادة قليلة الرطوبة التي يتعين خلطها معها (Cornell Composting - Trautmann & Richard - ٢٠١٠ - الإنترنت).

وفيما يلي معادلات التوصل إلى الرطوبة المرغوبة فيها منى مخلوط المكمورة (G)

● المعادلة الأساسية (التي أسلفنا بيانها بالعربية) لتحديد نسبة الرطوبة في المخلوط:

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

● 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 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.

مشاكل الكمر والحلول المقترحة لها

من بين مشاكل الكمر والحلول المقترحة لها، ما يلي:

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

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

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 معاً، 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 إسهاماً فى الروائح الكريهة، ومن أمثلتها:

- hydrogen sulfide
- dimethyl disulfide
- dimethyl sulfide
- methanethiol

وكذلك مركبات الأحماض الدهنية المتطايرة، والمركبات الأخرى المتطايرة والأمينات. وتعد الأمونيا أكثر المركبات شيوعاً، 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 الكومة -

حيث تسود فيها ظروف لاهوائية — قد تتعرض للتأكسد البيولوجي أثناء مرورها على الأجزاء الخارجية من الكمورة — التي تسود فيها ظروف هوائية — وذلك بفعل بعض الكائنات الدقيقة المتواجدة فيها، وهي العملية التي تعرف باسم "الترشيح البيولوجي في المكان" *in situ biofiltration*. هذا .. علمًا بأن الإكثار من تقليب كومة الكمورة يحد كثيرًا من كفاءة عملية الترشيح البيولوجي.

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

ومن بين العوامل المؤثرة في تطاير الأمونيا الرقم الأيروجيني؛ فالأمونيا الغازية NH_3 ، وأيون الأمونيوم NH_4^+ يكونا في حالة توازن عند $\text{pH} = 9,0$ ، وبارتفاع الـ pH عن ذلك يتحول أيون الأمونيا إلى أمونيا غازية تتسرب إلى الهواء الخارجي. وعلى العكس من ذلك فإنه بانخفاض الـ pH عن ٩,٠ يزداد أيون الأمونيوم على حساب الأمونيا الغازية التي ينخفض تركيزها إلى الصفر عند pH حوالي ٧,٥.

ومن أهم العوامل التي تؤدي إلى تكوين الروائح التي تنتج في الظروف اللاهوائية، هي ما يلي،

- ١- الرطوبة الزائدة بالكمورة.
- ٢- ضعف مسامية الكمورة.
- ٣- تواجد مكونات شديدة القابلية للتحلل بالكمورة.
- ٤- زيادة حجم كومة الكمورة عما ينبغي.

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

هذا ويتحرك الأكسجين خلال الكومة بفعل ظاهرة الانتشار diffusion (من الأجزاء التي يزداد فيها تركيزه حتى ٢١٪ - كما في الهواء - إلى الأجزاء التي يقل فيها تركيزه كثيراً في مركز الكومة)، والحمل convection مع التهوية السلبية.

- إن الرطوبة الزائدة تُخرج من تخمين الظروف اللاهوائية لسببين، هما،
- ١- تُعد جزيئات الكمبوست محبة للرطوبة hydropillic حيث تدمص جزيئات الماء وتجذبها إليها بقوة، وتزداد سمك طبقة الماء التي تحيط بها بزيادة الرطوبة، بما يعنى صعوبة نفاذ الأكسجين إلى وسط جزيئات الكمبوست؛ نظراً لبطء نفاذ الأكسجين خلال الماء مقارنة بنفاذه خلال الهواء.
 - ٢- تمتلئ المسافات البينية (وهي المسام التي توجد بين جزيئات مكونات المكمورة) بالماء بفعل الخاصية الشعرية؛ مما يبطن من انتشار الهواء وسرعة تكوين الظروف اللاهوائية.

خصائص الكمبوست ومكوناته

تتباين نتائج تحليل الكمبوست حسب المكونات الأولية التي تدخل في تكوينه وظروف الكمر، كما يلي:

الخاصية	مدى التخلل
اللون	بنى داكن إلى أسود
القوام	إسفنجي
السعة التشفعية 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 ديسي سيمنز/م

الفصل الثاني: تجهيز الكمبوست

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	١٠:١٥ إلى ٢١:١
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 تحليل المكورة، 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 يوميًا، وتنتج منتجًا يطلق عليه

أصول الزراعة العضوية: ما لها وما عليها

فيوميكمبوست vermicompost يكون أغنى وأعلى في محتواه من العناصر الغذائية عما يكون عليه الحال في الكميوست التقليدي.

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

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

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.

وأخبر أنواع الديدان الأرضية استعمالاً لمصدا الغرض، هي:

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

الفصل الثاني: تجهيز الكمبوست

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

والنوع الأخير هو الأكثر شيوعاً في المناطق الاستوائية. وتتواجد جميع الأنواع - حسب توزيعها الجغرافي - في الأراضي الخصبة الغنية بالمادة العضوية، حيث تعيش على تلك المادة العضوية.

يُنتج الفيرميكمبوست تجارياً في كندا وإيطاليا واليابان والفلبين والولايات المتحدة، حيث تتوفر فيها المعامل التي تقوم بتربية الديدان، كما يمكن تجميع الديدان اللازمة من الأراضي الخضبة وأكوام السبلة.

وقد استخدم المستخلص المائي للفيرميكمبوست في مكافحة بعض الآفات. حُضِر المستخلص المائي بخلط الكمبوست مع الماء بنسبة ٥:١ بالحجم، فكان المستخلص ٢٠٪ محلول مائي. ودرس بعد ذلك تأثير سقى التربة بتخفيفات ٢٠٪، و ١٠٪، و ٥٪ من مستخلص الفيرميكمبوست عند إنبات البذور، ثم أسبوعياً بعد ذلك - على إصابة الطماطم والخيار بكل من من الخوخ الأخضر *Myzus persicae*، وخنفساء الموالح المغيرة *Planococcus citri*، والعنكبوت الأحمر *Tetranychus urticae*. ولقد وجد أن جميع معاملات المستخلص المائي للفيرميكمبوست ثبتت جوهرياً الإصابة بالآفات الثلاث، وثبتت معدل تكاثرها، كما أدت - عند استعمال أعلى تركيز - إلى موت الآفات المتواجدة بالفعل على النباتات بعد ١٤ يوماً من المعاملة. وبصورة عامة .. تناسب معدل التثبيط طردياً مع تركيز المستخلص المائي المستعمل. وربما حدث التثبيط بسبب المركبات الفينولية الذائبة الكبيرة التي تتواجد في الكمبوست، والتي يعتقد بامتصاص النباتات لها، وهي مواد تعرف بكونها غير جذابة للآفات، فضلاً عن تأثيرها السلبي على معدل تكاثر الآفات وبقائها (Edwards وآخرون ٢٠١٠).

كما وجد أن الفيرميكمبوست يمكن استعماله كحامل ليكتيريا الأسمدة الحيوية *Rhizobium leguminosarum* و *Bacillus megaterium* و *Azotobacter chroococcum*

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