Acta Agrophysica, 2002, 70, 117-126

WPŁYW UWILGOTNIENIA KOMPOSTOWANYCH ODPADÓW MIEJSKICH NA TRANSFORMACJĘ MATERII ORGANICZNEJ I SKŁAD ELEMENTARNY KWASÓW HUMINOWYCH*

J. Drozd, M. Licznar

Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego, Akademia Rolnicza
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław
e-mail: drozd@ozi.ar.wroc.pl

Streszczenie. Celem pracy było poznanie wpływu uwilgotnienia odpadów miejskich na transformację materii organicznej i skład elementarny kwasów huminowych w różnych fazach dojrzałości kompostu. Kompostowanie prowadzono przez okres 188 dni w następujących warunkach: wariant A – pryzma na folii przy 50% wilgotności wagowej (w/w) w dniu napowietrzania z wahaniami 40-52,4%, wariant B – pojemnik ażurowy, pojemność około 1000 l przy 50% w/w w dniu napowietrzania z wahaniami 46,2-53,4%, wariant C – pojemnik ażurowy, pojemność 1000 l, wilgotność kompostowanej masy 60% w/w z wahaniami 46,9-60%. Badania wykazały, że wyższa wilgotność kompostowanych odpadów miejskich (wariant C) ograniczała mineralizację i humifikację materii organicznej i nie zapewniała bezpieczeństwa sanitarnego kompostów. Transformacja materii organicznej w tych warunkach wilgotnościowych prowadziła do powstawania swoistych związków próchnicznych o przewadze kwasów huminowych nad fulwowymi. Drobiny kwasów huminowych wykazywały jednak niski stopień aromatyzacji oraz charakteryzowały się znaczną ilością słabo utlenialnych grup peryferyjnych. Szybkiej przemianie surowego kompostu z odpadów miejskich w dojrzały produkt, najbardziej sprzyjały warunki kompostowania na pryzmie przy uwilgotnieniu 50% w/w zapewniające lepszy dostęp tlenu.

Słowa kluczowe: odpady miejskie, uwilgotnienie, kompostowanie, materia organiczna.

---

* Praca finansowana ze środków KBN nr projektu 6-PO4G-100-20.

WSTĘP

W procesie kompostowania następuje przekształcenie materii organicznej, pojawiają się określone grupy związków próchnicznych i ich kompleksy ze składnikami mineralnymi. Przebieg tych procesów zależy od składu materii organicznej oraz warunków kompostowania [5]. Szczególną w tym rolę odgrywa długość fazy termofilnej (z temperaturą >55°C), która decyduje o przemianach biochemicznych i zapewnia bezpieczeństwo sanitarne kompostów [6,7]. W literaturze spotyka się bardzo szeroki zakres wilgotności (45-70%) zapewniającej prawidłowy przebieg procesu kompostowania [5,6,8]. Stentiford [6] podkreśla, że wilgotność w czasie kompostowania wywiera wpływ na strukturalne i termiczne właściwości materiału oraz stopień biodegradacji kompostowanej masy. Tiquia i in. [9] badając wpływ wilgotności wyjściowej kompostowanego obornika uzyskali komposty o szerszym stosunku C/N i niższej pojemności sorpcyjnej, na pryzmach o wysokim początkowym uwilgotnieniu (70%). W Polsce dojrzewanie kompostów produkowanych z odpadów miejskich prowadzi się najczęściej na pryzmach, stosując okresowe ich napowietrzanie i nawilżanie. Nie uwzględnia się przy tym ich wpływu na przemiany materii organicznej, które decydują o jakości końcowego produktu.

Celem pracy było poznanie wpływu różnego uwilgotnienia kompostowanych odpadów miejskich na transformację materii organicznej i skład elementarny kwasów huminowych powstających w różnych fazach dojrzałości kompostu.

MATERIAŁY I METODY

Obiektem badań był materiał powstający z odpadów miejskich opuszczających linię technologiczną kompostowni, pracującej w systemie DANO. Kompostowanie tak wstępnie przygotowanych odpadów miejskich – kompostu surowego, prowadzono przez okres 188 dni w następujących warunkach:

wariant A - pryzma na folii, przy 50% wilgotności wagowej (w/w) w dniu napowietrzania, z wahaniami 44,0 – 52,4%,

wariant B - pojemnik ażurowy z tworzywa, pojemność około 1000 l, przy 50% wilgotności wagowej w dniu napowietrzania, z wahaniami 46,2 – 53,4%,

wariant C - pojemnik ażurowy z tworzywa, pojemność około 1000 l, wilgotność kompostowanej masy 60% wilgotności wagowej, z wahaniami 46,9 - 60%.

W czasie eksperymentu mierzono systematycznie temperaturę. W odstępach 10-15 dniowych kompostowany materiał był mieszany (napowietrzany), określano w nim wilgotność i uzupełniano ją przez dodatek wody zdemineralizowanej

oraz pobierano próby do badań laboratoryjnych. Materiał do badań pobierano punktowo z 20 miejsc, tworząc z nich próby średnie.

W zebranym materiale wykonano następujące oznaczenia i obliczenia:

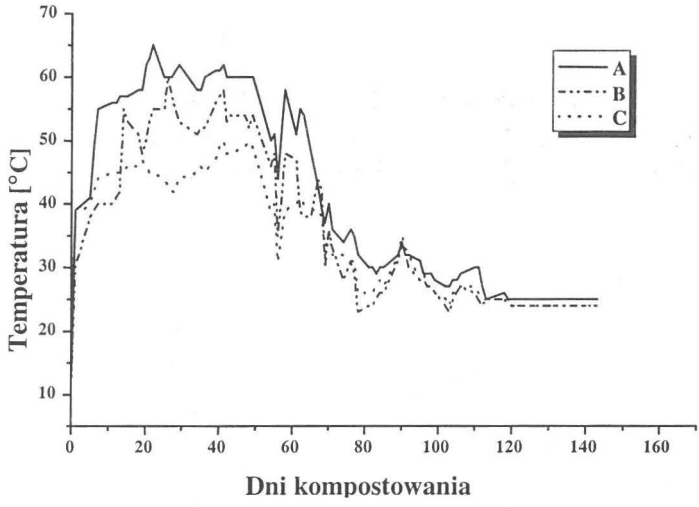
- wilgotność metodą wagowo - suszarkową,
- $C_{org.}$ metodą Tiurina,
- C_{ac} wydziel. 0,1 M HCl (frakcja fulwowa FF),
- C_{alk} wydziel. 0,1 M NaOH,
- Ckh węgiel kwasów huminowych,
- Ckf węgiel kwasów fulwowych,
- HR_1 wskaźnik humifikacji (Ckh/Ckf),
- HR_2 wskaźnik humifikacji materii organicznej $[(C_{ac}+C_{alk})\cdot 100]/C_{org}$,
- skład elementarny kwasów huminowych (C, H, N, S i O z różnicy) analizatorem Perkin-Elmer 2000,
- stopień utlenienia wewnętrznego kwasów huminowych $\omega=(20+3N-H)/C$ Żdanow [10].

Analizowano kwasy huminowe wydzielone według zaleceń IHSS, oczyszczone przez wielokrotne traktowanie mieszaniną HCl+HF, dializowane i liofilizowane.

WYNIKI I DYSKUSJA

Kompostowanie definiowane jako egzogenny proces oksydacji materii organicznej w stabilny produkt w wyniku humifikacji i mineralizacji jest efektem działalności dynamicznej sukcesji mikroorganizmów tlenowych [1]. Proces ten jest limitowany zawartością tlenu i wody w kompostowanej masie, a zewnętrznym odzwierciedleniem biochemicznych przemian i ich intensywności jest temperatura kompostu. W prowadzonym eksperymencie zachodziło wyraźne zróżnicowanie przebiegu temperatury (Rys. 1). Analiza tego rysunku wskazuje na brak wyraźnej fazy termofilnej (>55°C) w wariancie C najbardziej uwilgotnionym, krótkotrwałą fazę termofilną w wariancie B i najdłużej się utrzymującą w wariancie A.

Kształtowane w doświadczeniu odmienne warunki wodno-powietrzne, wpływały na przebieg procesów transformacji materii organicznej (Tab. 1). Dominującym procesem transformacji materii organicznej w fazie termofilnej była mineralizacja. Na pryzmie w 11 dniu kompostowania uległo mineralizacji 27,85 $g\cdot kg^{-1}$ węgla organicznego w obiekcie B - 25,11 $g\cdot kg^{-1}$, a w obiekcie C zaledwie 14,93 $g\cdot kg^{-1}$. W końcowym okresie termofilnej fazy kompostowania – 54 dniu kompostowania, zawartość C-ogółem kształtowała się w przedziale 168,7 $g\cdot kg^{-1}$ w obiekcie A do 189,73 $g\cdot kg^{-1}$ w obiekcie C, co odpowiadało 59,0-66,4% jego ilości wyjściowej.



Rys. 1. Wpływ uwilgotnienia na temperaturę kompostowanej masy.

Fig. 1. Moistness influence on composting mass temperature.

Wolniejsze tempo mineralizacji substancji organicznej było obserwowane w obiekcie C, przy 60% w/w w okresie 5 miesięcy eksperymentu. Dopiero po półrocznym okresie kompostowania, zawartość C-ogółem w analizowanych kombinacjach była bardziej wyrównana. W okresie 6 miesięcy nastąpiła mineralizacja około 50% materii organicznej.

Podstawowym produktem tworzącym się podczas kompostowania są swoiste związki próchniczne. W prowadzonym eksperymencie transformacja materii organicznej w swoiste związki próchniczne miała przebieg typowy dla procesu kompostowania [2,3]. Przejawiało się to (Tab. 1) spadkiem frakcji fulwowej, z równoległym wzrostem: połączeń próchnicznych ekstrahowanych roztworem alkalicznym, wskaźnika (HR_1) i stopnia humifikacji materii organicznej (HR_2). Tempo powyższych przemian było jednak wyraźnie limitowane warunkami kompostowania.

Warunki wilgotnościowe na pryzmie (wariant A) sprzyjały szybszej transformacji materii organicznej w swoiste związki próchniczne. Po termofilnej fazie kompostowanie wyraźnie spadła i praktycznie ustabilizowała się na poziomie około 2% C-ogółem zawartość frakcji fulwowej. Początkowy intensywny proces humifikacji materii organicznej uległ wyraźnemu osłabieniu w 95 dniu kompostowania.

Tabela 1. Wpływ uwilgotnienia kompostowanych odpadów miejskich na skład frakcyjny związków próchnicznych

Table 1. Composting municipal wastes moistness influence on the fractional composition of humus compounds

Dzień kompostowania	Wariant kompostowania	Wilgotność % w/w	C org. $g \cdot kg^{-1}$	C wydzielone 0,1 M		Ckh/Ckf (HR_1)	Stopień humifikacji (HR_2)
				HCl (FF)	NaOH		
				% C org.			
0	A; B; C	50, 50, 60	285,83	4,3	15,2	0,92	19,5
11	A	44,3	257,97	4,8	15,1	0,95	19,5
	B	50,5	260,72	4,1	16,0	0,98	20,1
	C	53,0	270,9	2,8	15,1	1,43	17,9
36	A	46,9	177,3	3,9	23,2	1,19	27,1
	B	49,3	173,32	4,1	26,3	0,71	30,4
	C	55,4	190,3	2,3	18,3	1,32	20,6
54	A	52,4	168,7	2,7	23,4	1,43	26,1
	B	53,5	171,78	2,5	26,5	0,95	29,0
	C	57,1	189,73	2,2	18,8	1,24	21,0
95	A	48,7	158,26	2,1	26,9	1,19	29,0
	B	49,2	160,72	2,0	26,6	0,89	28,8
	C	54,9	176,12	1,4	17,5	1,50	18,9
126	A	45,4	155,5	2,0	26,0	1,03	28,0
	B	47,5	157,46	1,8	24,2	1,24	26,0
	C	48,9	156,0	1,5	18,7	1,53	20,2
159	A	45,2	146,7	1,9	25,2	1,35	27,1
	B	51,0	147,89	1,7	24,2	1,12	25,9
	C	50,1	148,73	1,5	19,7	1,30	21,2
188	A	45,6	145,29	1,9	27,6	1,32	29,5
	B	47,8	146,72	1,8	25,7	1,28	27,5
	C	51,6	144,73	1,7	19,8	1,71	21,5

Wartości wskaźnika HR_2 rosły, przyjmując wartość 29% po 3 miesiącach kompostowania. W dalszym okresie eksperymentu nie notowano praktycznie wzrostu stopnia humifikacji materii organicznej. Może to sugerować, że 3 miesięczny okres kompostowania w warunkach pryzmy, jest wystarczającym do produkcji dojrzałych kompostów. Wśród swoistych związków próchnicznych w okresie 5 miesięcy kompostowania, nieznacznie dominowały kwasy huminowe nad fulwowymi. W kolejnym okresie dojrzewania kompostów rosły wartości wskaźnika humifikacji HR_1. W wariancie B przy podobnej zawartości wody jak w pryzmie, ale w warunkach mniejszej jej dynamiki, proces humifikacji przebiegał odmiennie. Pomimo, iż po miesiącu kompostowania, materia organiczna wykazywała już znaczny stopień humifikacji (HR_2 około 30%), to jednak wśród jej produktów dominowały połączenia niskocząsteczkowe, reprezentowane przez kwasy fulwowe i frakcję fulwową. Z tego względu, w okresie początkowych 4 miesięcy kompostowania wskaźnik HR_1, przyjmował wartości często niższe od jedności. Zmiana kierunku humifikacji i stabilizacji jakości jego produktów, nastąpiła dopiero w 5 miesiącu kompostowania. Po upływie 4 miesięcy, ustabilizowała się zawartość Ckh, a zawartość Ckf obniżyła się, co spowodowało wzrost stosunku Ckh/Ckf. Specyficzny przebieg procesu humifikacji zachodził w obiekcie C. Wysoka zawartość wody w kompostowanych odpadach nie sprzyjała humifikacji materii organicznej, która spadała wolno w dalszym okresie kompostowania. W czasie eksperymentu stopień humifikacji materii organicznej wzrastał bardzo wolno i był najniższy wśród badanych obiektów. W warunkach wysokiej wilgotności i powolnej humifikacji wśród powstających produktów dominowały kwasy huminowe. Ich przyrost, aczkolwiek wolny lecz intensywniejszy niż kwasów fulwowych decydował, że w okresie dojrzewania kompostów zaznaczyła się tendencja wzrostu wskaźnika HR_1 (stosunek Ckh:Ckf).

Wśród analizowanych wariantów doświadczenia w całym okresie badań wysokie wartości Ckh/Ckf występowały w obiekcie C. Podobny wpływ wysokiej wilgotności kompostowanego obornika na jakość produktów humifikacji wykazali Tinquia i in. [9]. Warunki procesu kompostowania wpływały również na budowę kwasów huminowych (Tab. 2). Wskazują na to wyniki analizy składu elementarnego, wyrażone w % atomowych, a zwłaszcza ilość zawartego w nich wodoru, tlenu i azotu. Stosunkowo małe zróżnicowanie w czasie kompostowania zawartości C w molekułach kwasów huminowych pozwala sądzić, zgodnie z wcześniejszymi doniesieniami Drozda i in. [4], że zasadniczy szkielet struktury kwasów huminowych nie ulegał większym

Tabela 2. Wpływ uwilgotnienia kompostowanych odpadów miejskich na skład elementarny kwasów huminowych (w % atomowych)
Table 2. Composting municipal wastes moistness influence on the elemental composition of humic acids (in atomic %)

Dzień kompo-stowania	Wariant kompo-stowania	C	H	N	S	O	H/C	N/C	O/C	ω
0	A; B; C	31,35	53,76	2,45	0,28	12,16	1,71	0,078	0,388	-0,71
11	A	32,17	50,70	2,59	0,30	14,25	1,58	0,080	0,443	-0,45
	B	31,74	49,53	2,93	0,41	15,38	1,56	0,093	0,484	-0,31
	C	32,2	53,71	2,39	0,25	11,45	1,67	0,074	0,356	-0,73
36	A	32,22	48,72	3,35	0,36	15,35	1,51	0,104	0,476	-0,25
	B	35,23	47,11	3,27	0,36	13,92	1,34	0,096	0,396	-0,26
	C	32,66	49,53	3,02	0,36	14,43	1,52	0,092	0,442	-0,36
82	A	33,16	48,04	3,39	0,45	14,95	1,45	0,102	0,451	-0,24
	B	34,41	47,16	3,59	0,66	14,19	1,37	0,105	0,412	-0,23
	C	28,92	50,53	2,91	0,33	17,31	1,75	0,101	0,599	-0,25
159	A	33,63	45,73	3,48	0,39	16,76	1,36	0,104	0,499	-0,05
	B	34,25	45,97	3,16	0,32	16,29	1,34	0,092	0,476	-0,11
	C	33,42	47,52	3,08	0,29	15,69	1,42	0,092	0,092	-0,20

przemianom. Zmiany ilościowe pozostałych pierwiastków sugerują, że charakterystycznymi reakcjami w procesie humifikacji materii organicznej kompostów, są procesy utleniania z jednoczesnym wbudowywaniem azotu w drobiny kwasów huminowych. Intensywność tych procesów, kształtowana warunkami kompostowania, była wyraźnie spowolniona przy uwilgotnieniu około 60% w wariancie C. Kwasy huminowe z obiektów A i B charakteryzowały się wyższą zawartością azotu w 36 dniu kompostowania. Zawierały one jednocześnie mniejsze ilości wodoru w porównaniu z obiektem C. Może to wskazywać, że wysoka wilgotność kompostowania, ogranicza demetoksylację drobin kwasów huminowych. Potwierdzeniem tego są również wyższe wartości H/C informujące nas, iż warunki kompostowania w obiekcie C nie sprzyjały aromatyzacji drobin kwasów huminowych.

Dobrym wskaźnikiem jakości produktów humifikacji jest także stosunek O/C oraz wartość stopnia utlenienia wewnętrznego (ω). Przyjmuje ona przeważnie wyższe wartości w wariancie A, co wskazuje na większą dojrzałość powstających w nim kwasów huminowych.

Można na tej podstawie sądzić, że kwasy huminowe powstające w czasie kompostowania przy wilgotności około 60%, wskazują niższy stopień aromatyzacji molekuł i charakteryzują się znaczną ilością słabo utlenionych grup peryferyjnych.

WNIOSKI

1. Wyższa wilgotność kompostowanych odpadów miejskich ograniczała intensywność mineralizacji, zmieniała kierunek humifikacji materii organicznej i nie zapewniała bezpieczeństwa sanitarnego kompostów.
2. Transformacja materii organicznej w warunkach wysokiej wilgotności sprzyja bardziej syntezie drobin kwasów huminowych wykazujących niższy stopień aromatyzacji i charakteryzujących się większą ilością słabo utlenionych grup peryferyjnych.
3. Szybszej przemianie surowego kompostu z odpadów miejskich w dojrzały produkt bardziej sprzyjały warunki kompostowania stworzone na pryzmie, które zapewniały lepszy dostęp tlenu.

PIŚMIENNICTWO

1. **Beffa T., Blanc M., Marilley L., Frischer J. L., Lyon P. F., Aragno M.:** Taxonomic and Metabolic Microbial Diversity During Composting. In: The Science of Composting (Ed. M. Bertoldi et al.). Blackie Academic & Professional, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 149-161, 1996.
2. **Chen Y., Chefetz B., Harad Y.:** Formation and Properties of Humic Substance Origination from Composts. In: The Science of Composting (Ed. M. Bertoldi et al.). Blackie Academic & Professional, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 382-393, 1996.
3. **Drozd J., Jamroz E., Licznar M., Licznar S. E., Weber J.:** Organic Matter Transformation and Humic Indices of Compost Maturity Stage During Composting of Municipal Solid Wastes. In: The Role of Humic Substances in the Ecosystems and in Environmental Protection (Eds J. Drozd and ol.). PTSH, Wrocław, 855-861, 1997.
4. **Drozd J., Jezierski A., Licznar M., Licznar S. E., Weber J.:** IR Spectra and elemental analysis of humic acids isolated from municipal compost in different stages of maturity. In: Humic Substances in the Ecosystems 3 (Eds S. S. Gonet and ol.). PHSS, Bydgoszcz, 11-15, 1999.
5. **Siuta J.:** Kompostowanie i wartości użytkowe kompostu. W: Kompostowanie i użytkowanie kompostu (Red. Siuta J., Wasiak G.). Wydawnictwo Ekoinżynieria, Lublin, 7-20, 1999.
6. **Stentiford E. I.:** Composting Control: Principles and Practice. In: The Science of Composting (Ed. M. Bertoldi et al.). Blackie Academic & Professional, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 49-59, 1996.
7. **Strauch D.:** Occurrence of Microorganisms Pathogenic for Man and Animals in Source Separated Biowaste and Compost – Importance, Control, Limits, Epidemiology. In: The Science of Composting (Ed. M. Bertoldi et al.). Blackie Academic & Professional, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 225-232, 1996.
8. **Suller D. J., Finstein M. S.:** Effects of temperature aeration and moisture on CO_2 formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid wastes. Appl. Environ. Microbiol., 33, 345-350, 1977.
9. **Tiquia S. M., Tam N. F. Y., Hodgkissi I. J.:** Effect of Moisture Content on the Composition of Pig-Manure Sawdust Litter Disposed From the Pig-on Litter (POL) System. In: The Science of Composting (Ed. M. Bertoldi et al.). Blackie Academic & Professional, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 1361-1364, 1996.
10. **Żdanow J., A.:** Srednaja stepen okreslenija ugleroda i nezamenimost aminokislot. Biochemija, 30, 1257-1259, 1965.

MUNICIPAL WASTES COMPOST MOISTNESS INFLUENCE ON ORGANIC MATTER TRANSFORMATION AND HUMIC ACID COMPOSITION

J. Drozd, M. Licznar

Institute of Soil Science and Agricultural Environmental Protection, Agricultural University
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław
e-mail: drozd@ozi.ar.wroc.pl

Summary. Determination of municipal wastes (raw compost from a "Dano" system compost processing line) moistness influence on organic matter transformation and elemental composition of humic acids at various compost maturity stages was the study objective. The composting was carried out over a period of 188 days in the following conditions: variant A – composting on a prism with a 50% weight humidity (w/w) at the aeration day (with fluctuations of 44.0-52.0%); variant B-composting in an open-work container (1000 l) with a 50% w/w at the aeration day (with fluctuations of 46.2-53.4%); variant C composting in an open-work container (1000 l) with a humidity of 60% w/w (with fluctuations of 46.9-60%).

The study showed that higher moistness of composting municipal wastes (variant C) limited mineralization and humification of organic matter and did not provide the sanitary safety of composts. The organic matter transformation in such a moistness conditions led to formation of the specific humic compounds with an excess of the humic acids over the fulvic acids. However the particles of humic acids indicated low level of aromatization and possessed considerable amount of weakly oxidized peripheral groups. The raw compost fast transformation from municipal wastes into the mature product was most favored by the conditions of composting on a prism with a 50% weight humidity (w/w), providing better oxygen access.

Keyword: municipal wastes, moistness, composting, organic matter.