

**KOMPOSTOVANIE AKO SPÔSOB ELIMINÁCIE A RECYKLÁCIE ODPADOV
PRODUKČNÝCH PROCESOV V AGROPOTRAVINÁRSKOM SEKTORE
COMPOSTING AS A WAY OF ELIMINATION AND RECYCLING OF WASTE
FROM PRODUCTION PROCESSES IN AGRI-FOOD SECTOR**

Soňa Javoreková, Jana Maková, Henrieta Blaškovičová, Kamila Majerčíková, Martina Bullová

ABSTRACT

The aim of our study was to evaluate influence of the time of maturation on the chemical and microbial quality of animal compost. The observed chemical properties include phytotoxicity, C_{ox} , pH and dehydrogenase activity. The microbial quality was tested according to microbial carbon C_{mic} , and abundance of coliform bacteria, thermo-tolerant coliform bacteria, fecal *Streptococci*, spores of bacteria, actinomycetes and microscopic fungi from keratinophilic group. After three years a decrease was observed, but not for the number (except thermo-tolerant coliform bacteria) as per the Directive No. 1774/2002 of the European Parliament and the European Council. The keratinophilic fungi included geophilic dermatophytes (*Absidia corymbifera*, *Aspergillus fumigatus*, *Microsporium gypseum*, *Pseudallescheria boydii*, *Trichophyton ajelloi*) which were present in compost after two and three years, too. The final compost could not be referred to as environmentally safe.

Key words: compost, microbial quality, chemical properties, time of maturation

ÚVOD

Vedľajšie produkty a odpady mäsového a hydínárskeho priemyslu sa spracovávajú hlavne v kafilériách, ale v štátoch západnej Európy a USA sa vo veľkej miere využíva na ich spracovanie aj kompostovanie (Nagy et al., 2002). Kompostovanie je ekonomicky prijateľná a environmentálne bezpečná metóda recyklácie bioodpadu produkovaného konzumnou spoločnosťou (Rebollido et al., 2008) a tiež jednou z efektívnych metód recyklácie sekundárnych surovín živočíšneho pôvodu spĺňajúcich podmienky Nariadenia Európskeho parlamentu a rady č. 1774/2002 ES, odpadov kategórie III (Rafay, 2007). Oproti recyklácii v kafilérii má kompostovanie menšiu energetickú náročnosť, znížené náklady na prepavu odpadu a minimálne nároky na personálne zabezpečenie. V rámci Slovenska však tento spôsob aeróbnej recyklácie je využívaný iba v prípade rastlinných odpadov, nakoľko vzniknutý kompost by musel spĺňať požiadavky STN 46 57 35 a neobsahovať cudzorodé látky a nebezpečné mikroorganizmy. Nakoľko vedľajšie živočíšne produkty môžu predstavovať toto riziko je jednou z najdôležitejších fáz kompostovania fáza hygienizácie t.j. redukcie patogénnych mikroorganizmov pôsobením tepla a času vyzrievania. Podmienky hygienizácie i kontroly kompostu stanovuje Nariadenie Európskeho parlamentu a rady č.1774/2002 ES. V komposte voľne uloženom sa z mikroorganizmov odporúča sledovať počet termotolerantných koliformných baktérií a enterokokov, ktorý by mal byť nižší ako 10^3 KTJ.g⁻¹ alebo sa hodnotí celá skupina *Enterobacteriaceae* a prítomnosť salmonel. Hodnotiť kvalitu hotového kompostu je možné aj na základe výskytu aeróbných a anaeróbných baktérií, mikroskopických húb a kvasiniek, aktinomycét, pseudomonád a nitrogénnych baktérií (Bess, 1999).

Cieľom nášho príspevku bolo na základe vybraných skupín mikroorganizmov zistiť mikrobiálne osídlenie a prežívanie vybraných skupín mikroorganizmov počas troch rokov voľne uskladneného kompostu vyrobeného z vedľajších produktov živočíšneho pôvodu. Zamerali sme sa najmä na sledovanie hygienicky významných skupín mikroorganizmov, ktoré by už pri samotnej manipulácii s takýmto kompostom mohli ohroziť zdravie ľudí, alebo v prípade aplikácie do pôdy nepriaznivo ovplyvniť jej kvalitu a zdravie.

MATERIÁL A METODIKA

Odber vzoriek (priemerná vzorka z piatich) kompostu bol uskutočnený v rokoch 2004-2007 v spolupráci s Centrom výskumu živočíšnej výroby v Nitre vo firme ktorá sa zaoberá spracovaním králičieho mäsa. Kompost bol vyrobený z vedľajších jatočných odpadov zo spracovania králikov (vnútornosti, časti kože, kosti), ktoré boli podrvené na 12 mm a zmiešané so slamou a upravené na pomer C:N 40:1. V kompostéri bola dosiahnutá teplota 70 °C počas 60 min. a 21 dní bola udržiavaná teplota 55 °C. Hotový kompost bol uskladnený na dvore firmy za aeróbných podmienok (bez prikrytia), kde ďalej vyzrieval a menil svoje fyzikálno-chemické a biologické vlastnosti. Kompost bol odobratý po 21 dňoch kompostovania v kompostéri označený ako čerstvý a po pol, jeden a pol, dvoj a trojročnom vyzrievaní voľne bez prikrytia v areáli firmy. V odobratých vzorkách kompostu sme stanovili v troch opakovaniach z fyzikálnych a chemických ukazovateľov hodnoty pH (potenciometricky), obsah vlhkosti a sušiny (gravimetricky). Uskutočnené boli aj testy toxicity na žeruche siatej. Z biologických ukazovateľov sme hodnotili platňovou zriedovacou metódou abundanciu sporulujúcich baktérií (CPB-S) kultivovaných na mäsopeptónovom agare, koliformných baktérií (KB) a termotolerantných koliformných baktérií (TKB) kultivovaných na Endovom agare, enterokokov (EK) kultivovaných na Slanetz-Bartley agare, aktinomycét (AK) kultivovaných na Waksmanovom agare, mikroskopických húb na Czapek-Doxovom agare (MH). Samostatne vzorky kompostu (okrem čerstvého) boli hodnotené aj z hľadiska výskytu keratinolytických mikroskopických húb, vrátane fakultatívne patogénnych druhov, a to metódou záchytu na konských vlasoch tzv. Horse Hair Baiting Method (HHBM), výsledky ktorej už boli v predchádzajúcom období publikované (Labuda, 2007).

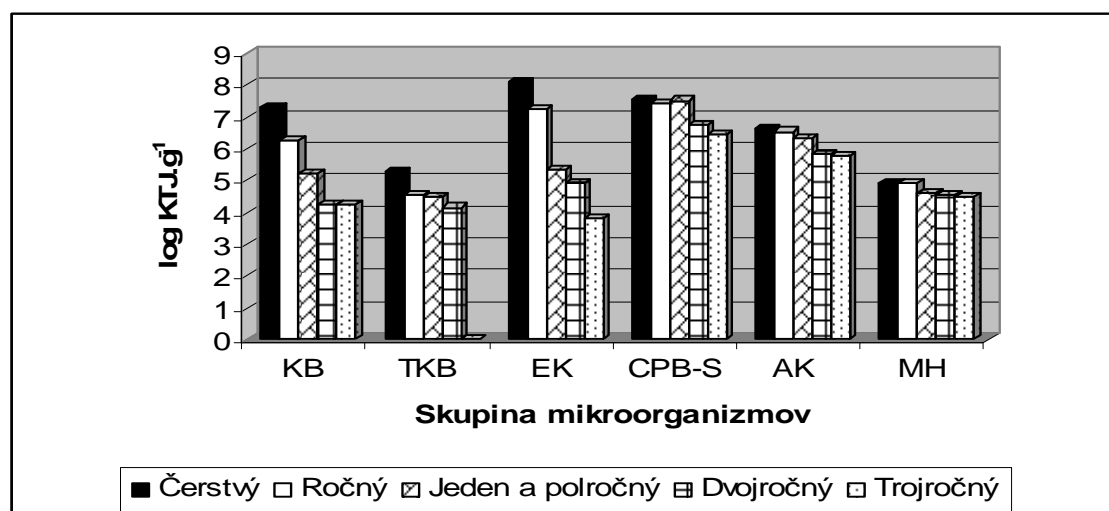
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Kompost ktorý sme testovali a hodnotili predstavoval stabilizovanú, nepáchnúcu hnedú až čiernu homogénnu hmotu, hrudkovitej štruktúry. Hodnotenie celkovej kvality a stability kompostu sme uskutočnili podľa vybraných parametrov (tab.1) a hygienickú neškodnosť sme sledovali podľa indikátorových mikroorganizmov (obr. 1) odporúčaných (s výnimkou mikroskopických húb) pre mikrobiologické hodnotenie kompostu (Matějů, 2001). Stabilita kompostu je teda jedným z najdôležitejších kritérií, ktoré rozhoduje o ďalšom nakladaní s vyrobeným kompostom. Na základe hodnotenia vzostupu sušiny z 26,7 % na 56,45 %, pH z 8,21 na 6,82 počas troch rokov vyzrievania kompostu, možno konštatovať, že sa na skládke kompost stabilizoval a nadobúdal konzistenciu a farbu šedohnedú až čiernu, ktorá je charakteristická pre stabilný kompost. Potvrdil nám to aj test fytotoxicity (žeruchový test), podľa výsledkov ktorého už po roku vyzrievania stúpol index klíčivosti z 56 % (nezrelý kompost) na hodnotu 92 %, ktorá indikuje dobre zrelý kompost, ktorý je možné aplikovať pred siatím. Tento test je potrebné robiť aj keď kompostovanie prebehlo v optimálnom teplotnom režime a výsledná teplota kompostu bola rovnaká ako teplota okolia (Plíva et al., 2006). Trojročný čas vyzrievania kompostu potvrdil nielen pokles uhlíka mikrobiálnej biomasy o 12,9 %, ale aj pokles respiračnej dehydrogenázovej aktivity, ktorá pozitívne korelovala s poklesom oxidovateľného uhlíka C_{ox} .

Tabuľka 1 Sledované vlastnosti kompostu počas vyzrievania

Čas vyzrievania kompostu	Test klíčivosti	DHA [$\mu\text{gTPF}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{hod}^{-1}$]	C_{ox} [%]	C_{mic} [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	Sušina [%]
Čerstvý	56	62,08	26,00	5635,20	8,21	26,70
Polročný	92	55,70	24,00	5 326,50	8,00	34,79
Ročný	94	51,11	12,42	3 268,32	7,48	44,93
Dvojočný	96	50,08	11,69	2 751,84	7,45	45,70
Trojočný	98	8,46	8,30	725,54	6,82	56,45

Z bakteriologického hľadiska sa v komposte odporúča hodnotiť najmä prítomnosť termotolerantných koliformných baktérií, koliformných baktérií, enterokokov a salmonel (NV SR č. 279/2003 Z. z., NV EKaR č. 1774/2002 ES). Okrem salmonel sme hodnotili všetky uvedené skupiny. Podľa stanovených počtov mikroorganizmov (obr. 1) je zrejme najmä výrazný pokles početnosti baktérií s časom zrenia kompostu. Počas trojočného uskladnenia kompostu klesol najmä počet termotolerantných koliformných baktérií, koliformných baktérií, enterokokov a sporulujúcich baktérií. Postupnú elimináciu enterokokov počas kompostovania popisuje aj **Ligočka (2008)**. Z hľadiska hygienickej neškodnosti kompostu sa nám potvrdilo, že čas uskladnenia pozitívne vplyva na znižovanie počtov hygienicky významných baktérií a bolo by žiadúce stanoviť ešte prítomnosť salmonel. Nakoľko však termotolerantné koliformné baktérie poklesli na nulu, nepredpokladáme, že by salmonely boli prítomné v komposte. Výskyt koliformných baktérií, termotolerantných baktérií a enterokokov neklesol pod 10^3 , to znamená, že kompost nie je vhodný na aplikáciu do pôdy. V prípade kompostu vyrobeného z hydínového odpadu boli enterokoky eliminované na požadované hodnoty už po 49 dňoch kompostovania (**Tiquia et al., 2002**). Z hľadiska eliminácie enterokokov je teda veľmi dôležité aj zloženie kompostu, enterokoky poklesli vo väčšine kompostov pripravených zo splaškových kalov miešaných s pilinami a kôrou (**Wolna-Maruwka, Sawicka, 2008**).



Obrázok 1 Zmeny počtov sledovaných skupín mikroorganizmov v komposte počas jeho vyzrievania na skládke

V prípade mikroskopických húb však eliminácia nebola potvrdená, práve taký substrát ako je kompost s vysokým obsahom dusíka, síry a keratínu je vhodným pre ich výskyt (**Bohacz,**

Kornilowicz - Kowalska, 2008). V troj a dvojočnom komposte sme zistili prítomnosť významných ľudských patogénov (tab. 2). Potvrdený bol výskyt dermatofytického druhu *Microsporium gypseum* (huba vyvolávajúca infekcie kože-dermatofytózy) ako aj systémových patogénov *Pseudallescheria boydii*, *Aspergillus fumigatus* a *Absidia corymbifera*. Naopak v komposte pol a jedno ročnom sme nezistili prítomnosť patogénnych druhov mikroskopických húb. Zaujímavý bol nález *Chrysosporium zonatum*, doteraz nezaznamenaného druhu na území Slovenska. V Poľsku boli izolované druhy *Chrysosporium keratinophilum*, *Ch. queenslandicum* a *Ch. tropicum* (**Bohacz, Kornilowicz - Kowalska, 2008**).

Tabuľka 2 Počet izolovaných druhov a početnosť kultivovateľných húb vo vzorkách kompostu s rôznym časom vyzrievania na skládke (**Labuda, 2007**)

Izolované druhy mikroskopických húb		Abundancia kultivovateľných húb	
Druh	Počet izolátov	Druh	Minimálne hodnoty KTJ.g ⁻¹
Polročný kompost			
<i>Aphanoascus</i> sp.	23	<i>Acremonium</i> sp.	10 ⁵
<i>Chrysosporium zonatum</i>	5	<i>Cladosporium sphaerosporum</i>	10 ⁵
<i>Verticillium</i> sp.	5	<i>Rhizopus stolonifer</i>	10 ⁵
<i>Chrysosporium europae</i>	2	<i>Penicillium janthinellum</i>	10 ⁴
		<i>Scopulariopsis cf. koningii</i>	10 ⁵
		<i>Staphylotrichum cocosporum</i>	10 ⁴
Jeden a polročný kompost			
* <i>Chrysosporium zonatum</i>	10	<i>Penicillium janthinellum</i>	10 ⁶
<i>Chrysosporium europae</i>	3	<i>Rhizopus stolonifer</i>	10 ⁶
<i>Aphanoascus</i> sp.	1	<i>Scopulariopsis cf. koningii</i>	10 ⁶
<i>Chrysosporium keratinophilum</i>	1		
Dvojočný kompost			
* <i>Chrysosporium zonatum</i>	26	<i>Penicillium corylophilum</i>	10 ⁶
<i>Chrysosporium. europae</i>	15	<i>Chaetomium</i> sp.	10 ⁵
** <i>Microsporium gypseum</i>	6	<i>Penicillium crustosum</i>	10 ⁵
** <i>Trichophyton ajelloi</i>	5	** <i>Pseudallescheria boydii</i>	10 ⁵
* <i>Chrysosporium keratinophilum</i>	1	** <i>Aspergillus fumigatus</i>	10 ³
		<i>Chrysosporium zonatum</i>	10 ³
		<i>Malbranchea</i> sp.	10 ³
		<i>Penicillium</i> sp.	10 ³
Trojočný kompost			
** <i>Microsporium gypseum</i>	52	<i>Penicillium solitum</i>	10 ⁶
* <i>Chrysosporium zonatum</i>	49	<i>Penicillium crustosum</i>	10 ⁵
<i>Aphanoascus</i> sp.	1	<i>Rhizopus stolonifer</i>	10 ⁵
		<i>Penicillium restrictum</i>	10 ³
		<i>Penicillium</i> sp.	10 ³
		<i>Chrysosporium zonatum</i>	10 ³
		** <i>Absidia corymbifera</i>	10 ³

* Druhy známe ako potenciálne patogénne pre teplokrvných živočíchov, ako aj človeka

**Významné patogény človeka - dermatofyty

ZÁVER

V komposte živočíšneho charakteru vplyvom uskladnenia dochádzalo k fyzikálnym, chemickým a biologickým zmenám. Najvýraznejší bol pokles oxidovateľného uhlíka, hodnôt pH, uhlíka mikrobiálnej biomasy a celkového dusíka. V komposte, ktorý vyzrieval na skládke tri roky sme síce zaznamenali pokles väčšiny sledovaných baktérií z 10^8 na 10^4 KTJ.g⁻¹ (termotolerantné až na nulovú hodnotu), ale väčšina baktérií nepoklesla pod 10^3 KTJ.g⁻¹. Kompost obsahoval aj dermatofytické huby, čím možno považovať kompost za nebezpečný a rizikový z hľadiska jeho ďalšieho použitia a manipulácie s ním.

LITERATÚRA

- BESS, V. 1999. Evaluating microbiology of compost. In *BioCycle*, vol. 40, 1999, no. 5, p. 62-64.
- BOHACZ, J. – KORNILLOWICZ-KOWALSKA, T. 2008. The level colonization and succession of keratinophilic fungi in composts containing waste feathers. In *Postepy w mikrobiologii i higienie srodowiska*. Uniwersitet technologicyno-przyrodniczny: Bydgosz, s. 28. ISBN 978-83-61314-04-2
- LABUDA, R. 2007. Nové zdroje klinicky významných húb v životnom prostredí človeka na Slovensku. In *MICROMYCO 2007. Ústav pôdnej biologie : České Budějovice, 2007*, s. 52-59.
- LIGOCKA, A. 2008. Fecal streptococci as indicators of sanitation efficiency of meat waste processing. In *Postepy w mikrobiologii i higienie srodowiska*. Uniwersitet technologicyno-przyrodniczny: Bydgosz, s. 111. ISBN 978-83-61314-04-2
- MATĚJŮ, L. 2001. Stanovení indikátorových mikroorganismů pro mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě ve smyslu vyhlášky č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. In *Acta Hygienica, Epidemiologica et Microbiologica*, 2001, č. 7, 57 s.
- NAGY, J. – JURIŠ, P. – TUREK, P. – KORIMOVÁ, I. 2002. Vedľajšie produkty a odpady mäsového a hydinárskeho priemyslu. In *Slovenský veterinársky časopis*, roč. 27, 2002, č. 6, s. 33-37.
- NARIADENIE EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1774/2002 ES. Hygienické pravidlá týkajúce sa živočíšnych produktov, ktoré nie sú určené k ľudskej spotrebe.
- NARIADENIE VLÁDY SR 279/2003 Z.z.. Zdravotné predpisy týkajúce sa živočíšnych vedľajších produktov, ktoré nie sú určené na ľudskú spotrebu.
- PLÍVA, P. – BANOUT, J. – HABART, J. – JELÍNEK, A. – KOLLÁROVÁ, M. – ROY, A. – TOMANOVÁ, D. 2006. *Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu*. Praha : VÚZT, 2006. 65 p.
- RAFAY, J. 2007. Možnosti kompostovania pri recyklácii surovín živočíšneho pôvodu. In *Predpoklady využívania poľnohospodárskej a lesníckej biomasy na energetické a biotechnické využitie*. Agentúra Slovenskej akadémie poľnohospodárskych vied : Nitra, 2007, s. 90-94.
- REBOLLIDO, R. – MARTÍNEZ, J. – AGUILERA, Y. – MELCHOR, K. – KOERNER, I. – STEGMANN, R. 2008. Microbial population during composting process of organic fraction of municipal solid waste. In *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 6, 2008, no. 3, p. 61-67.
- STN ISO 465735 Priemyslové komposty. VN Praha, 1991.
- TIQUIA, S.M. – WAN, J.H.C. – TAM, N.F.Y. 2002. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. In *Compost Science and Utilization*, vol. 10, 2002, no. 2, p. 150 – 161.
- WOLNA-MARUWKA, A. – SAWICKA, A. 2008. Estimation of the microbiological and biochemical status of sewage sludge subject to composting process in controlled conditions. In

Postepy w mikrobiologii i higienie srodowiska. Uniwersitet technologicyno-przyrodniczny: Bydgosz, s. 184. ISBN 978-83-61314-04-2

Pod'akovanie

Práca vznikla a bola riešená za finančnej podpory riešených projektov KEGA 3/6228/08 a VEGA 1/0404/09. Zároveň si dovoľujeme vyjadriť poďakovanie doc. Ing. Jánovi Rafayovi, CSc. (CVŽV v Nitre) za pomoc poskytnutú pri odbere vzoriek kompostu.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Soňa Javoreková, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, FBP, Kmi, Trieda Andreja Hlinku 2, Tel.: 037 6414431, E-mail: sona.javorekova@uniag.sk