

Compostagem de resíduos vinícolas com estrume de bovino, estilha da poda da videira ou palha de milho

Composting winery waste with cattle manure, vine pruning chips or maize straw

Rui Pinto^{1,2}, Cláudia Correia¹, Isabel Mourão^{1,3}, Luísa Moura^{1,2} & Luis Miguel Brito^{1,2,3,*}

¹Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 4990-706 Ponte de Lima, Portugal

²Centro de Investigação e Desenvolvimento em Sistemas Agroalimentares e Sustentabilidade (CISAS), 4900-347 Viana do Castelo, Portugal

³Centro de Investigação de Montanha (CI MO), 5300-253 Bragança, Portugal

(*E-mail: miguelbrito@esa.ipv.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.33906>

Recebido/received: 2023.07.31

Aceite/accepted: 2023.11.20

RESUMO

Avaliou-se o processo de compostagem do bagaço de uva com diferentes materiais em condições de elevada precipitação. O bagaço e engaço de uva foram misturados com (i) estrume de bovino; (ii) estilha da poda da vinha; ou (iii) palha de milho destrocada na proporção em volume de 1:1. Alcançaram-se temperaturas termófilas (> 50 °C) 2 dias após o início da compostagem permanecendo assim durante aproximadamente 3 semanas. O potencial de mineralização da MO diminuiu com estrume de bovino (495 g kg⁻¹), devido ao excesso de humidade (> 72%) a partir da 3^a semana, que limitou a atividade microbiana, sendo superior nas pilhas com palha (577 g kg⁻¹) ou estilha (549 g kg⁻¹) porque a estrutura destes materiais promoveu o arejamento das pilhas. No entanto, a pilha com estrume apresentou um teor de azoto superior e uma razão C/N inferior (N = 25 g kg⁻¹; C/N < 20) em comparação com as outras misturas. Concluiu-se que a estilha e a palha devem ser recomendadas quando as condições climáticas contribuem para o risco de humidade excessiva dentro das pilhas e o estrume para diminuir a razão C/N e aumentar o teor de N e, portanto, aumentar o valor agronómico do composto.

Palavras-chave: azoto, bagaço de uva, engaço, materiais estruturantes, teor de humidade

ABSTRACT

The composting process of grape marc with different materials was assessed under heavy rainfall. Grape marc and grape stalks were mixed with (i) cattle manure; (ii) vine pruning chips; or (iii) shredded maize straw in the volume proportion of 1:1. The composting piles reached thermophilic temperatures (> 50 °C) 2 days after the beginning of the composting, having remained approximately for three weeks at these temperatures. The potentially mineralizable OM decreased with cow manure (495 g kg⁻¹) due to excess moisture content (> 72%) after 3rd week which reduced microbial activity, being higher in piles with straw (577 g kg⁻¹) or chips (549 g kg⁻¹) because the structure of these materials promoted the aeration of the piles. However, the pile with manure had higher N content and lower C/N ratio (N = 24 g kg⁻¹ and C/N ratio < 20) compared to the other mixtures. It is concluded that pruning chips and straw are recommended when climatic conditions promote excessive moisture content inside the piles, and cow manure to decrease C/N ratio and increase N content and, therefore, to increase the agronomic value of the compost.

Keywords: bulking agents, grape marc, grape stalks, moisture content, nitrogen

INTRODUÇÃO

O processo de vinificação em Portugal produz uma quantidade significativa de resíduos (> 1 milhão de Mg) provenientes da prensagem das uvas, incluindo bagaço constituído por películas e grânhas, ou engaço, os quais podem ser reutilizados (Pinto *et al.*, 2023). O bagaço é rico em matéria orgânica (MO) e nutrientes, mas apresenta um pH muito ácido e compostos fitotóxicos tais como o etanol e polifenóis. A acidez do bagaço pode dificultar a sua decomposição impedindo que se alcancem temperaturas termófilas durante a compostagem (Paradelo *et al.*, 2013). No entanto, a mistura do bagaço com outros materiais pode ajudar a corrigir a acidez e a melhorar a estrutura das pilhas de compostagem (Muhlack *et al.*, 2018). Por isso, a compostagem do bagaço com outros materiais tem sido investigada (Ferrer *et al.*, 2001; Bustamante *et al.*, 2008; Fernández *et al.*, 2008). Por exemplo, com material grosseiro para aumentar a porosidade da pilha e obter uma estrutura mais adequada à decomposição aeróbia (Fernández *et al.*, 2008) ou estrume de bovino ou de aves para aumentar o teor de nutrientes obtendo-se compostados com elevado valor agronómico (Ferrer *et al.*, 2001). O objetivo deste trabalho consistiu na monitorização do processo de compostagem do bagaço e engaço de uva branca com a adição de diferentes agentes estruturantes, em condições de elevada precipitação, e na avaliação da qualidade dos compostados produzidos com os diferentes materiais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio de compostagem foi realizado na Escola Superior Agrária de Ponte de Lima (ESAPL) com engaço e bagaço de uva (películas e grânhas), recolhidos no mesmo contentor antes do processo de vinificação do vinho verde branco, e misturados com estrume de bovino (BB), estilha da poda da vinha (BV) ou palha de milho destrocada (BM) em proporção 1:1 (v:v), com o auxílio de uma escavadeira hidráulica de braço oscilante (Quadro 1). A compostagem processou-se em pilhas com a dimensão aproximada de 3 m³ durante 112 dias, sendo estas revolvidas aos 28, 56 e 84 dias após o início da compostagem. As temperaturas foram avaliadas com sensores de temperatura colocados em 3 pontos diferentes no interior de cada pilha.

A pluviosidade foi registada numa estação meteorológica instalada na ESAPL. O teor de humidade (EN 13040) foi determinado de acordo com as normas europeias (CEN, 2007), os valores do pH (EN 13037) e da condutividade elétrica (CE) (EN 13038) foram determinados de acordo com as normas europeias (CEN, 1999). O teor de MO foi determinado por incineração e o azoto pelo método Kjeldahl modificado. O teor de P foi determinado pelo método de digestão com ácido sulfúrico e medição com um espectrofotómetro de UV (UV-Vis espectro, Thermo Scientific) e o teor de K foi determinado pelo método de digestão nitroperclórica e medição com um espectrofotómetro de absorção atómica (Analyst 200, Perkin Elmer).

Quadro 1 - Teor de humidade (H) e características químicas dos materiais utilizados nas pilhas de compostagem

		Engaço e bagaço	Estrume de bovino	Estilha da poda	Palha de milho
H	(%)	66±1	63±8	50±2	70±1
pH		3,9±0,0	8,9±0,2	6,4±0,2	5,6±0,2
CE	(dS m ⁻¹)	2,9±0,4	4,5±0,9	0,3±0,0	2,1±0,3
MO	(g kg ⁻¹)	889±6	796±39	845±25	946±3
C/N		40±3	22±2	42±3	65±4
N	(g kg ⁻¹)	12,1±0,8	21,8±1,7	11,0±0,7	8,1±0,4
P	(g kg ⁻¹)	2,1±0,2	4,1±0,9	1,1±0,1	0,7±0,1
K	(g kg ⁻¹)	36,3±5,1	30,7±5,9	12,0±0,5	27,4±1,9

Os teores de MO e nutrientes NPK são referentes à MS

As perdas de MO e a redução de massa foram determinadas de acordo com as equações 1 (Paredes *et al.*, 2000) e 2 (Tang *et al.*, 2007), respetivamente, e a mineralização da MO foi determinada pelas perdas de MO e expressa pela equação 3 (Paredes *et al.*, 2000):

$$\text{Perdas de MO (g kg}^{-1}\text{)} = 1000 - 1000 [x_1(1000 - x_2)] / [x_2(1000 - x_1)] \quad [1]$$

$$\text{Redução de massa (g kg}^{-1}\text{)} = (1 - x_1/x_2) \times 1000 \quad [2]$$

em que x_1 e x_2 representam o peso das cinzas (g kg⁻¹), respetivamente no início e no fim da compostagem.

$$\text{MO}_m = \text{MO}_0 (1 - e^{-kt}) \quad [3]$$

em que MO_m representa a MO (g kg⁻¹) mineralizada no tempo t (dias), MO_0 representa a MO

potencialmente mineralizável (g kg^{-1}) e k a taxa de mineralização (dia^{-1}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As pilhas de compostagem alcançaram temperaturas termófilas ($> 50\text{ }^\circ\text{C}$) 2 dias após o início da compostagem. As temperaturas máximas nas pilhas realizadas com estrume de bovino ($62\text{ }^\circ\text{C}$), estilha da poda ($59\text{ }^\circ\text{C}$) ou palha de milho destrocada ($60\text{ }^\circ\text{C}$) registaram-se aos 3, 8 e 10 dias, respectivamente, permanecendo aproximadamente durante 3 semanas a temperaturas termófilas, o que indica a possibilidade de higienizar as pilhas realizadas com estes materiais (Decreto-lei 103/2015).

O teor de humidade nas pilhas diminuiu de valores entre 60 e 67% no início da compostagem para valores entre 39 e 53% após 3 semanas de compostagem devido à ausência de pluviosidade (Figura 1). No entanto, entre a 3ª e a 4ª semana, o teor de humidade nas pilhas aumentou devido ao valor de água acumulada, mantendo-se até ao fim da compostagem entre 63 e 78%, superior ao máximo recomendado de 50-60% (Bernal *et al.*, 2009). Na pilha BV o teor de humidade (entre 63 e 71%) foi inferior ao teor de humidade das pilhas BB e BM (entre 72 e 78%) porque a estilha da poda contribuiu para o aumento de porosidade que favoreceu o arejamento e a secagem desta pilha em comparação com as pilhas BB e BM. Os revolvimentos aos 28, 56 e 84 dias provavelmente contribuíram também para a

diminuição do teor de humidade na pilha BV devido ao aumento das perdas de água por evaporação (Ma *et al.*, 2022).

O teor de MO diminuiu rapidamente durante a fase termófila da compostagem devido à mineralização da MO e posteriormente estabilizou (Figura 2). A taxa de mineralização aumentou na pilha

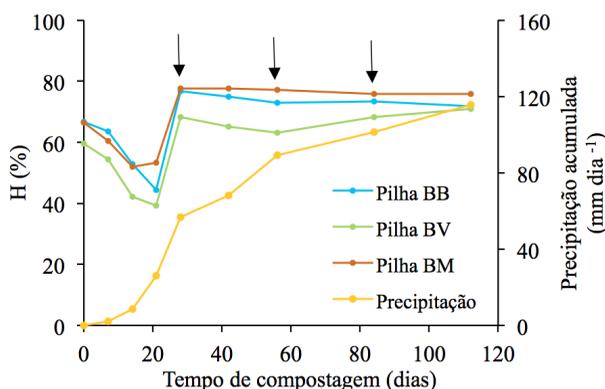


Figura 1 - Teor de humidade nas pilhas e precipitação atmosférica acumulada. As setas representam o revolvimento das pilhas 28, 56 e 84 dias após o início da compostagem.

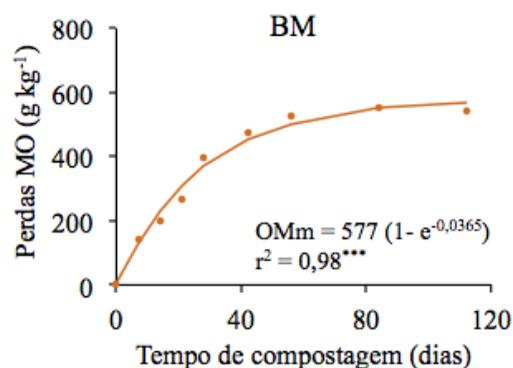
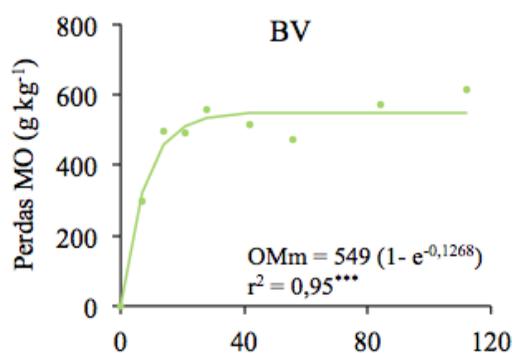
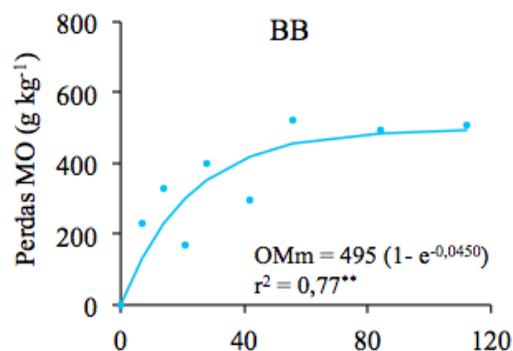


Figura 2 - Perdas de matéria orgânica durante a compostagem de engaço e bagaço de uva com (1:1, v:v) estrume de bovino (BB), estilha da poda de videira (BV) e palha de milho (BM).

BV ($k = 0,1268$) em comparação com as pilhas BB ($k = 0,0450$) e BM ($k = 0,0365$). O material da pilha BV mineralizou mais rapidamente possivelmente porque a estilha da poda tem uma estrutura que permitiu aumentar o arejamento e melhorar a estrutura da pilha em comparação com o estrume de bovino ou a palha de milho. O mesmo foi reportado para a compostagem da mistura da fração sólida do chorume de bovino com tojo, em comparação com a mistura com palha, devido à maior dimensão das partículas do tojo que permitiram um maior arejamento (Brito *et al.*, 2010). Posteriormente, a mineralização foi muito lenta devido à natureza recalcitrante e à dimensão das partículas de estilha da poda (entre 5 e 15 mm de espessura).

A falta de arejamento terá sido, também, responsável por a MO potencialmente mineralizável (MO_0) ser inferior na pilha BB (495 g kg^{-1}) em comparação com as pilhas BV (549 g kg^{-1}) e BM (577 g kg^{-1}), apesar do teor de N mais elevado do estrume da pilha BB ($21,8 \text{ g kg}^{-1}$) facilitar a mineralização da MO (Bustamante *et al.*, 2008). Possivelmente, o teor de humidade elevado a partir da 4ª semana associado a uma estrutura inadequada devido às porções compactas de estrume contribuiu para diminuir a MO_0 na pilha BB. O mesmo foi constatado durante a compostagem de uma mistura de estrume de bovino com bagaço de uva, em que a massa compacta de estrume inibiu a atividade dos microrganismos por falta de arejamento (Fernández *et al.*, 2008). Em contrapartida, a adição de palha de milho destrocada na pilha BM permitiu aumentar a MO_0 para o valor de 577 g kg^{-1} apesar de o teor de N ($8,1 \text{ g kg}^{-1}$) ser inferior e o valor da razão C/N (65) superior (Quadro 1) em comparação com as pilhas BB e BV. Este aumento da MO_0 pode ser explicado pela maior dimensão das partículas e aumento da porosidade da pilha BM que permitiram a degradação da MO facilmente disponível durante o período da compostagem, mesmo em condições de humidade excessiva, em comparação com o estrume, onde as fezes contribuem para a presença de partículas de muito reduzida dimensão, que dificultam o seu arejamento. Em virtude da adição de estilha da poda da videira e palha de milho destrocada que permitiram o aumento do arejamento das pilhas de compostagem BV e BM, respetivamente, a MO mineralizada (OM_m) após 112 dias de compostagem aumentou nas pilhas BV (549 g kg^{-1}) e BM (567 g kg^{-1}) em comparação com a pilha BB (492

g kg^{-1}). Consequentemente, a redução de massa foi superior nas pilhas de compostagem BV (489 g kg^{-1}) e BM (513 g kg^{-1}) em comparação com a pilha BB (410 g kg^{-1}).

A diminuição da razão C/N de valores entre 30 e 45 para valores entre 16 e 25 (Figura 3) é um bom indicador do processo de degradação da MO lábil. A razão $(C/N \text{ final}) / (C/N \text{ inicial})$ nos três compostados inferior a 0,6 indica um elevado grau de maturação (Jiménez & Garcia, 1989). O aumento do teor de N nos três compostados de valores iniciais entre $11,1$ e $15,5 \text{ g kg}^{-1}$ para valores finais entre $16,8$ e $24,9 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 3), associado a elevados teores de MO $> 700 \text{ g kg}^{-1}$, valores de CE $< 3 \text{ dS m}^{-1}$ (Soumaré *et al.*, 2002) e de pH entre 7 e 9 dentro dos limites estabelecidos no decreto lei 103/2015, bem como, teores de metais pesados inferiores aos limites máximos admissíveis (Cu: entre 53 e 64 mg kg^{-1} ; Zn: entre 32 e 94 mg kg^{-1} ; Ni: entre 1,6 e $2,7 \text{ mg kg}^{-1}$;

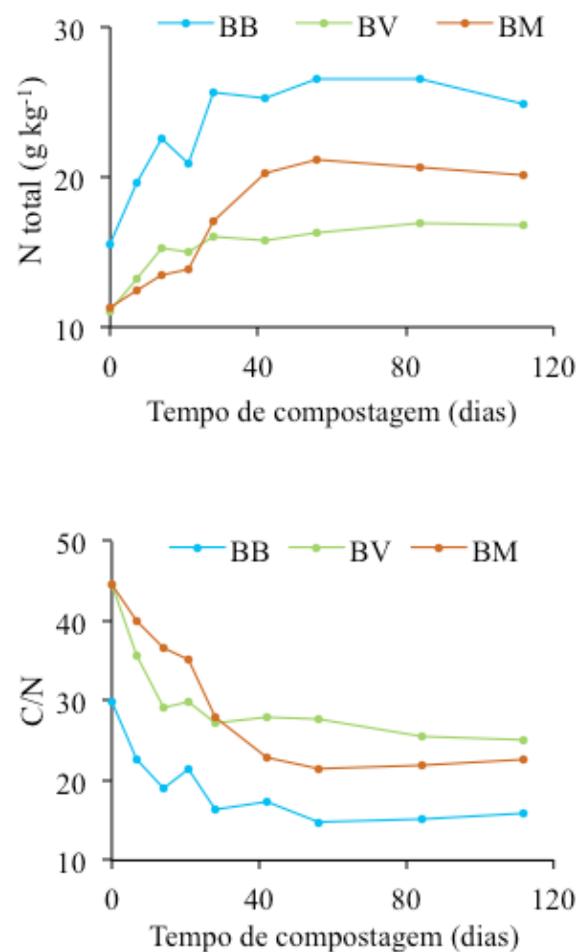


Figura 3 - Azoto total e razão C/N durante a compostagem.

Cd: entre 0,02 e 0,07 mg kg⁻¹; Pb: entre 1,8 e 4,2 mg kg⁻¹; Cr: entre 5,1 e 8,7 mg kg⁻¹; Hg: entre 1,9 e 3,1 µg kg⁻¹) indicam que os compostados são adequados para aplicação ao solo.

CONCLUSÕES

A estabilidade e as características químicas dos compostados de bagaço e engaço (películas e grainhas) com estrume de bovino, estilha de poda da vinha ou palha de milho indicam que estes compostados são adequados para melhorar a fertilidade do solo. O estrume de bovino permite diminuir a razão C/N e aumentar o teor de N (N = 25 g kg⁻¹ e C/N < 20) de modo a promover o valor agronómico do compostado e reduzir a aplicação de fertilizantes minerais de síntese. Por outro lado, principalmente

a estilha da poda, mas também, a palha de milho destrocada, aumentam o arejamento contribuindo para aumentar o teor de matéria seca no interior da pilha sendo, por isso, recomendáveis em condições climáticas que promovam o excesso de humidade no interior das pilhas de compostagem.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) no âmbito do projeto "46112-BIOma", pelo CI-SAS [UIDB/05937/2020 e UIDP/05937/2020] e pelo CIMO [UIDB/00690/2020], através da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT/ MC-TES). Os autores agradecem ao produtor Anselmo Mendes o apoio na realização do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernal, M.P.; Alburquerque, J.A. & Moral, R. (2009) - Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, vol. 100, n. 22, p. 5444-5453.
<http://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Brito, L.M.; Mourão, I. & Coutinho, J. (2010) - Physicochemical dynamics of composting screw pressed cattle slurry amended with Italian Ryegrass straw or gorse bulking agents. *Compost Science and Utilization*, vol. 18, n. 2, p. 119-126. <http://doi.org/10.1080/1065657X.2010.10736944>
- Bustamante, M.A.; Paredes, C.; Marhuenda-Egea, F.C.; Perez-Espinosa, A.; Bernal, M.P. & Moral, R. (2008) - Co-composting of distillery wastes with animal manures: carbon and nitrogen transformations in the evolution of compost stability. *Chemosphere*, vol. 72, n. 4, p. 551-557. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.03.030>
- CEN (1999) - *European Standards-Soil Improvers and Growing Media*. European Committee for Standardization Brussels (Belgium).
- CEN (2007) - *European Standards-Soil Improvers and Growing Media*. European Committee for Standardization Brussels (Belgium).
- Decreto-Lei 103/2015. *Diário da República* 1ª série nº 114, p. 3756-3788.
- Fernández, F.J.; Sánchez-Arias, V.; Villaseñor, J. & Rodríguez, L. (2008) - Evaluation of carbon degradation during co-composting of exhausted grape marc with different biowastes. *Chemosphere*, vol. 73, n. 5, p. 670-677.
<http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.07.007>
- Ferrer, J.; Páez, G.; Mármol, Z.; Ramones, E.; Chandler, C.; Marín, M. & Ferrer, A. (2001) - Agronomic use of biotechnologically processed grape wastes. *Bioresource Technology*, vol. 76, n. 1, p. 39-44.
[http://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00076-6](http://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00076-6)
- Jiménez, E.I. & Garcia, V.P. (1989) - Evaluation of city refuse compost maturity: A review. *Biological Wastes*, vol. 27, n. 2, p. 115-142. [http://doi.org/10.1016/0269-7483\(89\)90039-6](http://doi.org/10.1016/0269-7483(89)90039-6)
- Ma, Q.; Li, Y.; Xue, J.; Cheng, D. & Li, Z. (2022) - Effects of turning frequency on ammonia emission during the composting of chicken manure and soybean straw. *Molecules*, vol. 27, n. 2, art. 472.
<https://doi.org/10.3390/molecules27020472>
- Muhlack, R.A.; Potumarthi, R. & Jeffery, D.W. (2018) - Sustainable wineries through waste valorization: a review of grape marc utilization for value-added products. *Waste Management*, vol. 72, p. 99-118.
<http://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.011>
- Paradelo, R.; Moldes, A.B. & Barral, M.T. (2013) - Evolution of organic matter during the mesophilic composting of lignocellulosic winery wastes. *Journal of Environment Management*, vol. 116, p. 18-26.
<http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.001>
- Paredes, C.; Roig, A.; Bernal, M.P.; Sánchez-Monedero, M.A. & Cegarra, J. (2000) - Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes. *Biology and Fertility of Soils*, vol. 32, p. 222-227. <http://dx.doi.org/10.1007/s003740000239>
- Pinto, R.; Correia, C.; Mourão, I.; Moura, L. & Brito, L.M. (2023) - Composting wastes from the white wine industry. *Sustainability*, vol. 15, n. 4, art. 3454. <https://doi.org/10.3390/su15043454>
- Soumaré, M.; Demeyer, A.; Tack, F.M.G. & Verloo, M.G. (2002) - Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts. *Bioresource Technology*, vol. 81, n. 2, p. 97-101.
[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00125-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00125-0)
- Tang, J.C.; Shibata, A.; Zhou, Q. & Katayama, A. (2007) - Effect of temperature on reaction rate and microbial community in composting of cattle manure with rice straw. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol. 104, n. 4, p. 321-328. <http://doi.org/10.1263/jbb.104.321>