6가 크롬 및 유류 제거를 위한 우모 폐기물의 이용가능성

정진하 · 이나리 · 박성보 · 정성윤¹⁾ · 박근태²⁾ · 손홍주*

부산대학교 생명환경화학과, ¹⁾대구가톨릭대학교 의생명과학과, ²⁾부산대학교 산학협력단
(2011년 12월 16일 접수; 2012년 2월 2일 수정; 2012년 3월 21일 채택)

Availability of Chicken Feather for Removal of Hexavalent Chromium and Oil

Jin-Ha Jeong, Na-Ri Lee, Sung-Bo Park, Seong-Yun Jeong¹⁾, Geun-Tae Park²⁾,
Hong-Joo Son*

Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

¹⁾Department of Medical Life Science, Catholic University of Daegu, Daegu 712-784, Korea

²⁾Research & University-Industry Cooperation, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Manuscript received 16 December, 2011; revised 2 February, 2012; accepted 21 March, 2012)

Abstract

We investigated usefulness of chicken feather as bioadsorbent for removal of hexavalent chromium[Cr(VI)] and oil from aqueous solution. Chicken feather was chemically treated with DTPA, EDTA, NaOH and SDS, respectively. Among them, EDTA was the most effective in adsorbing Cr(VI). Cr(VI) uptake by chicken feather was increased with decreasing pH; the highest Cr(VI) uptake was observed at pH 2.0. By increasing Cr(VI) concentration, Cr(VI) uptake was increased, and maximum Cr(VI) uptake was 0.34 mmol/g. Cr(VI) adsorption by chicken feather was well described by Freundlich isotherm than Langmuir isotherm and Freundlich constant(1/n) was 0.476. As the concentration of chicken feather was increased, Cr(VI) removal efficiency was increased but Cr(VI) uptake was decreased. Most of Cr(VI) was adsorbed at early reaction stage(1 h) and adsorption equilibrium was established at 5 h. On the other hand, chicken feather adsorbed effectively oils including bunker-A and bunker-C. In conclusion, our results suggest that chicken feather waste could be used to remove heavy metal and oil; it is a potential candidate for biosorption material.

Key Words : Adsorption, Bioadsorbent, Chromium, Feather, Oil

1. 서 론

산업이 발전하고, 인구가 급격히 증가함에 따라 산업폐수 및 생활하수 역시 대량으로 발생하고 있는데, 결과적으로 수질오염은 한층 심화되고 있고, 이것은

전 세계 모든 국가가 공통적으로 직면하고 있는 환경 문제이다. 특히 산업폐수에 함유된 각종 중금속은 생물농축에 의하여 체내에 고농도로 축적되어 다양한 질병을 초래하므로 각 나라마다 중금속에 대한 배출 허용 농도를 설정하여 엄격히 규제하고 있다. 우리나라에서도 환경정책 기본법에 특정 유해 중금속에 대한 배출허용 농도를 규정하고 있으므로 효율적이고, 경제적인 중금속 처리법의 개발은 중요한 사안이다.

일반적으로 사용되고 있는 중금속 제거법에는 전

*Corresponding author : Hong-Joo Son, Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea
Phone: +82-55-350-5544
E-mail: shjoo@pusan.ac.kr

기분해법, 이온교환수지법, 용매추출법, 흡착법 등이 있다(Alvarez-Ayuso 등, 2007). 전술한 세가지 방법은 각각 분리조건 설정의 어려움, 대량 폐수 적용의 어려움, 용매 가격의 비경제성이라는 단점을 가지고 있다(Seo 등, 2006). 반면 흡착법은 이들이 가지는 단점을 보완할 수 있어 특히, 생물 흡착법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 향후 폐수 속 중금속을 제거할 수 있는 유망한 방법으로 주목받고 있다(Davis 등, 2003).

중금속을 제거하기 위해 가장 널리 사용되는 흡착제는 활성탄이다. 그러나 활성탄의 흡착 성능을 개선시키기 위하여 complexing agent를 사용하며, 이것은 활성탄의 제조원가를 상승시키는 요인이 된다(Kim 등, 2010). 따라서 이러한 점을 보완하기 위하여 저가의 흡착제를 찾기 위한 연구가 일부 연구자들에 의하여 진행되고 있다. 그 중 왕겨, 쌀겨, 밀기울, 코코넛 및 커피 폐기물, 피트, 리그닌 등의 농업 부산물이나 슬러지, 슬래그, 비산화(fly ash) 등의 산업 부산물은 활성탄을 대체하여 사용될 수 있는 가능성이 높은 흡착제로 보고되었다(Mohan과 Pittman Jr, 2006). 특히 농업 부산물은 독특한 화학조성을 가짐과 동시에 대량으로 발생하는 재생 가능한 자원이므로 경제적이고, 환경친화적인 흡착제이다.

농업 부산물 중, 양계산업 및 육가공산업에서 발생하는 우모(feather)는 전 세계적으로 연간 발생량이 큰 폭으로 증가하고 있는 난분해성 산업폐기물이다(Kornilowicz-Kowalska와 Bohacz, 2011). 닭과 오리 등의 도축수를 감안할 때, 국내에서는 연간 15만 톤 이상의 우모가 폐기물로 발생하고 있는데, 대부분 매립이나 소각처리하고 있고, 일부는 물리화학적 처리를 통하여 우모분(feather meal)으로 전환시켜 사료첨가제로 이용하고 있다. 그러나 우모의 물리화학적 처리는 폐수 및 악취를 발생시켜 환경오염이 유발될 뿐만 아니라 처리비용도 높아 비경제적이다(Papadoulos와 Ketelaars, 1986). 따라서 최근 환경친화적 처리법으로서 우모분해 미생물을 이용하여 우모를 사료화하려는 연구가 진행되고 있다(Lin 등, 1992). 우모를 분해하여 유용자원화하는 것도 중요하지만 우모 자체를 활용할 수 있는 방법의 개발도 의미있는 일이라 판단된다. 현재, 우모 원형은 일부만이 쿠션 등의 충전재로

사용되고 있을 뿐 다른 용도로의 사용 가능성에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

한편 전기도금, 식물 제조나 가죽 염색 과정에서 발생하는 Cr(VI)은 돌연변이와 암을 유발하는 중금속으로서, 지하수를 포함한 각종 수 환경을 오염시키고 있으나 수계에서 이동이 용이해 그 처리가 어려운 물질 중의 하나이다(Miretzky와 Cirelli, 2010). 우리나라는 지하수오염 예방기준과 지하수 용도별 수질기준에서 특정유해물질로 구분하여 관리를 하고 있다.

따라서 본 연구에서는 Cr(VI)을 제거하기 위한 흡착제로서 우모의 가능성을 살펴보고자 하였으며, 우모 표면 개질을 통하여 흡착능 개선 유무 등을 조사하였다. 아울러, 현재 유류 유출사고가 급증하고 있는 것에 착안하여 각종 유류 흡착제로서 우모의 응용 가능성도 함께 알아봄으로써 우모의 재활용에 관한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

본 실험에서 사용한 우모는 도계장에서 입수한 닭의 우모이다. 입수된 우모를 계면활성제 및 증류수로 깨끗하게 세척한 후, 60 °C에서 24시간동안 건조시켰다. 건조된 우모를 homogenizer를 이용하여 분쇄한 후, 저온보관하면서 실험에 사용하였다. Cr(VI) 용액은 특급의 $K_2Cr_2O_7$ (Junsei, Japan)을 사용하여 조제하였으며, 표준원액은 Cr(VI)의 농도가 500 mg/L가 되도록 조제한 후, 실험시 필요한 농도로 희석하여 사용하였다. 실험에 사용한 기타 시약들은 모두 특급이었으며, 증류수는 HPLC용 초순수를 사용하였다.

2.2. 우모의 전처리

우모의 Cr(VI) 흡착능을 개선시키기 위하여 다음과 같이 화학적 처리를 실시하였다. 첫째, 10% chelating agent[diethylenetriaminepentaacetic acid(DTPA), ethylenediaminetetraacetic acid(EDTA)] 용액에 우모를 첨가하여 75°C에서 5시간동안 반응시켰다(Tsukada 등, 1996). 둘째, 0.2 N NaOH 용액에 우모를 첨가하여 20분간 반응시켰다(Al-Asheh 등, 2003). 셋째, 0.6% sodium dodecyl sulphate(SDS) 용액에 우모를 첨가하여 24시간동안 반응시켰다(Al-Asheh 등, 2003).

반응이 완료된 우모는 회수하여 초순수로 세척한 후, 60℃에서 24시간동안 건조시켰다.

2.3. Cr(VI) 흡착실험

흡착능이 우수한 전처리법을 선정하기 위하여 1.9 mmol/L Cr(VI) 용액 20 ml와 전처리된 우모 0.1 g을 혼합한 후, 용액의 pH를 2.0-9.0로 각각 조정하였으며, 30℃, 300 rpm에서 24시간동안 반응시켰다. 반응이 종료된 후, 우모를 제거하여 상등액의 Cr(VI) 농도를 측정하였다. 다른 언급이 없는 한, 사용된 우모 및 Cr(VI)의 농도는 각각 0.1 g 및 1.9 mmol/L이었으며, 반응조건은 30℃, 300 rpm이었다.

Cr(VI) 농도(0.4-1.9 mmol/L, pH 2.0)에 따른 흡착 실험을 실시한 후, 도출된 결과로부터 평형 흡착량(q_e)을 식 1에 의하여 계산하고, Langmuir (식 2) 및 Freundlich (식 3)의 등온 흡착식을 이용하여 흡착평형을 해석하였다.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) V}{W} \quad (\text{식 1})$$

여기서 C_0 와 C_e (mmol/L)는 각각 흡착질의 초기농도와 평형농도를 나타낸다. V 는 용액의 부피(L)이고, W 는 흡착제의 건조무게(g)이다.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_0 b} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_0} \quad (\text{식 2})$$

여기서 C_e 는 흡착질의 평형농도(mmol/L), q_e 는 흡착제의 단위무게당 흡착된 흡착질의 양(mmol/g), Q_0 와 b 는 흡착용량과 흡착속도에 관련된 Langmuir 상수이다.

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (\text{식 3})$$

여기서 C_e 는 흡착질의 평형농도(mmol/L), q_e 는 흡착제 단위무게당 흡착된 흡착질의 양(mmol/g), K_F 와 n 은 흡착과정이 얼마나 적합한가를 나타내는 Freundlich 상수이다.

또한 우모의 첨가 농도 변화(2.5-12.5 g/L)에 따른 Cr(VI)의 흡착량과 5 g/L의 우모가 첨가된 용액에서 반응시간 경과에 따른 Cr(VI)의 흡착량을 조사하였다.

2.4. 유류 흡착실험

유류 흡착실험은 해양경찰청 고시 해양오염방제 자재, 약제의 성능시험기준 및 검정기준(2009)에 준하여 실시하였다. 일정한 크기의 우모 5 g을 각각 증류수, crude oil, bunker-A 및 bunker-C oil에 첨가하여 20℃에서 5분 동안 정지한 후, 흡유량 및 흡수량을 측정하였다.

2.5. 분석방법

Cr(VI)의 정량은 Standard methods for the examination of water and wastewater(Clesceri 등, 1998)의 colorimetric method를 이용하여 수행하였다. 여과된 시료 일정량을 volumetric flask로 옮긴 후, 0.25 ml의 H_3PO_4 를 첨가하고 증류수를 이용하여 최종 부피가 100 ml가 되도록 하였다. 0.5% 1,5-diphenylcarbazide 용액 2 ml를 첨가하여 10분 동안 교반한 후, 545 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 일정 농도 범위의 $K_2Cr_2O_7$ 을 사용하여 작성하였다. 우모의 흡유량 및 흡수량은 다음과 같이 측정하였다. 반응이 끝난 우모를 회수하여 철망위에 5분간 방치한 후, 시험 전, 후 무게 차이를 계산하여 흡수량 및 흡유량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 우모 전처리 및 pH에 따른 Cr(VI) 흡착능

중금속의 흡착에는 pH가 큰 영향을 미치고, 흡착제의 종류에 따라 흡착 최적 pH가 존재하는 것으로 보고되어 있다(Naseem 등, 1995). 또한 흡착제의 표면 개질을 통하여 중금속 흡착능이 개선될 수도 있음이 알려져 있다(Monser와 Adhoum, 2002). 따라서 단백질 표면에 치환 또는 결합된 후, 이온교환이나 chelation에 의하여 중금속을 흡착할 수 있는 몇 가지 방법을 통하여 우모를 전처리한 후, 개질된 우모의 Cr(VI) 흡착능을 pH 변화에 따라 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 전 조사 pH 범위를 통하여 DTPA와 EDTA를 처리한 우모가 전처리하지 않은 우모보다 Cr(VI) 흡착능이 높았으며, SDS와

NaOH를 처리한 우모는 비슷하거나 낮았다. 또한 pH에 따른 흡착능의 변화는 매우 크다는 것을 알 수 있었는데, pH 2.0에서 Cr(VI) 흡착능이 가장 높았으며, pH 범위가 중성 범위로 변함에 따라 흡착능은 급격히 감소하여 알칼리 범위에서 흡착은 거의 일어나지 않았다. 사용된 우모 중, EDTA 처리 우모가 가장 높은 Cr(VI) 흡착능을 나타내었다. EDTA는 대표적인 chelating agent로서, 우모 단백질에 acylation됨으로써 Cr(VI)을 보다 효율적으로 흡착할 수 있는 것으로 판단된다(Taddei 등, 2003).

Fig. 1. Influence of initial pH on Cr(VI) adsorption by modified chicken feather.

흡착제로서 EDTA 처리 우모를 이용하여 Cr(VI)의 초기 농도 변화에 따른 흡착량을 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. Cr(VI)의 농도 증가에 비례하여 흡착량도 비례하여 증가하였으며, 본 실험에서 실시한 농도 범위에서 최대 흡착량은 0.34 mmol/g이었다. Cr(VI)의 초기 농도가 증가함에 따라 우모의 단위무게당 흡착량이 증가하는 것은 Cr(VI)의 농도가 높아짐에 따라 물질 전달의 driving force인 농도차가 상대적으로 높아짐에 따른 결과로 판단된다(Lee 등, 1997).

Fig. 2. Influence of initial Cr(VI) concentration on Cr(VI) adsorption by chicken feather.

3.2. Cr(VI)의 흡착평형 해석

흡착등온식을 이용하여 흡착제의 흡착상태를 정량화함으로써 흡착제로서의 성능을 알 수 있다. 따라서 Cr(VI)의 초기 농도 변화에 따른 흡착 결과를 바탕으로 Langmuir 및 Freundlich 흡착등온선을 구하였다. Fig. 3 및 4에 각각 Langmuir 흡착등온선과 Freundlich 흡착등온선을 나타내었으며, 선형 회귀분석법에 의하여 계산된 두 식의 상수들은 Table 1에서 보는 바와 같다. 두 식에 대한 적합성을 비교한 결과, Langmuir 식에 대한 상관계수는 0.9766, Freundlich 식에 대한 상관계수는 0.9939로서, 우모에 의한 Cr(VI)의 흡착은 Freundlich 등온식에 더 적합한 것으로 나타났다. 따

Fig. 3. Linearized Langmuir isotherm plot of Cr(VI) adsorption by chicken feather.

Fig. 4. Linearized Freundlich isotherm plot of Cr(VI) adsorption by chicken feather.

Table 1. Model parameters for adsorption of Cr(VI) by chicken feather

Isotherm	Parameter		
	Q_0	b	r^2
Langmuir	0.00031	14684.7	0.9766
Freundlich	$1/n$	K_F	r^2
	0.476	0.012	0.9939

라서 우모에 의한 Cr(VI)의 흡착은 흡착질이 단일층을 형성하여 흡착하는 것이 아니라 우모의 흡착표면이 불균일한 에너지에 의하여 선택적으로 흡착되는 것으로 판단된다(Lee, 2011). Freundlich 흡착식에 있어서 $1/n$ 이 0.1-0.5일 때 효과적인 흡착이 일어나며, $1/n$ 이 2보다 클 경우 흡착제의 양을 증가시켜도 흡착질의 농도가 감소하지 않아 흡착 효율이 감소한다고 보고되어 있다(Ogata 등, 2006). Table 1에서 보는 바와 같이 본 연구에서 조사된 $1/n$ 은 0.476으로서, 우모에 의한 Cr(VI) 흡착은 효과적인 처리가 가능한 수준임을 알 수 있었다. 한편, Langmuir 흡착에서는 식 4로 정의되는 무차원의 separation factor(R_L)에 의하여 등온선의 모양이 흡착에 적합한지, 아니면 부적합한지 판단할 수 있다. 즉 $R_L > 1$ 은 부적합, $R_L = 1$ 은 선형, $R_L = 0$ 은 비가역, $0 < R_L < 1$ 은 적합하다고 보고되었다(Karthikeyan과 Ilango, 2008). Table 1의 분석값을 이용하여 Langmuir의 separation factor를 계산한 결과, 0.073으로 나타났다. 따라서 Langmuir 등온식에 의한 결과 분석에서도 우모에 의한 Cr(VI)의 흡착은 적합하다는 것을 확인할 수 있었다.

$$R_L = \frac{1}{(1 + bC_0)} \quad \text{식 (4)}$$

3.3. 우모 첨가량 및 반응시간에 따른 Cr(VI) 흡착능

EDTA 처리 우모의 첨가량에 따른 Cr(VI)의 흡착량을 조사한 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 우모의 첨가량이 증가할수록 단위무게당 Cr(VI)의 흡착량은 감소하였으나 제거율(%)은 증가하였다. 단위무게당 흡착량이 감소하는 현상은 단위부피 내에 흡착제의 양이 상대적으로 증가함에 따라 흡착제간의 거리가 가까워져 Cr(VI)에 대해 흡착 활성점이 공유되거나 또는 흡착 활성점간의 상호방해 작용이 발생하였기 때문인 것으로 판단된다(Horikoshi 등, 1981).

EDTA 처리 우모의 Cr(VI) 흡착속도 변화를 조사하기 위하여 우모 5 g/L 및 Cr(VI) 1.9 mmol/L이 첨가된 용액에서 반응시간 경과에 따른 Cr(VI)의 흡착량을 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 6에서 보는 바와 같다. 반응시간이 경과함에 따라 우모의 Cr(VI) 흡착량은 증가하였는데, 반응 초기인 1시간 경에 대부분의 Cr(VI)

은 흡착되었으며, 그 이후에는 시간이 경과함에 따라 흡착량은 점점 감소하여, 5시간 이후에는 일정하였다. 따라서 흡착 평형에 도달하는 시간은 5시간인 것으로 판단된다.

Fig. 5. Influence of feather concentration on Cr(VI) adsorption by chicken feather (●, chromium uptake; ■, removal efficiency).

Fig. 6. Influence of reaction time on Cr(VI) adsorption by chicken feather.

3.4. 우모의 유류 흡착능

다양한 유류에 대한 우모의 흡착능을 조사한 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. Bunker-C의 흡착량이 38.0 g/g으로 가장 높았고, bunker-A는 17.8 g/g이었다. Crude oil의 경우 해양경찰청 고시 해양오염방지 자재, 약제의 성능시험기준(2009)인 "1 g당 10 g"보다 적은 7.9 g/g이 흡착되었다. 또한 해양경찰청 고시 해양유류오염방지자재의 흡수량은 '1 g당 1 g 이하'인데, 우모의 흡수량은 이 조건을 만족시켰다. 따라서 우모는 bunker-A와 bunker-C를 제거하는 흡착제로서 사용 가능성이 있는 것으로 판단된다.

Table 2. Adsorption of various oils by chicken feather

Adsorbate	Distilled water	Crude oil	Bunker-A	Bunker-C
Amount adsorbed (g/g)	0.7	7.9	17.8	38.0

4. 결 론

우모를 사료첨가제로 재활용하기 위하여 우모분해 미생물에 대한 연구는 활발하게 진행되고 있지만 우모 원형 자체를 이용하여 각종 오염물질을 제거하고자 하는 연구는 극소수에 불과하다. 따라서 본 연구에서는 중금속 중 Cr(VI)과 각종 유류를 제거하기 위한 흡착제로서 우모의 가능성을 조사하였다. 우모의 흡착능을 개선시키기 위하여 표면 개질을 시도한 결과, EDTA로 처리된 우모가 Cr(VI) 흡착에 가장 효과적이며, pH 2.0에서 가장 높은 흡착능을 나타내었다. Cr(VI)의 흡착량은 Cr(VI)의 초기 농도 증가에 비례하여 증가하였으며, 본 실험에서 적용한 농도 범위에서 최대 흡착량은 0.34 mmol/g이었다. 우모에 의한 Cr(VI)의 흡착은 Langmuir 등온식보다 Freundlich 등온식에 더 적합한 것으로 나타났으며, Freundlich constant는 0.476이었다. 우모의 첨가량이 증가할수록 단위무게당 Cr(VI)의 흡착량은 감소하였으나 제거효율은 증가하였다. 반응 초기인 1시간 후, 대부분의 Cr(VI)이 우모에 흡착되었으며, 흡착 평형에 도달하는 시간은 5시간이었다. 한편, 우모는 bunker-A와 bunker-C를 포함한 각종 유류를 효과적으로 흡착할 수 있었다. 결론적으로 우모 폐기물은 중금속과 유류를 제거하기 위한 흡착제로서 잠재적 이용가능성이 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다(No. 2010-0023046).

참 고 문 헌

해양경찰청, 해양오염방제 자재, 약제의 성능시험기준

- 및 검정기준, 2009, 해양경찰청 고시 제2009-6호.
- Al-Asheh, S., Banat, F., Al-Rousan, D., 2003, Beneficial reuse of chicken feathers in removal of heavy metals from wastewater, *J. Cleaner Production*, 11, 321-326.
- Alvarez-Ayuso, E., Garcia-Sanchez, A., Querol, X., 2007, Adsorption of Cr(VI) from synthetic solutions and electroplating wastewater on amorphous aluminum oxide, *J. Hazard. Mater.*, 142, 191-198.
- Clescerl, L. S., Greenberg, A. E., Eaton, A. D., 1998, Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed., APHA-AWWA-WEF, Washington, D.C.
- Davis, T. A., Volesky, B., Mucci, A., 2003, A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae, *Water Res.*, 37, 4311-4330.
- Horikoshi, T., Nakajima, A., Hakaguchi, T., 1981, Studies on the accumulation of heavy metal elements in biological systems. XIX. Accumulation of uranium by microorganism, *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 12, 90-96.
- Karthikeyan, G., Ilango, S. S., 2008, Adsorption of Cr(VI) onto activated carbons prepared from indigenous materials, *E. J. Chem.*, 5, 666-678.
- Kim, M. S., Ham, K. J., Ok, Y. S., Gang, S. H., 2010, Adsorption characteristics of cadmium ions from aqueous solution using by-product of brewing, *Kor. J. Env. Agri.*, 29, 152-158.
- Kornilowicz-Kowalska, T., Bohacz, J., 2011, Biodegradation of keratin waste: theory and practical aspects, *Waste Management*, 31, 1689-1701.
- Lee, J. J., 2011, Study on adsorption characteristics of erythrosine dye from aqueous solution using activated carbon, *Appl. Chem. Eng.*, 22, 224-229.
- Lee, M. G., Suh, J. H., Kam, S. K., Lee, D. H., Oh, Y. H., 1997, Characteristics of lead biosorption by biosorbents of marine brown algae, *J. Kor. Env. Sci. Soc.*, 6, 531-539.
- Lin, X., Lee, C. C., Csale, E. S., Shih, J. C. H., 1992, Purification and characterization of a keratinase from a feather-degrading *Bacillus licheniformis* strain, *Appl. Environ. Microbiol.*, 58, 3271-3275.
- Miretzky, P., Cirelli, A. F., 2010, Cr(VI) and Cr(III) removal from aqueous solution by raw and modified lignocellulosic materials: A review, *J.*

- Hazard. Mater., 180, 1-19.
- Mohan, D., Pittman Jr, C. U., 2006, Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water, J. Hazard. Mater., B137, 762-811.
- Monser, L., Adhoum, N., 2002, Modified activated carbon for the removal of copper, zinc, chromium and cyanide from wastewater, Sep. Purif. Technol., 26, 137-146.
- Naseem, A. M., Sivarama, S. K., Maruthi, M. P., 1995, Biosorption of silver ions by processed *Aspergillus niger* biomass, Biotechnol. Lett., 17, 551-556.
- Ogata, F., Kawasaki, N., Nakamura, T., Tanada, S., 2006, Removal of arsenious ion by calcined aluminum oxyhydroxide(boehmite), J. Colloid Interf. Sci., 300, 88-93.
- Papadoulos, M. C., Ketelaars, E. H., 1986, Effects of processing time and moisture content on amino acid composition and nitrogen characteristics of feather meal, Anim. Feed Sci. Technol., 14, 279-290.
- Seo, Y. C., Lee, H. J., Kim, D. W., 2006, Characteristics of heavy metals bio-sorption by *Penicillium* biomass, KSFEA, 9, 49-54.
- Taddeia, P., Montia, P., Freddi, G., Araic, T., Tsukada, M., 2003, Binding of Co(II) and Cu(II) cations to chemically modified wool fibres: an IR investigation, J. Mol. Structure, 650, 105-113.
- Tsukada, M., Freddi, M., 1996, Polymeric Materials Encyclopedia, vol. 10, CRC Press, Boca Raton (FL), 7728.