

식품 폐기물을 이용한 친환경 생촉매의 발굴과 인디고 환원에 응용

Utilization of Food Waste Extract as an Eco-friendly Biocatalyst for Indigo Reduction

*Corresponding author

Younsook Shin
(yshin@jnu.ac.kr)

손경희, 류동일¹, 신윤숙*

전남대학교 의류학과, ¹전남대학교 고분자공학부

Kunghye Son, Dong Il Yoo¹ and Younsook Shin*

Department of Clothing and Textiles, Chonnam National University, Gwangju, Korea

¹School of Polymer Science and Engineering, Chonnam National University, Gwangju, Korea

Received_November 17, 2020

Revised_November 26, 2020

Accepted_November 27, 2020

Abstract In this study, the validity of extracts from food waste as biocatalyst for indigo reduction was examined. Dried food wastes such as apple peel and corn waste were water-extracted and freeze-dried. The reducing power of extracts for indigo was evaluated by the oxidation-reduction potential(ORP) measurement of reduction bath and color strength(K/S value) of the fabrics dyed in the indigo reduction bath. Total sugar contents of the apple peel and corn waste extracts were 60.56% and 62.36%, respectively. Antioxidant activity was 64.78% for the extract of apple peel and 7.96% for the extract of corn waste. Indigo reduction took place quickly with both extracts, and maximum color strength was obtained up to 15.91 and 12.11 within 1~3 days, respectively. The oxidation-reduction potential of reduction bath was stabilized in the range of -500 ~ -620 mV according to the kinds of food waste and the extract concentration. At higher concentration of the extracts, reduction power was maintained for longer time and stronger color strength was obtained. Compared to sodium dithionite, the reducing power of the studied extracts was lower, but the reduction stability was superior to it. The studied extracts were effective biocatalyst as biodegradable and safe alternatives to sodium dithionite for indigo reduction.

Textile Coloration and Finishing

TCF 32-4/2020-12/193-198

© 2020 The Korean Society of Dyers and Finishers

Keywords food wastes extracts, indigo reduction, biocatalyst, oxidation-reduction potential, color strength

1. 서 론

최근 지속가능한 발전을 위한 환경오염과 기후변화에 대한 인류의 관심 때문에 식품폐기물, 농업 부산물 등 사용하지 않은 바이오매스를 에너지, 연료, 유용한 물질 등으로 변환시키는 필요성이 높아지고 있다¹⁾. 식생활 및 사회환경 변화에 따라 농업 및 식품산업에서 발생하는 많은 폐기물의 양은 점점 증가하고 있으며, 이를 처리하는 데 막대한 비용이 소요되고 환경오염에 미치는 영향도 심대하여 해결해야 할 중요한 과제가 되었

다. 이는 재활용을 통해 자원 가치를 높이고, 처리비용 절감과 함께 환경오염 방지, 재생 신소재의 개발 등의 성과를 거두고 있다^{2,3)}.

텍스타일 분야에서 식품폐기물을 자원으로 재활용하여 주로 색소를 추출하고 이를 천연염색에 적용하는 연구가 많이 이루어지고 있다. 그러나 식품폐기물에는 색소뿐만 아니라 당류, 향산화물질, 항균물질, 면역증진 물질 등 다양한 기능과 효능을 가진 유효물질들이 포함되어 있다⁴⁻⁷⁾. 감껍질, 복분자 찌꺼기, 바나나껍질 등 식품폐기물을 활용하여 인디고환원염색 공정에서 생촉매(biocatalyst)로서의 효용성을 보고한 바 있다⁸⁻¹⁰⁾.

한편 우리나라에서 사과와 옥수수는 그 소모량이 많아 식용이나 가공과정에서 발생하는 폐기물이 많다. 사과는 2019년도 기준으로 50만 톤 이상 생산되었으며 생과일로 섭취할 때나 주스, 잼 등으로 가공하는 과정에서 많은 폐기물이 발생한다. 우리나라 옥수수 생산량은 미국, 중국 등과 비교하면 상대적으로 매우 적지만 식용과정에서 역시 많은 양의 폐기물을 발생시키는 식품으로 분류 할 수 있다. 폐기되고 있는 생물자원을 재활용하는 것은 제한된 자원의 활용을 최대화함으로써 지속가능한 발전에 기여할 뿐만 아니라, 화석연료를 기반으로 하고 있는 화학물질의 새로운 친환경적인 대체물질로 사용가능하므로 그 의미가 크다.

오늘날 인디고는 세계적으로 매년 10억 벌 이상 생산되는 데님의류의 인기 때문에 섬유산업에서 매우 중요한 염료중 하나이다. 그러나 현재 화학환원제를 사용하는 인디고염색 기술은 유해한 부산물과 찌꺼기가 발생하여 심각한 환경오염의 원인이 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 보다 친환경적인 인디고 환원방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 최근에는 미생물 또는 효모를 이용한 생물학적인 방법, 전기화학적 방법, 환원당을 이용하는 방법 등이 보고되었다¹¹⁻¹⁶.

본 연구에서는 사과와 옥수수의 폐기된 부분을 활용하여 인디고의 환원제로서 유효성을 조사하였다. 식품폐기물은 건조 후 증류수로 100°C에서 1시간 동안 추출, 농축하여 분말로 만들어 사용하였다. 추출물의 기능성분을 알아보기 위해 총당량(Phenol-sulfuric method)과 항산화력(DPPH free radical scavenging activity)을 측정하였다. 인디고 환원반응을 위해 추출분말을 사용하고, 환원육의 산화-환원포텐셜 측정과 염색 실험을 통해 환원력을 평가하였다.

2. 실험

2.1 시약 및 시료

사과 및 옥수수를 시중에서 구입하여 폐기부분을 재활용하기 위해 상온에서 건조한 후 냉장고에 보관하였다. 합성인디고(Aldrich, USA)와 모시직물(Table 1)은 구매하여 사용하였으며, 그 밖에 사용한 시약은 1급 시약을 그대로 사용하였다.

2.2 추출물의 총당량과 항산화능 측정

건조한 식품폐기물을 증류수에 60분간 끓인 후 여과, 농축을 거쳐 동결건조하여 분말화하여 사용하였다. 총당량의 측정은 phenol-sulfuric acid 방법을 사용하였으며, 글루코스를 표준당으로 사용하여 490nm에서 분광광도계(UV-Vis spec-

Table 1. Characteristics of the ramie fabric used

Weave	Density (w×f/inch ²)	Weight (g/m ²)	Thickness (mm)
Plain	60 x 46	118	0.32

trophotometer; Agilent 845, Agilent Technologies, Waldbronm, Germany)를 사용하여 흡광도를 측정하여 산출하였다.

항산화력은 Blois 방법¹⁷⁾을 사용하였으며 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl(DPPH)의 자유라디칼을 추출물의 항산화물질이 소거하는 능력을 측정하였다. 흡광도의 감소는 517nm에서 분광광도계를 사용하여 측정하여 다음 식(1)으로부터 산출하였다.

$$Radical\ scavenging\ activity(\%) = \frac{(A_c - A_s)}{A_c} \quad (1)$$

where,

A_c : Absorbance of control sample

A_s : Absorbance of extract sample

2.3 인디고 환원력 평가

추출물의 인디고에 대한 환원력을 평가하기 위해 환원육(150 mL)을 합성인디고(0.5 g), 수산화칼슘(5 g), 추출분말로 만들어 80°C로 육의 온도를 올려 반응을 시켰다. 환원육을 만든 시점을 0일로 하여 하루에 한번 씩 환원육의 산화-환원포텐셜(Oxidation-Reduction Potential, ORP)을 측정하고 마직물을 염색하여 경과시간에 따른 환원력 변화를 모니터링하였다.

2.3.1 산화-환원포텐셜 측정

환원정도를 평가하기 위해 환원육의 산화-환원포텐셜을 platinum band electrode와 Ag-AgCl reference electrode로 구성된 Bioanalytical Systems CV-27 Voltammograph (BAS, USA)를 사용하여 60°C에서 측정하였다.

2.3.2 염착량 측정

환원육의 상등액에 모시직물을 20분간 침지한 후 공기 중에 산화시킨 후 염색하여 염착량(K/S)을 환원력의 척도로 평가하였다. 염착량은 색차계(Color-eye 3100, Macbeth, USA)를 이용하여 D₆₅ 광원, 10°시야 조건에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 추출 분말의 당함량과 항산화력

Table 2는 식품폐기물로부터 추출-분말화한 후 총당량과 항산화능을 분석한 결과이다. 사과피와 옥수수폐기물의 당함량은 각각 60.56%와 62.36% 이었으며, 비교적 높은 수준의 당을 함유하고 있는 것으로 나타났다. 사과에 함유되어 있는 당류는 자당(sucrose), 과당(fructose), 포도당(glucose) 등이며¹⁸⁾, 이들 당은 인디고와 황화염료의 친환경 환원제로 이용될 수 있는 것으로 보고된 바 있다^{19,20)}. 이들 당의 환원효과는 전자가 풍부한 중간물질을 형성하기 때문이다²¹⁾.

그러나 식품폐기물 추출물 성분의 당함량은 인디고의 환원에

Table 2. Total sugar content and antioxidant capacity of food waste extracts

	Apple peel	Corn waste
Total sugar content (%)	60.56	62.36
DPPH radical scavenging activity (%)	64.78	7.96

이용되는 경우 환원반응에 큰 영향을 주는 것으로 판단되었다. 옥수수 폐기물은 겉껍질(husk), 옥수수대(corn cob), 옥수수 수염(corn silk) 등을 사용하였으며, 자당, 과당, 포도당 등이 분포되어 있다²²⁾.

DPPH 라디칼 소거능력은 식물의 항산화성을 나타내는데 널리 사용된다. 많은 과일과 채소에 널리 분포되어 있는 카테킨(catechin), 루틴(rutin), 퀘르세틴(querctetin) 등을 포함한 페놀류(phenolics)는 병충해, 자외선 등 외부 유해인자를 방어할 수 있는 항산화력을 부여한다²³⁻²⁶⁾. 사과피 추출물은 농도 1.0%에서 64.78%의 높은 항산화력을 갖는 것으로 나타났으며, 농도가 증가함에 따라 항산화력도 증가하였다. 사과의 품종에 따라 다르지만 항산화능을 나타내는 페놀류는 사과의 과육보다 사과 껍질에 2-9배 더 많이 분포되어 있는 것으로 알려져 있다²⁷⁾. 따라서 폐기되는 사과피는 항산화능, 항노화기능을 가진 유용한 물질을 추출할 수 있는 자원으로 재활용할 수 있다. 반면 옥수수폐기물 추출물은 농도에 상관없이 7.96%로 낮은 항산화능을 보였다.

선행연구에서 항산화능이 높은 식품폐기물에는 감피(86.01%), 복분자슬러지(76.34%), 바나나피(73.36%) 등이 있다⁸⁻¹⁰⁾. 추출물의 항산화력은 인디고환원액의 산화를 막아주는 역할을 하여 환원유지력 향상에 큰 도움을 줄 것으로 판단된다.

3.2 인디고 환원력

식품폐기물 추출물의 인디고에 대한 환원력을 평가하기 위해 인디고환원액을 준비하고 환원반응의 진행에 따른 환원속의 산화-환원포텐셜을 모니터링하였다. 또한 환원속을 이용하여 염색실험을 하였고, 직물의 염착량(K/S값)을 측정하여 환원력의 척도로 삼았다.

Figure 1은 사과피 추출물의 농도에 따른 인디고환원속의 산화-환원포텐셜 변화를 나타낸다. 농도가 증가할수록 산화-환원포텐셜의 절댓값은 커지는 것을 알 수 있다. 인디고는 빠르게 환원되었으며, 추출물 농도와 관계없이 환원속을 준비한 첫날 -550 ~ -590mV 범위의 산화-환원포텐셜이 발생되었다. 산화-환원포텐셜은 추출물의 농도가 높을수록 더 안정적으로 더 오랜 기간 유지되었는데, 추출물 농도 2-3%의 환원속은 -510 ~ -620mV 산화-환원포텐셜이 9~11일 동안 유지되었다. 이 기간 동안에는 일정 수준의 환원상태를 유지하며, 환원속을 반복해서 사용할 수 있다.

추출물의 환원력을 평가할 때 환원액내에 존재하는 인디고의 환원형인 류코인디고의 농도를 직접 측정하는 것이 가장 이상적이지만 류코인디고는 공기에 노출되면 바로 산화되므로 직접 측정하기는 어렵다. 일반적으로 환원액에 직물을 염색한 후 염착량을 측정하여 환원력의 척도로 평가하였다.

Figure 2는 사과피 추출물 농도에 따른 염착량의 변화를 나타낸 것이다. 추출물 농도에 따라 환원개시 후 경과시간 1-3일 내에 최대 염착량에 도달했으며, 사과피 추출물을 이용한 환원 염색에서 최대 염착량은 15.91이었던 이 농도 2%에서 경과시간 2일째에 얻었다.

Figure 3은 옥수수폐기물의 추출물 농도에 따른 환원속의 산화-환원포텐셜의 변화를 보여준다. 0.1%의 낮은 농도에서는 산화-환원포텐셜 발생이 적었는데 이는 환원반응이 충분히 이루어지지 않은 것을 나타낸다. 환원반응이 일어나 직물에 염색이 되기 위해서는 -550 ~ -600mV 정도의 산화-환원포텐셜이 발생되어야 한다는 보고가 있다^{19,28)}. 추출물의 농도가 높을수록 -500mV 이상의 산화-환원 포텐셜을 유지하는 기간이 길게 유

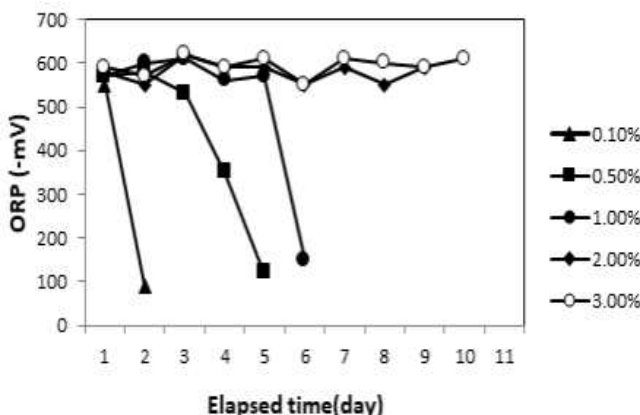


Figure 1. Oxidation-reduction potential change depending on the apple peel extract concentration.

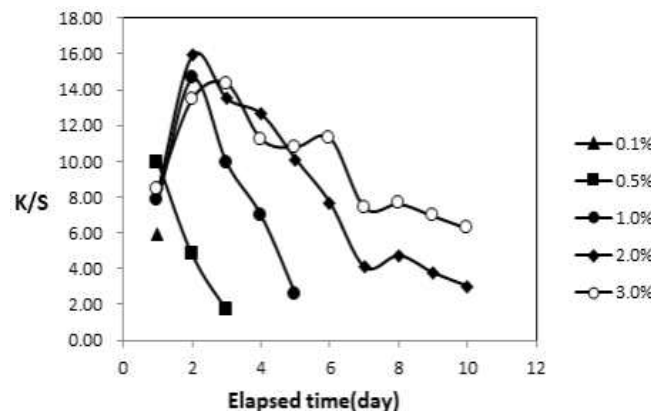


Figure 2. K/S value change depending on the apple peel extract concentration.

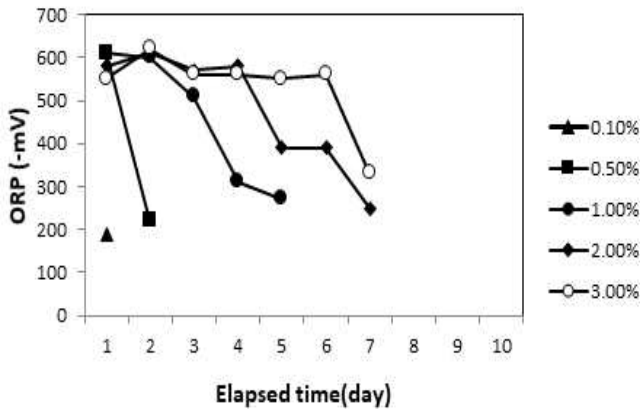


Figure 3. Oxidation-reduction potential change depending on the concentration of corn waste extract.

지되는 것을 알 수 있다. 3.0% 농도에서 -550mV 이상의 산화-환원포텐셜이 6일 동안 안정적으로 유지되었다.

Figure 4는 옥수수폐기물 추출물의 농도에 따른 염착량의 변화를 모니터링한 결과이다. 0.1% 농도에서 -190mV 정도의 산화-환원포텐셜을 보이는 환원용에서는 염색이 되지 않았다. 0.5% 농도에서는 1일째 K/S값이 6.82 수준의 염착이 되었으며 그 이후에는 염색이 되지 않았다. 염액에 환원되지 않은 인디고가 잔류하고 있으므로 경과시간 2일째 옥수수폐기물 추출 분말을 0.5% 추가한 결과(Figure 4의 0.5%+0.5%), 재환원이 일어나 3일째 15.68의 비교적 높은 K/S값을 얻을 수 있었다.

재환원시에 염색직물의 염착량 증가를 통해 처음 환원보다 환원력이 더 높음을 알 수 있으며, 이는 처음부터 1.0~3.0% 농도로 환원용을 구성하는 경우보다 최대 염착량이 더 높았다. 사과피 추출물과 비교하면, 농도를 증가할수록 환원이 빠르게 일어나 1일째 염색에서 가장 높은 염착량을 보이지만, 이후 환

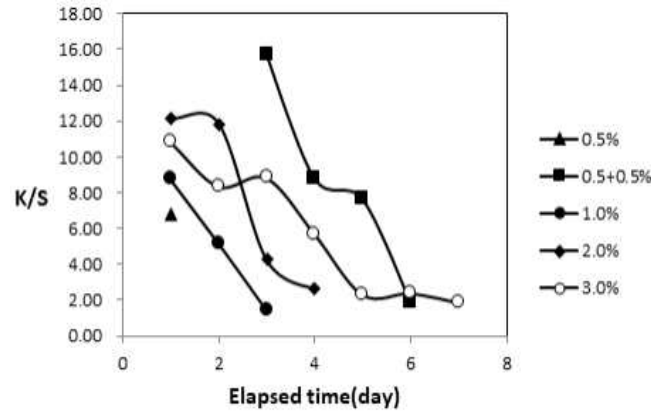


Figure 4. K/S value change depending on the corn waste extract concentration.

원력이 급속하게 저하되어 환원이 종료됨으로써 환원유지일은 길지 않았다. 이는 사과피 추출물보다 총당량은 약간 높았지만 항산화력이 매우 낮아 환원력 유지에 영향을 주었기 때문으로 판단된다.

Table 3은 두 식품폐기물 추출물의 인디고에 대한 환원력을 요약한 것이다. 사과피 추출물의 경우 최대 환원력은 환원개시 후 1~3일째에 도달하는데 농도가 높을수록 환원피크에 도달하는데 시간이 더 걸리는 것으로 나타났다. 반면, 옥수수폐기물 추출물은 환원개시 후 바로 환원이 빠르게 일어나 1일째 최대 염착량에 도달하였다. 사과피 추출물이 환원력이 더 높았으며 환원상태도 더 오랫동안 유지되었다. 추출물에 함유되어 있는 당이 인디고 환원에 주로 관여하며 환원상태를 유지하는데 항산화력이 영향을 주는 것으로 판단된다.

따라서 식품폐기물 중 당류가 많이 함유되어있고 페놀류가 풍부하게 함유되어 항산화능이 높은 경우에 인디고환원의 생촉

Table 3. Summary of Indigo reduction using food waste extracts

Extract conc.(%)	Reduction	Day	0.1		0.5		1.0		2.0		3.0					
			ORP (mV)	K/S	Day	ORP (mV)	K/S	Day	ORP (mV)	K/S	Day	ORP (mV)	K/S			
Apple peel extract																
	Start	1	-550	5.96	1	-570	9.93	1	-570	7.85	1	-580	8.39	1	-590	8.46
	Peak	1	-550	5.96	1	-570	9.93	2	-600	14.64	2	-550	15.91	3	-620	14.31
	End	2	-90	0	3	-530	1.71	6	-400	2.44	13	-420	1.66	15	-560	2.75
Corn waste extract																
	Start	1	-190	0	1	-610	6.82	1	-570	8.77	1	-580	12.11	1	-550	10.84
	Peak	1	-190	0	1	-610	6.82	1	-570	8.77	1	-580	12.11	1	-550	10.84
	End	1	-190	0	2	-220	0	3	-510	1.40	4	-570	2.64	7	-330	1.83

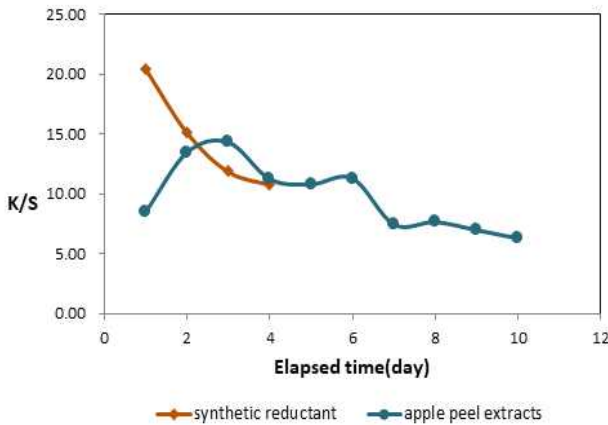


Figure 5. Comparison of reducing power between apple peel extract and synthetic reductant.

매로 적당할 것으로 사료된다.

3.3 합성환원제와 사과피 추출물의 환원력 비교

식품폐기물을 이용한 인디고 환원은 자원의 활용도를 높이고, 비용절감을 극대화할 수 있는 이점이 있다. 그러나 이러한 이점이 있다고 하더라도 염착량이 매우 낮은 수준으로 염색된다면 자원의 재활용이라 하더라도 유효성이 떨어지는 결과라 할 수 있다. 그래서 합성환원제와의 비교 실험을 통해 유효성을 평가하였다.

합성환원제를 사용한 환원은 소듐디치오나이트(sodium dithionite)를 3g/L 농도로 실험하였고, 사과피 추출물 3% 농도의 경우와 비교하여 Figure 5에 나타내었다. 합성환원제는 환원개시 후 경과시간 1일차에 20.47의 최대 염착량을 보이며 그 후 급속하게 환원력이 저하되며 4일차에 10.81로 염색되고 환원이 종료되었다.

한편 사과피 추출물을 사용한 경우에 최대 염착량은 14.31이었으며 K/S값 10이상의 환원력은 5일 동안 지속되었고 이후에도 비교적 높은 환원력이 5일 이상 더 유지되었다. 최대 염착량은 합성환원제보다 낮지만 환원유지일이 오랫동안 유지되므로 반복염색이나 재환원 염색에 의해 진한 색상을 얻을 수 있다. 식품폐기물 또는 부산물에 당류와 항산화능 물질이 함유되어 있으면 인디고환원 염색에서 친환경 생촉매로서 합성환원제를 대체할 수 있다고 판단된다.

4. 결 론

사과피와 옥수수폐기물 등 식품폐기물의 추출물을 인디고 환원에 사용한 결과 산화-환원포텐셜 측정과 염색실험을 통해 효과가 있다는 것을 확인하였다. 사과피 추출물 2-3%의 농도에서 환원력은 -510 ~ -620mV 산화-환원포텐셜이 9-11일 동안 유지되었으며, 환원개시 후 경과시간 1-3일 내에 최대 염착량

에 도달하였다. 최대 염착량은 15.91이었으며 추출물 농도 2%에서 경과시간 2일째에 얻었는데, 농도를 3%로 증가하여도 최대 염착량은 상승하지 않았지만 환원상태가 2주 정도 길게 유지되었다. 옥수수폐기물의 경우, 3.0% 농도에서 -550mV 이상의 산화-환원포텐셜을 4-5일 동안 안정적으로 유지되었다. 추출물 농도 2%에서 1일째 최대 염착량은 12.11에 도달하였다. 사과피 추출물과 비교하면 옥수수폐기물 추출물의 환원력은 더 낮았으며 환원유지일도 짧았다. 현재 산업적으로 사용되고 있는 합성환원제와 비교하면 최대 염착량은 낮지만 환원상태가 오랫동안 유지되므로 반복염색이나 재환원 염색에 의해 진한 색상을 구현할 수 있다.

따라서 사과피와 옥수수폐기물의 추출물은 인디고 환원에 사용가능하며, 인디고 염색공정 개발에 친환경적이고 안전한 바이오촉매로서 유효하다고 판단된다.

References

1. A. Nzihou, Toward the Valorization of Waste and Biomass, *Waste and Biomass Valorization*, **1**(1), 3(2010).
2. R. Ma, M. Guo, and X. Zhang, Selective Communication of Biorefinery Lignin into Dicarboxylic Acid, *ChemSusChem*, **7**(2), 412(2014).
3. T. P. T. Pham, R. Kaushik, G. K. Parshetti, R. Mahmood, and R. Balasubramanian, Food Waste-to-energy Conversion Technologies: Current Status and Future Direction, *Waste Management*, **38**, 399(2015).
4. Y. Lee, S. Kwak, and J. Jang, Improvement in the Color Fastness of Cotton Fabrics Dyed with Kale-extracted Colorants, *Textile Coloration and Finishing*, **31**(4), 225(2019).
5. G. Lee and Y. Shin, Eco-friendly Leather Dyeing Using Biomass Wastes(III): Imparting Functionality by Combination Dyeing with Marigold(*Tagetes erecta L.*) and Hinoki Cypress(*Chamaecyparis obtusa*) Leaves Extracts, *Textile Coloration and Finishing*, **31**(1), 1(2019).
6. C. Fritsch, A. Staebler, A. Happel, M. A. C. Marquez, I. Aguilo-Aguayo, M. Abadias, M. Gallur, I. M. Cigognini, A. Montanari, M. J. Lopez, F. Suarez-Estrella, N. Brunton, E. Luengo, L. Sisti, and M. Ferri, Processing, Valorization and Application of Bio-waste Derived Compounds from Potato, Tomato, Olive and Cereals: a Review, *Sustainability*, **9**, 1(2017).
7. B. Ozturk, C. Parkinson, and M. Gozalez-Miquel, Extraction of Polyphenolic Antioxidants from Orange Peel Waste Using Deep Eutectic Solvents, *Separation and Purification Technology*, **206**, 1(2018).
8. D. I. Yoo and Y. Shin, Application of Persimmon (*Diospyros kaki L.*) Peel Extract in Indigo Dyeing as an Eco-friendly Alternative Reductant, *Fashion and Textiles*, **7**, 28(2014).

9. Y. Shin, M. Choi, and D. I. Yoo, Eco-friendly Indigo Reduction Using Bokbunja(*Rubus coreanus* Miq.) Sludge, *Fashion and Textiles*, **1**, 6(2014).
10. Y. Shin, M. Choi, and D. I. Yoo, Utilization of Fruit By-products for Organic Reducing Agent in Indigo Dyeing, *Fibers and Polymers*, **14**(12), 2027(2013).
11. Y. Shin, K. Son, and D. I. Yoo, Indigo Dyeing onto Ramie Fabric via Microbial Reduction: Reducing Power Evaluation of Some Bacterial Strains Isolated from Fermented Indigo Vat, *Fibers and Polymers*, **17**(7), 1000(2016).
12. Y. Shin, K. Son, and D. I. Yoo, Using *Saccharomyces cerevisiae* Strains as Biocatalyst for Indigo Reduction, *Fibers and Polymers*, **20**(1), 80(2019).
13. Y. Shin, K. Son, and D. I. Yoo, Developing an Eco-Friendly Indigo Dyeing System by Using Baker's Yeast(*Saccharomyces Cerevisiae*): Some Variables Related to pH Control and Scale-Up, *Fibers and Polymers*, **21**(8), 1790(2020).
14. L. Saikhao, J. Settayanond, T. Karpkird, T. Betchtold, and P. Suwanruji, Green Reducing Agents for Indigo Dyeing on Cotton Fabrics, *Journal of Cleaner Production*, **197**, 106(2018).
15. M. Abadelileh, A. P. Manian, D. Rhomberg, M. B. Ticha, N. Meksi, N. A. Aguayo, and T. Bechtold, Calcium-iron-D-gluconate Complexes for the Indirect Cathodic Reduction of Indigo in Denim Dyeing: A Greener Alternative to Non-regenerable Chemicals, *Journal of Cleaner Production*, **266**, 121753(2020).
16. X. Li, K. Wang, M. Wang, W. Zhang, J. Yao, and S. Komarneni, Sustainable Electrochemical Dyeing of Indigo with Fe(II)-based Complexes, *Journal of Cleaner Production*, **276**, 123251(2020).
17. M. S. Blois, Antioxidant Determination by the Use of a Stable Free Radical, *Nature*, **181**, 1199(1958).
18. S. Pruksasri, B. Lanner, and S. Novalin, Nanofiltration as a Potential Process for the Reduction of Sugar in Apple Juices on an Industrial Scale, *LWT-Food Science and Technology*, **133**, 110118(2020).
19. R. S. Blackburn and A. Harvey, Green Chemistry Methods in Sulfur Dyeing: Application of Various Reducing D-sugars and Analysis of the Importance of Optimum Redox Potential, *Environmental Science and Technology*, **38**, 4034(2004).
20. N. Meksi, M. B. Ticha, M. Kechida, and M. F. Mhenni, Using of Ecofriendly α -hydroxycarbonyls as Reducing Agents to Replace Sodium Dithionite in Indigo Dyeing Processes, *Journal of Cleaner Production*, **24**, 149(2012).
21. A. Vuorema, P. John, M. Keskitalo, M. F. Mahon, M. A. Kulandainathand, and F. Marken, Anthraquinone Catalysis in the Glucose-driven Reduction of Indigo to Leuco-indigo, *Physical Chemistry Chemical Physics*, **11**, 1816(2009).
22. H. Zabed, G. Faruq, A. N. Boyce, J. N. Sahu, and P. Ganesan, Evaluation of High Sugar Containing Corn Genotypes as Viable Feedstocks for Decreasing Enzyme Consumption During Dry-grind Ethanol Production, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **58**, 467(2016).
23. M. B. Arnao, Some Methodological Problems in the Determination of Antioxidant Activity Using Chromogen Radicals: a Practical Case, *Trends Food Science and Technology*, **11**, 419(2000).
24. L. Fu, X. R. Xu, R. Y. Gan, Y. Zhang, E. Q. Xia, and H. B. Li, Antioxidant Capacities and Total Phenolic Contents of 62 Fruits, *Food Chemistry*, **129**(215), 345(2011).
25. I. Yoon, J. H. Wee, J. H. Moon, T. H. Ahn, and K. H. Park, Isolation and Identification of Quercetin with Antioxidative Activity from the Fruits of *Rubus Coreanum* Miquel, *Korean Journal of Food Science and Technology*, **35**, 499(2003).
26. B. Łata, A. Trampszynska, and J. Paczesna, Cultivar Variation in Apple Peel and Whole Fruit Phenolic Composition, *Scientia Horticulturae*, **121**, 176(2009).
27. M. M. Petkovsek, F. Stampar, and R. Veberic, Parameters of Inner Quality of the Apple Scab Resistant and Susceptible Apple Cultivars(*Malus domestica* Borkh.), *Scientia Horticulturae*, **114**, 37(2007).
28. M. Bozic and V. Kokol, Ecological Alternatives to the Reduction and Oxidation Processes in Dyeing with Vat and Sulphur Dyes, *Dyes and Pigments*, **76**, 299(2008).

Authors

신윤숙 전남대학교 의류학과 교수

손경희 전남대학교 의류학과 박사후 연구원

류동일 전남대학교 고분자공학부 교수