

수생식물을 이용하여 제조한 biochar의 비료학적 가치 평가

한중학[†] · 서동철[†] · 강세원 · 최익원 · 전원태¹ · 강위금¹ · 강석진² · 허종수³ · 김상돈⁴ · 조주식*

순천대학교 생물환경학과, ¹농촌진흥청 국립식량과학원, ²농촌진흥청 축산과학원,
³경상대학교 응용생명과학부, ⁴국립환경과학원 영산강 물환경연구소

Evaluation of Fertilizer Value of Biochars Using Water Plants

Jong-Hak Han[†], Dong-Cheol Seo[†], Se-Won Kang, Ik-Won Choi, Weon-Tai Jeon¹,
Ui-Gum Kang¹, Seok-Jin Kang², Jong-Soo Heo³, Sang-Don Kim⁴, and Ju-Sik Cho*

Department of Bio-Environmental Sciences, Sunchon National University

¹*National Institute of Crop Science, Rural Development Administration*

²*National Institute of Animal Science, Rural Development Administration*

³*Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University*

⁴*Yeongsan River Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research Ministry of Environment*

To develop biochar for soil conditioner using water plants, characteristics of nutrients release of biochars were investigated under different water plants, manufacturing times and manufacturing temperatures. Under different water plants for manufacturing biochar, the concentrations of T-N and P₂O₅ in the water with biochars were higher in the order of CRXDM > ZIZLA > PHRCO > TYHOR > MISSA. The concentrations of K₂O in the water were in the order of TYHOR ≈ CRXDM > ZIZLA > PHRCO > MISSA. Under different manufacturing times for biochar, the concentrations of T-N, P₂O₅ and K₂O in the water with biochars were higher in the order of 2 hr > 30 min ≈ 1 hr. The concentrations of T-N, P₂O₅ and K₂O in the water with biochars were on the order of 350°C > 500°C > 600°C under different manufacturing temperatures. Total amounts of T-N and K₂O releases in the water with biochars were higher in the order of CRXDM > ZIZLA > PHRCO > TYHOR > MISSA. Using biochars by water plants, total amounts of P₂O₅ releases in the water with biochars were on the order of CRXDM > ZIZLA > MISSA > PHRCO > TYHOR. The results of this study suggest that biochars by water plants can supply some of the nutrient requirements of crops and can be a valuable fertilizer.

Key words: Biochar, Water plants, Fertilizer

서 언

우리나라는 4대강 유역의 비점오염원이 차지하는 오염부하가 한강 30%, 낙동강 25%, 금강 21% 및 영산강·섬진강 37%로서 수질오염에 미치는 영향이 매우 큰 실정으로 점오염원 처리위주의 정책에서 2004년부터 비점오염원 처리를 위한 정책을 수립하고 있으며, 그 대책의 일환으로 비점오염원 처리를 위한 많은 인공습지가 전국적으로 시공되어 운영되고 있다(Choi et al., 2006; Ministry of Environment, 2004).

우리나라 대부분의 인공습지는 수질정화를 위한 효율적인 측면에서 유지 관리되어 오고 있으며, 오염물질의 침전, 흡수와 질소 및 인을 효과적으로 처리하기 위하여 각종 수생식물들을 식생하고 있다. 이들 수생식물들은 계절적인 영향에 의해 겨울철에는 고사체로 존재하기 때문에 수생식물을 절취하여 인공 습지 주변에 야적 및 방치시키고 있으며, 강우시에는 침출수로 인한 2차 오염을 유발시키는 문제를 안고 있다. 이를 방지하기 위해 일부 수생식물의 경우 퇴비화를 통해 이용되고 있으나, 수생식물별로 퇴비화를 위한 조건들이 각각 다르기 때문에 이들을 재이용하기 위한 다른 방안이 시급한 실정이다.

최근 미국 코넬대 연구진에 의하여 biochar가 지구온난화 주범인 이산화탄소를 흡수 고정하는 능력이 매우 뛰어난 것이 밝혀지면서 biochar가 지구온난화를 막기 위한 대안으로 사용될 수 있다는 것이 전세계적으로 알려지게 되

접수 : 2011. 9. 14 수리 : 2011. 10. 14

[†]공동 제1저자

*연락처 : Phone: +82617503297

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

었으며 (Zwieten et al., 2009), 특히 연구를 주도한 요한 슨 레만 교수는 biochar가 수백년에서 수천년 동안 탄소를 흡수해 비축할 수 있으며, biochar를 이용할 경우 2009년 기준 세계탄소배출량 약 85억톤 중 약 10%가 넘는 10억톤 가량의 탄소가 흡수될 수 있을 것으로 예측하였다. 이에 식물체를 biochar로 제조하여 재활용 하는 방향에 대한 검토가 다방면으로 이루어지고 있다.

현재 미국을 비롯한 선진 외국에서는 농가에서 직접 농업부산물 등을 산소가 없는 상태에서 가열해 biochar를 만들면서 제조 과정에서 발생하는 인화성 가스는 연료로 활용하고, 나머지는 탄소 성분을 50% 이상 가진 biochar로 만들어 고기능성 토양개량제로 사용할 수 있는 농가형 biochar 제조 시스템을 개발하고 있으며, biochar를 친환경 농자재로 활용할 수 있는 기술 개발이 최근 활발하게 연구 중에 있다. Zwieten et al. (2010)의 보고에 의하면 biochar 처리시 중자발아 촉진효과가 있으며 biochar 20%를 토양에 처리시 대조구에 비해 식물생장이 약 30% 증가하는 현상을 보였다고 하였고, Brockhoff et al. (2009)는 100% 모래토양에서 잔디의 일종인 벤트그라스의 biochar 처리에 따른 근권부 생장을 조사하였을 때 대조구에 비하여 biochar 처리구에서 근권부 길이가 감소되었다고 보고하였다. 이는 biochar 처리 토양이 보수력과 보비력이 개선되어 식물이 뿌리를 깊이 내리지 않아도 생육이 잘 이루어지기 때문이라고 하였다.

따라서 본 연구는 인공습지에서 생산되는 다량의 수생식물의 재활용 방안을 마련하기 위해 수생식물의 고사체를 이용하여 수생식물 종류별, 제조시간별 및 제조온도별로 biochar를 제조한 후 각 biochar의 비료학적 가치를 평가하였다.

재료 및 방법

시험재료 수생식물을 이용한 biochar 토양개량제의 비료학적 가치 평가를 위해 사용된 재료는 오염물질 처리를 위해 만든 인공습지에서 자생하고 있는 수생식물인 부들, 갈대, 줄, 물억새 및 이삭사초의 고사체를 사용하였다. 이들 고사식물체들을 산소가 없는 상태에서 350℃에서 1시간의 조건으로 제조 하였으며, 추가로 물억새의 경우 조건을 달리하여 500℃에서 30분, 1시간, 2시간 및 600℃에서 1시간 동안 가열하여 biochar를 제조하였다. 제조한 biochar의 원재료 대 최종산물 비율은 0.25~0.30 정도이었다. 제조한 biochar는 건조 및 냉각 과정을 거친 후 2 mm 체거름을 하였다. 공시 biochar의 이화학적 특성은 Table 1과 같고 입경 분포도는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 수생식물 biochar별 유효입경 (여재를 입경순으로 나열하였을

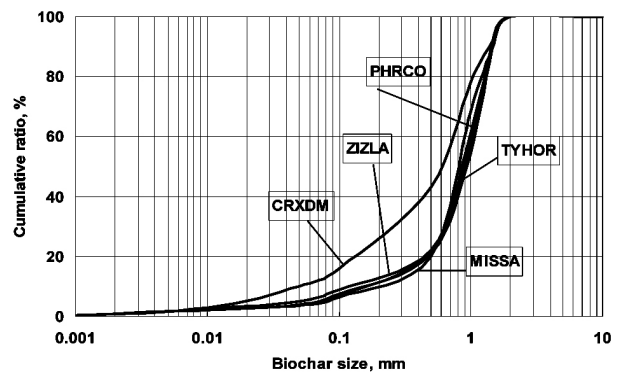


Fig. 1. Particle size distributions of the biochar used. TYHOR, *Typha orientalis* PRESL Cumbungi; PHRCO, *Phragmites australis*; MISSA, *Miscanthus sacchariflorus* Benth.; ZIZLA, *Zizania latifolia*; CRXDM, *Carex dimorpholepis* STEUD.

Table 1. Chemical characteristics of the water plants biochar used.

Biochar conditions		Water plants	pH	T-N	T-P	K
Temp.	Time					
℃	hr	----- mg kg ⁻¹ -----				
350	1	TYHOR	7.54 ± 0.32	2780.6 ± 112.3	1344.1 ± 58.2	2991.3 ± 132.1
		ZIZLA	10.01 ± 0.46	5307.0 ± 132.8	1682.2 ± 63.4	15991.3 ± 804.6
		PHRCO	7.60 ± 0.26	7067.6 ± 104.3	793.9 ± 44.6	5911.3 ± 326.2
		CRXDM	7.95 ± 0.24	6353.8 ± 112.9	1896.4 ± 58.6	11591.3 ± 497.8
		MISSA	9.25 ± 0.34	6202.6 ± 94.2	2016.9 ± 61.2	12491.3 ± 536.7
500	0.5	MISSA	9.61 ± 0.33	6318.4 ± 133.5	2214.6 ± 63.6	12831.2 ± 484.1
	1	MISSA	9.55 ± 0.38	5994.3 ± 121.7	1978.8 ± 57.9	12183.3 ± 477.2
	2	MISSA	9.79 ± 0.24	5871.2 ± 105.6	1942.8 ± 53.2	12242.8 ± 439.0
600	1	MISSA	9.63 ± 0.46	5911.9 ± 123.0	1888.3 ± 56.8	11918.7 ± 446.8

TYHOR: *Typha orientalis* PRESL Cumbungi, PHRCO: *Phragmites australis*, MISSA: *Miscanthus sacchariflorus* Benth., ZIZLA: *Zizania latifolia*, CRXDM: *Carex dimorpholepis* STEUD

때, 작은 입경으로부터 중량 10%되는 부분의 여재의 입경 : d_{10})은 부들이 0.15 mm, 줄이 0.10 mm, 갈대가 0.16 mm, 물억새가 0.21 mm 및 이삭사초 0.50 mm이었으며, 균등 계수 (여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 60%되는 입경과 10%되는 입경과의 비 : $d_{60} d_{10}^{-1}$)는 부들이 6.06, 줄이 9.09, 갈대가 5.88, 물억새가 4.29 및 이삭사초 15.83 이었다 (Seo et al., 2011). 추가로 제조된 조건을 달리한 온도/시간별 물억새는 기존 물억새와 입경분포상 별 차이가 없이 비슷하였다.

실험방법 수생식물을 이용한 biochar 토양개량제의 비료학적 가치 평가를 위해 biochar의 수생식물 종류별, 제조시간별 및 제조온도별의 시간에 따른 영양염류 용출 특성을 조사하여 총 용출량을 산정하였다. 각각의 biochar 2.5 g과 증류수 100 mL을 혼합한 뒤 20°C, 175 rpm에서 진탕하였다. 진탕 후 0, 0.2 (10분), 0.4 (25분), 0.7 (40분), 1, 2, 4, 8, 16, 24, 48 및 72시간 후에 각각 일정량을 취하여 GF/C 여과지로 여과한 후 용출시간에 따른 pH, T-N, P_2O_5 및 K_2O 의 특성을 조사하였다.

분석방법 수생식물을 이용한 biochar 토양개량제의 비료학적 가치 평가를 위해 biochar의 수생식물 종류별, 제조시간별 및 제조온도별의 시간에 따른 영양염류 용출 특성을 조사하기 위하여 여과한 시료는 수질오염공정시험법 (Choi et al., 2004) 및 APHA의 standard method (APHA, 1995)에 준하여 다음과 같이 분석하였다. T-N은 자외선흡광광도법 (UV2550PC, PerkinElmer), P_2O_5 는 아스코르빈산 환원법 (UV2550PC, PerkinElmer), K_2O 는 ICP (ICPE-9000, Shimadzu)로 분석하였다.

결과 및 고찰

수생식물 종류별 biochar의 영양염류 용출특성 수생식물 종류별 biochar에서 T-N, P_2O_5 및 K_2O 의 용출특성을 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 전반적으로 모든 수생식물 biochar에서 용출 후 4시간에 최대함량을 보였고 그 이후부터는 포화에 도달하는 일반적인 경향을 보였다.

부들 biochar의 T-N 함량은 용출 후 10분에 최대함량인 322.8 mg kg^{-1} 이었으나 용출 후 4시간에 약간 감소한 274.4 mg kg^{-1} 을 나타내었다. 부들 biochar의 P_2O_5 함량은 용출 후 1시간에 최대함량인 368.8 mg kg^{-1} 이었고 점차 감소하는 경향이였다. 용출 후 4시간에 353.6 mg kg^{-1} 으로 조사되었으며 이후 포화상태에 도달했다. K_2O 함량은 용출 후 25분에 17.93 g kg^{-1} 으로 최대함량을 보였고

용출 후 1시간까지 약간 감소하였다가 용출 후 4시간에 약간 증가하여 17.41 g kg^{-1} 으로 포화상태에 이르렀다.

줄 biochar의 T-N, P_2O_5 및 K_2O 함량은 용출 후 4시간에 각각 352.0 mg kg^{-1} , 772.5 mg kg^{-1} 및 12.74 g kg^{-1} 으로 최대함량을 나타내었고 이후 포화상태에 이르렀다.

갈대 biochar의 T-N 함량은 용출 후 10분에 최대함량인 173.6 mg kg^{-1} 이었다. 갈대 biochar의 P_2O_5 및 K_2O 함량은 용출 후 4시간에 최대함량을 나타내었으며 그 값은 각각 509.6 mg kg^{-1} 및 12.74 g kg^{-1} 이었고 이후 포화상태에 이르렀다.

이삭사초 biochar의 T-N, P_2O_5 및 K_2O 함량은 모두 용출 후 4시간에 최대함량을 보이는 경향으로 그 값은 각각

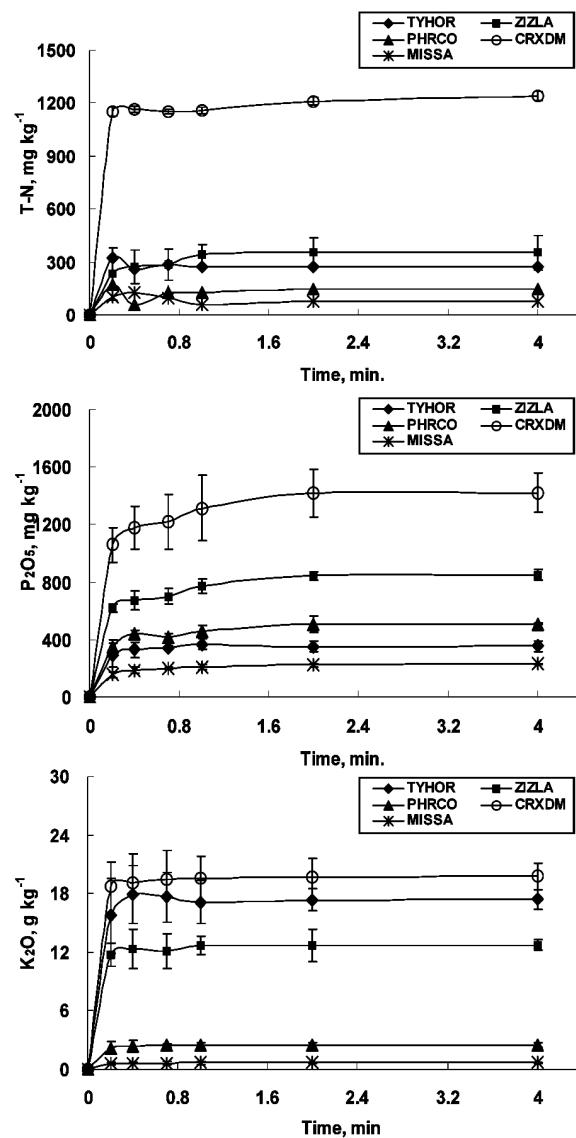


Fig. 2. Characteristics of nutrients release in the water with biochar under different water plants. TYHOR, *Typha orientalis* PRESL Cumbungi; PHRCO, *Phragmites australis*; MISSA, *Miscanthus sacchariflorus* Benth.; ZIZLA, *Zizania latifolia*; CRXDM, *Carex dimorpholepis* STEUD.

1,240 mg kg⁻¹, 1,422 mg kg⁻¹ 및 19.79 g kg⁻¹이었고 이후 포화상태에 이르렀다.

물억새 biochar의 T-N 함량을 제외한 P₂O₅ 및 K₂O 함량은 용출 후 4시간에 최대함량을 보였으며 각각 229.6 mg kg⁻¹ 및 0.67 g kg⁻¹으로 조사되었다. T-N 함량은 용출 후 25분에 최대함량인 124.4 mg kg⁻¹이었으나 용출 후 1시간에 59.6 mg kg⁻¹으로 감소하였고, 이후 용출 후 4시간에 78.4 mg kg⁻¹으로 포화상태에 이르렀다.

수생식물 종류에 따른 biochar의 용출 후 T-N, P₂O₅ 및 K₂O 함량은 이삭사초가 가장 높았다. Kang et al. (2011)은 용출실험을 통한 영양염류의 농도 변화에 관한 연구결과에서 이삭사초가 물억새에 비해 대부분 오히려 구성되어 분해가 용이하기 때문에 용출농도가 높았다고 보고하였는데 본 실험에서도 대부분 오히려 구성된 이삭사초와 줄의 T-N, P₂O₅ 및 K₂O 용출농도가 높은 경향이였다. 이와 같은 결과는 Han et al. (2011)이 용출량의 차이는 식물구성 성분함량에 의존적이라고 보고한 연구결과와 유사한 경향이였다. 현재 국내에서 수생식물을 이용한 biochar와 관련된 연구는 전무하다. Lee et al. (2011)는 하수슬러지를 이용한 biochar 연구를 수행하였지만 원재료의 성상이 달라 직접적인 비교는 불가능하였다.

따라서 본 실험에 사용된 수생식물 biochar를 토양개량제로 이용하였을 경우 인공습지 내에서 고사된 수생식물의 재활용적인 측면에서 매우 유용할 것 같다고 사료된다.

수생식물 biochar의 제조시간별 영양염류 용출특성

물억새를 500℃에서 30분, 1시간 및 2시간 동안 제조한 biochar의 영양염류 용출특성은 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 30분, 1시간 및 2시간 동안 제조한 물억새 biochar의 T-N 함량은 각각 82.8 mg kg⁻¹, 34.0 mg kg⁻¹ 및 52.4 mg kg⁻¹으로 용출 후 4시간에 최대함량을 보였으며 이후 포화상태에 이르렀다. 전반적으로 P₂O₅ 및 K₂O 함량은 용출 후 2시간에 최대함량을 보였고, 이후에는 일정한 농도로 유지되어 포화상태에 이르렀다. 30분, 1시간 및 2시간 동안 제조한 물억새 biochar의 P₂O₅ 함량은 2시간 (304.8 mg kg⁻¹) > 30분 (198.4 mg kg⁻¹) ≥ 1시간 (138.8 mg kg⁻¹) 순으로 높았으며, K₂O 함량도 2시간 (1,836 mg kg⁻¹) > 30분 (1,195 mg kg⁻¹) ≥ 1시간 (883 mg kg⁻¹) 순으로 높았다. 상기 결과에서 biochar 제조시간 30분과 1시간에서 영양염류의 함량은 큰 차이가 없었는데 이는 전기로를 이용한 제조과정에서 가열과 식히는 동안의 온도조절에서 큰 차이가 없었기 때문인 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 물억새 biochar의 제조시간별 T-N, P₂O₅ 및 K₂O의 용출특성을 조사한 결과 일정한 경향성이 보이지 않았는데, 이는 현재 사용한 biochar 제조장치의 온도조절이 용이하지 않기 때문이다. 하지만 biochar 제조시

온도와 함께 지속시간도 중요한 인자이기 때문에 차후에 관련한 정밀연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

수생식물 biochar의 제조온도별 영양염류 용출특성

물억새를 350℃, 500℃ 및 600℃에서 각각 1시간 동안 제조한 biochar의 영양염류 용출특성은 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 물억새 biochar의 제조온도별 T-N 함량은 350℃, 500℃ 및 600℃에서 용출 후 2시간에 각각 78.4 mg kg⁻¹, 34.0 mg kg⁻¹ 및 21.6 mg kg⁻¹이었고 이후 일정농도를 유지하면서 포화상태에 이르렀다. 이와 같이 biochar의 제조온도가 증가함에 따라 영양염류의 용출량이 감소하는 것은 온도가 높아지면서 유기물의 탄화율이 높아지기 때문으로 판단된다. 따라서 수생식물 biochar를 효과적으로 이

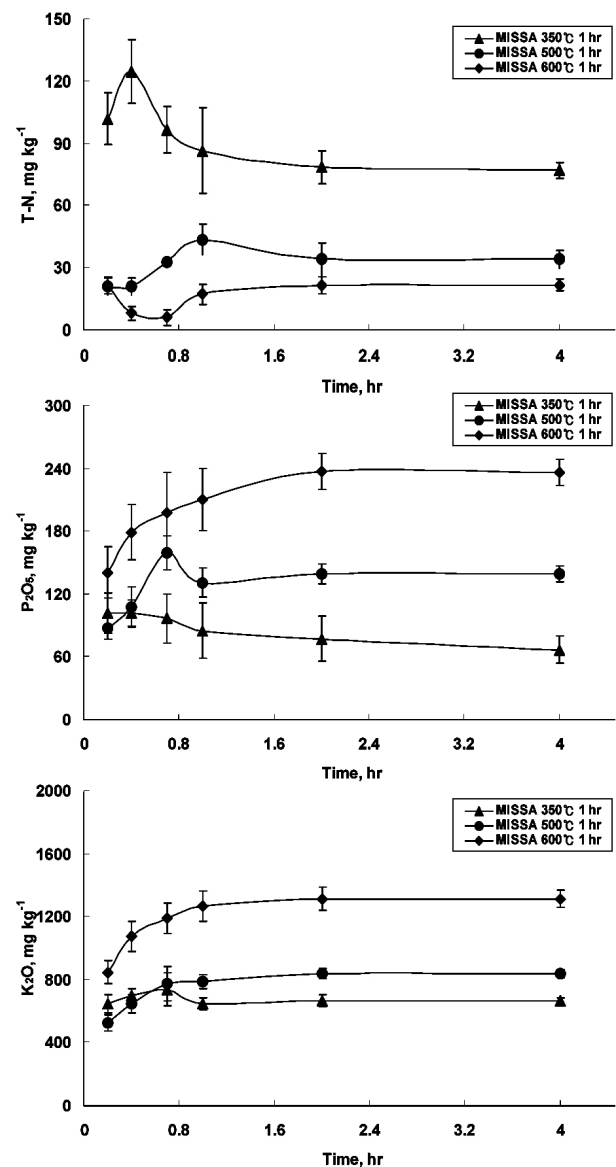


Fig. 3. Characteristics of nutrients release in the water with biochar at different manufacturing temperatures. MISSA, *Miscanthus sacchariflorus* Benth.

용하기 위해서는 온도조절이 필요할 것으로 판단된다.

물억새를 350°C에서 1시간 동안 제조한 biochar의 P_2O_5 함량은 용출 후 25분에 124.4 $mg\ kg^{-1}$ 으로 최대함량을 나타내었고 이후 점점 감소하여 용출 후 4시간에 66.4 $mg\ kg^{-1}$ 으로 포화상태에 이르렀다. 물억새를 500°C에서 1시간 동안 제조한 biochar의 P_2O_5 함량은 용출 후 40분에 159.2 $mg\ kg^{-1}$ 으로 최대함량을 보였으며, 600°C에서 제조한 물억새 biochar의 P_2O_5 함량은 용출 후 2시간에 최대함량인 236.4 $mg\ kg^{-1}$ 이었다. 물억새를 350°C에서 1시간 동안 제조한 biochar의 K_2O 함량은 용출 후 45분에 800 $mg\ kg^{-1}$ 으로 최대함량을 나타내었고 이후 점점 감소하여 용출 후 4시간에 665 $mg\ kg^{-1}$ 으로 포화상태에 이르렀다. 500°C에서 제조한 물억새 biochar의 K_2O 함량은 용출 후 45분에

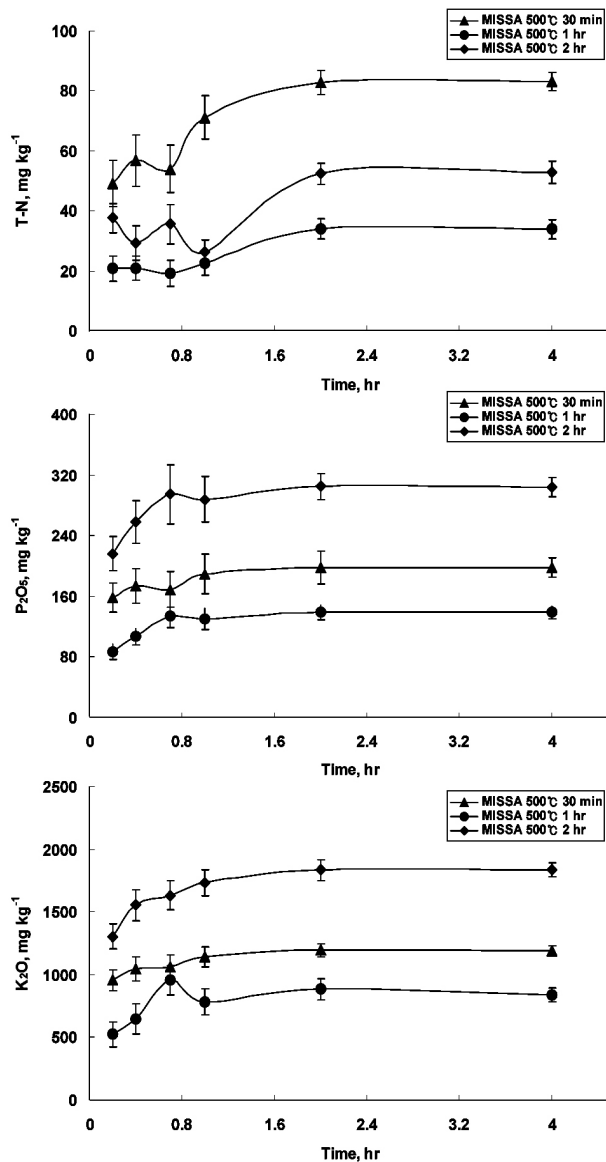


Fig. 4. Characteristics of nutrients release in the water with biochar under different manufacturing times. MISSA, *Miscanthus sacchariflorus* Benth.

1,070 $mg\ kg^{-1}$ 으로 최대함량을 보였으며, 600°C에서 제조한 물억새 biochar의 K_2O 함량은 용출 후 2시간에 1,313 $mg\ kg^{-1}$ 으로 최대함량을 보였으며 이후 포화상태에 이르렀다. 현재 국내에서 수생식물을 이용한 biochar 제조와 활용성 연구는 아직 보고된 바 없어 본 연구결과를 유사한 연구결과와 비교한 고찰은 불가능하다. 하지만 최근에 Han et al. (2011)은 수생식물이 물에 침수시 영양염류의 용출 특성 결과를 보고하였는데 본 연구에서 수생식물의 재활용연구와 달리 수생식물의 영양염류 용출이 수질에 미치는 영향을 조사하여 직접적인 비교는 불가능하지만 영양염류 용출특성면에서는 유사한 결과를 보였다.

이상의 결과에서 물억새 biochar의 제조온도별 T-N, P_2O_5 및 K_2O 의 용출특성을 조사한 결과 온도가 높아짐에 따라 용출량이 점점 감소하는 경향을 보였다. 따라서 본 수생식물 biochar를 활용하여 토양개량제로 사용한다면 온도조절을 통한 영양염류의 손실을 최대한 줄여야 할 것으로 판단된다.

수생식물 biochar 종류에 따른 총 용출량 수생식물 biochar 종류에 따른 T-N, P_2O_5 및 K_2O 총 용출량은 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 부들, 줄, 갈대, 이삭사초 및 물억새의 T-N 총 용출량은 이삭사초 (1,240 $mg\ kg^{-1}$) >> 줄 (352 $mg\ kg^{-1}$) > 부들 (274 $mg\ kg^{-1}$) > 갈대 (145 $mg\ kg^{-1}$) > 물억새 (78 $mg\ kg^{-1}$) 순으로 이삭사초의 총 용출량이 가장 많았다. 부들, 줄, 갈대, 이삭사초 및 물억새의 P_2O_5 총 용출량은 이삭사초 (1,422 $mg\ kg^{-1}$) > 줄 (848 $mg\ kg^{-1}$) > 갈대 (510 $mg\ kg^{-1}$) > 부들 (354 $mg\ kg^{-1}$) > 물억새 (230 $mg\ kg^{-1}$) 순으로 이삭사초의 총 용출량이 가장 많았다. 부들, 줄, 갈대, 이삭사초 및 물억새의 K_2O 총 용출량은 이삭사초 (19,789 $mg\ kg^{-1}$) > 부들 (17,414 $mg\ kg^{-1}$) > 줄 (12,738 $mg\ kg^{-1}$) > 갈대 (2,457 $mg\ kg^{-1}$) > 물억새 (673 $mg\ kg^{-1}$) 순으로 이삭사초의 총 용출량이 가장 많았다. 이상의 결과를 미루어 볼 때 이삭사초와 같이 잎이 대부분이고 분해가 용이한 수생식물에서 영양염류 용출량이 많았으며, Han et al. (2011)과 Kang et al. (2011)도 유사한 결과를 보고한 바 있다.

Asai et al. (2009)의 연구결과도 본 연구결과와 유사한 biochar 함량을 보였다. 이들의 연구에 의하면 인 함량이 부족한 논토양에 biochar를 사용한 결과 biochar의 사용량이 증가함에 따라 쌀 생산물이 증가하였다고 보고하였다. 이와 유사한 연구는 Lehmann et al. (2002), Glaser et al. (2002) 및 Yamato et al. (2006)에 의해서도 보고된 바 있다. 이와 같이 biochar를 토양개량제로 이용하였을 경우 화학비료를 대체할 자원으로 판단되며, 본 연구에서 제조한 수생식물 biochar는 아직 작물 실험에 사용되지 않았지만 Asai et al. (2009)의 연구결과와 같이 좋은 효과를

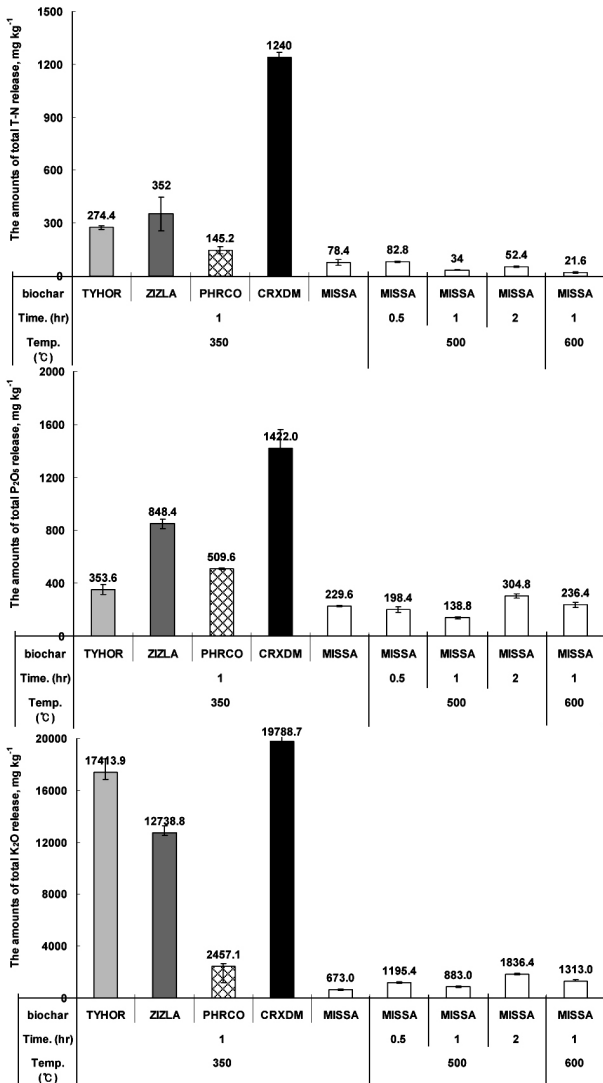


Fig. 5. Total amounts of nutrients release of biochars under different manufacturing conditions. TYHOR, *Typha orientalis* PRESL Cumbungi; PHRCO, *Phragmites australis*; MISSA, *Miscanthus sacchariflorus* Benth.; ZIZLA, *Zizania latifolia*; CRXDM, *Carex dimorpholepis* STEUD.

기대할 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과를 미루어 볼 때 수생식물 biochar는 국내에 보급된 생태습지 및 인공습지에서 연간 2~3회 절취되어 발생하는 식물 biomass를 자원으로 재활용할 수 있는 방안이 될 수 있으며, 특히 본 biochar 제조기술은 향후 국내에서 연간 발생하는 9,182천톤 (2009년 기준)의 농업 부산물을 재활용하기 위한 방안으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

요 약

인공습지에서 생산되는 다량의 수생식물을 재활용하기 위한 방안을 마련하기 위해 수생식물의 고사체를 이용하

여 종류별, 제조시간별 및 제조온도별로 biochar를 제조한 후 각 biochar의 비료학적 가치를 평가하였다. 수생식물 종류별 T-N의 용출농도는 이삭사초 > 줄 > 부들 > 갈대 > 물억새 순이었으며, P₂O₅의 용출농도는 이삭사초 > 줄 > 갈대 > 부들 > 물억새 순이었으며, K₂O의 용출농도는 이삭사초 > 부들 > 줄 > 갈대 > 물억새 순으로 모든 항목에서 이삭사초가 가장 높은 용출농도를 나타냈다. Biochar 제조시간에 따른 영양염류의 용출농도는 제조 2시간 조건이 다른 조건에 비해 약간 높았으며, biochar 제조온도에 따른 영양염류의 용출농도는 biochar 제조온도가 증가됨에 따라 영양염류의 용출량은 감소되는 경향이 있었다. 수생식물 biochar 종류에 따른 T-N 총 용출량은 이삭사초 > 줄 > 갈대 > 부들 > 물억새 순이었으며, P₂O₅ 총 용출량은 이삭사초 > 줄 > 갈대 > 부들 > 물억새 순이었으며, K₂O 총 용출량은 이삭사초 > 부들 > 줄 > 갈대 > 물억새 순으로 이삭사초의 총 용출량이 가장 많았다. 이상의 결과를 미루어 볼 때 수생식물로 제조된 biochar는 토양개량제로서 충분한 비료학적 가치가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2010년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 [NRF-2010-0025548, NRF2010-359-F00003]의 일환으로 수행하였음.

인 용 문 헌

- APHA, AWWA, WCF, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, p. 4-112.
- Asai, H., B.K. Samson, H.M. Stephan, K. Songyikhangsuthor, K. Homma, Y. Kiyono, Y. Inoue, T. Shiraiwa, and T. Horie. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*. 111:81-84.
- Brockhoff S.R., N.E. Christians, H.G. Taber, R.J. Killorn, and R. Horton. 2009. Physical and chemical properties of sand-base turfgrass root-zones amended with biochar. *Agron*.
- Choi, K.C., O.U. Kwun, Y.D. Kim, Y.H. Kim, W.S. Lee, J.Y. Lee, S.J. Jun, and S.K. Jung. 2004. Annotation for standard methods of water quality. Printed in Dong Hwa Technology Publishing Co.
- Choi, S.H., Y. An, and H.I. Kim. 2006. Evaluation of water purification in the constructed wetland. Korean Society on Water Quality and Korean Society of Water Wastewater Meeting Conference Proceedings. Korea National Open

- University, Incheon, p. 349-356.
- Glaser, B., J. Lehmann, and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with biochar. A review. *Bio. Fert. Soils.* 35:219-230.
- Han, J.H., D.C. Seo, S.D. Kim, S.W. Kang, B.J. Lim, J.H. Park, K.S. Kim, J.B. Lee, H. Kim, J.S. Heo and J.S. Cho. 2011. Removal and release velocities of nutrients by submerged plants in flood control reservoirs around Juam Lake. *Korean J. Environ. Agric.* 30:144-152.
- Kang, S.W., D.C. Seo, M.J. Han, J.H. Han, B.J. Lim, J.H. Park, K.P. Kim, Y.J. Lee, I.W. Choi,, Y.H. Lee, J.S. Heo, and J.S. Cho. 2011. Characteristics of nutrients release by submerged plants in flood control reservoirs within Juam lake. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:271-277.
- Lee, S.E., M. Ahmad, A.R.A. Usman, M. Awad, S.H. Min, J.E. Yang, S.S. Lee, and Y.S. Ok. 2011. Effects of biochar on soil quality and heavy metal availability in a military shooting range soil in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:67-77.
- Lehmann, J., J.P. da Silva Jr., M. Rondon, C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, and B. Glaser. 2002. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil* 249:343-357.
- Lim, J.T., H.K. Kim, I.J. Park, C.I. Lee, K.H. Hyun, B.S. Kwon, and H.J. Kim. 2000. Evaluation of basic oxygen furnace slag as soil conditioner in the soybean upland field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33:493-397.
- Ministry of Environment. 2004. *Environment a while book.* p. 399-429.
- Seo, D.C. 2005. Development of treatment process of biological nitrogen and phosphorus in sewage treatment plant by natural purification system. Doctor Thesis. Gyeongsang National University of Education, Korea.
- Seo, D.C., J.H. Park, A.R. Kim, S.H. Kim, S.T. Lee, T.U. Jeong, J.H. Choi, S.W. Lee, H. Kim, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2011. A study on the improvement of treatment efficiency for nitrogen and phosphorus in livestock treatment system using constructed wetlands. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44: 434-411.
- Yamato, M., Y. Okimori, I.F. Wibowo, S. Anshiori, and M. Ogawa 2006. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52:489-495.
- Zwieten V.L., S. Kimber, S. Morris, K.Y. Chan, A. Downie, J. Rust, S. Joseph, and A. Cowie. 2010. Effect of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327:235-246.