

바이오매스 자원으로서의 *Lemna Paucicostata*의 인공배양조건과 이화학적 특성에 관한 연구

곽정훈* · 이진의 · 김기혜 · 엄혜영 · 신종서 · 라창식
강원대학교 동물생명과학대학

Conditions for Artificial Culture of *Lemna Paucicostata* and Potentiality as an Alternative Biomass Source

Jung-Hoon Kwag*, Jin-Eui Lee, Ki-Hye Kim, Hye-Yeong Eum, Jong-Suh Shin
and ChangSix Ra

Department of Animal Life System, College of Animal Life Science, Kangwon National
University, Chunchon 200-701, Korea

Summary

Conditions for artificial culture of *Lemna Paucicostata* and its nutritional values were examined in this study. *Lemna P.* was cultured using artificial wastewater and a bioreactor (total volume 2,630 cm³, working volume 2,240 cm³) was operated at conditions of 6,250 lux and 28°C. Water flow affected the growth of *Lemna P.*: growth rate was very high (more than 1.1 d⁻¹) at a condition of no-water movement, but it was very low (less than 0.15 d⁻¹) when water moved slowly. The growth of *Lemna P.* was higher in 16h d⁻¹ light cycle than in 8 and 24h d⁻¹, and it was also severely affected by the initial NH₄-N levels of wastewater. The growth rate of *Lemna p.* was high in lower NH₄-N level, indicating that the growth rate is in inverse proportion to NH₄-N concentration in wastewater. However, the contents of crude protein (CP) of *Lemna P.* were proportional to the initial NH₄-N concentration. The CP contents of *Lemna P.* cultured at 2, 10, 50 and 100 NH₄-N mg L⁻¹ was 18, 24, 37, 43%, respectively, showing the *Lemna P.* cultured at 50 and 100 mg L⁻¹ had similar protein contents to linseed (CP 35%), cottonseed (CP 38%) and soybean (CP 45%). Fat, protein, fiber, NDF and ADF contents of *Lemna P.* harvested at conditions of 16h d⁻¹ light cycle and less than 2 mg L⁻¹ of NH₄-N level was 2.8, 18, 27, 20, 41 and 65.7%, respectively. Since the growth rate of *Lemna P.* was very high (more than 1.1 d⁻¹) at those conditions, it was convinced that mass production of valuable protein and fiber sources are feasible. In particular, since the *Lemna P.* has unsaturated fatty acids found mainly in animal fat as well as beneficial fatty acids to health such as C18:1n9c, C18:2n6c, C20:5n3 and C22:2, the *Lemna P.* biomass would be a highly valuable alternative feed source to grains.

(Key words : Duck weed, *Lemna paucicostata*, Biomass, Artificial wastewater)

* 농촌진흥청 국립축산과학원(National Institute of Animal Science, RDA, Suwon, 441-350, Korea)

Corresponding author : ChangSix Ra, Department of Animal Life System, Kangwon National University, Chunchon, 200-701, Korea.

Tel: (033)250-8618, Fax: :(033)251-7719, E-mail: changsix@kangwon.ac.kr

2010년 7월 26일 투고, 2010년 8월 16일 심사완료, 2010년 8월 23일 게재확정

서 론

현재 에너지 자원 고갈 및 기후온난화 문제가 국제문제로 대두되면서 전 세계적으로 대체에너지 자원 및 온실가스 저감에 관심이 집중되고 있다. 화석연료를 대신할 대체에너지자원 측면에서 그동안 사료나 식량자원으로 이용되어오던 옥수수, 대두 등이 바이오에탄올이나 바이오디젤 생산원료로 이용됨에 따라 전 세계적으로 국제곡물 공급량 부족이 심화되기 시작하였으며 이는 국내 사료가격 급등의 원인과 나아가 국내 동물산업기반 붕괴의 원인이 되고 있다. 향후 이러한 전 세계적인 “대체에너지/환경” 전쟁이 지속될 것으로 예측되기 때문에 사료곡물의 97% 이상을 외국으로부터 수입하는 우리나라의 경우 원료사료를 대체할 수 있는 바이오매스의 생산 및 이용방안 마련이 매우 시급한 실정이다. 국내의 사료자원 자급여건(기후, 국토협소 등)을 고려할 때 토양을 기반으로한 대체 사료원료 생산보다는 담수를 이용하여 사료자원을 생산하는 “water basis”로 전환하고 고농도의 탄수화물, 지방, 단백질을 함유하는 바이오매스 자원을 선별하여 대량생산하는 것이 바람직할 것으로 여겨진다. 물을 근간으로한 바이오매스는 에너지용 바이오매스와 경쟁관계에 있지 않고 아무런 비료원 공급 없이 태양과 공기 중의 CO₂만을 이용하여 대량생산이 가능하기 때문에 국내 곡물사료원 부족에 따른 사료가격 급등문제에서 벗어 나는 좋은 방안이 될 것이다. 또한 물을 이용한 대체사료자원의 생산은 온난화가스 저감에도 기여하기 때문에 궁극적으로 저탄소 녹색성장의 주된 사업으로 동물산업의 역할을 가능케 하는 전환기가 될 것으로 판단된다.

수생식물을 이용한 바이오매스 생산은 폐수 혹은 오수 처리와 더불어 수확한 바이오매스는 사료원으로 사용하거나 혹은 메탄가

스 생산원으로 이용할 수 있다는 이점이 있어 외국의 경우 수생식물을 이용한 자원화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(김과 임, 2001; 라, 2009). 국내의 연구를 살펴보면 부레옥잠을 이용한 연구가 중점적으로 이루어졌으며 양호한 기후조건에서 성장률도 높고 폐수처리에도 효과적인 것으로 보고되고 있다(박 등, 2000). 그러나 부레옥잠은 온도조건에 민감하고 성장한 식물을 수확하고 새로운 자원으로 가공시 분쇄나 분리 등의 부가적인 공정이 필요하여 활용적 측면에서 한계가 있는 것으로 보고되고 있다(박 등, 2000). 이에 반해 duck weed는 전세계적으로 널리 자생하는 식물로서 광범위한 환경조건에 잘 견디고 성장속도가 빨라 바이오매스 생산성이 높으며 식물체의 질소 농도가 부레옥잠보다 높은 것으로 보고되고 있다(정과 노, 2002). 또한 다양한 duck weed 종은 수년 동안 폐수로부터 영양염류를 제거하는 동시에 소, 돼지, 물고기, 새우, 닭과 같은 가축의 사료원으로 이용되고 있으며 단백질 함량은 약 15~40% 수준(Skilicorn 등, 1993)으로 보고되고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 널리 자생하고 있는 duck weed의 한 종인 *Lemna P.*를 인공적으로 배양하기 위한 조건을 파악하고 생산된 *Lemna P.* 바이오매스의 가축 사료원으로서의 영양적 가치에 관하여 조사하였다.

시험재료 및 방법

1. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 우리나라 전역에 분포하고 있는 duck weed 중 한 종인 *Lemna P.*를 사용하였다. *Lemna P.*는 사람들에 의해 좁개구리밥이라 불리며 frond는 열린 녹색을 띠고 뿌리의 길이는 약 1~2 cm 정도이다.

투명 아크릴을 이용하여 사각형의 생물배

양조 (총용적 2,630 cm³, 유효용적 2,240 cm³)를 제작하였으며 *Lemna P.*는 인공광원 6,250 lux, 평균온도 28°C 조건에서 인공폐수를 이용하여 배양하였다. 인공폐수는 KH₂PO₄ 8.5 mg/L, K₂HPO₄ 21.75 mg/L, Na₂HPO₄ · 7H₂O 33.4 mg/L, NH₄Cl 1.7 mg/L, MgSO₄ · 7H₂O 22.5 mg/L, CaCl₂ 27.5 mg/L, FeCl₃ · 6H₂O 0.25 mg/L을 첨가하여 조제하였으며, alkalinity 공급을 위해 NaHCO₃를 첨가해주었다 (Table 1). 인공폐수의 pH 범위는 7.5~7.8이었다.

Table 1. Composition of artificial wastewater

Component	(mg L ⁻¹)
KH ₂ PO ₄	8.5
K ₂ HPO ₄	21.7
Na ₂ HPO ₄ ·7H ₂ O	33.4
NH ₄ Cl	1.7~100
MgSO ₄ ·7H ₂ O	22.5
CaCl ₂	27.5
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.25
NaHCO ₃	500

실험 1에서는 하부층의 물 유동여부가 *Lemna P.*의 성장에 미치는 영향을 파악하였다. 하부층의 물 유동을 유도하기 위해 1L min⁻¹ 비율로 공기를 공급해 주었으며 Fig. 1에서와 같이 생물배양조 B 부분 상층부에 격자판을 설치하고 공기공급이 표면에서 이루어지도록 하여 공기공급으로 인한 A부분 상층부의 물 유동을 방지하고 *Lemna P.*의 배양은 A에서만 이루어지도록 하였다. 하부층의 물 유동이 없는 경우와 있는 경우에 있어서의 *Lemna P.* 성장률의 변화와 그에 따른 폐수내 영양염류 제거패턴을 분석하기 위하여 각각 대조구를 두었으며 대조구에는 *Lemna P.*를 접종하지 않았다. 광 조사시간은 여름 일조시간과 유사한 16h d⁻¹로 실험하였다.

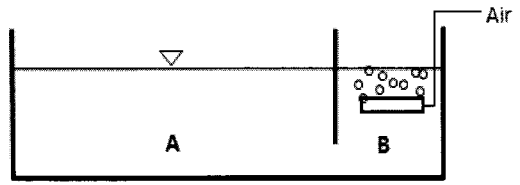


Fig. 1. Diagram of photobioreactor.

실험 2에서는 인공 폐수내 NH₄-N 농도변화에 따른 *Lemna P.*의 성장변화를 분석하였다. 이를 위해 인공폐수의 NH₄-N 농도를 2, 10, 50, 100 mg L⁻¹ 수준으로 조절하여 실험하였으며 광 조사시간은 실험 1에서와 같이 16h d⁻¹로 하였다.

실험 3에서는 광 조사시간이 *Lemna P.* 성장에 미치는 영향을 분석하였다. 본 실험에서는 인공폐수내 NH₄-N 농도를 10 mg L⁻¹로 조절하고 광 조사시간 8, 16, 24h d⁻¹에서의 *Lemna P.*의 성장변화를 분석하였다.

2. 분석방법

모든 실험에서 초기 *Lemna P.*의 frond를 100으로 고정하고 24시간 간격으로 frond 수의 변화를 파악하여 성장률을 분석하였다. 또한 배양 중 24시간 간격으로 시료를 채취하여 PO₄-P, NH₄-N 농도를 분석하였다. PO₄-P, NH₄-N 분석은 자동수질 분석기 (Zellweger: LACHAT, QuikChem 8000)를 이용하여 분석하였으며 분석전 모든 시료는 여과지 (Watman, No.1541)를 이용하여 filtering 하였다.

*Lemna P.*의 일반성분 분석 방법은 AOAC (1995) 방법에 준하였고, 지방산 분석은 Folch의 방법 (Folch 등, 1957)에 준하여 지질을 추출한 후 Sukhija와 Palmquist (1988)의 방법에 따라 gas chromatography (Shimadzu Model GC-17A Ver. 3, Japan)로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 하부층의 물 유동이 *Lemna P.*의 성장에 미치는 영향

하부층 물의 유동에 따른 *Lemna P.* 성장률의 변화를 Fig. 2a에 제시하였다. 하부층의 물 유동이 있는 경우(aeration)와 없는 경우(no aeration)를 비교할 때 초기 4일까지의 Frond수는 비슷하였으나 5일째부터 실험구간 성장률의 큰 차이가 나타나기 시작하였다. 하부층의 물 유동이 없는 경우 총 10일간의 배양 기간 중 11배 이상의 성장을 보여 일일 1.1 이상의 성장률을 보인 반면 하부층 물 유동이 있는 경우에는 단지 0.15 d⁻¹ 이하의 성장률을 보였다. 따라서 *Lemna P.* biomass의 생산을 위해서는 하부층의 물 유동이 없는 매우 잔잔한 조건 제공이 필요함을 알 수 있었다.

실험 중 인공폐수내 암모니아성 질소 농도의 변화를 분석하였다(Fig. 2b). *Lemna P.*를 접종하지 않은 각 대조구(C-no aeration, C-aeration)와 *Lemna P.*를 접종 후 하부층의 물 유동을 유도하면서 배양한 실험구 T-aeration의 경우 인공폐수내 암모니아성 질소의 농도가 시간이 경과함에 따라 점차 증가한 반면 물 유동 없이 배양한 T-no aeration의 경우에는 점차 감소하였다. *Lemna P.*를 접종하지 않은 각 대조구에서의 암모니아성 질소 농도의 증가는 배양 기간 중의 수분 증발에 의한 것으로 판단된다. 하부층 물 유동이 있는 조건에서 *Lemna P.*를 배양할 때의 암모니아성 질소 농도의 증가는 *Lemna P.*의 성장에 의한 질소의 제거보다 수분증발에 따른 질소성분의 농축이 높았기 때문에 이는 주어진 조건에서 *Lemna P.*의 성장률이 매우 낮았기 때문으로 판단된다. 물 유동이 없는 조건에서 *Lemna P.*를 배양할 때에는 배양 8일 만에 암모니아성 질소가 폐수로부터 완전

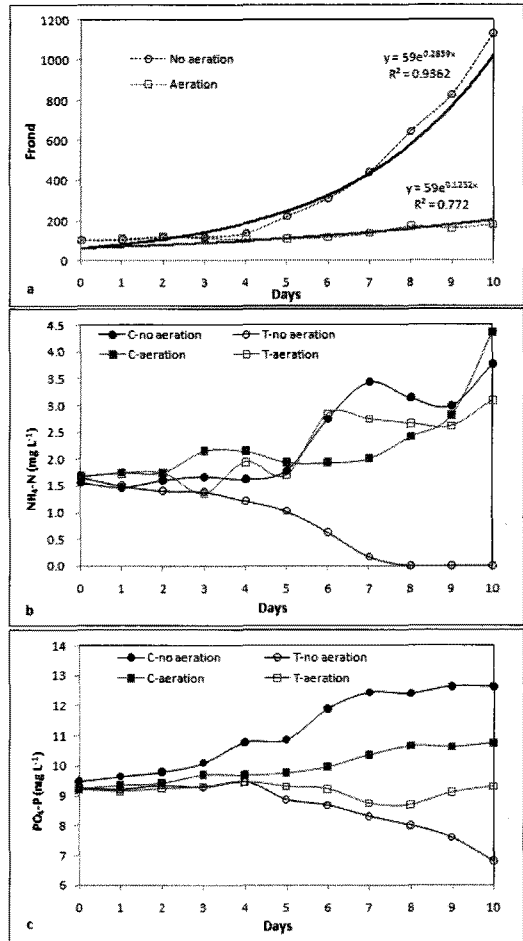


Fig. 2. *Lemna P.* growth and N&P removal.

제거되었는데 이는 *Lemna P.*의 활발한 성장으로 인해 암모니아성 질소의 동화가 수분 증발에 의한 성분 농축보다 높았기 때문으로 판단되며 실제 *Lemna P.* 성장에 의한 암모니아성 질소의 제거율은 얻어진 결과보다 높을 것으로 추측된다. Duckweed가 생활하수로부터 암모니아를 제거하는 능력과 암모니아를 질소원으로 동화하는 능력은 Hammouda 등 (1995)과 Monselise와 Kost (1993)에 의해 보고된 바 있으며 duckweed는 질소동화 경로를 가속화시켜 NO₃ 보다는 NH₄를 우선적으로 흡수 동화시키는 것으로 알려지고 있다.

Fig. 2c는 폐수내 용해성인의 농도 변화를

나타낸 것으로 *Lemna P.*를 접종하지 않은 대조구의 경우 시간이 경과함에 따라 농도가 증가하였는데 이는 암모니아성질소 농도 변화에서와 같이 수분증발에 의한 성분 농축효과 때문으로 판단된다. 두 대조구를 비교할 때 aeration을 행하지 않은 실험구에 비해 aeration이 있었던 대조구에서 용해성인 증가율이 낮았는데 이는 aeration에 따른 CO₂ air-stripping에 의한 것으로 여겨진다. Aeration 중 CO₂ air-stripping에 의해 폐수의 pH가 약간 상승하고 이로 인해 일부의 용해성 인이 침전된 것으로 판단된다.

*Lemna P.*가 활발히 성장한 T-no aeration 실험구에서의 용해성인 농도의 변화는 거의 없었는데 이는 *Lemna P.*의 인 이용률이 낮기 때문으로 판단되며 물 유동이 있었던 T-aeration 실험구에서의 용해성인의 제거는 앞서 언급한 바와 같이 CO₂ air-stripping과 일부 *Lemna P.*의 흡수에 의한 것으로 판단된다.

2. 초기 질소농도가 *Lemna P.*의 성장에 미치는 영향

폐수의 초기 NH₄-N 농도에 따른 *Lemna P.* 성장률의 변화를 조사하였다(Fig. 3). 실험결과 *Lemna P.*의 생장은 초기 NH₄-N의 농도에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 초기 NH₄-N의 농도가 낮을수록 *Lemna P.*의 성장률이 높아지면서 총 10일 동안의 배양 기간 중 NH₄-N의 농도가 2 mg L⁻¹ 이하일 때 약 11배, 10 mg L⁻¹일때 5배, 50과 100 mg L⁻¹ 일 때는 약 3.5배의 성장률을 보였다. 이러한 결과는 고농도의 NH₄-N는 오히려 식물생장에 저해가 된다는 박 등(2000)의 보고와 일치하는 것으로 그들에 따르면 NH₄-N의 농도가 70 mg L⁻¹ 이상일 때 duck weed는 생장할 수 없다고 보고한 바 있다. 그러나 본 연구에서는 NH₄-N의 농도 100 mg L⁻¹에서도

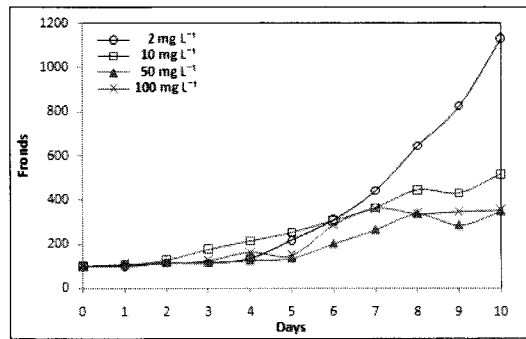


Fig. 3. Effects of initial NH₄-N level on *Lemna P.* growth.

*Lemna P.*가 증식하는 것으로 나타나 100 mg L⁻¹의 고농도 NH₄-N 수준에서도 비록 *Lemna P.*의 생장은 저해되나 증식이 완전히 중지되지 않음을 알 수 있었다. 얻어진 결과로 미뤄 *Lemna P.* 바이오매스의 최대 생산을 위해서는 폐수 혹은 배양액내 NH₄-N의 농도를 2 mg L⁻¹ 이하의 저농도로 유지하면서 배양하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

3. 광주기가 *Lemna P.*의 성장에 미치는 영향

광주기가 *Lemna P.*의 성장에 미치는 영향을 분석하기 위하여 광 조사시간 8, 16, 24h d⁻¹에서의 성장률을 조사하였다(Fig. 4). 실험결과 배양초기에는 모두 비슷한 성장을 보였으나 3일 이후부터 광주기 16h d⁻¹에서 성장률이 매우 높아지는 것으로 나타났다. 초기질소 농도 10 mg L⁻¹에서 10일간 배양할 때 광주기 16h d⁻¹에서는 5배이상 성장하였으나 8h와 24h d⁻¹에서는 일부 증식하다가 사멸하면서 성장률이 1.5배 이하로 관찰되었다. 또한 광주기 8과 24h d⁻¹에서는 frond가 황갈색으로 변화하면서 사멸하는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 *Lemna P.*의 인공적인 배양을 위해서는 광주기를 16h d⁻¹ 유지하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

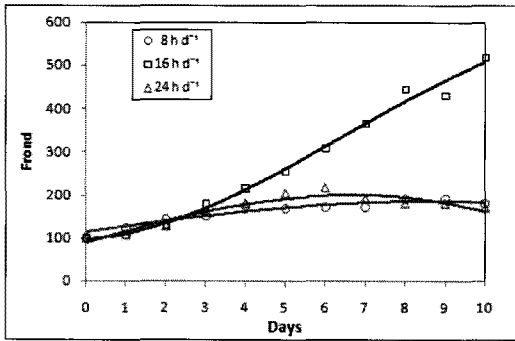


Fig. 4. Effects of light cycle on *Lemna P.* growth.

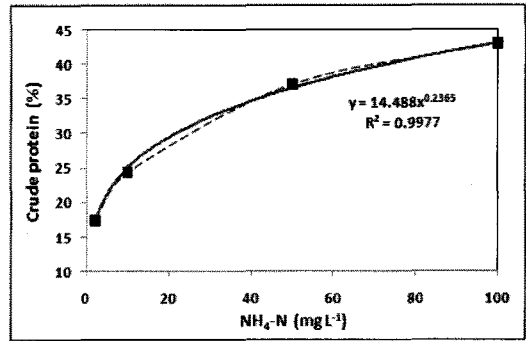


Fig. 5. Crude protein content vs wastewater $\text{NH}_4\text{-N}$ levels.

4. *Lemna P.*의 영양소 함량

배양액내 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도가 높을수록 *Lemna P.*의 조단백질 함량이 높았으며 배양액내 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도와 단백질 함량 간에는 Fig. 5에서와 같은 상관관계가 있음을 알 수 있었다 (Fig. 5). $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도가 2, 10, 50, 100 mg L^{-1} 에서 배양한 *Lemna P.*의 조단백질 함량은 각각 18, 24, 37, 43%로 나타나 50과 100 mg L^{-1} 의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도에서 성장한 *Lemna P.* 바이오매스의 조단백질 함량은 현재 단백질원으로 이용되고 있는 아마박(조단백질 함량 35%), 면실박(38%), 대두박(45%)과 비슷한 수준임을 알 수 있었다. 참고로 Oron 등(1988)은 평균 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도 47 mg L^{-1} 수준의 생활하수 연못을 이용한 배양연구에서 duck weed의 성장률은 $15 \text{ g m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이며 단백질 함량은 30% 수준이었다고 보고한 바 있다.

배양액내 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도와 *Lemna P.* 바이오매스의 단백질 함량간의 상관관계의 발견은 (Fig. 5) 배양액내의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도 조절을 통해 일정한 단백질 함량을 지닌 *Lemna P.* 바이오매스의 생산이 가능함을 의미하는 것이라 할 수 있다.

*Lemna P.*는 닭사료 원료의 대두박이나 어분을 대체할 수 있는 매우 좋은 사료원이며 (Haustein 등, 1990), 식물성 단백질로 lysine과

methionine 함량이 매우 높을 뿐만 아니라 아미노산의 구성이 대두박이나 peanut meal과 거의 유사 (Mbagwu and Adeniji, 1988)한 것으로 보고되고 있다. 또한 *Lemna*는 Channel 메기사료뿐만 아니라 홍발가재 사료로서 사용되고 있으며 (Robinson 등, 1980; Fletcher and Warburton, 1997), duck weed에 풍부하게 함유되어있는 carotenoid와 색소는 갑각류의 성장을 촉진하는 것으로 알려지고 있다 (Hertampf and Piedad-pascual, 2000).

Table 2는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도 2 mg L^{-1} 이하에서 성장한 *Lemna P.*의 일반화학적성분을 분석한 결과를 나타낸 것으로 조지방, 조단백질, 조섬유, 조회분, NDF 및 ADF 함량은 각각 2.77, 18.03, 27.02, 20.01, 41.00, 65.68%이었다. *Lemna P.*의 조지방 함량은 일반적으로 가축의 사료에 많이 사용되고 있는 대두박, 옥수수, 벧짚, 티모시, 알팔파 등의 조지방 함량 (1.6~3.7%)과 유사한 수준으로 분석되었다.

단미사료는 조섬유 함량이 20% 이상일 때는 섬유질 사료, 조단백질 함량이 20% 이상일 때는 단백질 사료로 분류할 수 있다 (AOAC, 1995). 저농도의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 조건에서 배양한 *Lemna P.*의 조단백질 함량은 일반적으로 사료에 사용되는 대두와 대두박에 비해 낮은 수준이지만 옥수수, 귀리, 밀기울, 단백질 등의 조단백질 함량보다는 높은 수준을

Table 2. Chemical composition of *Lemna P.*

(DM basis, %)

Moisture	E.E	C.P	C.F	Ash	NDF	ADF
8.82± 0.03	2.77±0.07	18.03±0.27	20.01±0.06	27.02±0.54	65.68±0.65	41.00±0.47

* Mean ± SD.

보이고 있다. 조단백질과 조섬유 함량은 알팔파와 비교하여 볼 때 비슷한 수준으로 반추가축의 단백질 및 섬유질 공급원으로 가장 선호하는 조사료 자원인 알팔파는 조단백질 및 조섬유 함량이 18% 및 26% 내외인 것으로 알려져 있다. 이러한 결과를 볼 때 *Lemna P.*는 단위동물이나 반추동물에 우수한 단백질 자원 또는 섬유질 자원으로 활용가치가 높을 것으로 기대된다.

한편, 대두, 옥수수, 벣짚, 티모시 및 오차드그라스 등 단미사료와 조사료의 조회분 함량은 1.0~10.0% 정도의 낮은 수준이지만, *Lemna P.*의 조회분 함량은 27.02%의 높은 수준을 보이고 있다. 배합사료 공장과 농가 현장에서는 가축의 생산성을 개선하기 위해 광물질을 추가적으로 공급하고 있다는 점을 고려할 때 이러한 결과는 광물질을 추가적으로 배합하거나 공급하여야 하는 산업에서 경제적인 가치가 높을 것으로 판단되며, 추후 *Lemna P.* 내 광물질 종류와 함량에 대한 분석연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

조사료 상대적 사료가치 (Relative forage value: RFV)란 목초의 품질을 CP, NDF 및 ADF 분석치를 근거로 미국목초검사협회 (national forage testing association: NFTA)에서 평가하는 것이다 (Tayler, 1995). 오차드그라스의 RFV를 100으로 볼 때 *Lemna P.*의 RFV는 81 정도로 산출되어 진다. 이는 *Lemna P.*가 오차드그라스 등의 양질 조사료와 견줄만한 가치가 있으며, 반추가축의 섬유질 사료로 활용하여도 건물섭취량과 소화율에 긍정적인 효과가 있다고 볼 수 있다. Jarrige 등 (1974)

과 Hodgson 등 (1977)의 보고에 의하면, RFV는 건물 섭취량 및 소화율과 정의 상관을 가지고 있다고 하였다. *Lemna P.*의 조단백질, 조섬유 및 조회분 함량과 조사료 상대적 사료가치 (RFV)가 높다는 결과를 근거로 판단할 때 *Lemna P.*는 단위동물 뿐만 아니라 반추동물에 단백질, 섬유질 및 광물질의 사료 자원으로 활용가치가 높을 것으로 여겨진다.

Table 3은 NH₄-N 농도 2 mg L⁻¹ 이하에서 성장한 *Lemna P.*의 포화 및 불포화 지방산 성분 함량을 나타낸 것이다. *Lemna P.*의 지방산 포화도와 불포화도의 비율은 일반적인 식물에서 나타나는 비율 (70:30)과 유사하였다. 포화지방산함량 중 C12:0, C14:0, C16:0, C20:0 및 C22:0이 비교적 높았으며, 불포화 지방산 함량은 C18:1n9c, C18:2n6c, C20:5n3 및 C22:2 함량이 높게 나타났다.

식물성 자원인 *Lemna P.*에서 10종류의 불포화 지방산이 검출되었으며, 특히 C18:1n9c, C18:2n6c, C20:5n3 및 C22:2가 검출된 결과는 매우 이례적인 결과로 볼 수 있다. 이와 같은 지방산은 주로 동물성 지방산 중에서도 해양 동물의 지방산에서 검출되는 단일 및 다중 불포화 지방산으로 (하, 1977), 인체에 질병예방, 뇌기능 촉진, 혈중 콜레스테롤 개선 (Dyerberg와 Bang, 1978) 등에 효과가 있는 것으로 밝혀지고 있다. 식물이나 곡류의 지방에서 검출되지 않는 C18:1n9c, C18:2n6c, C20:5n3 및 C22:2의 지방산이 *Lemna P.*에서 검출되었다는 것은 동물산업에서의 *Lemna P.*의 활용가치를 짐작하게 한다.

Table 3. Fatty acid composition of *Lemna P.*

Fatty acid (%)	
C8:0 (Caprylic)	1.57
C10:0 (Capric)	1.84
C12:0 (Lauric)	15.91
C13:0 (Tridecanoic)	1.4
C14:0 (Myristic)	8.72
C15:0 (Pentadecanoic)	0.27
C15:1 (cis-10-pentadecanoic)	3.26
C16:0 (palmitic)	15.88
C16:1 (Palmitoleic)	1.78
C17:0 (Heptadecanoic acid methyl ester)	0.32
C18:0 (Stearic)	4.79
C18:1n9c (Oleic)	11.27
C18:2n6c (Linoleic)	11.27
C20:0 (Arachidic)	13.11
C18:3n6c (r-Lindelnic)	0.44
C20:1n9 (cis-11-Eicosenoic)	0.9
C22:0 (Behenic)	9.02
C20:3n6 (cis-8,11,14-Eicosatrienoic)	0.37
C23:0 (Tricosanoic)	0.62
C22:2 (cis-13,16-Docosadienoic)	0.36
C20:5n3 (Eicosapentaenoic acid)	1.77
C24:1n9c (Nervonic)	0.27

적 요

본 연구에서는 *Lemna P.*의 인공배양 조건을 파악하고 생산된 바이오매스의 영양적 가치에 관하여 조사하였다. *Lemna P.*의 배양을

위해 총용적 2,630 cm³, 유효용적 2,240 cm³의 생물배양조를 이용하였으며 인공광원 6,250 lux, 평균온도 28℃ 조건에서 인공폐수를 이용하여 배양하였다. 물 유동여부가 *Lemna P.*의 성장에 미치는 영향을 분석한 결과 하부층의 물 유동이 없는 경우 일일 1.1 이상의 성장률을 보인 반면 하부층 물 유동이 있는 경우에는 단지 0.15 d⁻¹의 성장률을 보였다. 또한 인공 폐수내 NH₄-N 농도변화와 광 조사시간이 *Lemna P.* 성장에 미치는 영향을 분석한 결과 광주기 16h d⁻¹에서의 성장률이 8h 및 24h d⁻¹에서 보다 높았으며 *Lemna P.*의 생장은 초기 NH₄-N의 농도에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 초기 NH₄-N의 농도가 낮을수록 *Lemna P.*의 성장률은 높았으나 조단백질 함량은 초기 NH₄-N 농도에 비례하였다. NH₄-N의 농도 2, 10, 50, 100 mg L⁻¹에서 배양한 후의 *Lemna P.*의 조단백질 함량은 각각 18, 24, 37, 43%로 50과 100 mg L⁻¹ 농도에서 성장한 *Lemna P.* 바이오매스의 조단백질함량은 현재 단백질원으로 이용되고 있는 아마박(조단백질 함량 35%), 면실박(38%), 대두박(45%)과 비슷한 수준으로 나타났다. 광주기 16h d⁻¹, 초기 NH₄-N 농도 2 mg L⁻¹ 이하에서 매우 높은 성장률로 증식한 *Lemna P.*의 조지방, 조단백질, 조섬유, 조회분, NDF 및 ADF 함량이 각각 2.77, 18.03, 27.02, 20.01, 41.00, 65.68%로 밝혀짐에 따라 우수한 단백질 또는 섬유질 대체자원의 대량 생산이 가능함을 알 수 있었다. 특히 *Lemna P.*는 식물성 지방보다 동물성 지방에서 검출되는 단일 및 다중 불포화 지방산들을 함유하고 있으며, 기능성 지방산으로 알려진 C18:1n9c, C18:2n6c, C20:5n3 및 C22:2 들을 지니고 있어 가축의 기능성 사료자원으로 활용가치가 높을 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 강원대학교 동물자원공동연구소 연구비지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

1. AOAC. 1995. Official Methods of Analysis, 16th Ed. Association of Official Analytical Chemist, Washington D. C., USA.
2. Dyerberg, J. and Bang, H. O. 1978. Eicosapentaenoic acid prevention of the thrombosis and atherosclerosis. *Lancet*, 117.
3. Fletcher, A. and Warburton, K. 1997. Consumption of fresh and decomposed duckweed *Spirodela* sp. By Redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). *Aquaculture research* 28:379-382.
4. Folch, J., Lees, M. and Stanley, G. H. S., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipid from animal tissue. *J. Biol. Chem.* 226:497-509.
5. Hammouda, O., Gaber, A. and Abdel-Hameed, M. S. 1995. Assessment of the effectiveness of treatment of wastewater-contaminated aquatic systems with *lemna gibba*. *Enzyme Microb. Technol.* 17:317-324.
6. Haustein, A. T., Gilman, R. H., Skillicorn, P. W., Vergara, V., Guevara, V. and Gastanaduy, A. 1990. Duckweed, a useful strategy for feeding chickens: Performance of layers fed with sewage grown Lemnaceae species. *Poultry Sci.* 69: 1835-1844.
7. Hertampf, J. W. and Piedad-Pascual, F. *Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds.* Kluwer Academic Publications, Dordrecht 2000.
8. Hodgson, J., J. M. Rodriguez Capriles and J.S. Fenlon. 1977. The influence of herbage characteristics on the herbage intake of grazing calves. *J. Agri. Sci. Cambridge.* 89:743-750.
9. Jarrige, R., G. Demarquilly and J. P. Dulphy. 1974. The voluntary intake of forage. *Proceedings of the fifth general meeting European Grassland Federation.* Upsala. *Plant husbandry.* 28:98-106.
10. Mbagwu, I. G. and Adeniji, H. A. 1988. The nutritional content of duckweed (*Lemna paucicostata* Hegelm.) in the Kainji Lake area, Nigeria. *Aquatic Botany,* 29:357-366.
11. Monselise, E. B. I. and Kost, D. 1993. Different ammonium uptake, metabolism and detoxification efficiencies in two *Lemnaces*. *Planta* 189:167-173.
12. Oron, G., De-Vegt, A. and Porath, D. 1988. Nitrogen removal and conversion by duckweed grown on wastewater. *Water Res.* 22:179-184.
13. Robinson, H. R., Brunson, M. W. and Day, E. J. 1980. Use of duckweed in diets of channel catfish. *Proceedings of the Annual Conference of Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies.* 34:108-114.
14. Skillicorn, P., William S. and William J. 1993. *Duckweed Aquaculture. A new aquatic farming system for developing countries.* The World Bank, Washington, DC.
15. Sukhija, P. S. and Palmquist, D. L. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agric. Food Chem.* 36:1202-1206.
16. Tayler, R. W. 1995. Hay sampling and

- grading. Agronomy facts series, AF-16. University of Delaware. USA.
17. 김병욱, 임재명. 2001. 혐기성소화와 수생 식물을 이용한 고농도 돈사폐수 처리. 대한환경공학회지 23(6):911-920.
 18. 라창식. 2009. 동물산업에서의 바이오매스 생산 및 이용기술. 한국동물자원과학회 학술발표회 Proceeding Vol.1:81-102.
 19. 박미란, 김병욱, 임재명. 2000. 생물학적 처리공정을 거친 돈사폐수의 영양염류 제거를 위한 Duck wedd (*Lemna Species*)의 이용 및 성장특성(I). 한국물환경학회지 16(5):685-693.
 20. 정연숙, 노찬호. 2002. 양어장 배출수의 수처리를 위한 수생관속식물의 적용: I. 부엽식물인 부레옥잠 및 좁개구리밥의 성장과 영양염류의 흡수력. 한국생태학회지 25(1):39-44.
 21. 하봉석. 1977. 수산물의 지질에 관한 연구 (제3보). 해조류 지질의 지방산 조성에 대하여. 한수지. 10, 199.