

플라즈마 처리에 의한 양액 성분 변화

김동석 · 박영식^{1)*}

대구가톨릭대학교 환경과학과, ¹⁾대구대학교 기초교육원
(2011년 12월 15일 접수; 2012년 1월 16일 수정; 2012년 2월 18일 채택)

Change of Hydroponic Components by Plasma Treatment

Dong-Seog Kim, Young-Seek Park^{1)*}

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea

¹⁾*Faculty of Liberal Education, Daegu University, Gyeongbuk 712-714, Korea*

(Manuscript received 15 December, 2011; revised 16 January, 2012; accepted 18 February, 2012)

Abstract

The influence of plasma discharge on the nutrient components (NO₃-N, NH₄-N, PO₄-P, K, Ca, and Mg) and water quality [pH, ORP (oxidation-reduction potential) and electric conductivity] of hydroponic water were investigated. It was observed that the NH₄-N, PO₄-P, K, Ca, and Mg were kept at the constant concentrations for plasma discharging of 90 min. On the other hand, NO₃-N concentration was increased with proceeding of the plasma discharge. The increase of NO₃-N concentration was considered with the fact that nitric acid was created from nitrogen among supplying air for the insulation of inside of dielectric barrier. ORP and electric conductivity was increased with plasma discharging time. However, pH was decrease with what because of the generation of the nitric acid. When adjusting the hydroponic ingredients, pH and conductivity must to be considered because of the change of pH and conductivity with the discharging.

Key Words : Plasma, Hydroponic Component, Nitrogen, Phosphorus, Ionized gas

1. 서론

국내 양액재배 면적은 1992년부터 시작된 시설원예 산업에 대한 정부의 집중적인 지원과 생산성 및 품질 향상에 대한 농가의 요구 증대에 힘입어 1994년부터 2000년까지 급격히 증가되었으며 그 이후에도 매년 꾸준히 증가되어 2008년 현재 1,107.3 ha에 달하고 있다(시설원예시험장, 2010). 양액재배에 사용하는 양액은 다양한 무기물은 물론 고농도의 질소와 인 성

분을 함유하고 있어 순환되지 않고 하천 및 호소 생태계로 방류될 경우 심각한 부영양화를 초래할 수 있다. 또한 날로 심각해지는 재배 용수의 부족 현상을 해결하고 용수 중의 비료성분의 이용을 극대화하기 위해서는 15 ~ 40%에 이르는 사용 양액을 폐기하는 비순환식 양액재배법보다는 양액을 재사용하는 순환식 양액재배법이 환경보전과 비료 절감이라는 측면에서 반드시 필요하다(농림부, 1999).

폐기되는 폐양액을 재이용하기 위해서는 수경재배라는 특성상 양액 속에 병원균이 발생하면 토경재배에 비하여 뿌리와의 접촉기회가 많아 병원균의 확산이 빠르고 양액 탱크를 경유하여 재배조 전체에 확산되기 쉬운 문제를 해결해야할 필요가 있다. 따라서 폐양액의 완전 살균에 의한 배지 또는 뿌리 주변에서의

*Corresponding author : Young-Seek Park, Faculty of Liberal Education, Daegu University, Gyeongbuk 712-714, Korea
Phone: +82-53-850-4571
E-mail: ysparkk@daegu.ac.kr

병원균이나 바이러스의 발병을 억제하는 일이 중요하다(농촌진흥청, 2006). 현재 양액 소독을 위해 적용하고 있는 소독 시스템은 국내·외를 막론하고 유사한 소독 시스템을 사용하고 있는데, 환경 분야에서 비교적 오랫동안 적용된 소독법인 자외선, 오존, 열처리법 및 모래 소독법을 사용하고 있다. 그러나 기존 소독법은 발생하는 폐양액물, 폐양액량 등은 많으나 폐양액 소독 처리용량의 부족 등의 이유로 인해 그 활용도는 미흡한 수준이며, 소독 성능이 우수한 최신 소독기술이 적용되지 않고 있는 실정이다(Ohtani 등, 2000; 등, 2002). 본 연구진들은 새로운 난분해성 물질 처리와 소독에 사용될 수 있는 수중 유전체 방전 플라즈마 공정에 대한 기초 연구를 수행한 결과 산화제 발생량이 많고 난분해성 물질 처리와 풋마름병균(*Ralstonia solanaceum*) 등에 대한 소독율이 높은 것으로 나타나 양액 소독에도 활용 가능한 것으로 사료되었다(김과 박, 2011a; 김과 박 2011b; 백 등, 2011).

플라즈마로 양액을 처리시 처리에 따른 양액성분이 변하는 경우 양액 성분을 조절할 필요가 있기 때문에 플라즈마 처리가 양액 성분 변화에 미치는 영향에 대한 고찰이 필요하다. 따라서 본 연구는 플라즈마 처리가 양액 성분에 미치는 영향을 고찰하여 향후 플라즈마 공정을 농업용 소독 공정으로 적용시의 기초자료로 사용하고자하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

실험에 사용한 반응기 시스템은 회분식으로 제작하였으며 Fig. 1에 개요도를 나타내었다. 본 실험에 사용한 플라즈마 시스템은 유전체 방전 플라즈마 반응기 시스템으로써 방전 전극, 유전체인 석영관, 접지 전극 및 산기관으로 이루어진 플라즈마 반응기, 슬라이드와 네온트랜스로 이루어진 전원 공급장치 및 공기 펌프와 유량조절장치로 이루어진 공기 공급장치로 이루어져 있다. 반응기에 주입하는 가스로는 공기를 사용하였으며 로터미터를 이용하여 공기를 5 L/min으로 공급하였다. 전원 장치로 1차 전원과 2차 전원을 사용하였다. 1차 전원은 슬라이드스를 이용하여 전압을 80 ~ 220 V로 조절하였다. 전극에 고전압을 공급

하는 2차 전원은 15 kV이고 주파수가 20 kHz인 네온 트랜스를 이용하였다. 양액 성분은 일본 야채시험장 표준액(NO₃-N 16.0, NH₄-N 1.3, PO₄-P 4.0, K 8.0, Ca 8.0, Mg 4.0 me/L)을 기준으로 수돗물로 제조하였다(유 등, 2006).

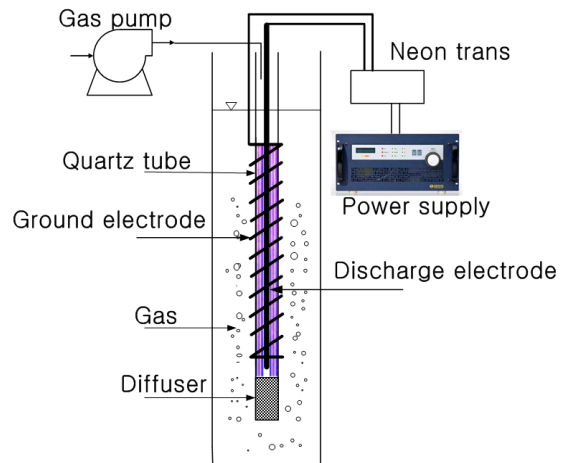


Fig. 1. Study of a dielectric barrier discharge plasma system.

2.2. 분석 및 측정

양액 성분 중 대량 원소인 NO₃-N, NH₄-N, PO₄-P 4는 Standard Method를 기준으로 측정하였다(APH-AWWA-WPCE, 1992). pH와 ORP 및 전기전도도는 각각 pH 미터(Orion, 420A+), ORP 미터(Inolab Terminal Level3) 및 전기전도도 미터(Eutech, Cyberscan PC300)로 측정하였다. 산화제 생성변화는 N, N-Dimethyl-4-nitrosoaniline (RNO)의 분해로 간접 확인하였다. K 8.0, Ca 및 Mg는 이온 분석기(Metrohm, Modular system)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

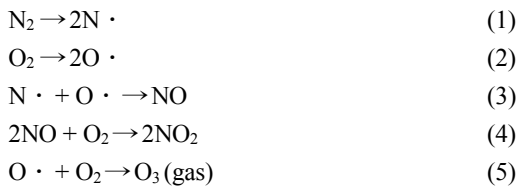
3.1. 방전에 따른 NH₄-N, NO₃-N 및 PO₄-P 변화

Fig. 2에 공기공급량이 5 L/min인 조건에서 1차 전압을 80, 160 및 220 V로 변화시키면서 NH₄-N(a), NO₃-N(b) 및 PO₄-P(c)를 나타내었다. NH₄-N의 경우 1차 전압에 따라 초기 이론투입농도 18.6 mg/L 부근인 18.6 ~ 19.5 mg/L에서 플라즈마 방전시간에 따라 큰 변화를 보이지 않고 90 분의 방전시간에서 NH₄-N

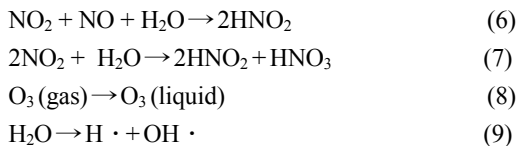
의 농도는 19.2 ~ 19.4 mg/L로 나타나 플라즈마 방전이 NH₄-N 농도에는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 2(b)의 NO₃-N의 경우 80 V에서 초기 168.4 mg/L에서 플라즈마 방전이 진행될수록 NO₃-N 농도가 증가하여 90분의 방전에서 177.8 mg/L로 증가하였다. 이와 같은 경향은 160 V와 220 V에서도 관찰되었다. 160 V는 90분 후 최종 NO₃-N농도는 184.8 mg/L로 증가하였으며 220 V도 206.9 mg/L로 증가하였다. 모든 1차 전압에서 시간에 따라 NO₃-N농도가 증가하지만 220 V의 농도 증가율이 가장 높은 것으로 사료되었다.

대기 중의 질소와 산소가 자연방전에 의해 화학 변화식 (1)~식 (5)]를 보이는 것과 같은 반응에 의해 여러 가지 물질을 만들어 낸다(환경부, 2004).



이와 같이 생성된 물질은 수중에서 성분의 변화를 보인다.



상기와 같이 NO₃-N의 증가는 유전체의 절연을 위해 유전체 내부로 공급하는 공기 중의 질소가 식 (7)과 같이 질산을 만들기 때문에 높은 1차 전압에서 시간이 경과될수록 NO₃-N 농도가 증가하는 것으로 사료되었다.

Fig. 5(c)에 PO₄-P 농도 변화를 나타내었다. PO₄-P의 경우 90분의 방전에도 이론 농도인 41.3 mg/L와 유사한 농도를 나타내어 NH₄-N와 같이 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

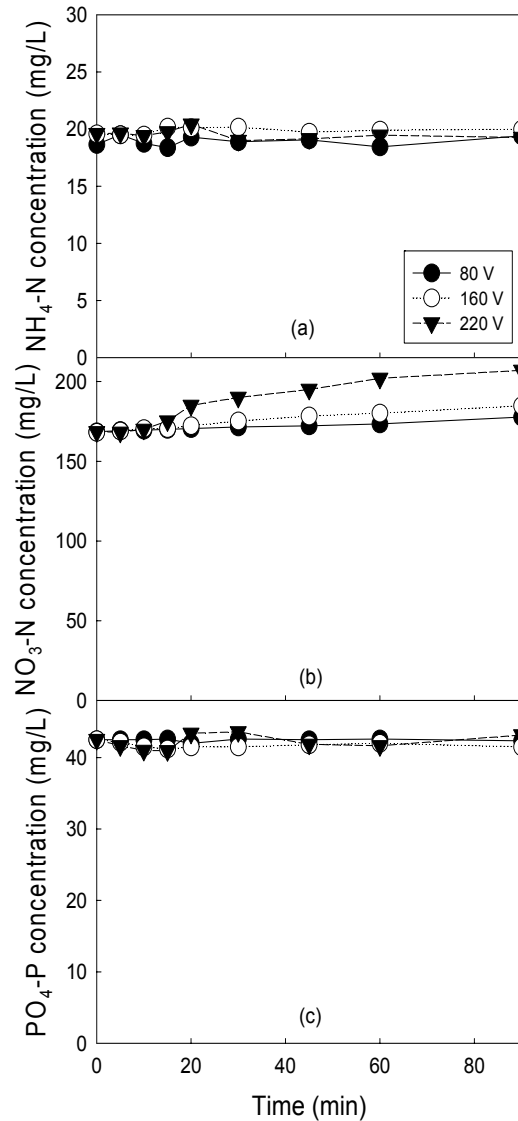


Fig. 2. Variation of hydroponic component with plasma treatment: (a) NH₄-N, (b) NO₃-N, (c) PO₄-P.

3.2. 방전에 따른 pH, ORP 및 전기전도도의 변화

Fig. 3에 1차 전압을 달리한 조건에서 방전에 따른 pH, ORP 및 전기전도도의 변화를 나타내었다. Fig. 3 (a)에서 보듯이 pH는 초기 pH 5.93에서 방전시간이 증가함에 따라서 낮아지는 것으로 나타났다. 80 V는 90분 후 pH가 3.9으로 160 V는 3.14, 220 V는 2.86으

로 나타났다. 1차 전압이 증가할수록 pH 감소율이 더 큰 것으로 나타났다. 방전에 따른 pH 감소는 식 (7)과 같이 공기 중의 질소와 산소가 질산을 만들기 때문이며 1차 전압이 증가할수록 질산의 생성이 많기 때문인 것으로 사료되었다.

토양 내 pH가 5.0~7.5 범위 내에서는 뿌리 생육이 큰 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다. pH는 세포 막간 이온에 전기화학적 전위차를 제공하게 된다. 정상적이지 않는 외부 pH는 무기 양분의 흡수를 방해하는 요인으로 작용한다(이 등, 2004). 윤 등(2004)은 pH 2.9인 산성 전해수와 수돗물로 재배한 콩나물의 경우 11일 이후부터는 두 종류의 물에서 자란 콩나물의 생 체중이 비슷하다고 보고하였다. 장 등(1999)은 감자의 수경재배에서 pH가 4이하로 감소할 경우 무기물의 흡수가 방해되어 식물 성장이 방해를 받는다고 보고하였다. 서 등(1998)은 아이리시의 순환식 양액재배시 pH가 5.5~7.0일 때 pH 6.5에서는 잎과 꽃의 크기가 가장 크고 pH 7.0에서는 생육이 감소하였다고 보고하였다. 이와 같이 작물의 종류에 따라 작물의 생육이 영향을 받는 정도가 다르기 때문에 작물 선정시 이를 고려해야 하며, 낮은 pH가 성장에 문제가 되면 pH를 조절할 필요가 있다고 판단되었다.

ORP는 초기 258 mV에서 방전이 진행됨에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 90분 방전 후 최종 ORP는 80 V에서는 380 mV, 160 V는 427 mV, 220 V에서는 482 mV로 나타났다. 이 등(2005)은 펄스코로나 방전을 이용한 폐물 처리에서 방전시간에 따라 전기전도도와 ORP가 증가하며, 전기전도도 값과 ORP 값은 절대치는 다르지만 증가하는 경향은 유사하다 보고하였다. 또한 ORP 값이 일정해지면 이온성 화학종의 생성이 끝났다고 보고하였다.

이 등(2005)의 결과와 본 연구결과를 종합하면 플라즈마 방전이 진행됨에 산화제가 지속적으로 생성되며 이에 따라 산화전위가 지속적으로 증가하고, 1차 전압의 증가함에 따라 산화전위 값이 높아진다고 사료되었다. 박과 김(2011)은 본 연구와 같은 반응기 시스템에서 플라즈마 방전을 계속하는 동안 오존과 과산화수소가 초기에 바르게 생성된 후 지속적으로 생성된다고 보고한 결과와 비교할 때 이런 사실을 확인할 수 있었다.

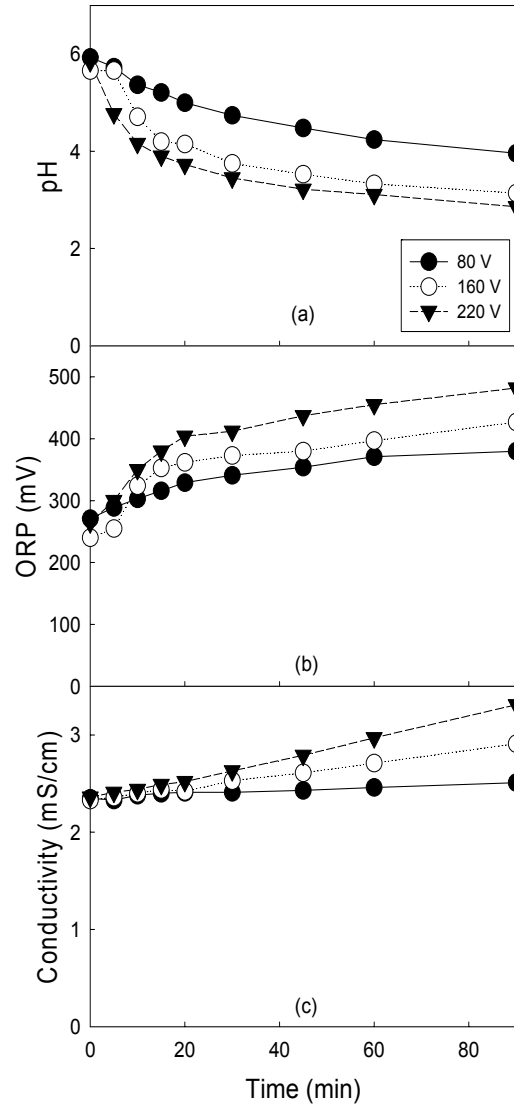


Fig. 3. Variation of water quality with plasma treatment: (a) pH, (b) ORP, (c) conductivity.

전기전도도는 수돗물에 양액 성분을 첨가하였을 때의 초기 전기전도도인 2.3 mS/cm에서 방전시간의 증가에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 또한 1차 전압의 증가에 따라 전기전도도 값도 증가하는 것으로 나타났다. 80 V의 경우 2.51 mS/cm, 160 V의 경우 2.91 mS/cm 및 220 V는 3.31 mS/cm로 증가하는 것

으로 나타났다. 양액의 성분은 식물이 흡수함에 따라 성분을 조절해 주어야 하는데, 정확한 성분 조절을 위해서는 정확한 성분의 분석이 필요하지만 농가가 분석기기가 없어 분석을 분석기관에 맡겨 분석해야 하는 문제가 발생한다. 현재 보편적으로 사용되고 있는 양액제어는 전기전도도를 일정하게 유지하는 방법으로, 양액 중의 녹아있는 양분의 전기전도도를 측정하여 겉보기 농도로 사용하는 방법이다(손, 1998). 양액 중의 미생물을 소독하기 위해 플라즈마 방전을 이용할 경우 방전 전기전도도가 증가하기 때문에 플라즈마 처리시 작물 성장에 따른 실제 양액 성분 농도와 전기전도도 변화를 고려하여야 할 것으로 사료되었다. 또한 pH를 조절해야 할 경우 첨가하는 NaOH 등의 성분으로 인해 전기전도도가 증가되기 때문에 이에 대한 부분도 고려해야 할 것으로 사료되었다.

Fig. 4에 양액 중 양이온인 K, Ca 및 Mg 농도가 플라즈마 방전에 받는 영향을 나타내었다. 그림에서 보듯이 K 이온은 초기 196 mg/L에서 201 mg/L, Ca는 157 mg/L에서 158 mg/L로 Mg는 47 mg/L에서 48 mg/L로 나타나 플라즈마 방전이 양이온에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 사료되었다.

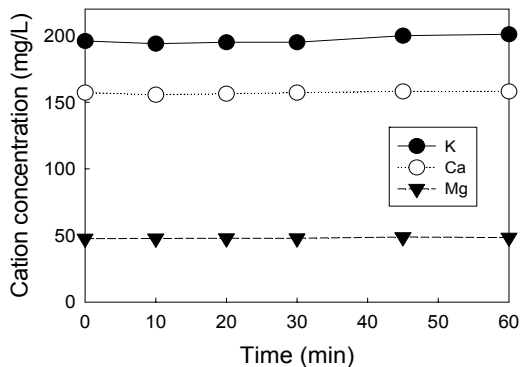


Fig. 4. Variation of cation with plasma treatment.

4. 결론

플라즈마 공정을 이용하여 양액을 처리할 경우의 양액 성분의 변화를 고찰한 결과 다음의 결과를 얻었다.

NH₄-N와 PO₄-P는 플라즈마 방전 후에도 초기 농

도가 변하지 않는 것으로 나타났다. 반면 NO₃-N는 1차 전압이 80V일 경우 90분의 방전 후 5.6%의 농도 증가, 160 V에서는 8.9% 220 V에서는 22.9%의 NO₃-N가 증가하는 것으로 나타났다. K, Ca 및 Mg 농도는 플라즈마 방전에 따라 농도의 변화가 없었다. ORP와 전기전도도는 방전에 따라 증가하는 경향을 나타내었고, pH는 방전에 따라 감소하는 것으로 나타났다.

플라즈마 방전시 양액성분의 손실은 없는 것으로 나타났고 NO₃-N 농도가 증가하는 것으로 나타나 플라즈마 처리에 따른 성분 변화는 고려하지 않아도 되는 것으로 사료되었다. 그러나 플라즈마 방전에 따라 pH가 감소하는 현상이 발생하는데 pH 민감성이 작물에 따라 달라 산성에 약한 작물의 경우 pH를 조절할 필요성이 제기되었다. 작물의 성장에 따른 양액 성분은 보통 전기전도도를 측정하여 조절하는데 방전에 따라 전기전도도가 증가하기 때문에 양액 성분 조절 시 이에 대한 교려가 필요한 것으로 사료되었다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 기초연구사업(일반연구자지원사업, 기본연구 유형II, 과제번호: 2010-0020916)의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 김동석, 박영식, 2011, 수중 플라즈마 공정을 이용한 Rhodamine B 염료의 제거, 한국환경보건의학회지, 37(3), 218-225.
- 김동석, 박영식, 2011, 수처리용 유전체장벽 플라즈마 반응기에 대한 기초 연구, 한국환경과학회지, 20(5), 623-630.
- 농림부, 1999, 자외선 광촉매 살균장치를 이용한 유리하우스 재배용수 재순환 장치개발.
- 농촌진흥청, 2006, 한국형 순환식 수경재배 기술 및 시스템 개발.
- 박영식, 김동석, 산소 플라즈마 공정에서 H₂O₂와 O₃ 생성, 한국환경과학회 2011년 정기학술발표 논문집, 20, 180-182.
- 백상은, 김동석, 박영식, 2011, 플라즈마 공정을 이용한

- 농업 미생물 소독, 한국환경과학회 2011년 정기학술발표회 논문집, 20, 379-381.
- 서정근, 최영재, 이애경, 주문갑, 1998, 도입백합 및 아이리스의 양액재배시 양액조성, pH 및 배양토가 생장과 개화에 미치는 영향, 한국국제농업개발학회지, 10(4), 90-96.
- 손정익, 1998, 양액의 정밀 제어 및 이온의 EC 기여도 분석, 원예과학기술지, 16(3), 352-354.
- 시설원예시험장, 2010, http://blog.daum.net/phes_greenhouse.
- 유성오, 최기영, 전경수, 배종향, 2006, 순환식 수경재배에 적합한 방울토마토 ‘꼬꼬’ 배양액 개발, 한국생물환경조절학회 논문집, 15(1), 54-60.
- 윤동준, 이정동, 강동진, 박순기, 황영현, 2004, 산성 전해수가 콩나물의 생육에 미치는 영향, J. of Life Sci., 14(5), 809-814.
- 이성기, 송영일, 김현중, 최병순, 고전압 펄스코로나 방전을 이용한 페놀수용액 처리, 한국수처리학회지, 13(3), 85-96.
- 이혜진, 양은영, 박금순, 이용범, 배종향, 전경수, 2004, 절화장미 수경재배시 배양액의 농도와 pH가 생육과 품질에 미치는 영향, 한국생물환경조절학회 논문집, 13(4), 258-265.
- 장동철, 김승열, 정진철, 신관용, 이용범, 1999, 양액농도와 pH에 따른 수경감자의 무기성분 흡수 특성, 원예과학기술지, 17(2), 212.
- 환경부, 2004, 정수장 효율향상·고도처리기술-저비용 고효율 수처리 오존수 발생장치 개발.
- APH-AWWA-WPCE, 1992, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed., APHA, Washington D. C.
- Li, M., Feng, C., Hu, W., Zhang, Z., Sugiura N., 2009, Electrochemical degradation of phenol using electrodes of Ti/RuO₂-Pt and Ti/IrO₂-Pt, J. of Hazard. Mater., 162, 455-462.
- Ohtani, T., Kaneko, A., Fukuda, N., Hagiwara, S., Sase, S., 2000, Development of a membrane disinfection system for closed hydroponics in a greenhouse, J. Agric. Eng. Res., 77(2), 227-232.
- Pei, X., Janex, M. L., Savoye, P., Cock, A., 2002, Wastewater disinfection by ozone: main parameters for process design, Wat. Res., 36, 1043-1055.