

토양의 수분과 유기물이 멸종위기식물 큰바늘꽃(*Epilobium hirsutum* L.)의 번식계절 및 생리 반응에 미치는 영향

이응필·이수인·한영섭*·이승연·유영한·조이연**†

공주대학교 생명과학과
*국립생태원 생태조사연구실
**공주대학교 생물교육과

Effect of Moisture and Nutrient of Soil on Reproductive Phenology and Physiological Response of *Epilobium hirsutum* L., an Endangered Plant

EungPill Lee·Sooln Lee·YoungSub Han*·SeungYeon Lee·YoungHan You·YiYun Cho**†

Department of Life Science, Kongju National University, Korea

*Division of Ecological Survey Research, National Institute of Ecology, Korea

**Department of Biology Education, Kongju National University, Korea

(Received : 04 January 2018, Revised: 17 January 2018, Accepted: 17 January 2018)

요약

본 연구에서는 멸종위기식물인 큰바늘꽃(*Epilobium hirsutum* L.)의 효과적인 보전 및 복원을 위한 기초자료를 얻기 위해 토양의 수분함량과 유기물함량이 번식계절과 생리 반응에 어떠한 영향을 주는지에 대하여 알아보았다. 큰바늘꽃은 다년생식물이지만 모든 구배에서 한 해에 생식생장을 하였다. 꽃봉오리, 꽃 그리고 열매주머니는 수분구배와 영양소구배에서 각각 높은 수분 조건과 높은 유기물 조건에서 가장 이른 시기에 성숙하였다. 그리고 꽃 수와 열매주머니 수는 높은 수분 조건과 높은 유기물 조건에서 더 빨리 증가하였다. 엽록소 함량은 수분구배에서 높은 중간 수분 조건과 높은 수분 조건에서 가장 많았고, 영양소구배에서는 차이가 없었다. 최소엽록소형광 값은 수분구배와 영양소구배 모두 차이가 없었고, 최대엽록소형광 값은 높은 수분 조건과 높은 유기물 조건에서 가장 높았다. 광계 II의 광화학적 효율 값은 모든 수분구배에서 0.75로 차이가 없었고, 영양소구배에서의 경우 높은 유기물 조건에서 0.78로 가장 높았다. 큰바늘꽃은 수분이 증가할수록 엽록소 함량이 많아지고, 유기물이 증가할수록 Fv/Fm 값이 높아졌다. 이상의 연구결과는 토양의 충분한 수분과 유기물 함량은 큰바늘꽃의 번식계절을 앞당겨 주고 생식생장을 촉진한다는 것을 보여준다. 추후 멸종위기종인 큰바늘꽃의 개체군 유지와 서식지를 관리하는데 중요한 정보가 될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 개체군, 광계 II의 광화학적 효율 값, 식물계절, 엽록소 함량

Abstract

Reproductive phenology and physiological responses of *Epilobium hirsutum* L. to moisture content and nutrient content of soil were analysed in order to obtain basic data for effective conservation and restoration. *Epilobium hirsutum* L. is a perennial plant. But *Epilobium hirsutum* L. grew reproductively in all moisture and nutrient gradients. Flower bud, flowers and peduncle were respectively ripened in earlier under highest moisture condition and highest nutrient condition. And, number of flowers and peduncle were more quickly increased under highest moisture condition and highest nutrient condition. Chlorophyll content was high under highest moisture condition and higher middle moisture condition. However, we found no significant difference of chlorophyll content regard to nutrient gradients. There was no difference in minimum chlorophyll fluorescence among all moisture and nutrient gradients. The photochemical efficiency values of PS II were 0.75 in all moisture gradients, and it was 0.78 in highest nutrient gradient. The chlorophyll content of *Epilobium hirsutum* L. increased as the moisture content increased, and the Fv/Fm value increased as the organic matter increased. Our results showed that high moisture and nutrient content of soil advance their breeding season and promote reproductive growth. It might be important basic informations for the maintenance of population and the management of habitat of *Epilobium hirsutum* L. an endangered plant species.

Key words : Chlorophyll content, Phenology, Photochemical efficiency of photosystem II, Population

† To whom correspondence should be addressed.
Department of Biology Education, Kongju National University, Korea
E-mail: grandcon@kongju.ac.kr

1. 서론

생물다양성의 구성요소의 하나인 생물종이 사라지는 멸종은 세계적으로 많은 관심을 가지고 있으며, 특히나 생물다양성이 높은 습지생태계에서 일어나는 생물종의 감소 원인은 무엇보다도 개체군에 가장 큰 피해를 주는 서식지 파괴이다(Ministry of Environment, 2017).

바늘꽃과에 속하는 습지식물인 큰바늘꽃은 서식지가 5군데 밖에 없을 뿐 만 아니라(National Institute of Biological Resources, 2012; Yoon and You, 2014), 대부분의 서식지가 하천정비 등의 인위적인 요인으로 인해 파괴되어 멸종위기에 처해져 있다(National Institute of Biological Resources, 2012).

멸종위기에 놓인 생물종을 복원하기 위해서는 구체적인 원인을 파악해야 하며(Given, 1994), 습지에서 사는 생물들의 경우 물의 영향권 아래 살기 때문에 물리적인 환경에 폭넓은 연구를 바탕으로 한 이해가 필요하다(You and Yi, 2009; Kim et al., 2017; Park and Kim, 2017). 또한, 환경요인들에 대한 내성 범위를 나타내는 생태적지위폭의 변화를 주시해야하고(Pianka, 1983), 식물의 경우는 토양조건에 따른 생태학적 반응에 대한 연구가 우선적으로 수행되어야 한다(Song et al., 2009).

토양에는 식물의 생장에 필요한 영양소와 수분을 포함하고 있다(Kim et al., 2003). 영양소 중에 유기물은 토양의 화학적·이학적·미생물학적인 성질을 높게 하여 식물의 동화작용을 돕고, 뿌리의 신장을 돕는다(Joergensen et al., 1990). 하지만, 무기물인 수분의 경우 토양에 너무 많거나 부족하게 되면 식물은 정상적인 생활을 할 수 없게 된다(Hsiao and Jackson, 1999). 토양에 수분이 너무 많아 산소 공급이 부족하게 되면 뿌리는 양분이나 수분을 흡수하지 못해 생육이 나빠지게 되며(Hsiao and Jackson, 1999), 수분 부족으로 인한 수분스트레스는 엽면적 감소, 잎의 탈리 현상 그리고 식물의 종자 생산 감소 등에 영향을 준다(An et al., 2008).

생물계절학의 한 분야인 식물계절학에서 각 번식 단계의 시작 및 종결 기간과 지속 기간은 환경조건에 의해 결정된다(Nordli et al., 2008). 또한, 환경조건에 대하여 식물의 적응도를 결정하는 요인인 종자는 식물의 개화 특성에 따라 생산량이 달라진다(Darwin, 1877; Stebbins, 1970; Bawa et al., 2003; Bullock et al., 1983; Primack, 1987).

고등식물에서의 광합성은 빛 에너지를 엽록소가 흡수하여 명반응과 암반응을 통해 유기물질을 얻는 과정을 말한다(Lee, 1990). Fo는 들뜬 에너지가 광계 II 반응중심으로 이동하기 전 광계 II 안테나의 용기된 엽록소 분자들에 의하여 발생하는 최소형광 값이며(U et al., 1994), Fm은 광량을 완전히 환원시킬 수 있는 포화광을 조사했을 때 유도되는 최대형광 값이다(U et al., 1994). Fm에서 Fo를 뺀 값을 Fv라 하며, 암 적응된 Fv/Fm 값은 식물 잎이 광합성을 수행할 수 있는 최대값을 의미한다(Lee, 1990; Maxwell

and Johnson, 2000).

생리적 특징은 생태적인 특징과 분명한 관련성을 보이고 있고, 어떤 종의 생태적 적응을 결정하기 때문에(Choo and Albert, 1997) 멸종위기에 놓인 식물을 복원하기 위해서는 환경 조건에 따른 번식계절의 변화 및 생리 반응의 연구가 필요하다.

국내에서는 큰바늘꽃의 분류학적 연구와 생장 및 번식특성 연구는 되어 있지만(Lee et al., 2013; Lee et al., 2017), 식물계절학 및 생리 특성에 대한 자료는 없다. 본 연구에서는 큰바늘꽃의 복원을 위한 기초적인 생태특성에 대한 자료를 얻고자, 식물 생장에 핵심적 요소인 토양(Barbour et al., 1987)에 수분과 유기물을 처리하여 큰바늘꽃의 번식계절 및 생리 반응을 알아보고, 이를 토대로 적합한 토양조건을 찾고자 시도하였다.

2. 연구방법

2.1 유식물 선별 및 이식

15년 2월 기청산식물원에서 종자를 분양을 받아 4°C 냉장고에 보관한 후 3월 중순부터 4월 말까지 발아를 시켜 5월에 잎이 2~3장 나온 큰바늘꽃(*Epilobium hirsutum* L.)의 유식물을 선별하였다.

초기에는 선별한 유식물을 각 구배 당 20개 화분에 각 1개체씩 작은 플라스틱화분(외경 14.9 cm × 높이 13.2 cm × 하단지름 15 cm)에 이식하였지만, 7월부터는 뿌리생장에 있어 생육 저해현상을 방지하기 위해(Drake and Leadley, 1991) 큰 플라스틱화분(외경 24.5 cm × 높이 14.5 cm × 하단지름 14.5 cm)에 이식하였다.

이식하기 전에는 화분에 충분히 물을 주었으며, 심을 때는 모래를 손으로 누르지 않고 빈 공간을 다시 모래로 덮어 주었다. 또한, 유식물의 높이를 일정하게 하여 모래의 양을 일정하게 하였는데 이는 수분보유량이나 양분보유량이 달라질 수도 있기 때문이다.

2.2 환경요인 처리

실험은 2015년 5월부터 2015년 9월까지 온도, 습도 그리고 강수량 등 환경조건이 동일한 야외에서 진행하였다. 온도(°C)와 습도(%)는 기상청의 지역별상세관측자료(AWS)에서 관측된 값을 이용하였으며, 관측지역은 공주로 설정하여 일마다 09:00, 12:00 그리고 17:00에 관측된 값을 월별로 정리하였다. 실험기간 동안 평균 온도와 평균 강수량은 각각 21.38 ± 1.16°C, 1.62mm 이었다(Fig. 1).

2.2.1 수분

주왕산국립공원의 토양분석 결과를 바탕으로(Lee et al., 2017) 수분구배는 서식지의 수분함량인 25%를 낮은 조건으로 하여 25% 간격으로 낮은 조건(M0, 25%), 낮은 중간 조건(M1, 50%), 높은 중간 조건(M2, 75%) 그리고 높은 조건(M3, 100%)으로 일정하게 구배를 두었다.

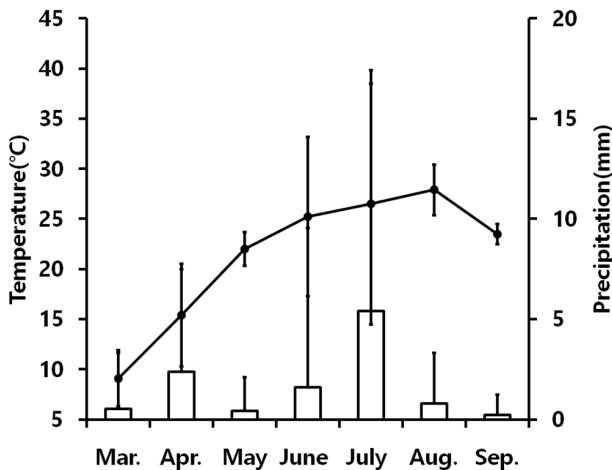


Fig. 1. Average monthly temperature(°C) and monthly precipitation(mm) from March to September in 2015. The line graphs mean temperature and histograms mean precipitation.

수분 처리는 토양을 채운 화분에 물을 주면서 물이 새어 나가기 직전까지의 물의 양인 포장용수량(field capacity)을 최댓값으로 하였다. 작은 플라스틱화분의 포장용수량은 200ml(M3)이었고, 큰 플라스틱화분은 1000ml(M3)이었다. 토양은 동일 입자 크기(2 mm 이하)의 건조한 모래(100%)를 사용하였다. 화분에 건조한 모래를 채웠을 때, 작은 플라스틱화분 내의 총 모래 무게는 1kg이었고, 큰 플라스틱화분은 2kg이었다.

2.2.2 영양소

인공습지와 자연습지의 유기물함량은 각각 7.9%–15.7%, 20.9%–36.9% 이었다(Bruland and Richardson, 2006). 영양소구배의 경우 큰바늘꽃 서식지의 유기물함량이 2.4%–3.6%이지만(Lee et al., 2017), 인공습지와 자연습지의 유기물함량을 고려하여 낮은 조건(N0, 0%), 낮은 중간 조건(N1, 7%), 높은 중간 조건(N2, 14%) 그리고 높은 조건(N3, 21%)으로 일정하게 구배를 두었다.

토양은 동일 입자 크기(2 mm 이하)의 모래를 사용하였고, 토양의 영양소 처리는 건조한 모래(100%)를 기준으로 하여 유기물의 비율을 배합하였다. 영양소는 수분 40~60%, 보수력 60~80%, 용적밀도 0.2~0.4Mg·m⁻³, pH 5.5~7.5, EC≤1.2dS·m⁻¹, NH₄-N≤600mg·L⁻¹, NO₃-N≤300mg·L⁻¹, 유효인산≤500mg·L⁻¹, CEC 10–30cmol·L⁻¹인 상토(흙살골드, 케이지케미칼)를 건조시켜 사용하였다.

수분구배와 영양소구배 모두 수분공급은 우기를 제외하고는 1일 간격으로 오전과 오후에 각 1회씩 공급하였으며, 우기(6월 26일, 7월7일–7월9일, 7월12일–13일, 7월21일–7월24일)동안 비오는 날에는 수분공급을 하지 않았고, 비가 그친 후 3일 뒤부터 주기 시작하였다. 화분의 위치를 1주일 간격으로 이동하여 공간에 따른 자리효과를 최소화하였다.

2.3 번식계절 및 생리 반응 측정

수분과 유기물에 따른 번식계절 변화를 알아보기 위해 꽃

봉오리형성, 개화, 낙화 그리고 열매성숙을 관찰하여 기록하였다. 꽃봉오리형성은 꽃눈이 처음으로 형성되기 시작하였을 때로, 개화는 꽃잎이 최초로 벌어지기 시작하는 꽃이 관찰되는 때로 하였다. 그리고 낙화는 꽃잎이 최초로 떨어질 때로, 열매성숙은 열매주머니 색깔이 갈색으로 변하여 완전히 벌어졌을 때를 기록하였다.

또한, 번식계절에서 중요한 항목인 꽃 수(ea)와 열매주머니 수(ea)를 측정하였다. 꽃의 수는 개화시작일인 7월 26일부터 9월 13일까지, 열매주머니 수는 성숙시작일인 8월 16일부터 9월 13일까지 각각 1주일 간격으로 측정하였다.

생육기 말인 2015년 7월 21일에 엽록소 함량(mg·m⁻²)과 엽록소형광(Fo, Fm, Fv/Fm)을 측정하였다. 엽록소 함량은 엽록소 함량측정기(CCM-300, Chlorophyll Content Meter, OPTI-SCIENCES)를 이용하여 측정하였고, 엽록소형광은 엽록소형광측정기(OS-30p, Continuous source chlorophyll fluorometer, OPTI-SCIENCES)로 Fo, Fm 그리고 Fv/Fm을 측정하였다. 엽록소형광을 측정할 때, 압력은 20분으로 하였다.

2.4 통계분석

측정한 자료의 정규분포 여부를 확인하기 위해 Kolmogorov-smirnov test를 실시하였고, 정규분포를 따르지 않아(p<0.05) 비모수 통계분석(nonparametric analysis)을 사용하였다. 각 환경 구배별 차이의 유의성은 Kruskal-Wallis test의 사후검정(post-hoc)을 실시하여 확인하였다. 또한, 수분과 유기물 처리에 따른 큰바늘꽃의 생리 반응의 유형을 밝히기 위해 형질의 평균치간의 상관계수를 이용하여 주성분분석(principal component analysis, PCA)으로 배열하였다(No and Jeong, 2002).

이상의 통계적인 분석은 STATISTICA 7(Statsoft, Inc., Tulsa, OK, USA)을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 번식계절

수분과 유기물에 따른 번식계절의 차이를 관찰한 결과, 큰바늘꽃은 다년생식물이지만(National Institute of Biological Resources, 2012) 모든 구배에서 한 해에 생식생장을 하였다(Fig. 2).

꽃봉오리와 꽃은 수분구배와 영양소구배에서 각각 높은 수분 조건(M3)과 높은 유기물 조건(N3)에서 가장 빨리 피었다(Fig. 2). 그리고 꽃은 수분구배에서 높은 수분 조건(M3)과 낮은 중간 수분 조건(M1), 영양소구배에서는 높은 유기물 조건(N3)에서 가장 빨리 떨어졌다(Fig. 2). 열매주머니는 수분구배에서 높은 수분 조건(M3), 영양소구배에서는 높은 유기물 조건(N3)과 높은 중간 유기물 조건(N2)에서 가장 빨리 성숙되었다(Fig. 2). 하지만, *Bidens L.*속 식물인 *B. bipinnate*, *B. tripartita*, *B. frondosa* 그리고 *B.*

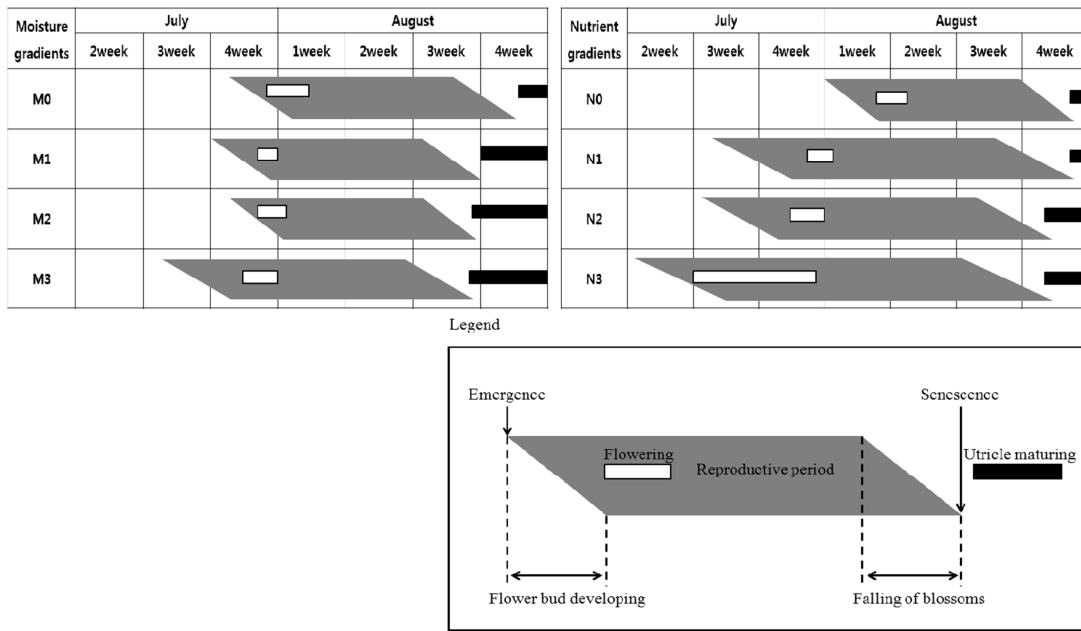


Fig. 2. Reproductive phenological spectrum for *Epilobium hirsutum* L. observed from July to August in 2015.

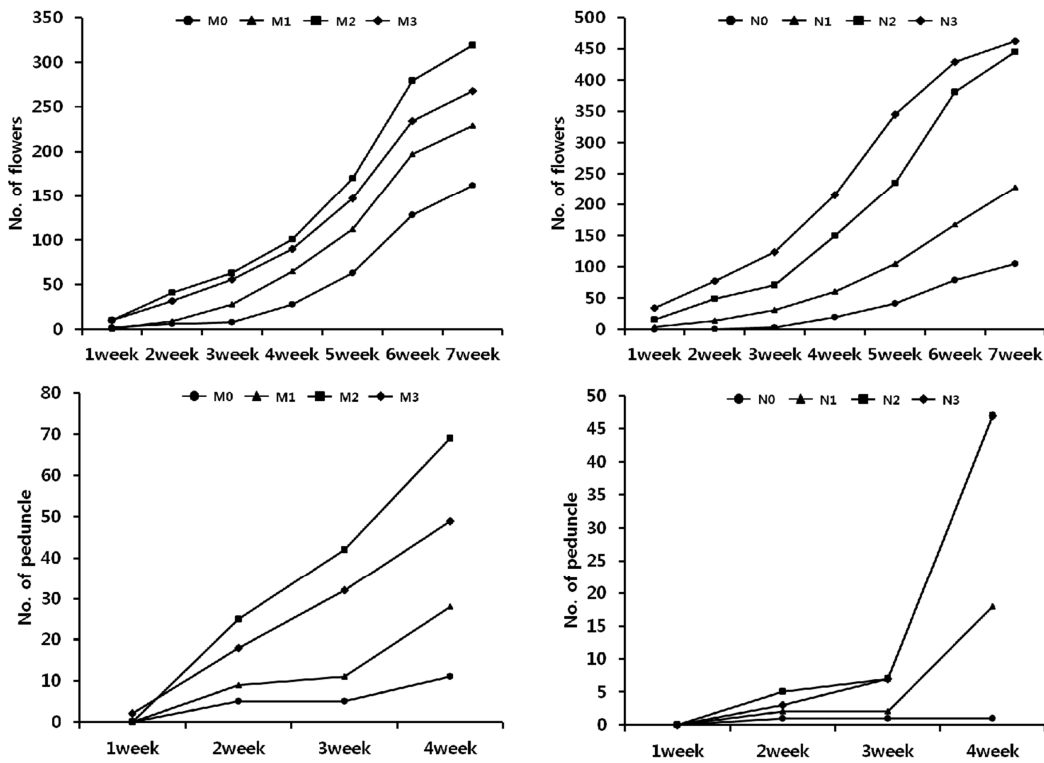


Fig. 3. Change of the number of flowers and peduncle of *Epilobium hirsutum* L. measured at an interval of a weeks under moisture and nutrient gradients in 2015. (●; M0 and N0, ▲; M1 and N1, ■; M2 and N2, ◆; M3 and N3)

pilosa var. *minor*는 토양에 수분과 영양소를 다르게 처리 하였지만, 개화 및 열매성숙 등 번식계절에서는 차이를 보이지 않았다(Choi and Yang, 2004).

꽃의 수와 열매주머니 수는 수분구배와 영양소구배에서 각각 높은 중간 수분 조건(M2)과 높은 유기물 조건(N3)에서 더 빨리 증가하였다(Fig. 3). 최적분배모델(optimal partitioning

model)에 의하면 식물은 환경요인의 변화에 반응하여 최적의 생장을 나타내기 위해 뿌리와 광합성을 하는 잎에 변화를 주는데 이는 식물의 생식에 영향을 준다(Beranacchi et al., 2000; Nord and Lynch, 2009). Lee et al.(2017)의 연구에서 큰바늘꽃은 토양의 수분과 유기물이 증가함에 따라 마디에서 뿌리를 내리는 줄기인 포복경의 수와 광합성을

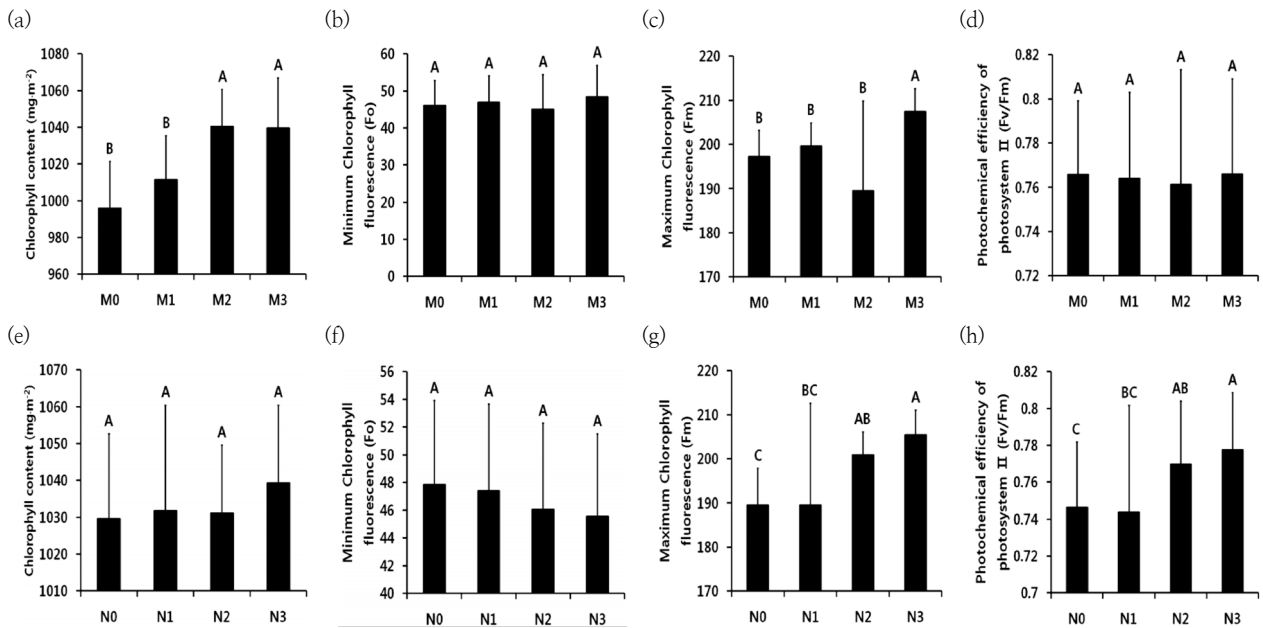


Fig. 4. Chlorophyll content (a, e), Minimum chlorophyll fluorescence (b, f), Maximum chlorophyll fluorescence (c, g), Photochemical efficiency of photosystem (d, h) of *Epilobium hirsutum* L. measured under moisture and nutrient gradients. Alphabets on the bars mean significant difference among environmental treatments (Fisher's least significant difference, $p < 0.05$). Above bars on the graph mean standard deviation. ($N=20$)

하는 잎의 수가 증가하고, 유성번식 항목인 종자수도 증가하였다. 이것으로 보아 큰바늘꽃은 토양 내에 많아진 수분과 영양소 증가로 인한 환경요인의 변화에 반응하여 토양자원 획득을 위해 뿌리의 수를 증가시켰고, 많아진 자원으로 인해 광합성을 하는 잎의 수도 증가한 것으로 판단된다(Beranacchi et al., 2000; Nord and Lynch, 2009; Lee et al., 2017).

따라서, 토양의 수분과 유기물의 증가는 큰바늘꽃의 번식 시기를 앞당겼고, 생식과 관련된 꽃의 수와 열매주머니 수를 같은 시기에 다른 조건보다 더 빨리 증가시켰다.

3.2 생리반응

엽록소 함량은 토양 내 수분이 높은 조건(M3)과 높은 중간 조건(M2)일 때 낮은 중간 조건(M1)과 낮은 조건(M0)보다 많았다(Fig. 4a). 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*)와 들메나무(*Fraxinus mandshurica*)는 토양수분함량이 높을수록 엽록소 함량이 높았다(Park, 2007). 하지만, 멸종위기 식물인 섬시호(*Bupleurum latissimum*)의 엽록소 함량은 토양의 수분이 낮을 때 높았다(Jung, 2012).

모든 유기물 조건은 수분 조건과는 다르게 엽록소 함량의 차이는 나타나지 않았다(Fig. 4e). 하지만, 콩과식물인 Soybean (*Glycine max*), Sicklepod (*Cassia obtusifolia*) 그리고 Showy crotalaria (*Crotalaria spectabilis*)와 멸종위기 식물인 섬시호(*Bupleurum latissimum*)는 유기물이 많은 곳이 적은 곳에 비해 엽록소 함량이 높게 나타났다(Patterson and Flint, 1982; Jung, 2012).

최소엽록소형광 값은 모든 수분 조건과 모든 유기물 조건에서 차이가 없었다(Fig. 4b, 4f). 최대엽록소형광 값은 수

분이 높은 조건(M3)이 나머지 조건(M0, M1 그리고 M2)보다 높았고(Fig. 4c), 유기물이 증가할수록 값이 높아지는 경향성을 보였다(Fig. 4g). 광계 II의 광화학적 효율 값은 모든 수분 조건에서 차이가 없었고(Fig. 4d), 유기물이 증가할수록 값이 높아지는 경향성을 보였다(Fig. 4h). 멸종위기 식물인 섬시호(*Bupleurum latissimum*)는 최소엽록소형광 값과 광계 II의 광화학적 효율 값은 모든 수분 조건에서 차이가 없었고, 최대엽록소형광 값과 광계 II의 광화학적 효율 값은 유기물이 증가할수록 높았다(Jung, 2012).

일반적으로 식물이 스트레스를 받을 때 최소엽록소형광 값이 증가하며, 스트레스를 받은 식물에서는 최대엽록소형광 값의 감소를 보인다(Kooten and Snel, 1990). 수분구배와 영양소구배에서 모두 최소엽록소형광 값은 차이가 없고, 최대엽록소형광 값은 증가하였다. 이는 큰바늘꽃이 수분과 유기물에 대하여 스트레스 내성이 있고, 수분과 유기물이 증가하여도 스트레스를 받지 않을 것이다.

또한, F_v/F_m 값은 수분구배에서 0.77로 차이가 없었고, 영양소구배에서는 0.75에서 0.78로 증가하였다. F_v/F_m 값이 높다는 것은 그만큼 빛을 효율적으로 잘 이용할 수 있고, 이로 인해 광합성 대사가 활발해져 체내로 탄수화물을 더욱 많이 공급한다(Bjorkman and Demmig, 1987; Johnson et al., 1993; Maxwell and Johnson, 2000). 큰바늘꽃의 번식계절이 이른 시기에 일어나고, 꽃의 수와 열매주머니가 다른 조건보다 같은 시기에 더 빨리 증가한 것은 수분이 증가하였을 때 광합성 기능은 일정하였지만, 엽록소 함량이 증가하였고, 유기물이 증가하였을 때 엽록소 함량은 일정하였지만, 광합성 기능의 증가로 인한 결과라고 판단된다.

3.3 주성분분석

2차원 좌표 상에서 수분구배와 영양소구배에 따른 개체의 분포는 다소 넓게 나타났다(Fig. 5). 왼쪽 상단 부는 높은 수분 조건(M3), 높은 중간 수분 조건(M2), 높은 유기물 조건(N3), 높은 중간 유기물 조건(N2) 그리고 낮은 중간 유기물 조건(N1)의 개체들로 구성되었고, 왼쪽 하단 부는 낮은 중간 수분 조건(M1), 낮은 수분 조건(M0) 그리고 낮은 유기물 조건(N0)의 개체들로 구성되었다(Fig. 5). 오른쪽 상단 부는 높은 중간 수분 조건(M2), 높은 유기물 조건(N3), 높은 중간 유기물 조건(N2) 그리고 낮은 중간 유기물 조건(N1)의 개체들로 구성되었고, 오른쪽 하단 부는 낮은 중간 수분 조건(M1)과 낮은 수분 조건(M0)의 개체들로 구성되었다(Fig. 5).

수분구배에서 높은 수분 조건(M3)은 높은 중간 수분 조건(M2)의 일부 개체들과 반응이 유사하였고, 낮은 수분 조건(M0)은 낮은 중간 수분 조건(M1)의 일부 개체들과 반응이 유사하였다(Fig. 5). 그리고 높은 수분 조건(M3)과 높은 중간 수분 조건(M2)의 반응은 낮은 중간 수분 조건(M1)과 낮은 수분 조건(M0)의 반응과는 구분되었다(Fig. 5). 영양소구배에서 높은 유기물 조건(N3), 높은 중간 유기물 조건(N2) 그리고 낮은 중간 유기물 조건(N1)은 낮은 유기물 조건(N0)과는 구분되었다(Fig. 5).

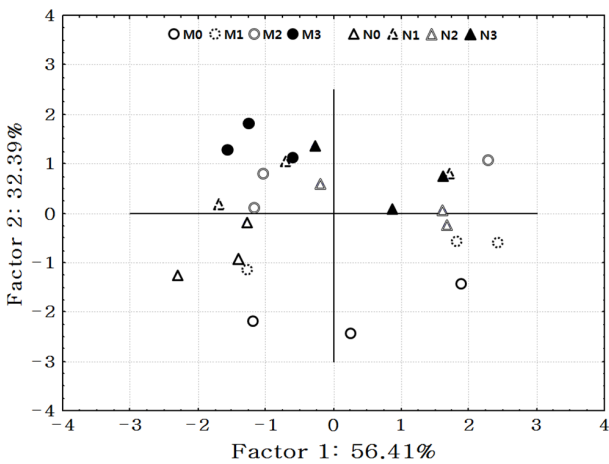


Fig. 5. Two dimensional of PCA ordination of 24 individuals of *Epilobium hirsutum* L. using 4 variables treated to moisture and nutrient gradients. (M: moisture, N: nutrient)

Table 1. Correlation matrix of 4 variables with the first and two principal component scores of PCA analysis.

Variables	Factors	
	I	II
Chlorophyll content ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$)	-0.292900	0.887992*
Minimum Chlorophyll fluorescence (F_0)	-0.830876*	0.295364
Maximum Chlorophyll fluorescence (F_m)	0.614816*	0.651853*
Photochemical efficiency of photosystem II (F_v/F_m)	0.963027*	0.651853
Variance explained (%)	56.41	32.39

배열법 상에서 분포유형에 미치는 형질은 Factor 1(56.41%)의 경우 엽록소 함량을 제외한 3가지였고, Factor 2(32.39%)의 경우에는 엽록소 함량과 최대엽록소형광 이었다(Table 1).

생태적 지위폭이 환경의 내성 범위를 언급한다는 측면(Pianka, 1983)에서 볼 때, 높은 수분 조건(M3)에서 엽록소 함량이 가장 높고, 높은 유기물 조건(N3)에서 F_v/F_m 값이 가장 높다(Fig. 4a, 4h)라는 사실은 높은 수분과 유기물 조건에서 꽃의 수와 열매주머니 수가 가장 빨리 증가하고, 번식계절이 빨라진다는 결과를 뒷받침하는 근거가 되며, 큰바늘꽃이 이러한 토양 조건에서 잘 적응되어 있다는 것을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서는 큰바늘꽃의 복원을 위한 기초적인 생태특성에 대한 자료를 얻고자, 식물 성장에 핵심적 요소인 토양의 수분과 유기물을 처리하여 큰바늘꽃의 번식계절 및 생리 반응을 알아보고, 이를 토대로 적합한 토양조건을 찾고자 시도하였다.

번식계절에서 큰바늘꽃은 모든 구배에서 한 해에 생식생장을 하였다. 꽃봉오리, 개화, 낙화 그리고 열매주머니는 토양 내에 수분과 유기물이 증가할수록 빨리 성숙하였고, 꽃의 수와 열매주머니 수가 같은 시기에 다른 구배보다 가장 빨리 증가하였다.

생리 반응에서 엽록소 함량은 수분이 증가할수록 많았고, 유기물구배에서는 차이가 없었다. 최소엽록소형광 값은 모든 구배에서 차이가 없었고, 최대엽록소형광 값은 수분과 유기물이 증가함에 따라 높아졌다. 광계 II의 광화학적 효율 값은 수분 구배에서 0.77로 차이가 없었고, 유기물이 증가할수록 0.75에서 0.78로 높아졌다. 또한, 주성분분석의 결과 높은 수분 조건과 높은 유기물 조건은 낮은 수분 조건과 낮은 유기물 조건과는 반응이 다르게 나타났다.

큰바늘꽃의 현지 내 보존이 성공하기 위해서는 개체군 자체적으로 개체가 보충될 수 있도록 일정기간 간격을 두어 유기물을 충분히 공급해주어야 한다. 또한, 유기물을 공급함으로써 번식계절이 빨라짐에 따라 종자생산이 많아져 자체적으로 개체군을 유지하는데 효과가 있을 것으로 판단된다. 추후 큰바늘꽃의 개체군 유지, 서식지 관리 그리고 새로운 대체서식지를 조성하는데 중요한 정보가 될 것으로 판단된다.

References

An, DH, Kim, YT, Kim, DJ and Lee, JS (2008). The effects of water stress on C3 plant and CAM plant, *Korean J Environ Biol*, 26, pp. 271-278. [Korean Literature]
 Bawa, KS, Kang, H and Grayum, MH (2003). Relationships among time, frequency, and duration of flowering in tropical rain forest trees, *Amerian J. of Botany*, 90, pp.

- 877–887.
- Barbour, MG, Burk, JH and Pitts, WD (1987). *Terrestrial Plant Ecology*. 2nd ed, Benjamin/Cummings Publisher, California. pp. 634.
- Bernacchi, CJ, Coleman, JS, Bazzaz, FA and McConnaughay, KDM (2000). Biomass allocation in old-field annual species grown in elevated CO₂ environments: no evidence for optimal partitioning, *Glob Chan Biol*, 6, 855–863.
- Bjorkman, O, Demmig, B (1987). Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins, *Planta*, 170, pp. 489–504.
- Bruland, GL, Richardson, CJ (2006). Comparison of soil organic matter in created, restored and paired natural wetlands in North Carolina, *Wetlands Ecology Management*, 14, 245–251.
- Bullock, SH, Beach, JH and Bawa, KS (1983). Episodic flowering and sexual dimorphism in *Guarea rhopalocarpa* Radik. (Meliaceae) in a Costa Rican rain forest, *Ecology*, 64, pp. 851–862.
- Choi, SK, Yang, KC (2004). Studies on the growth of *Bidens* L. along the environmental gradient, *Korean J Environ Biol*, 22(1), pp. 101–110. [Korean Literature]
- Choo, YS, Albert R (1997). The physiotype concept – an approach integrating plant ecophysiology and systematics, *Phyton*, 37, pp. 93–106.
- Darwin, C (1877). *The Different Forms of Flowers on Plants of The Same Species*, John Murray Publisher, London. pp. 352.
- Drake, BG, Leadley, PW (1991). Canopy photosynthesis of crops and native plant communities exposed to long-term elevated CO₂, *Plant Cell Env*, 14, pp. 853–860.
- Given, DR (1994). *Principles and Practice of Plant Conservation*, Timber Press, Portland. pp. 292.
- Hsiao, TC, Jackson, RB (1999). *Interactive effects of water stress and elevated CO₂ on growth, photosynthesis, and water-use efficiency, in carbon dioxide and environmental stress*, Academic Press, San Diego. pp. 3–31.
- Joergensen, RG, Brookes, PC and Jenkinson, DS (1990). Survival of the soil microbial biomass at elevated temperatures, *Soil Biol Biochem*, 22, pp. 1129–1136.
- Johnson, GN, Young, AJ, Scholes, JD, Horton, P (1993). The dissipation of excess excitation energy in British plant species, *Plant Cell and Environment*, 16, pp. 673–679.
- Jung, JK (2012). *Ecological response of Bupleurum latissimum (Apiaceae, endangered species) to the environmental gradient treatments*, Master's Thesis, Kongju University, Kongju, Korea. [Korean Literature]
- Kim, MH, Hwang, JH, Choi, EY, Park, JY and Park, JK (2017). Insect Diversity on the Paddy Field Wetland, Gonggeom-ji, Sangju, first designed by Ministry of Environment, Korea. *J Wetlands Research*, 19(1), pp. 155–163. [Korean Literature]
- Kim, SH, Jang, YS, Chung, HG and Choi, YC (2003). Meteorological elements and vegetative structure for *Sorbus commixta* Hedl. natural populations at Ulleung island, *Korean Soc Agric For Meteorol*, 5, pp. 158–165. [Korean Literature]
- Kooten, O, Snel, JFH (1990). The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology, *Phoyosynth Res*, 25, pp. 147–150.
- Lee, CH (1990). Biochemical methodology : studies of photosynthesis by analysis of chlorophyll fluorescence, *Korean Society for Biochemistry and Molecular Biology*, 4, pp. 265–271. [Korean Literature]
- Lee, EP, Han YS, Lee, SI, Cho, KT, Park, JH, You, YH (2017). Effect of nutrient and moisture on the growth and reproduction of *Epilobium hirsutum* L., an endangered plant, *J Ecol Environ*, 41(35). [Korean Literature]
- Lee, SR, Heo, KI, Lee, ST, Yoo, MH, Kim, YS, Lee, JS and Kim SC (2013). Taxonomic studies of tribe Epilobieae Endl. (Onagraceae) in Korea based on morphology and seed microstructure, *Korean J Pl Taxon*, 43, pp. 208–222. [Korean Literature]
- Maxwell, K, Johnson, GN (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide, *J Experimental Botany*, 51(345), pp. 659–668.
- Ministry of Environment (2017). *2017 White Paper of Environment*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- National Institute of Biological Resources (2012). *Red Data Book of Endangered Vascular Plants in Korea*, National Institute of Biological Resources. [Korean Literature]
- No, HJ, Jeong, HY (2002). *Well-Defined Statistical Analysis according to Statistica*, Hyeongseol Publisher, Seoul, pp. 535–556. [Korean Literature]
- Nord, EA, Lynch, JP (2009). Plant phenology : a critical controller of soil resource acquisition, *J Exp Bot*, 60(7), pp. 1927–1937.
- Nordli, Ø, Wielgolaski, FE, Bakken, AK, Hjeltnes, SH, Mage, F, Sivle, A and Skre, O (2008). Regional trends for bud burst and flowering of woody plants in Norway as related to climate change, *Internation J. of Biometeorology*, 52(6), pp. 625–639.
- Park, KW (2007). *Eco-physiological responses of water environment subjected to Fraxinus rhynchophylla and Fraxinus mandshurica*, Master's Thesis, Wonkwang University, Iksan, Korea. [Korean Literature]
- Park, JC, Kim, WY (2017). Temporal variation of wintering bird population and environmental factors in Donglim reservoir. *J Wetlands Research*, 19(2), pp. 223–229. [Korean Literature]
- Patterson, DT, Flint, EP (1982). Interacting effects of CO₂ and nutrient concentration, *Weed Science Society America*,

- 30(4), pp. 389–394.
- Pianka, ER (1983). (3rd ed.) *Evolutionary Ecology*, Harper & Row Publisher, Newyork, pp. 253.
- Primack, PB (1987). Relationships among flowers, fruits and seeds, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 18, pp. 409–430.
- Song, JM, Lee, GY and Yi, JS (2009). Growth environment and vegetation structure of natural habitat of *Polygonatum stenophyllum* Maxim, *J Forest Sci*, 25, pp. 187–194. [Korean Literature]
- Stebbins, GL (1970). Adaptive radiation of reproductive characteristics in angiosperms. I. pollination mechanism, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1, pp. 307–326.
- U, ZK, Song, SJ and Hansen, U (1994). Stress effects on photosynthesis of greenhouse plants as measured by the fluorescence method, *Korean J Environmental Agriculture*, 13, pp. 183–190. [Korean Literature]
- Yoon, ES, You, YH (2014). *In the Light of Life in Endangered Plant Species*, Jinsol Publisher, Seoul, pp 294–297. [Korean Literature]
- You, YH, Yi, HB (2009). Vegetation characteristics, conservation and ecotourism strategies for water spider(*Argyroneta aquatica*) in small marsh, Korean natural monument, *J. of Wetlands Research*, 11(2), pp. 99–106. [Korean Literature]