

다양한 수위 조건에서 식물 생활형이 식물 정착에 미치는 영향

남종민* · 조현승** · 김재근*^{*,**,*}

*서울대학교 농업생명과학연구원

**서울대학교 생물교육과

Effect of Plant Life Cycle on Plant Settlement in Diverse Water Level

Jong Min Nam* · Hyun Seung Cho** · Jae Geun Kim^{*,**,*}

*Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

**Department of Biology Education, Seoul National University, Seoul 151-748, Korea

(Received: 21 October 2014, Revised: 28 October 2014, Accepted: 19 December 2014)

요약

본 연구에서는 정수 환경에 정착한 3생활형 9분류군의 식물을 대상으로 1년동안 정기적으로 모니터링을 실시하였으며, 이를 통해 식물 생활형이 수위 조건에 따라 식물 정착에 어떠한 영향을 미치는지 밝히고자 하였다. 18개의 실험구를 셋으로 나누어 16주 범람 기간 동안 0, 20, 60cm로 수위를 각각 유지하였으며, 범람 기간을 제외한 기간은 0cm로 수위를 모두 동일하게 유지하였다. 1차년에 식재한 다년생 식물인 큰고랭이(*Scirpus tabernaemontani*), 줄(*Zizania caduciflora*), 부들속 2종(*Typha angustifolia*, *T. orientalis*)은 종자에 의한 추가적인 정착은 없었으며, 수문 조건이 밀도 및 초고 생장에 큰 영향을 미치지 않았다. 그러나 1년생 식물인 고마리(*Persicaria thunbergii*), 여뀌(*Persicaria hydropiper*), 사마귀풀(*Aneilema japonicum*)과 2년생인 벼룩나물(*Stellaria uliginosa*), 독새풀(*Alopecurus aequalis*), 개피(*Beckmannia syzigachne*)는 상대적으로 수문 조건에 의한 영향을 크게 받았다. 정수 환경에서 침수 수위 및 침수 기간은 상대적으로 지하경을 형성하지 못하는 1, 2년생 식물 종들의 정착 및 생육에 큰 영향을 미치는 것으로 보인다.

핵심용어 : 범람, 수위, 식물 생활형, 식물 정착

Abstract

The purpose of this study is to reveal the effect of plant life cycle to plant settlement by 1 year monitoring. The subjects of monitoring are the plants (3 plant life cycle, 9 taxa) well established in the mesocosm. 18 mesocosms were divided into 3 sets and water levels were maintained at 0, 20 and 60 cm during 16 weeks from mid-May, respectively and at 0 cm except these 16 weeks. Height and population size of transplanted perennial plants (*Scirpus tabernaemontani*, *Zizania caduciflora*, *Typha* (*Typha angustifolia* and *Typha orientalis*)) at 1st year were not affected by diverse water level, though any more seedlings of these species were not settled at this condition. In contrast, water level condition strong influenced annual and biennial plant, relatively. As a result, timing and duration of flooding have great effect on successful settlement of annual and biennial plant without rhizome.

Key words : Flooding, Plant Life Cycle, Plant Settlement, Water Level

1. 서론

우리나라에서 습지는 해충과 병원균들의 발생원으로 지목되어 식물 천이 과정이나 인위적인 간섭에 의해 훼손되거나 소멸되었으나 최근에는 습지의 높은 종-다양성, 높은 생산성, 수질정화, 홍수방지, 하안 침식 방지, 지하수량 조절 등 다양한 역할들(Mitsch and Gosselink, 2000)에 대한 중요성이 대두되어 다양한 지역에서 습지를 복원하거나 조

성하고 있다(Kim, 2003; Ministry of environment, 2004). 그러나 효과적인 습지의 보존과 복원 및 조성을 위해서는 습지식물의 정착 과정과 적정서식환경이 무엇인지 정확히 알고 있어야 함에도 불구하고, 적정서식환경에 대한 연구는 일부 종에 한해서만 진행되었을 뿐 정착과정에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다(Kwon et al., 2007; Lee et al., 2007; Jeon et al., 2013; Yoon et al., 2011). 그 결과 습지의 복원을 위한 설계 단계에서의 목표와 실제 자연 환경에서 정착하고 우점하는 식물종 사이에 차이가 큰 것으로 나타났다(Hong et al., 2005; Kim, 1999).

습지 식물의 정착과 생장은 수문주기, 영양염류 함량, 토양의 미지형, 염도, 기질 산화환원전위 등 다양한 습지 환

* To whom correspondence should be addressed.
Department of Biology Education, Seoul National University,
Seoul, 151-748, Korea
E-mail: jaegkim@snu.ac.kr

경의 영향을 받는 것으로 알려져 있으며(Brock et al. 2005; Hong and Kim 2013; van der Valk 1981; Vivian-smith 1997; Wetzel and van der Valk 1998), 그 중에서도 수문 조건(flooding regime)은 습지 식물의 생육에 매우 중요한 영향을 미친다(Mitsch and Gosselink, 2000; Nam et al., 2014). 자연 환경에서는 수문 주기, 범람의 빈도 등 다양한 수문 조건들이 식물 군락의 생육에 영향을 미치며, 특정 시점의 수위보다 누적된 수문 변화에 영향이 상대적으로 큰 것으로 알려져 있다(Casanova and Brock, 2000; Cronk and Fennessy, 2001). 이러한 특성들을 고려하면 특정 시기에 정기적으로 시행하는 야외조사 방법보다 식물 성장과 수문 조건을 조절할 수 있는 습지 실험구(mesocosm)를 이용한 연구가 효과적이다.

또한 습지 식물이 해당 수위 환경에서 정착하여 군집을 형성하기 위해서는 수문 내성뿐만 아니라 식물간 경쟁 능력도 중요하다(Carter and Grace, 1990). 선행 연구들에 의하면 식물간 경쟁 능력이 수문 내성보다도 성장에 중요한 경우가 보고되었으며, 각 식물 종의 주요한 특징들(생체량, 초고, 생식체량, 생장형, 영양 염류 흡수능, 뿌리 지역산화능)이 종간 경쟁 능력과 밀접한 관련이 있다고 하였다(Cronk and Fennessy, 2001; Gaudet and Keddy, 1988). 식물 특징들 중에서도 식물 생활환(Plant life cycles)은 봄에 습지 식물의 성장 기반이 무엇인지 구별할 수 있는 특성이기 때문에 매우 중요하다. 1년생 식물은 성장 기반이 종자이기 때문에 매년 개체군이 갱신되어 환경 조건이 급격히 변화할 경우 쇠퇴나 번성이 매우 빠르게 진행되는 반면 다년생 식물의 경우 뿌리나 지하경을 통해 수년간 생존할 수 있는 것으로 알려져 있으며(van der Vark, 1981), 지하경의 중요성은 다년생 식물이 지하경 형성 후 성장량이 증가한다는 것을 통해 밝혀진 바 있다(Boutin and Keddy, 1993). 이러한 선행 연구들을 고려하면 정수환경에서 식물 생활형이 수문 환경에 따라 식물의 정착 및 생육에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 수년간 수문 환경을 동일하게 유지시킨 후 성공적으로 정착한 종들을 대상으로 한 연구가 필요하다.

본 연구는 3년간 수문 환경을 일정하게 유지한 소규모 습지 실험구에 적용하여 정착한 식물을 대상으로 연구를 진행하였다. 총 3생활형 9분류군의 식물을 대상으로 1년동안 정기적으로 모니터링을 실시하였으며, 이를 통해 식물 생활형이 수위 조건에 따라 식물 정착에 어떠한 영향을 미치는지 밝히고자 하였다. 본 연구의 결과는 습지의 복원 및 조성 후 식생의 변화상을 예측하는데 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

2. 연구 방법

2.1 실험구의 설계

습지 실험구를 이용하여 수위를 제외한 다른 변수 조건들을 통제하였다. 실험구 용기는 직경 1m, 높이 0.9m인 원통

형태의 플라스틱 고무통을 사용하였다. 매질은 논외 표토를 사용하였으며, 각 용기에 약 30cm 높이로 채웠다. 실험 기간 동안 증발산으로 인해 손실된 수량은 수돗물로 주기적으로 보충하였으며, 강수로 인하여 설정된 수위보다 넘치는 부분은 용기 측면의 작은 구멍을 통하여 배출되도록 하여 수위를 일정하게 유지하였다.

2006년 4월 큰고랭이(*Scirpus tabernaemontani*), 줄(*Zizania caduciflora*), 부들속 2종(*Typha angustifolia*, *Typha orientalis*)의 지하경을 실험구에 식재하였다. 모든 실험구에 큰고랭이 10개체, 줄 6개체, 부들속 식물 8개체씩 지하경을 식재하였으며, 종별 개체수의 비율은 야외 조사 결과를 참고하였다. 식재한 다년생 식물을 제외한 다른 식물 종들은 매질의 토양 종자 은행과 주변 지역에서의 종자 유입을 통해 정착하였다.

2.2 실험의 설계

2006년부터 2009년까지 유지된 수문 조건은 Table 1과 같다. 5월 중순부터 16주인 범람기간 동안 WL 1은 표층수가 거의 없도록 유지하되 수위를 지표면에 가깝게 유지하였으며, WL 2와 3은 범람 기간 동안 각각 20cm와 60cm의 수위를 유지하였다. 범람 기간을 제외한 나머지 기간은 모든 수위 조건을 WL 1 조건과 동일하게 유지하였다. 처리구의 배치는 완전 임의 배치법(randomized block design)을 사용하였으며 각 처리구 별로 6반복 총 18개의 실험구를 설치하였다.

Table 1. Flooding regimes of 3 sets of mesocosms from 2006 to 2009

Label	Flooding regime	Water level	Flooding duration
WL 1	No surface water	-10 ~ 0 cm	-
WL 2	Low standing water	20 cm	May ~ October
WL 3	High standing water	60 cm	May ~ October

2.3 식생 조사 방법

식재한 다년생 식물종[큰고랭이(*Scirpus tabernaemontani*), 줄(*Zizania caduciflora*), 부들속 2종(*Typha angustifolia*, *Typha orientalis*)]들과 2008년까지 개체수가 가장 많이 발견된 6종[1년생: 고마리(*Persicaria thunbergii*), 여뀌(*Persicaria hydropiper*), 사마귀풀(*Aneilema japonicum*), 2년생: 벼룩나물(*Stellaria uliginosa*), 독새풀(*Alopecurus aequalis*), 개피(*Beckmannia syzigachne*)]를 대상으로 2009년 5월부터 2주 간격으로 종별 개체수 및 초고를 조사하였다. 실험 조건별 평균 개체수는 6개의 실험구 전체를 대상으로 계산하였으며, 평균 초고는 해당 식물 종이 발견된 실험구만을 대상으로 계산하였다. 식물 종의 동정은 이창복 도감을 참조하였다(Lee, 2003).

3. 연구 결과 및 논의

3.1 1년생 식물 - 고마리, 여뀌, 사마귀풀

고마리는 WL 1에서 평균 20개체 내외로 유지되었으며, 다른 수위 조건에 비해 상대적으로 개체수가 많았으나 최종초고는 수위 조건에 의한 영향을 받지 않았다(Fig. 1-B). 비슷한 초고 성장이 가능함에도 불구하고 WL 2와 3이 WL 1보다 개체수가 적은 이유는 WL 2, 3 조건은 침수에 의해 광합성을 할 수 있는 잎과 꽃이 맺힐 수 있는 공간이 제한되어 세대가 지날수록 종자의 숫자가 감소했기 때문이다. 특히, 고마리는 이종과를 형성하는 습생 식물로 지상부와 지하부에 각각의 종자를 맺는 것으로 알려져 있는데 (Choung et al., 2012; Kawano et al., 1990), 자가수분을 하는 지하부 종자의 경우 습지의 지표 아래에서 종자를 맺기 때문에 상대적으로 침수환경에서 종자를 맺는데 큰 문제가 없으나, 곤충 등에 의해 타가수분을 주로 하는 지상부 꽃의 경우 침수환경에서 성숙할 수 없기 때문이다. 반면, 기존 연구들에 따르면 고마리 유묘는 4월에 발아하며 약 10cm이상의 수위에서는 생존하기 힘든 것으로 알려져 있으나(Choo et al., 2015; Kim et al., 2012), 본 실험에서는 고마리가 20cm와 60cm의 수위를 극복하고 초고가 90cm 이상으로 성장하였다. 이는 약 5cm이하의 본 잎이 몇 장 없는 초기 유묘를 대상으로 한 기존 연구들(Choo et al., 2015; Kim et al., 2012)과 달리 본 실험에서는 침수되기 전 1주차에 이미 고마리의 평균 초고가 약 30cm로, 침수시기의 유묘 상태에 차이가 있었기 때문이다. 고마리는 수변 지역에서 주로 생육하며, 예측할 수 없는 수위 환경에서 안정적인 종자 생산을 위하여 범람이 잦은 여름 시기를 견디고 가을에 꽃을 피워 종자를 맺는데(Kawano et al., 1990; Satake et al., 2001), 이러한 번식 전략이 효과적인 이유는 고마리가 생육기간 동안 침수 환경에서 장시간 버티고 성장할 수 있는 능력이 있기 때문이다. 게다가 WL 2는 식물체 전체가 침수된 상황이 아니었으며, WL 3에서는 빠른 초고 성장을 통해 4주차에 식물체 일부가 침수 상태를 벗어났다. 이는 WL 2와 3이 고마리의 초고 성장이 중단될 만큼 장기간 동안 식물체 전체가 침수된 것이 아니라는 것

을 의미한다.

여뀌는 고마리와 달리 WL 2, 3에서 WL 1보다 개체수가 많고 초고도 컸다(Fig. 1-A). 여뀌가 고마리와 달리 침수에 의한 피해를 받지 않는 WL 1이 다른 조건에 비해 개체수가 적은 이유는 1년생과 2년생 식물 종들 대부분이 WL 1에서 개체수 및 초고 생장이 좋아 중간 경쟁이 가장 컸기 때문이다. 또한 여뀌는 습생 식물이지만(Choung et al., 2012), 고마리와 달리 침수 수위가 높을수록 최종 초고가 커서 수면 위로 잎이 발달할 수 있는 공간이 충분히 확보되었고, 꽃은 줄기 끝부분에 형성되기 때문에 침수에 의해 꽃이 맺힐 수 있는 공간에 대한 제약이 거의 없었다. 이처럼 침수 환경에 적응하여 60cm의 수위 조건에서도 생육이 가능하다는 점은 여뀌가 수위 변화가 큰 환경에서 경쟁력이 있다는 것을 의미하며, 이는 수위 변화가 심한 환경에서 생육한다는 기존 연구들과 일치하는 결과이다(Lee and Park, 2005; Seo et al., 2012).

사마귀풀은 위 두 종과 달리 침수 정도에 따라 다른 반응을 보인다(Fig. 1-C). WL 2에서는 초고 성장이 촉진되어 4주차부터 식물체 일부분이 수면 위로 노출되고, 최종적으로는 평균 초고가 약 80cm로 다른 수위 조건에 비해 가장 높은 초고를 보였다. 그러나 WL 3에서는 6주차까지 초고가 성장하지만 침수 상태를 벗어나지 못 했으며, 그 결과 6주부터 12주까지 초고가 성장하지 못하고 14주에는 대부분 고사하였다. 이처럼 침수 정도에 따라 다른 반응을 보이는 이유는 사마귀풀 종자의 휴면이 타파되기 위해서는 20일 이상의 침수기간이 필요하여(Im et al., 2007) 다른 두 종에 비해 상대적으로 발아 시기가 늦기 때문이다. 발아 시기가 늦다는 것은 상대적으로 유묘가 성장할 수 있는 시간이 부족하다는 것을 의미하며, 이는 침수가 시작되는 시기에 다른 종들에 비해 유묘의 초고가 상대적으로 작은 결과를 초래하였다. 이러한 결과들은 비록 사마귀풀의 초고 범위가 10~30cm으로 알려져 있지만(Lee, 2006), 침수환경이 유묘의 초고 성장을 촉진하기 때문에 침수 시점에 침수환경에서의 잠재적 성장 능력에 따라 극복할 수 있는 수위가 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 또한 초고 성장은 정체되어 있지만 12주까지 개체수가 감소하지 않는다는 것은 식물체 전체가 침수된 상태에서 약 10주 정도 버틸 수 있다는 것

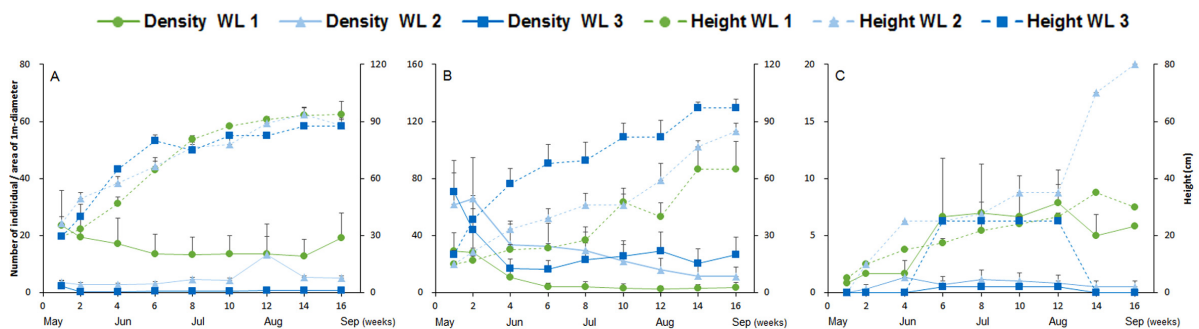


Fig. 1. Density and height of annual plants depending on water level. A: *Persicaria thunbergii*, B: *Persicaria hydropiper*, C: *Aneilema keisak*. Vertical bars show standard error.

을 의미하며, 해당 기간 내에 수위가 낮아져 식물체 일부가 침수 상태를 벗어날 경우 생존이 가능할 것으로 추정된다.

위의 결과들을 종합해 보면 1년생 식물들은 침수 시기 및 침수 수위가 식물 종의 정착 및 생육과 밀접한 관련이 있다. 1년생 식물들은 종자로부터 1년의 생활사가 시작되기 때문에 침수 시기가 침수 전 유묘가 성장할 수 있는 시간을 결정하며, 유묘의 성장 단계에 따라 침수환경에서의 잠재적 성장 능력에 차이를 보이기 때문이다. 또한, 침수 수위는 침수 환경에서 초고 성장에 의해 식물체 일부가 침수 환경을 벗어날 수 있느냐를 결정하기 때문에 중요하다. 침수는 차광 효과처럼 단기적으로는 식물의 초고 성장을 촉진시키지만 약 4주 간의 단기적 초고 성장에도 불구하고 식물체 전체가 침수 상태를 벗어날 수 없을 경우 성장이 정체되어 침수 상태를 벗어날 수 없으며 침수 기간이 더 오랫동안 지속될 경우 종자를 맺지 못하고 생활사가 종료되기 때문이다(Kim et al., 2012).

3.2 2년생 식물 - 독새풀, 벼룩나물, 개피

본 실험에서 군집을 형성한 2년생 식물의 경우 독새풀과 벼룩나물처럼 1년생 식물에 비해 상대적으로 초기 성장 및 생활사가 빠르게 진행되는 종들이 많았다. Fig. 2-A와 Fig. 2-B에서 보이는 바와 같이 습생 식물인 독새풀은 침수 시기보다 상대적으로 개화시기나 종자가 성숙되는 시기가 빨라 WL 2, 3에서도 종이 유지될 수 있었으며, 벼룩나물은 절대 육상 식물임에도 불구하고 WL 2에서 일부 개체가 발견되었다(Choung et al., 2012; Kim et al., 1996). 그러나 개피의 경우 개화 시기가 5~6월이기 때문에 침수 시기인 5월 중순까지 종자가 성숙하기에는 상대적으로 시간이 부족했다(Lee, 2006). 또한, 개피는 양생 식물로 주로 건조한 개방지에서 생육하는 종이기 때문에 20cm 이상의 수위가 지속적으로 유지되는 환경에서는 생육할 수 없는 종으로 추정된다(Choung et al., 2012). 그 결과 WL 1에서는 초고가 90cm 이상 성장하며 성공적으로 종자가 성숙하였으나 WL 2, 3에서는 4년 동안 수위 조건이 유지된 결과 총 12개의 실험구에서 1개체도 발견되지 않았다(Fig. 2-C). 이처럼 극명한 결과를 보이는 이유는 수명이 짧은 식물 종들의 경우 개체군 갱신이 빠르게 진행되어 환경 조건에 따른 쇠퇴

가 매우 빠르게 진행되기 때문이다(van der Vark, 1981).

2년생 식물의 경우 가을에 발아하여 뿌리와 잎이 있는 상태에서 월동하기 때문에 종자 발아부터 시작하는 1년생 종들에 비해 초기 성장이 빠른 편이다(Seong et al., 2012; Kim et al., 2010). 그러나 2년생 식물들도 개화 및 종자가 성숙되는 시기가 종별로 다르며, 범람이 시작되는 시기와의 상대적 차이에 따라 종자 결실률에 차이를 보인다. 본 실험은 5월 중순부터 침수가 시작되기 때문에 종자를 빨리 맺는 종들도 종자가 성숙할 수 있는 시간이 부족했고, 그 결과 침수 피해를 받지 않은 대조군에 비해 상대적으로 개체군 크기가 작았다. 그러나 장마 기간이 6월 이후인 것을 고려하면(KMA) 2년생 식물들의 종자를 빨리 성숙시킴으로써 범람의 피해를 최소화하는 전략은 자연 환경에서 매우 효과적일 것으로 판단된다(Satake et al., 2001).

3.3 다년생 식물 - 줄, 큰고랭이, 애기부들

줄은 모든 수위 조건에서 다년생 식물 중 가장 높은 밀도를 보였으며, 모든 식물 종 중에서 초고가 가장 큰 것으로 나타났다(Fig. 3-A). 다년생 식물인 줄과 큰고랭이 및 부들속 식물(애기부들, 부들)들의 지하경을 3:5:4의 비율로 식재한 것과 각 식물 종의 주요한 특징들(생체량, 초고, 생식체량, 생장형, 영양 염류 흡수능, 뿌리 지역 산화능) 중에서 생체량과 초고가 종간 경쟁에서 가장 중요한 것을 고려하면(Cronk and Fennessy 2001, Gaudet and Keddy 1988), 줄은 모든 수위 조건에서 우점한 것으로 판단되며, 이는 정수조건에서는 수위 조건에 상관없이 줄이 애기부들 등 다른 다년생 식물에 비해 상대적으로 생육이 빠르고 성장량이 많다는 선행 연구 결과와 일치한다(Hong et al., 2014). 한편, 줄은 WL 1에서 다른 조건들에 비해 상대적으로 개체 밀도 및 초고가 작았다. 이러한 결과는 여뀌를 제외한 다른 1, 2년생 식물들이 WL 1 조건에서 개체수가 가장 많았으며, 초고도 대체적으로 컸다는 것을 고려하면, 다른 수위 조건에 비해 WL 1이 종간 경쟁이 심하여 줄이 흡수할 수 있는 양분이 상대적으로 적었기 때문으로 추정된다. 큰고랭이의 경우 모든 수위 조건에서 16주차에 개체수가 급감하였는데(Fig. 3-B), 이는 큰고랭이가 다른 다년생 식물 종들에 비해 상대적으로 생활사가 빨리 종료되었기 때문이

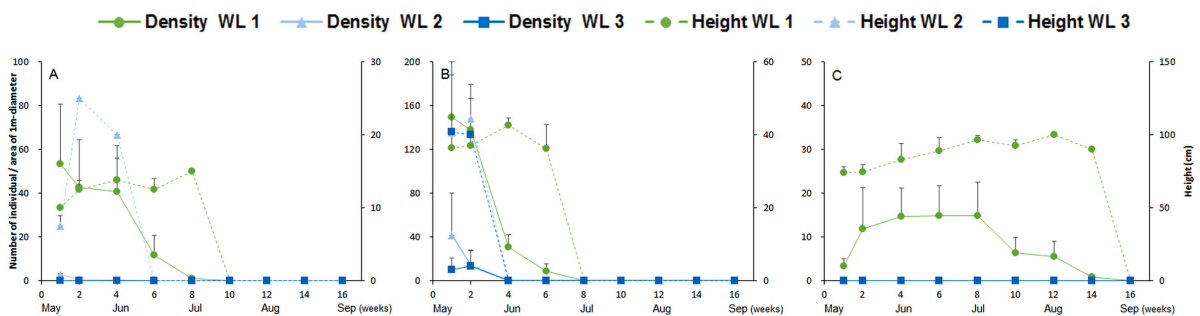


Fig. 2. Density and height of biennial plants depending on water level. A: *Alopecurus aequalis*, B: *Stellaria alsine*, C: *Beckmannia syzigachne*. Vertical bars show standard error.

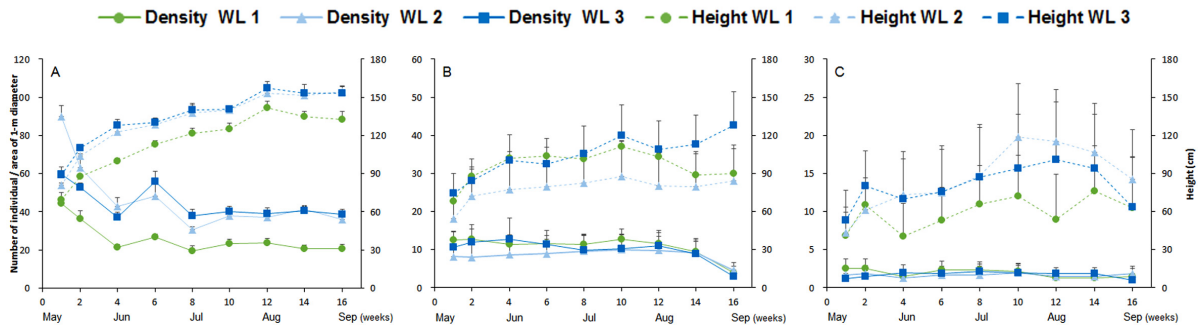


Fig. 3. Density and height of perennial plants depending on water level. A: *Zizania latifolia*, B: *Scirpus tabernaemontani*, C: *Typha angustifolia* and *Typha orientalis*. Vertical bars show standard error.

다. 반면, 부들속 식물은 생육 특성이 다른 애기부들과 부들 2종으로 구성되어 있어, 다른 다년생 식물에 비해 상대적으로 개체수 및 초고의 편차가 컸다(Fig. 3-C). 이러한 결과는 애기부들의 경우 최대 초고로 성장한 후 분얼을 시작하지만 부들은 초고 성장 도중에 분얼을 시작하여 종에 따라 시기별 개체수의 편차가 크고, 두 종의 평균 초고는 통계적으로 차이를 보이지 않으나 분포 범위에 차이가 있어 종에 따라 초고의 분포가 다르기 때문이다(Inoue and Tsuchiya, 2006; Kim et al. 2002).

다년생 식물인 줄과 큰고랭이 및 부들속 식물은 2006년부터 2009년까지 매년 꽃이 피고 종자를 맺었음에도 불구하고 종자를 통한 유묘의 정착은 확인되지 않았으며 이는 다년생 식물들도 침수 환경에서는 종자 정착이 힘들다는 선행 연구와 일치하는 결과이다(van der Vark, 1981). 그러나 다년생 식물들은 지하경을 통해 모든 수위 조건에서 생존하였으며 다른 생활형 식물들에 비해 수위 조건에 따른 영향이 상대적으로 크지 않았다. 이러한 결과는 줄과 큰고랭이 및 부들속 식물이 다양한 수위 환경에서 생육한다고 한 기존 연구와 일치하는 결과이다(Kwon et al., 2007; Lee et al., 2007). 다년생 식물의 지하경은 무성 번식 기관인 동시에 지하경에 저장한 양분을 바탕으로 환경 조건이 좋지 않을 시에도 생장 속도를 빠르게 하여 해당 환경을 극복할 수 있게 하므로 지하경의 존재 유무는 다양한 수위 환경에 적응하는데 매우 중요한 요인으로 판단된다(Grace and Wetzel, 1981; Hong et al., 2012).

4. 결론

다년생 식물들은 지하경이 형성될 경우 1, 2년생에 비해 상대적으로 수위 변화에 대한 영향을 적게 받으므로, 성공적인 정착을 위해서는 지하경의 식재가 필요하며, 반대로 다년생 식물의 유입을 막기 위해서는 지하경이 형성되지 않도록 종자 단계에서 수위 조절을 통해 정착을 차단해야 한다. 1, 2년생 식물 종들의 경우 침수 수위 및 기간에 의한 영향을 크게 받으며, 그 중에서도 유묘 및 개화 시기의 수위는 종의 정착 및 유지에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 시기별로 수위를 조절할 수 있을

경우 1, 2년생 식물 종의 정착을 통제하거나 예측할 수 있다는 것을 의미한다.

사 사

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국연구재단(NRF-2012R1A12001007)과 환경부 “차세대 에코이노베이션 기술개발사업(416-111-010, 과제명: 습지생태계 조성 및 자연생태 회복기술 개발)”의 지원을 받아 수행된 연구임.

References

Boutin, C and Keddy, PA (1993). A functional classification of wetland plants, *J. of Vegetation Science*, 4(5), pp. 591-600.

Brock, MA, Nielsen, BL and Crossle, K (2005). Changes in biotic communities developing from freshwater wetland sediments under experimental salinity and water regimes, *Freshwater Biology*, 50(8), pp. 1376-1390.

Carter, MF and Grace, JB (1990). Relationships between flooding tolerance, life history, and short-term competitive performance in three species of *polygonum*, *American J. of Botany*, 77(3), pp. 381-387.

Casanova, MT and Brock, MA (2000). How do depth, duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities?, *Plant Ecology*, 147(2), pp. 237-250.

Choo, Y-H, Kim, H-T, Nam, JM, and Kim, JG (2014). Flooding effects on seed production of the amphicarpic plant *Persicaria thunbergii*, *Aquatic Botany*, 119(1), pp. 15-19.

Choo, YH, Nam, JM, Kim, JH, and Kim JG (2015). Advantages of amphicarpic of *Persicaria thunbergii* in the early life history, *Aquatic Botany*, 121, pp. 33-38. doi: 10.1016/j.aquabot.2014.11.001.

Choung, Y, Lee, WT, Cho, K-H, Joo, KY, Min BM, Hyun, J-O and Lee, KS (2012). *Categorizing Vascular Plant*

- Species Occurring in Wetland Ecosystems of the Korean Peninsula*, Center for Aquatic Ecosystem Restoration. [Korean Literature]
- Cronk, JK and Fennessy, MS (2001). *Wetland Plants: Biology and Ecology*, CRC press, Boca Raton, Florida.
- Gaudet, CL and Keddy, PA (1988). A comparative approach to predicting competitive ability from plant traits, *Nature*, 334(3), pp. 242–243.
- Grace, JB and Wetzel, RG (1981). Habitat partitioning and competitive displacement in cattails (*Typha*): experimental field studies, *The American Naturalist*, 118(4), pp. 463–474.
- Hong, M-G and Kim, JG (2013). Inhabitation characteristics of *Sphagnum palustre* in abandoned paddy terrace wetland: a case report in Ansan, *J of Wetlands Research*, 15(1), pp. 71–78. [Korean Literature]
- Hong, M-G, Nam, JM and Kim, JG (2012). Occupational strategy of runner reed (*Phragmites japonica* Steud.): change of growth patterns with developmental aging, *Aquatic Botany*, 97(1), pp. 30–34.
- Hong, MG, Heo, YJ and Kim, JG (2014). The construction and management of artificial wetland using emergent macrophytes for high biomass production, *J of Wetlands Research*, 16(1), pp. 61–72. [Korean Literature]
- Hong, S-K, Kang, HJ, Kim, ES, Kim, JG, Kim, CH, Lee, EJ, Lee, JC, Lee, JS, Lim, BS, Choung, YS and Choung, HL (2005). *Restoration Ecology and Engineering-Conservation and Management of Habitats and Ecotope*, Life Science Publishing Co, Seoul. [Korean Literature]
- Im, I-B, Kim, S and Kang, JG (2007). Control and occurrence of *Aneilema keisak* Hassk. in paddy field, *Korean J. Weed Science*, 27(1), pp. 22–28. [Korean Literature]
- Inoue, TM and Tsuchiya, T (2006). Growth strategy of an emergent macrophyte, *Typha orientalis* Presl. in comparison with *Typha latifolia* L. and *Typha angustifolia* L., *Limnology*, 7(3), pp. 171–174.
- Jeon, SH, Kim, H, Nam, JM and Kim, JG (2013). Habitat characteristics of sweet flag (*Acorus calamus*) and their relationship with biomass, *Landscape and Ecological Engineering*, 9(1), pp. 67–75.
- Kawano, S, Hara, T, Hiratsuka, A, Matsuo, K and Hirota, I (1990). Reproductive biology of an amphicarpic annual *Polygonum thunbergii* (Polygonaceae): spatio-temporal changes in growth, structure and reproductive components of a population over an environmental gradient, *Plant Species Biology*, 5(1), pp. 97–120.
- Kim, C, Shin, H and Choi, H-K (2003). A phonetic analysis of *Typha* in Korea and far east Russia, *Aquatic Botany*, 75(1), pp. 33–43.
- Kim, DH, Choi, H and Kim, JG (2012). Occupational strategy of *Persicaria thunbergii* in riparian area: rapid recovery after harsh flooding disturbance, *J. of Plant Biology*, 55(3), pp. 226–232.
- Kim, H-Q (1999). *A study on the criteria of planting substrate for hydrophytes in creating Man-made Wetland*, Master's Thesis, Seoul University. [Korean Literature]
- Kim, JG (2003). Wetland conservation and restoration, *Nature Conservation*, 123, pp. 44–54. [Korean Literature]
- Kim, JS, Hwang, IT and Cho, KY (1996). Effect of storage conditions on the dormancy release and the induction of secondary dormancy in weed seeds, *Korean J. Weed Science*, 16(3), pp. 200–209. [Korean Literature]
- Kim, S, Ahn S-H, Im, I-B, Cheong, Y-K and Kim, S-J (2010). Effect of seeding methods to the growing *Alopecurus aequalis* var. *amurensis* in wheat field of rice-wheat cropping system, *Korean J. Weed Science*, 30(3), pp. 252–257. [Korean Literature]
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2009). <http://www.kma.go.kr/>.
- Kwon, GJ, Lee, BA, Nam, JM and Kim, JG (2007). The relationship of vegetation to environmental factors in Wangsuk stream and Gwarim reservoir in Korea: II. Soil environments, *Ecological Research*, 22(1), pp. 75–86.
- Lee, BA, Kwon, GJ and Kim, JG (2007). The optimal environmental ranges for wetland plants: II. *Scirpus tabernaemontani* and *Typha latifolia*, *J. of Ecology and Field Biology*, 30(2), pp. 151–159.
- Lee, CB (2006). *Coloured Flora of Korea*, Hyangmunsa. [Korean Literature]
- Lee, Y-S and Park, J-G (2005). Assessment of water quality impact of submerged lakeside macrophyte, *J. of Environmental Impact Assessment*, 23(4), pp. 237–250. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (2004). *Preliminary Environmental Review Services Manual*. [Korean Literature]
- Mitsch, WJ and Gosselink, JG (2000). *Wetlands*, John Wiley & Sons, New York.
- Nam, JM, Jeon, S-H, Choi, H and Kim JG (2014). Effects of micro-topography on vegetation pattern in Dunchon-dong wetland, *J. of Wetlands Research*, 16(4), pp. 353–362. [Korean Literature]
- Satake, A, Sasaki, A and Iwasa, Y (2001). Variable timing of reproduction in unpredictable environments: adaption of flood plain plants, *Theoretical Population Biology*, 60(1), pp. 1–15.
- Seo, Y-J, Lee, J-B, Seo, D-C, Kang, S-W, Lee, S-G, Choi, I-W, Lim, B-J, Kim, S-D, Heo, J-S and Cho, J-S (2012). Growth characteristics and nutrient contents under dominant submerged plants in flood control

- reservoir around Dongbok lake, *Korean J. Soil Science and Fertilizer*, 45(5), pp. 836–841. [Korean Literature]
- Seong, K-Y, Park, T-S, Cho, H-S, Seo, M-C and Jeon, W-T (2012). Weed occurrence according to the density of water foxtail in no-tillage seeding rice paddy fields, *Korean J. Weed Science*, 32(3), pp. 280–284. [Korean Literature]
- van der Vark, AG (1981). Succession in wetlands: a gleasonian approach, *Ecology*, 62(3), pp. 688–696.
- Vivian-Smith, G (1997). Microtopographic heterogeneity and floristic diversity in experimental wetland communities, *J. of Ecology*, 85(1), pp. 71–82.
- Wetzel, P and van der Valk, A (1998). Effects of nutrient and soil moisture on competition between shape *Carex stricta*, shape *Phalaris arundinacea*, and shape *Typha latifolia*, *Plant Ecology*, 138(2), pp. 179–190.
- Yoon, J, Kim H, Nam, JM and Kim, JG (2011). Optimal environmental range for *Juncus effusus*, an important plant species in an endangered insect species (*Nannopya pygmaea*) habitat in Korea, *J. of Ecology and Field Biology*, 34(2), pp. 223–235.