

동진강 일대 생태계교란 식물 양미역취(*Solidago altissima*)의 고밀도 군락 내 중장비를 활용한 제거 효과

이수인** · 최동희* · 김영하** · 유혜린*

*국립생태원 외래생물팀

**국립생태원 자연환경조사팀

Effect of Using Heavy Equipment to Remove High-Density Populations of the Invasive Alien Plant *Solidago altissima* along the Dongjin River

Soo In Lee** · Dong Hui Choi* · Young Ha Kim** · Hye Rin Yu*

*Invasive Alien Species Team, National Institute of Ecology, Korea

**National Ecosystem Survey Team, National Institute of Ecology, Korea

(Received : 11 September 2024, Revised : 05 November 2024, Accepted : 09 November 2024)

요약

생태계교란 식물인 양미역취는 전국에 분포하고 있으나, 그중 동진강, 만경강 일대는 넓은 면적에 고밀도로 분포하고 있어 관리가 시급하다. 이에 따라 관할 환경청에서는 2022년에 총 2회의 물리적인 제거를 수행하였다. 1차에서는 지역주민 등이 함께 약 900m² 면적의 양미역취를 뿌리째 뽑아 제거하였고, 2차에서는 굴착기, 농기계 등의 중장비를 활용하여 약 17,600m² 면적의 양미역취의 지상부 제거와 토양 갈아엎기를 수행하였다. 그리고 양미역취를 제거하지 않은 지점(대조구)과 제거한 지점(처리구)에서 식생조사, 생육(줄기직경, 지상부 길이, 지상부 수) 및 생리반응(엽록소형광, 엽록소함량)을 측정하여 양미역취의 제거 효과를 확인하였다. 그 결과, 양미역취의 중요치는 처리구에서 대조구보다 낮았고, 군락내 종다양성은 증가하였다. 단위 면적당 지상부의 수는 처리구에서 대조구보다 적었다. 결과적으로, 고밀도 군락에서 중장비를 활용한 양미역취 지상부 제거와 토양 갈아엎기의 노력이 양미역취의 개체군을 생장을 저해함을 확인할 수 있었다. 반면 엽록소 형광(Fv/Fm) 값은 처리구에서 더 양호하였다. 이는 밀도의존적인 식물의 특성이 반영된 것이고, 효과적인 관리를 위해서는 지속적인 제거가 수행되어야 함을 시사한다. 지속적인 제거와 함께 지속적인 모니터링이 병행되어야 하며, 연차별 맞춤형 관리방안 마련이 필요하다.

핵심용어 : 생태계교란 생물, 물리적 제거, 종다양성, 관리방안

Abstract

Solidago altissima, an invasive alien species, is distributed nationwide in Korea. However, the areas surrounding the Dongjin River and Mankyung River are characterized by a large area with high-density distribution, making management urgent. Therefore, the regional environmental office conducted two physical removal operations in 2022. The first operation involved local residents who removed *S. altissima* by hand, pulling the plants out by the roots from an area of approximately 900m². The second operation used heavy machinery, including excavators and agricultural equipment, to remove the above-ground parts and till the soil over an area of about 17,600m². A vegetation survey was conducted, and growth characteristics (stem diameter, shoot length, and number of shoots) and physiological responses (chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) and chlorophyll content) were measured at both the control plots, where *S. altissima* was not removed, and the treatment plots, where it was removed, to evaluate the

*All authors equally contributed

*To whom correspondence should be addressed.

Invasive Alien Species Team, National Institute of Ecology, Korea
E-mail : ecolove093@nie.re.kr

- Soo In Lee Invasive Alien Species Team, National Institute of Ecology, Korea/Associate Researcher(ecolove093@nie.re.kr)
- Dong Hui Choi Invasive Alien Species Team, National Institute of Ecology, Korea/Researcher(dhchoi82@nie.re.kr)
- Young Ha Kim National Ecosystem Survey Team, National Institute of Ecology, Korea/Researcher(khatru@nie.re.kr)
- Hye Rin Yu Invasive Alien Species Team, National Institute of Ecology, Korea/Researcher(yuhrin17@nie.re.kr)

effectiveness of the removal. As a result, the importance value of *S. altissima* was lower in the treatment plots than in the control plots, while species diversity within the treatment plots increased. The number of shoots per unit area was lower in the treatment plots compared to the control plots. These findings indicate that removing the above-ground parts of *S. altissima* and tilling the soil using heavy machinery in high-density community effectively inhibited the growth of the *S. altissima* population. Meanwhile, chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) values were higher in the treatment plots, reflecting the density-dependent characteristics of the plant. This suggests that continuous removal efforts are necessary for effective management. Continuous removal efforts must be accompanied by rigorous and ongoing monitoring, and annual development of tailored management plans is essential.

Key words : Invasive alien species, Physical removal, Species diversity, Management plan

1. 서론

침입외래생물(invasive alien species, IAS)은 정착한 외래생물 중 확산하여 생물다양성 및 생태계 및 종에 부정적인 영향을 미치는 종을 말하며, 국제적으로는 생물다양성의 감소를 초래하는 원인 중의 하나로 보고 있다(IPBES, 2023). 여러 국가는 자국에 침입외래생물의 관리를 위해 지속해서 노력하고 있고, 이와 발맞춰 국내에서 환경부는 「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률(약칭: 생물다양성법)」에 따라 관리가 필요한 외래생물을 유입주의 생물, 생태계위해우려 생물, 생태계교란 생물로 지정 고시하여 관리하고 있다. 이중 생태계교란 생물이란 생태계의 균형을 교란하거나 교란할 우려가 있는 생물로 정의하고 있으며, 2024년 10월 기준 동물은 붉은귀거북속 1속과 그 외 21종, 식물은 18종으로 총 1속 39종이 지정 고시되어 있다.

양미역취(*Solidago altissima*)는 환경부가 2009년부터 생태계교란 생물로 지정하여 관리하는 식물 중 하나이다. 양미역취는 북아메리카 원산의 국화과(Asteraceae) 다년생 초본식물로 주로 길가, 하천, 목초지, 나지, 폐경작지, 휴경지, 수로변 및 제방 등 분포하며, 토양수분, 차광에 대한 내성범위가 넓어 건조한 토양이나 일사량이 제한된 곳에서도 잘 자란다(Werner *et al.*, 1980; Meyer and Schmid, 1999; Abrahamson *et al.*, 2005). 국내에는 제주도를 포함한 전국에 분포하고 있으며, 하천 정비사업 이후 동진강과 만경강 일대에 고밀도의 대규모 군락이 형성되어 있다(MOE and NIE, 2021). 이로 인해 동진강과 만경강 일대의 관할 지방환경청과 지자체는 양미역취를 대상으로 제거 사업을 다수 추진하고 있다.

국내에서 생태계교란 식물로 지정되기 이전에는 양미역취의 기초특성에 관한 연구가 진행되었고(NIER., 2006), 지정 이후 2020년 이전에는 대부분 다른 교란식물과 함께 분포정보 및 서식처 유형에 관한 연구가 대부분이었고(JBGEC, 2016; Ryu *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2019), 양미역취의 관리방안 마련을 위한 연구는 거의 없었다. 2020년대에 들어서 양미역취 우점하는 지점에서 제거실험을 추진하고 그 효과에 관해 확인하는 연구 및 관리방안 마련을 위한 연구들이 일부 진행되고 있다(MOE and KEITI, 2021; Kim, 2022; Rim *et al.*, 2023; Lee *et al.*, 2023).

침입외래식물 중 광범위한 서식처에 적응한 종의 경우, 발생한 모든 지점에 동일한 제거 방법을 적용하는 것은 비효율적일 수 있으므로, 침입외래식물의 제거 및 관리에 있어 서식지의 유형과 조건에 따라 다양한 접근 방식이 필요하다(Bhagwat *et al.*, 2012; Clements *et al.*, 2019). 양미역취는 다양한 서식처 유형에 침입하여 서식하고 있으며, 제거의 효과를 위해서는 서식처 유형별 다양한 관리 접근 방식을 실제 적용하는 것이 중요하다. 또한 침입외래생물을 효과적으로 제거하기 위해서는 환경변화와 제거방법에 따른 개체군 반응에 대한 예측이 필요하고 이를 위해 현장에서 실제 적용하고, 그 효과를 측정하는 과정이 중요하다(Caswell 1989; Schmid 1990; Bullock *et al.* 1994; Cousens and Mortimer 1995; Meyer and Schmid, 1999).

생태계교란 생물을 제거하는 방법에는 물리적 제거, 화학적 제거, 생물학적 제거가 있으며, 화학적 제거는 특정 환경에서 부정적인 영향을 미칠 수 있고, 생물학적 제거는 효과를 보려면 시간이 오래 걸리며 외부 요인에 영향을 받을 수 있다(van Wilgen *et al.*, 2001). 물리적인 제거는 인력과 비용이 많이 소요되는 단점이 있으나, 즉각적인 효과와 단기적인 제어, 환경영향 최소화 등의 장점이 있다(van Wilgen *et al.*, 2001; Kettenring and Adams, 2011).

양미역취를 제거하는 화학적인 방법은 어린 개체일 때 토양제초제에 민감해 글리포세이트 그리고 접촉형 제초제가 효과가 있으나, 제초제가 비선택성이며 영양생장 기간에는 효과가 거의 없다고 알려져 있다(Weber, 2017). 또한 환경에 미치는 부정적인 영향이 있어 물리적인 제거는 화학적 방제의 대안으로도 여겨진다(Gala-Czekaj *et al.*, 2021). 양미역취를 특이적으로 방제할 수 있는 생물학적 방제제는 보고된 바가 없고, 같은속(*Solidago*) 종의 방제를 위한 생물학적 방제제가 있다고 알려져 있으나 적용하는 사례가 극히 드물다(Yuan, 2008; Tang *et al.*, 2013). 따라서 현재로서는 양미역취를 제거하는 방법은 물리적인 방법이 가장 효과적이라고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 동진강 일대 생태계교란 식물 양미역취(*S. altissima*)의 고밀도 군락 내 중장비를 활용한 물리적인 제거 효과를 확인하여 추후 관리계획 수립 시 기초자료로 활용을 목적으로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 제거대상지 개황 및 제거방법

양미역취의 제거대상지는 전북 부안군 백산면 금관리 동진강변 일대의 총적지로 범람원이며, 우리나라 최대 곡창지대인 호남평야에 속한다. 이 지역은 과거에 경작지로 사용되었고, 새만금 일대 수질개선과 생태하천 조성을 목적으로 2012년부터 세부계획이 수립되고 2014년부터 본격적으로 만경강과 동진강 일대 하천정비 사업이 진행되었으며(MOLIT, 2021; Kim *et al.*, 2022), 그 이후 양미역취 대규모군락이 형성되었다. 이에 관할 환경청인 전북지방환경청과 국립생태원은 협업을 통해 제거와 모니터링을 수행하였다. 2022년 가을철에 총 2회의 물리적인 제거가 이루어졌다. 1차 제거는 2022년 9월 15일에 전북지방환경청과 부안군이 함께 약 900 m² 면적 내 양미역취를 뿌리째 뽑았고, 2차 제거는 2022년 10월 17일부터 27일까지 굴착기 및 농기계 등의 중장비를 활용하여 지상부를 먼저 제거 후 토양을 갈아엎는 방법으로 약 17,600m² 면적 내 양미역취의 제거를 추진하였다(Fig. 1). 제거 이전 시기 2021년, 제거 시기 2022년, 제거 효과검증 시기인 2023년까지 대상지 인근 김제 방재기상관측소에서 측정된 월평균기온(°C)과 월강수량(mm)은 Fig.2와 같았다(KMA, 2024).

2.2 제거 효과 모니터링

약 900m² 면적 내 양미역취를 직접 뿌리째 뽑은 1차 제거 지점은 길가와 매우 인접하여 있어 다양한 교란을 받는 지점이기 때문에 효과 확인에서 제외하였고, 중장비를 활용한 2차 제거지점에 대한 제거 효과를 모니터링하였다.

2.2.1 식생조사

생태계교란 식물인 양미역취의 제거가 종조성에 미치는 영향을 확인하기 위해 제거 후 다음해인 2023년 4월에 양미역취를 제거하지 않은 곳(대조구)과 제거한 곳(처리구)에서 1m×1m 크기의 방형구를 각 3개씩 설치하였다. 2023년 봄(5월), 여름(7월), 가을(9월)에 각 1회씩 총 3회 식생조사를 수행하였다. 방형구 내의 출현종 피도를 조사하였고, 피도는 변환통합우점도에 따라 9등급으로 구분하여 기록하였다(Westhoff and van der Maarel, 1978). 방형구법으로 조사된 자료에 상대피도와 상대빈도를 계산하여, 이 둘의 평균으로 중요치(importance value, IV)를 구하고, 계산된 중요치로부터 Shannon-Wiener의 종다양성지수(Shannon, 1948)를 산정하였다.

2.2.2 생육 및 생리반응 측정

제거 하지 않은 곳(대조구)과 제거한 곳(처리구)에서 재발생한 양미역취 개체의 생육 차이를 확인하고자 생육반응을 측정하였다. 1m×1m 크기의 방형구를 각 3개씩 설치하여 방형구 내에서 양미역취의 개체수가 많은 곳에서는 방형구당 15개체를 선별하여 측정하였고, 개체수가 15개체 이하로 개체수가 적은 곳에서는 방형구당 5개체를 선별하여 측정하였다. 양미역취의 지상부수(ea)는 2023년 봄에 2회(4월, 5월) 여름(7월)과 가을(9월)에 각 1회씩 총 4회 측정하였고, 줄기 직경(ea)과 지상부높이(cm)는 여름(7월)과 가을(9월)에 각 1회씩 총 2회 측정하였다.

양미역취가 개화하는 시기인 10월에 양미역취의 생리반응을 확인하고자 양미역취의 엽록소함량(SPAD)과 광계 II의 광화학적 이용효율(photochemical efficiency, Fv/Fm)을 측정하였다. 엽록소함량은 엽록소 함량측정기(chlorophyll

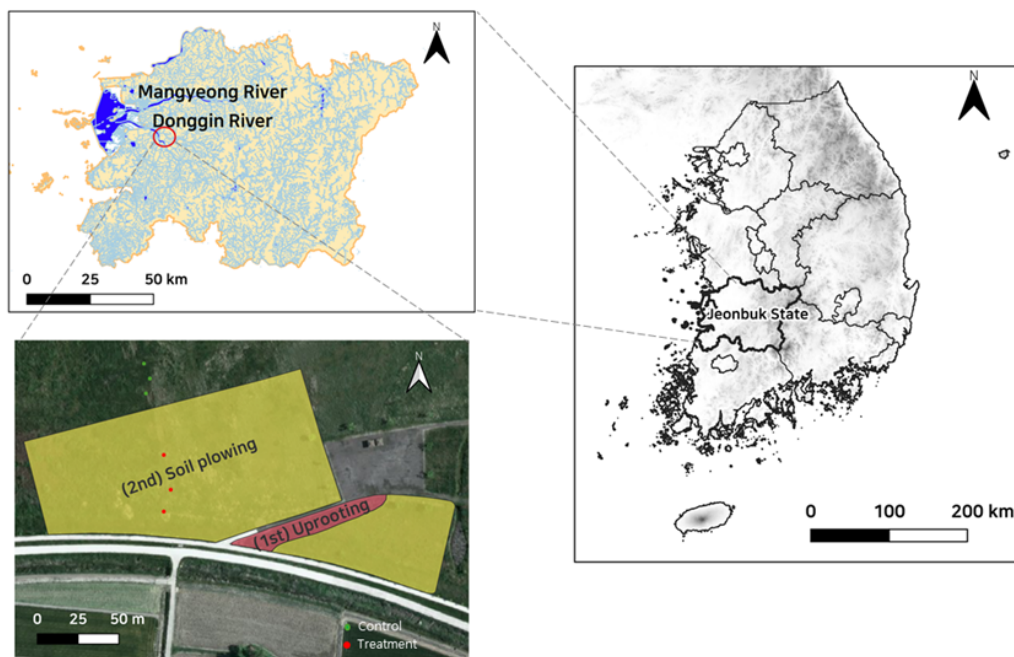


Fig. 1. Overview of the physical removal site for *Solidago altissima*.

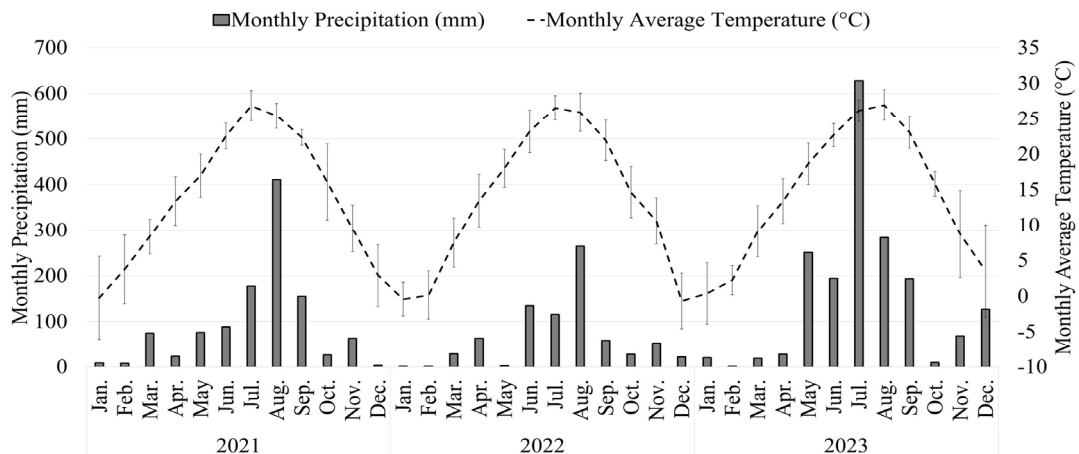


Fig. 2. Monthly average temperature(° C) and monthly precipitation(mm) at the study site.

meter, SPAD-502Plus, KONICA MINOLTA Co.)를 이용하여 측정하였고, 광계Ⅱ의 광화학적 효율(Fv/Fm)은 비스트레스 상태의 기준점을 고정하기 위해 20 분 동안 암적응을 시킨 후(Maxwell and Johnson 2000), 엽록소형광측정기(portable Fluorometer, OS-30p+, ADC BioScientific Ltd.)를 이용하여 측정하였다. 암적응은 양미역취의 잎에 암적응 클립을 적용하여 수행하였고, 생리반응은 각 방형구당 10 회를 측정하였다.

2.3 통계분석

대조구와 처리구의 월별 종조성의 차이를 분석하기 위해, 조사된 종의 피도를 바탕으로 비계량적 다차원척도법(Non-metric Multidimensional Scaling, NMDS)을 수행하였다. NMDS 분석에서는 Bray-Curtis 거리 지수를 사용하여 종 조성 간의 거리를 계산하였다.

대조구와 처리구의 생육 및 생리반응의 차이를 확인하고자 측정된 자료의 정규분포 여부를 검토하기 위해 Shapiro-Wilk 검정을 실시하였다. 분석 결과, 지상부수, 엽록소량, 엽록소형광은 정규분포를 따르는 것으로 나타났으며($p > 0.05$), 이 변수에 대해서는 독립 샘플 t-검정을 수행하였다. 반면, 지상부길이와 줄기직경은 정규분포를 따르지 않는 것으로 확인되었으며($p < 0.05$), 이에 따라, 이들 변수에 대해서는 비모수 검정인 Mann-Whitney U 검정을 적용하였다. 모든 통계분석 및 데이터 시각화는 R 4.4.1 버전을 사용하여 수행하였고(R Core Team, 2024), 데이터 시각화에는 'ggplot2' 패키지를 사용하였다(Wickham, 2016).

3. 결과 및 고찰

3.1 양미역취의 제거가 종조성에 미치는 영향

양미역취의 중요치는 대조구에서 5 월, 7 월, 9 월에 각각 28.7%, 48.6%, 41.4%이었고, 처리구에서 각각 11.4%, 24.7%, 14.8%로 처리구가 더 낮았다(Fig. 3a). 이는 제주도 일대 여름철(7 월) 양미역취의 중요치가 약 40.9%로 우점하

고 있는 곳에서, 양미역취의 지상부 예초 1 년 후 양미역취의 중요치가 32.1%로 감소한 결과와 유사하였다(Rim *et al.*, 2022). 본 연구와 Rim *et al.*(2022)의 연구에서 양미역취의 제거 수단에는 차이가 있었으나, 지상부를 제거했다는 점이 동일하였으므로 지상부의 제거가 다음해에 양미역취의 중요치를 감소시킨 요인으로 판단된다. 군락내 종다양성은 5 월, 7 월, 9 월에 대조구에서 각각 2.47, 1.91, 1.92 였고, 처리구에서 각각 2.94, 2.13, 2.56 으로 처리구가 더 높았던 것으로 보아(Fig. 3a), 양미역취의 제거가 종다양성 증진에 영향을 미치는 요인으로 판단된다.

대조구와 처리구에서 월별로 조사된 종의 피도를 바탕으로 NMDS 분석을 수행한 결과, 대조구와 처리구간의 큰 차이는 확인되지 않았고 월별로 보았을 때 분포범위의 차이가 확인되었다(Fig. 3b). 양미역취의 중요치도 대조구와 처리구에서 모두 7 월에 가장 높았고 9 월에는 다시 감소하는 경향을 보였고, 군락내 종다양성은 양미역취의 중요치와 음의 상관성을 띠는 경향을 보였다(Fig. 3a). 양미역취의 제거가 종다양성을 증진시키는 효과를 확인했으나, 본 연구대상지는 양미역취가 고밀도로 우점하고 있는 대군락지로 제거 이후 여전히 우점하고 있으므로(Table 1), 양미역취의 생육시기가 군락내 종조성에 큰 영향을 주고 있는 것으로 보인다. 이는 본 대상지에서 양미역취를 지속적으로 관리해야 할 필요성을 시사한다. 또한 처리구에서 생태계교란 식물인 환삼덩굴의 중요치가 높아졌는데(Table 1), 이러한 부정적인 영향을 최소화 하기 위해 대체식생을 조성하는 등의 노력이 필요할 것으로 판단된다.

3.2 양미역취 제거 유무에 따른 양미역취의 생육 및 생리반응

양미역취의 지상부 길이는 7월에 대조구보다 처리구에서 유의적으로 짧았고($p < 0.05$), 9월에는 유의적인 차이는 없었지만, 대조구가 더 짧은 경향을 보였다(Fig. 4). 줄기 직경은 유의적인 차이가 없었으나, 지상부 길이의 결과와 유사한 경향을 보였다(Fig. 4). Kim(2022)은 낙동강 하류에 분포하는 양미역취의 지상부를 여름철(6월)에 1회 예초 후 같은 해 10월에 지상부 높이를 측정하였는데, 유의적인 차이가 없었으

나 예초한 곳에서 감소하는 경향을 확인하였고, 반복적인 예초가 지상부 높이를 감소시키는 것을 확인했다. 이러한 결과로 보았을 때, 1회의 제거로 양미역취의 지상부 생육을 감소시키기는 어려우며, 지상부의 생육을 저해하기 위해서는 반복적인 제거가 필요하다.

광계 II의 광화학적 이용효율(Fv/Fm)은 처리구에서 유의적으로 더 높았다($p < 0.01$). 대부분의 식물에서 Fv/Fm값은 스트레스가 없는 조건에서는 보통 0.83의 값을 가지고, 스트레스 환경에 놓이면 이보다 낮은 값을 가지게 되는데(Maxwell and Johnson, 2000), 본 연구결과에서 처리구의 양미역취가 대조구보다 0.83에 더 가까운 값을 가졌다(Fig. 5).

엽록소함량(SPAD)은 대조구와 처리구간의 유의적인 차이가 없었다(Fig. 5). Lee(2020)의 연구에서는 양미역취를 예초하지 않은 곳과 예초한 곳의 엽록소함량에 차이가 없었던 결과와 유사하다. 그러나 본 연구에서는 유의적인 차이는 없었으나, 처리구에서 엽록소함량이 약간 증가하는 경향을 보였다(Fig. 5).

광계 II의 광화학적 이용효율(Fv/Fm)과 엽록소 함량이 처리구에서 증가한 것은 밀도의존적인 식물의 특성이 반영된 것으로, 양미역취를 제거한 곳에서는 제거하지 않은 곳에 비해 종내경쟁이 감소했기 때문으로 판단된다(Antonovics and Levin, 1980).

양미역취의 단위면적당(m^2) 지상부 수는 대조구와 처리구에서 모두 생육초기보다 생육후기로 갈수록 감소하였다(Fig. 6), 이는 시간이 지남에 따라 양미역취의 지상부 생물량이 높아져, 개체간의 경쟁에 의한 결과이다(Buckley and Metcalf, 2006). 단위면적당 지상부수의 감소율은 대조구 62.8%, 처리구 65.9%로 처리구에서 상대적으로 높았다(Fig. 6). 또한 유의적인 차이는 없었으나 측정한 모든 월에 대조구보다 처리구에서 지상부의 수가 적었다(Fig. 6). 이는 양미역취의 물리적인 제거가 효과가 있음을 의미한다.

3.3 동진강변 양미역취 고밀도 군락 내 중장비를 활용한 제거 효과

동진강변 양미역취군락은 하천정비 사업 이후부터 개체군을 형성하여(MOLIT, 2021; Kim *et al.*, 2022), 정착 이후 시간이 지남에 따라 대규모의 고밀도 개체군을 이루고 있다(MOE and NIE, 2021). 양미역취가 분포하고 있는 부산 낙동강 하구에 분포하는 양미역취의 단위면적당 지상부의 수는 여름철(8월) 평균 61개체가 확인되었고(Kim, 2022), 제주도에 분포하는 양미역취의 단위 면적당 지상부의 수는 봄철(4월) 평균 105개체이었다(Lee, 2020). 본 연구대상지인 동진강변 양미역취의 단위 면적당 지상부의 수는 봄철에 평균

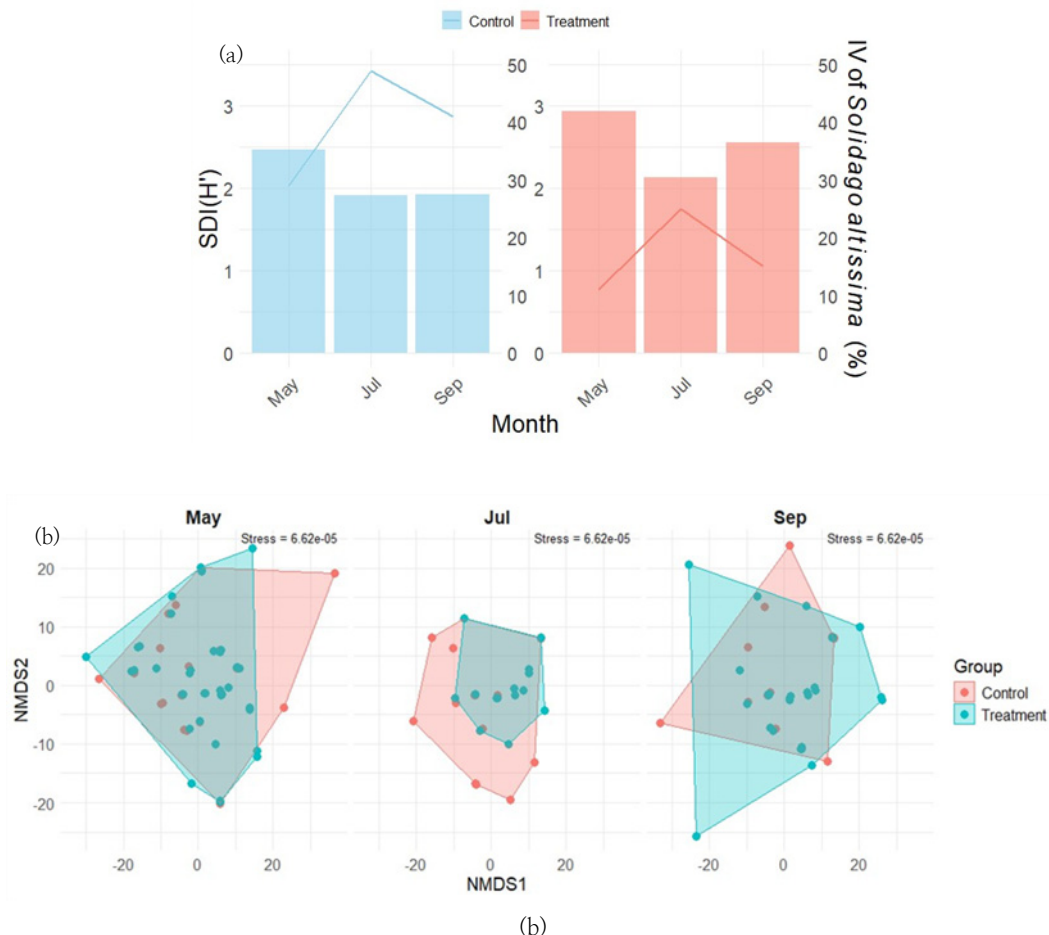
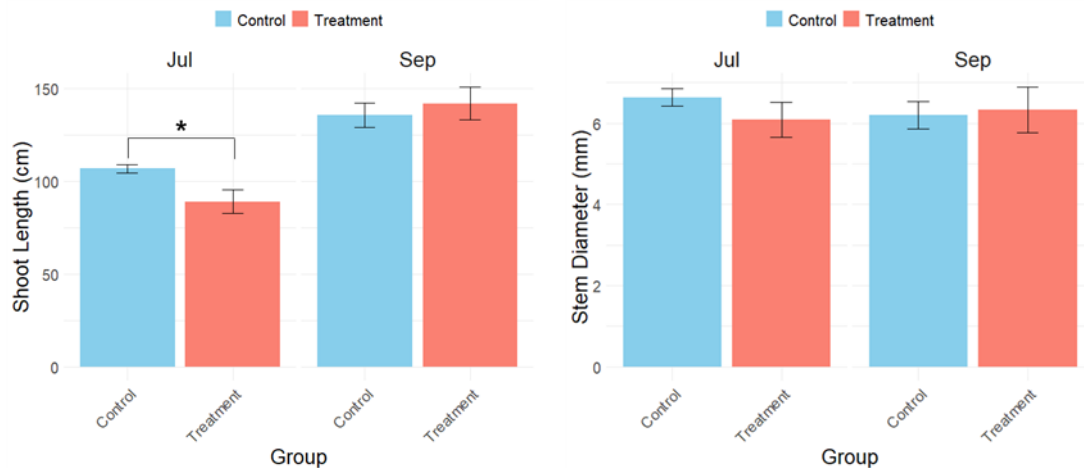
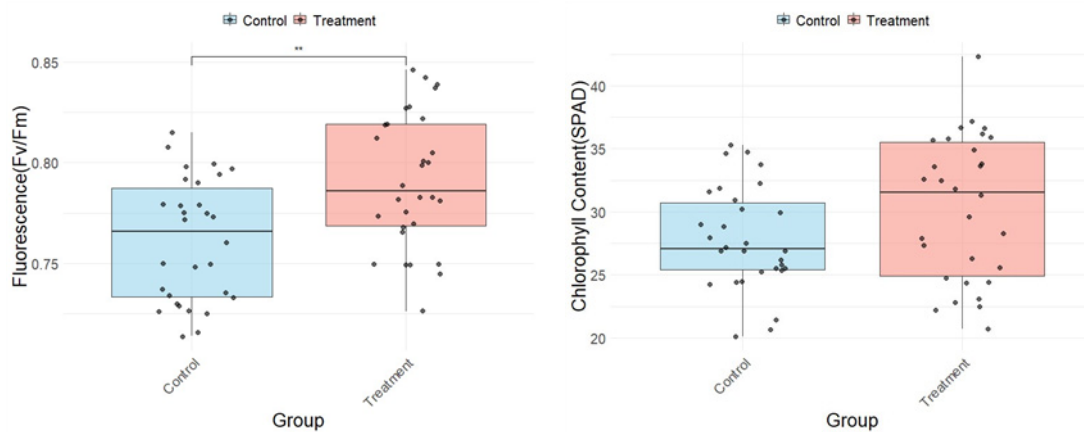


Fig. 3. Seasonal (May, July, September) variations in (a) the importance value (IV) of *S. altissima* (line graph) and species diversity index (SDI) (bar graph), and (b) species composition differences according to the removal of *S. altissima*.

Table 1. Seasonal (May, July, September) variations in the importance value (IV) of the *S. altissima* community according to the removal of *S. altissima*

Korean name	Scientific name	Importance value(%)						Frequency
		Control			Treatment			
		May	Jul	Sep	May	Jul	Sep	
양미역취	<i>Solidago altissima</i>	28.7	48.6	41.4	11.4	24.7	14.8	6
돌콩	<i>Glycine soja</i>	9	7.2	3.9	1.6	4.5	6.8	6
미국가막사리	<i>Bidens frondosa</i>	11.3	4.4	4.7	—	3.7	3.2	5
개여뀌	<i>Persicaria longiseta</i>	—	—	7.2	2.4	7.5	7.2	4
닭의장풀	<i>Commelina communis</i>	2.7	—	—	2.0	4.5	10.9	4
자귀풀	<i>Aeschynomene indica</i>	—	3.6	12.6	—	3.7	2.7	4
토끼풀	<i>Trifolium repens</i>	3.6	3.6	—	2.0	3.7	—	4
현여뀌	<i>Persicaria lapathifolia</i>	—	5.2	—	3.9	14.2	13.1	4
개피	<i>Beckmannia syzigachne</i>	3.2	3.6	—	3.9	—	—	3
물억새	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	2.7	4.4	5.5	—	—	—	3
참새귀리	<i>Bromus japonicus</i>	3.2	—	—	8.6	8.2	—	3
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i>	—	—	—	10.2	20.9	13.5	3
기타	<i>etc.</i>	35.7	19.6	24.6	54.1	4.5	27.7	1~2

Fig. 4. Shoot length(cm) and stem diameter(mm) of *S. altissima* in control and treatment in July and September.Fig. 5. Fluorescence(Fv/Fm) and chlorophyll content(SPAD) of *S. altissima* under control and treatment in September.

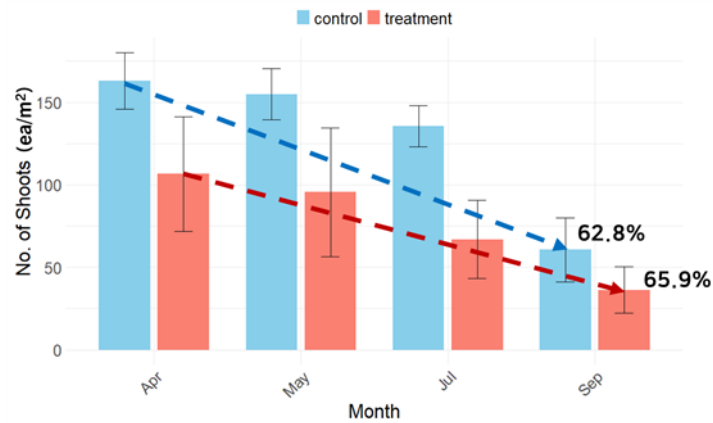


Fig. 6. Number of *S. altissima* shoots(ea/m²) in control and treatment from April to September. The arrow indicates the decreasing rate of the number of *S. altissima* shoots from April to September.

163±17개체, 여름철에 평균 135±12개체로 부산과 제주도의 양미역취 군락에 비해 높은 밀도로 생육하고 있다(Fig. 6). 이처럼 동진강변의 양미역취는 넓은 면적에 고밀도로 분포하고 있으므로 인력을 활용한 직접적인 뿌리째 뽑기는 한계가 있다.

본 연구에서 중장비를 활용하여 양미역취를 제거한 효과에 관해 확인한 결과, 양미역취의 개체군생장에 부정적인 영향을 주는 것으로 확인되었다(Fig. 4~6). 이와 유사하게 Gala-Czekaj *et al.*(2021)은 휴경기 내에서 예초와 경운의 방법이 양미역취의 생식 및 생장을 효과적으로 저해하며 생물다양성을 회복하는 데 영향을 주었다고 보고하였다. 따라서, 지상부를 제거하고 경운하는 방법은 양미역취를 관리하는 데 효과적임을 의미한다. 하지만 여전히 양미역취가 군락 내에서 높은 중요치를 보이고 있고, 종다양성에 영향을 주는 요인으로 작용하고 있는 점에서(Fig. 3a, Table 1), 지속적인 관리가 동진강변 양미역취 제거의 핵심으로 판단된다.

양미역취는 지상부 한 개에서 약 20,000개의 종자를 생산할 수 있고, 침입 초기에 정착은 종자로부터 발아한 개체가, 이후 개체군의 확장은 무성번식인 뿌리줄기를 통해 발생한다(Hartnett and Bazzaz 1985; Eriksson 1993; Meyer and Schmid, 1999). 따라서 양미역취는 침입 초기에 제거하는 것이 가장 효과적일겠지만, 고밀도 군락을 형성한 지점은 해당 개체군의 확장을 방지하기 위해 무성번식을 억제하는 것과 동시에 다른 지점으로 침입을 막기 위해 종자 확산 방지 전략이 필요하다.

식물의 각 개체는 생장, 유지 및 생식에 사용할 자원이 한정되어 있으므로(Barbour *et al.*, 1980), 지상부의 제거는 결과적으로 생장과 유지에 많은 자원을 사용하게 하여 양미역취의 개화 및 결실에 부정적인 영향을 줄 수 있고, 종자 생산량을 감소시킬 수 있다. 양미역취의 뿌리줄기는 지상부 중 특히 줄기 생장에 많은 자원을 분배하고, 생장한 줄기와 잎은 꽃차례 형성에 많은 자원을 분배한다(Walck *et al.*, 2001). 그리고 뿌리줄기의 절단은 양미역취의 종자 생산과

무성번식 모두 저해한다(Meyer and Schmid, 1999). 본 연구에서는 양미역취의 지상부를 굴착기로 제거하고 농기계로 토양을 갈아엎어 양미역취의 뿌리줄기 절단을 초래하여 생육에 부정적인 영향을 줄 수 있는 방법을 사용하였다. 그러나 양미역취는 무성번식이 가능한 종으로 뿌리줄기를 직접 걷어내는 등의 방법을 병행한다면 개체군의 세력을 더 효과적으로 약화시킬 수 있으며, 성공적인 관리가 될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 동진강 일대 생태계교란 식물인 양미역취의 중장비를 활용한 제거 효과를 확인하였다. 그 결과, 양미역취의 제거는 양미역취의 생육과 생리 반응을 저해하고, 종다양성에는 긍정적인 영향을 주었다. 이는 고밀도 군락에서 중장비를 활용한 양미역취 제거가 효과적임을 시사한다. 따라서 동진강 일대에서 양미역취는 넓은 면적에 고밀도로 분포하고 있으므로 지속적인 관리가 필수적이다. 특히 직접 뿌리째 뽑는 방법은 한계가 있으므로 예초기나 굴착기 등을 이용해 지상부를 먼저 제거하고 중장비를 활용한 토양 갈아엎기를 병행하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 이러한 지상부 제거 및 토양 갈아엎기 이후에는 뿌리줄기를 수거하거나, 대체식생 조성을 통해 부정적인 영향을 최소화하는 추가적인 관리 방안이 필요하다. 또한, 토양 내 매도된 종자를 확인하는 등 제거 효과를 지속적으로 모니터링하여 연차별 맞춤형 방안을 제시하는 것이 중요하다. 본 연구 결과는 양미역취의 관리계획 수립에 기초자료로 활용될 것으로 기대되며, 향후 서식처 유형별 관리방안 마련을 위한 지속적인 연구가 필요하다.

사 사

본 논문은 환경부의 재원으로 국립생태원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIE-법정연구-2024-09).

References

- Abrahamson, W. G., Doherty, K. B., Houseknecht, H. R., and Pecone, C. A. (2005). Ecological divergence among five co-occurring species of old-field goldenrods. *Plant Ecology*, 177, 43–56.
- Antonovics, J., and Levin, D. A. (1980). The ecological and genetic consequences of density-dependent regulation in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11, 411–452.
- Barbour, M. G., Burk, J. H., and Pitts, W. D. (1980). *Terrestrial plant ecology*. 604 pp.
- Bhagwat, S. A., Breman, E., Thekaekara, T., Thornton, T. F., and Willis, K. J. (2012). A battle lost? Report on two centuries of invasion and management of *Lantana camara* L. in Australia, India, and South Africa. *PLoS One*, 7(3), e32407.
- Buckley, Y. M., and Metcalf, J. (2006). Density dependence in invasive plants: Demography, herbivory, spread, and evolution. In *Conceptual ecology and invasion biology: Reciprocal approaches to nature* (pp. 109–123). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Bullock, J. M., Hill, B. C., and Silvertown, J. (1994). Demography of *Cirsium vulgare* in a grazing experiment. *Journal of Ecology*, 101–111.
- Caswell, H. (1989). *Matrix population models*. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Clements, D. R., Day, M. D., Oeggerli, V., Shen, S. C., Weston, L. A., Xu, G. F. and Zhu, X. (2019). Site-specific management is crucial to managing *Mikania micrantha*. *Weed Research*, 59(3), 155–169.
- Cousens, R., and Mortimer, M. (1995). *Dynamics of weed populations*. Cambridge University Press.
- Eriksson, O. (1993). Dynamics of genets in clonal plants. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(9), 313–316.
- Gala-Czekaj, D., Synowiec, A., and Dąbkowska, T. (2021). Self-renewal of invasive goldenrods (*Solidago* spp.) as a result of different mechanical management of fallow. *Agronomy*, 11(6), 1065.
- Hartnett, D. C., and Bazzaz, F. A. (1983). Physiological integration among intracolonial ramets in *Solidago canadensis*. *Ecology*, 64(4), 779–788.
- IPBES. (2023). Summary for policymakers of the thematic assessment report on invasive alien species and their control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. In H. E. Roy, A. Pauchard, P. Stoett, T. Renard Truong, S. Bacher, B. S. Galil, P. E. Hulme, T. Ikeda, K. V. Sankaran, M. A. McGeoch, L. A. Meyerson, M. A. Nuñez, A. Ordóñez, S. J. Rahlao, E. Schwindt, H. Seebens, A. W. Sheppard, and V. Vandvik (Eds.), IPBES invasive alien species assessment (pp. 1–56). IPBES Secretariat. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430692>
- JBGEC (Jeonbuk Green Environment Center). (2016). Monitoring of the Saemangeum Lake Natural Ecosystem and Sediment (III). pp. 1–664.
- Kettenring, K. M., and Adams, C. R. (2011). Lessons learned from invasive plant control experiments: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 48(4), 970–979.
- Kim, B. G., Kim, S. W., and Chun, J. Y. (2022). Current status and sustainable use of ecological, historical, and cultural resources of Dongjin River. *Geonji Humanities*, 34, 5–40.
- Kim, G. Y. (2022). Effects of mowing and uprooting on the height and density of the invasive alien plant *Solidago altissima* L. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 55(3), 221–230.
- Kim, H. S., Cho, Y. J., and Kwak, S. R. (2019). Management plan and distribution of ecosystem-disturbed plants in the lower Yeongsan River area. *JKI*, 31(1), 257–276.
- KMA. (2024). Open MET data portal, <https://data.kma.go.kr/> Accessed August 16, 2024.
- Lee, I. Y., Kim, S. H., Lee, Y. H., and Hong, S. H. (2023). Occurrence characteristics and management plans of invasive alien plant, *Solidago altissima* L. *Weed & Turfgrass Science*, 12(3), 217–229.
- Lee, M. H. (2020). A study on the environmentally friendly management of the invasive alien species *Solidago altissima* L. Master's thesis, Jeju University, pp.15–66.
- Maxwell, K., and Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659–668.
- Meyer, A. H., and Schmid, B. (1999). Experimental demography of the old-field perennial *Solidago altissima*: The dynamics of the shoot population. *Journal of Ecology*, 87(1), 17–27.
- MOE and KEITI. (2021). Development of physical removal techniques for invasive alien plants based on soil seedbank resilience management. pp. 1–301.
- MOE and NIE. (2021). Information for the field management of invasive alien species in Korea. pp. 218–223.
- MOLIT. (2021). Dongjin River: Construction record of the river environment improvement project, the waterway of life through history, 2014–2020: photo docu.. pp. 1–363.
- NIER. (2006). A study of detailed survey on invasive alien species in Korea and designation of invasive alien species in foreign countries. pp. 1–408.
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment*

- for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rim, H., Lee, M., and Song, U. (2023). Mowing inhibits the invasion of the alien species *Solidago altissima* and is an effective management strategy. *Management of Biological Invasions*, 14(1), 63–79.
- Ryu, T. B., Lim, J. C., Lee, C. H., Kim, E. J., and Choi, B. K. (2017). Distribution of invasive species in metropolitan Busan, South Korea. *Journal of Life Science*, 27(4), 408–416.
- Schmid, B. (1990). Some ecological and evolutionary consequences of modular organization and clonal growth in plants. *Evolutionary Trends in Plants*, 4, 25–34.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423.
- Tang, W., Kuang, J., and Qiang, S. (2013). Biological control of the invasive alien weed *Solidago canadensis*: combining an indigenous fungal isolate of *Sclerotium rolfsii* SC64 with mechanical control. *Biocontrol Science and Technology*, 23(10), 1123–1136.
- van Wilgen, B., Richardson, D., and Higgins, S. I. (2001). Integrated control of invasive alien plants in terrestrial ecosystems. *Land Use and Water Resources Research*, 1.
- Walck, J. L., Baskin, J. M., and Baskin, C. C. (2001). Why is *Solidago shortii* narrowly endemic and *S. altissima* geographically widespread? A comprehensive comparative study of biological traits. *Journal of Biogeography*, 28(10), 1221–1237.
- Weber, E. (2017). Invasive plant species of the world: a reference guide to environmental weeds. Cabi.
- Werner, P. A., Gross, R. S., and Bradbury, I. K. (1980). The biology of Canadian weeds: 45. *Solidago canadensis* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 60(4), 1393–1409.
- Westhoff, V., and van der Maarel, E. (1978). The Braun–Blanquet approach. In *Classification of plant communities* (pp. 287–399). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer–Verlag New York.
- Yuan, G. (2008). Study on the control of *Solidago canadensis* by spraying metsulfuron–methyl. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 32, 14188–14189.