KJEE 55(3): 221-230 (2022)
https://doi.org/10.11614/KSL.2022.55.3.221
ISSN: 2288-1115 (Print), 2288-1123 (Online)

Original article

생태계교란식물 양미역취(*Solidago altissima*)의 제거방법에 따른 식물의 길이성장과 밀도에 미치는 영향

김구연[1,2,*]

[1]경남대학교 과학교육과, [2]경남대학교 생물다양성센터

Effects of Mowing and Uprooting on the Height and Density of the Invasive Alien Plant *Solidago altissima* L.

Gu-Yeon Kim[1,2,*] (0000-0003-1071-0383) ([1]*Department of Science Education, Kyungnam University, Changwon 51767, Republic of Korea;* [2]*Biodiversity Center, Kyungnam University, Changwon 51767, Republic of Korea*)

Abstract The spread of invasive alien plants is one of the most important causes of habitat and biodiversity loss. This research was conducted to secure basic data for the control of the invasive alien plant *Solidago altissima*. The following research objects were examined: the control; one-time mowing in June (1M6); two-time mowing in June and July (2M6M7); one-time mowing in Jun plus one-time Uprooting in July (2M6U7). The length growth in October, when the growth of *S. altissima* was completed, was in the order of control (199 ± 19.96 cm), 1M6 (152 ± 13.41 cm), 2M6U7 (54 ± 3.17 cm), and 2M6M7 (45 ± 19.96 cm). The 2M6M7 and 2M6U7 treatment was the most effective at inhibiting *S. altissima* of density, of 50.8% and 26.2% compared to the control, respectively. In contrast, one-time mowing (1M6) resulted in an increase in density compared to the control by 119.7%. In addition, this treatment also reduced flowering rate (%) of *S. altissima*. The most effective treatment among those tested was 2M6U7.

Key words: mowing, uprooting, density, invasive alien plant, *Solidago altissima*

서 론

생태계교란식물 양미역취(*Solidago altissima*)는 북아메리카 원산지로 하천변을 비롯하여, 길가 및 공터 그리고 습지 가장자리에 무리지어 서식하는 국화과(Asteraceae) 다년생 초본이다. 길이가 2 m 이상 크게 자라며 생육밀도가 높고, 지하부의 땅속줄기(rhizome)가 매우 발달한 식물이다. 원산지인 북미 전역의 대초원, 삼림 가장자리 및 오래된 들판에서 2차 천이 초기 단계의 지배적인 식물로 알려져 있다(Semple and Cook, 2006). 양미역취는 유럽과 일본을 비롯하여 우리나라에서 밀원용 또는 관상용으로 도입하여 유용하게 활용되어 왔으며 그 분포가 크게 확장되었다(Weber and Schmid, 1993). 양미역취는 런던(1640년)을 시작으로 파리(1659년), 암스테르담(1737년), 1830년부터 유럽 전역과 일본, 중국, 한국, 대만 등의 동아시아 국가까지 전 세계적으로 확산되어 생태계를 교란하여 피해를 주는 것으로 보고되고 있다(Li, 1978; Weber and Schmid, 1993; Weber, 1998; Hua and Shuiliang, 2004; Kil *et al.*, 2004; Szymura and Szymura, 2016). 양미역취를 포함한 *Solidago* 속은 키가 크고 생육밀도가 높아서 서식지에서 토양과 빛 환경을 변화시키고, 물

Manuscript received 8 September 2022, revised 19 September 2022, revision accepted 19 September 2022
* Corresponding author: Tel: +82-55-249-2447, Fax: +82-505-999-2150
E-mail: kimguyeon@kyungnam.ac.kr

ⓒ The Korean Society of Limnology. All rights reserved.
This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

리화학적 변화에 따른 생물량의 변화로 생태계교란이 발생하여 서식지의 생물다양성을 감소시키는 것으로 알려져 있다(Jakobs *et al.*, 2004; Scharfy *et al.*, 2009; Jezierska-Domaradzka and Domaradzki, 2012; Nagy *et al.*, 2020). 또한 다른 식물종의 정착을 방해하고 새와 곤충의 종수와 개체수 감소 등은 대표적 피해사례이다(De Groot *et al.*, 2007; Moroń *et al.*, 2009; Skórka *et al.*, 2010).

양미역취는 우리나라에서 1969년 전남 보성에서 최초로 확인되었으며, 이후 다른 지역에서 분포가 확인되고 있으며, 특히 남부 지역을 중심으로 급속하게 확장되었다(Kil and Kim, 2014; Kim and Kil, 2016; Park *et al.*, 2020). 미역취속(*Solidago*)은 전 세계적으로 약 120종이 있으며, 우리나라에는 침입외래식물 양미역취(*S. altissima*)와 미국미역취(*S. gigantea* subsp. *serotina* (Aiton) McNeil), 자생식물 미역취(*S. japonica*), 두메미역취(*S. dahurica*), 울릉미역취(*S. virgaurea* subsp. *gigantea*) 총 5개 분류군이 분포한다(Jang *et al.*, 2012). 양미역취는 국내에서도 자생식물의 정착을 방해하고 고유 식생의 교란 등의 문제를 야기시키는 것으로 보고되고 있다(Lee *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2019; Gwak *et al.*, 2021; Rim *et al.*, 2022). 이러한 이유로 양미역취는 환경부의 2009년 생태계교란야생생물로 지정하여 관리하고 있다. 그럼에도 불구하고 우리나라에서는 기후 변화를 비롯한 환경 변화에 의해 양미역취의 분포는 지속적으로 확장될 것으로 예측되고 있다(Park *et al.*, 2020).

양미역취를 포함한 *Solidago* 속에 관한 연구는 식물종의 유전적 다양성과 곤충과의 상호작용(Crutsinger *et al.*, 2008), 화학적 방어(Bode and Kessler, 2012; Heath *et al.*, 2014), 토양환경과 형태적 다양성(Szymura and Szymura, 2013) 등 다양하게 연구되어 왔다. 국내에서 양미역취에 대한 연구는 분류(Jang *et al.*, 2012), 지상부 예초 효과(Rim *et al.*, 2022), 잠재 분포 변화 예측(Park *et al.*, 2020) 그리고 양미역취 분포(Lee *et al.*, 2015; Lim *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2019; Gwak *et al.*, 2021)에 제한되어 있어서 지역 내 생태계교란 침입외래식물 양미역취의 분포를 제한하는 제거 관리를 위한 연구가 미흡한 실정이다.

낙동강하구는 플랑크톤과 어류, 패류, 수서곤충 등이 풍부하며, 생물다양성이 높고, 겨울새의 월동지, 철새의 이동경로로 철새도래지로서의 가치가 높은 곳으로 평가되고 있다(van Sluis and Lijklema, 1984; Kim *et al.*, 2005; Kim, 2020). 그러나 최근 낙동강하구 일대에 양미역취의 유입과 분포가 확대(Lim *et al.*, 2017; Ryu *et al.*, 2017; Park *et al.*, 2020)되고 있으며, 낙동강하구 생태공원 교란율은 다른 지역과 비교하여 높은 것으로 나타나(Gwak *et al.*, 2021) 교란 정도가 심각한 상황인 것으로 판단되며, 생태계교란으로 인한 문제발생이 우려되고 있어 적절한 관리방안이 시급한 실정이다.

따라서, 본 연구는 낙동강하구에서 수변생태공원과 철새도래지 일대에 우점하는 생태계교란식물 1) 양미역취 분포와 2) 양미역취 군락에서 식물체 제거횟수와 제거방법에 따른 식물의 길이성장과 밀도 그리고 개화율 평가를 통하여 양미역취 분포를 제한하는 효과적인 관리방안을 모색하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

본 연구의 대상지역은 낙동강 최하류 지역으로 낙동강하구 일대에 위치한 5개 생태공원으로 낙동강하굿둑 상류 둔치에 조성된 총 면적 343만 평의 수변생태공원(맥도, 삼락, 대저, 화명)과 낙동강하굿둑 하류에 조성된 철새도래지를 포함한 을숙도 생태공원이다(Fig. 1). 대상지역은 낙동강하류의 제외지로서 둔치와 고수부지, 경작지 및 체육시설(야구장, 축구장 등) 등을 포함한 잠재범람권역이다(Lim *et al.*, 2017; Gwak *et al.*, 2021). 부산광역시 북구, 강서구, 사상구, 사하구에 위치해 있으며, 지리적으로 동경 128°55′58″~129°0′38″, 북위 35°6′40″~35°15′20″에 해당한다. 생태계교란종 관리방법 모색을 위한 양미역취 제거실험은 대저생태공원에서 진행되었다(Fig. 1). 대저생태공원은 강서구 대저1동 일원에 위치하며, 습지를 비롯하여 0.37 km^2 넓이의 유채꽃단지, 야구장과 축구장 등이 조성된 자연생태 친수공간이다.

연구 지역의 기후는 사계절이 뚜렷한 온대기후이며, 남부 지역의 해안에 위치하고 있어 해양성 기후의 특징을 나타낸다. 연구 지역의 평균기온과 강수량을 확인한 결과, 1991년부터 2020년까지 30년 평균기온은 14.5°C, 평균강수량 1,395 mm였다(AMO, 2021). 조사 시기인 3월부터 10월까지의 월별 평균기온과 누적 강수량을 확인한 결과, 2021년 평균기온은 30년 평년값보다 평균기온 1.85°C가 높았고, 7월과 8월의 강수량은 400 mm 이상을 기록하여 하계집중형 강우패턴을 보였다(Fig. 2).

바다와 만나는 지점에 위치하는 낙동강하구 생태공원은 다른 지역에 비해 상대적으로 수계 폭이 넓고 유량이 많으며(Lim *et al.*, 2017), 유속 흐름이 느려 퇴적이 활발한 비옥한 땅이다. 생태공원은 낙동강 본류의 대표적인 수변 문화공간으로 철새 서식환경 보호, 생물서식공간, 오염된 샛강 정비, 수질 및 수변의 건강성을 높이는 목적으로 조성되었다(Choi *et al.*, 2021). 부산 서부시민이 연간 약 50만 명이 이용하는(An, 2014) 지속적으로 개발과 교란이 진행되는 지역이다.

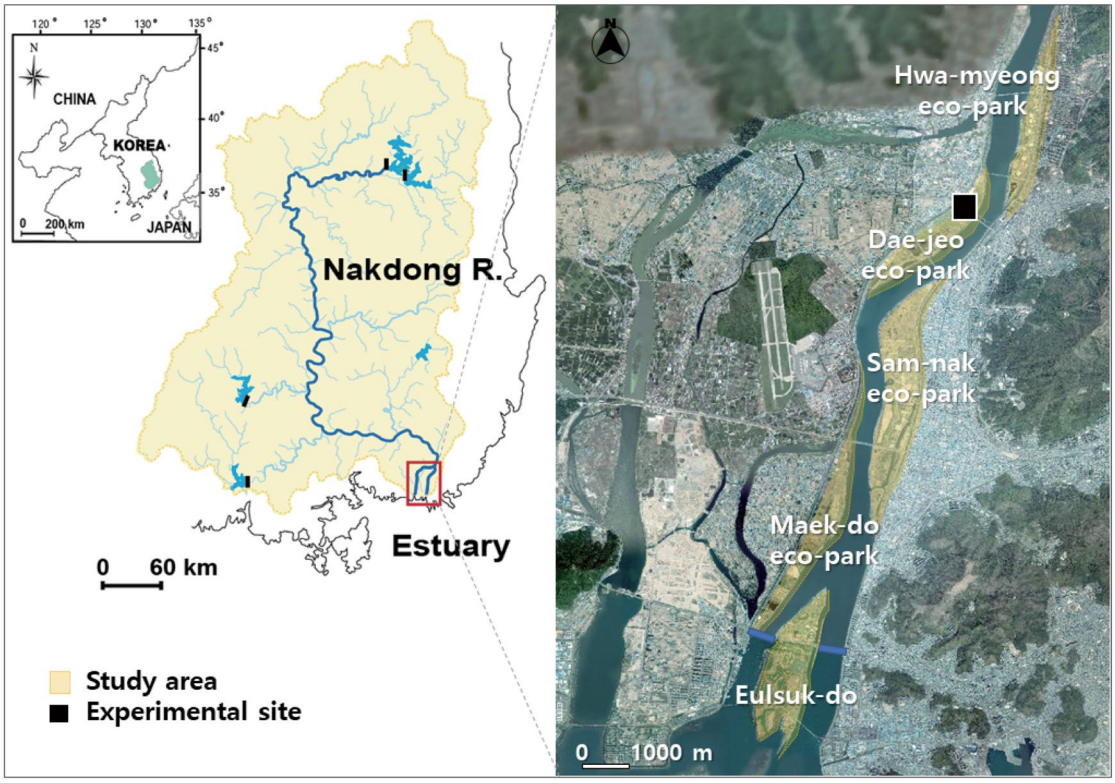

Fig. 1. Map of the study area. The square box filled with black is the experimental site.

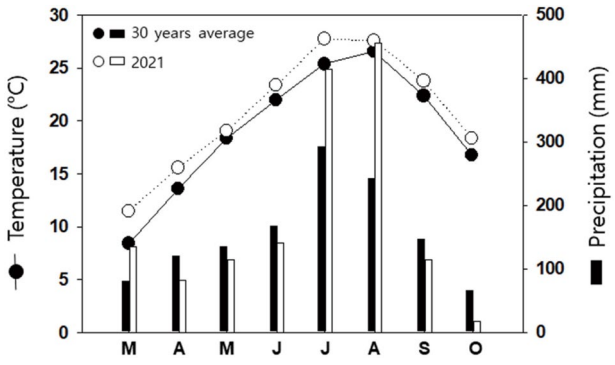

Fig. 2. Monthly precipitation and temperature during the study period in Gimhae airport.

2. 양미역취 분포 및 식물체 제거실험

양미역취 분포조사는 2021년 3월부터 11월까지 연구대상지 5개 생태공원마다 3~5회에 걸쳐서 현장조사를 수행하였다. 현장조사를 통하여 10 m^2 이상의 군락을 대상으로 위성항법장치(GPS Vista, Garmin)를 이용하여 위치를 기록하였다.

생태계교란종 양미역취의 제거작업에 대한 효과실험은 대저생태공원 내 양미역취 군락에서 대조구(Control), 지상부 1회(6월) 예초(1M6), 지상부 2회(6월과 7월) 예초(2M6M7), 지상부 예초(6월) 및 뿌리째뽑기(7월) (2M6U7)로 구분하여 5×5 m의 방형구를 각각 설치하였으며, 이들을 각각 1×1 m 소방형구로 다시 세분하여 반복구로 설정하였다. 식물체 제거는 방형구의 내부와 외부의 1 m 범위를 포함하여 1) 예초(mowing): 예초기를 이용하여 지표면의 고사체를 포함한 모든 식물체를 베어서 제거하거나, 2) 뿌리째뽑기(uprooting): 식물체의 지상부와 지하부를 포함한 식물체 전체를 뿌리째뽑기 방법으로 구분하여 진행되었다. 대저생태공원 양미역취 군락 제거실험에서 동반되는 출현식물을 동정하여 기록하였다. 양미역취의 계절별 길이성장 관찰은 2021년 3월부터 10월까지 진행되었다. 각각의 처리군에서 0.5×0.5 m 방형구를 이용하여 무작위로 식물을 채취하였다. 채취한 식물의 지상부는 실험실로 운반한 후 줄자를 이용하여 식물의 길이를 측정하였고, 개화 유무를 관찰하였다.

양미역취의 성장과정에 식물체의 예초와 뿌리째뽑기에 따른 성장 비교 통계분석은 SPSS 프로그램을 활용하여 one-way ANOVA와 Scheffe's test로 유의성을 검정하였으며, 통계적 유의수준은 $p<0.05$를 기준으로 하였다.

결과 및 고찰

낙동강하구 생태공원에 분포하는 생태계교란 침입외래식물 양미역취의 분포는 Fig. 3에 나타내었다. 연구 결과 모든 생태공원에서 양미역취 단순우점군락이 넓은 면적으로 분포하고 있는 것으로 확인되었다(Fig. 3). 전체 연구 지역 내 양미역취군락의 패치 개수는 총 109개로 나타났다. 생태공원별 패치 개수는 삼락생태공원(33개, 30.3%), 대저생태공원(31개, 28.4%), 맥도생태공원(22개, 20.2%), 을숙도철새·생태공원(15개, 13.8%), 화명생태공원(8개, 7.3%) 순으로 나타났다(Fig. 3). 양미역취는 을숙도철새·생태공원은 수로형 습지에서 높은 분포가 관찰되었고, 나머지 생태공원은 내부탐방로와 인공시설물 등에서 밀생하였다. 낙동강하구에코센터 운영결과 보고서에 따르면 2021년 낙동강하구 생태공원 내 양미역취 분포면적은 총 741,355 m^2으로, 삼락생태공원 193,555 m^2, 대저생태공원 185,967 m^2, 맥도생태공원 182,872 m^2, 을숙도철새·생태공원 152,983 m^2 , 화명생태공원 25,978 m^2 순으로 패치수와 분포면적 크기순은 유사하였다. 낙동강하구 생태공원은 문화 및 체육시설이용, 차량이동 및 생태탐방 등 인간의 활동이 빈번한 지역으로 양미역취를 포함한 생태계교란종의 분포확대의 가능성이 높을 것으로 판단되며, 분포지역 확대를 방지하기 위한 생태공원 내 귀화식물과 생태계교란식물에 대한 모니터링 및 관리가 요구된다.

대저생태공원 양미역취 군락에서 식물체 제거실험이 이루어진 방형구에서 2021년 3월부터 10월까지 양미역취와 함께 관찰된 종은 총 12과 31분류군이 확인되었다. 귀화식물은 총 7분류군(22.6%)이 관찰되었으며, 생태계교란종 식물 단풍잎돼지풀(*Ambrosia trifida*)과 환삼덩굴(*Humulus japonicus*)이 출현하였다(Table 1). 망초(*Conyza canadensis*), 환삼덩굴(*H. japonicus*) 등은 교란이 잦은 서식처의 특성이 반영된 것으로 보인다. 전체식물상에서 벼과(Poaceae, 10분류군)와 국화과(Asteraceae, 8분류군)가 2개의 과에 속한 분류군이 절반 이상을 차지하였고, 다른 과는 각각 1~2분류군만 확인되었다. 식물체 제거방법에 따른 식물종 다양성은 구분하지 않았다.

대저생태공원 양미역취 군락에서 식물체 제거작업이 시행되지 않은 대조구의 식물체 길이성장은 계절적 특성이 관찰되었다. 양미역취 길이성장은 3월말부터 지상부에 로제트형 잎을 발생하여 식물이 성장을 시작하였으며, 5월말 평균길이 42 cm에서 여름시기 초입의 6월말 평균길이 108 cm로 가장 가파른 성장발달이 관찰되었다(Fig. 4). 8월말 평균길이 186 cm, 10월초 평균길이 199 cm로 길이성장은 마무리되었다. 6월말 1회 지상부 제거(예초, 1M6) 처리를 한 양미역취는 제거 한 달 후 7월말 평균길이 107cm, 10월초 평균길이 152 cm로 성장하였다. 6월과 7월 2회에 걸쳐 예초(2M6M7)로 식물체 제거가 이루어진 군락에서 양미역취 길이성장은 8월말 27 cm, 10월초 45 cm로 성장하였다. 6월 예초와 7월 뿌리째뽑기로 총 2회 식물체 제거(2M6U7)가 이루어진 군락에서 양미역취 길이성장은 8월말 41 cm, 10월초 54 cm로 성장하

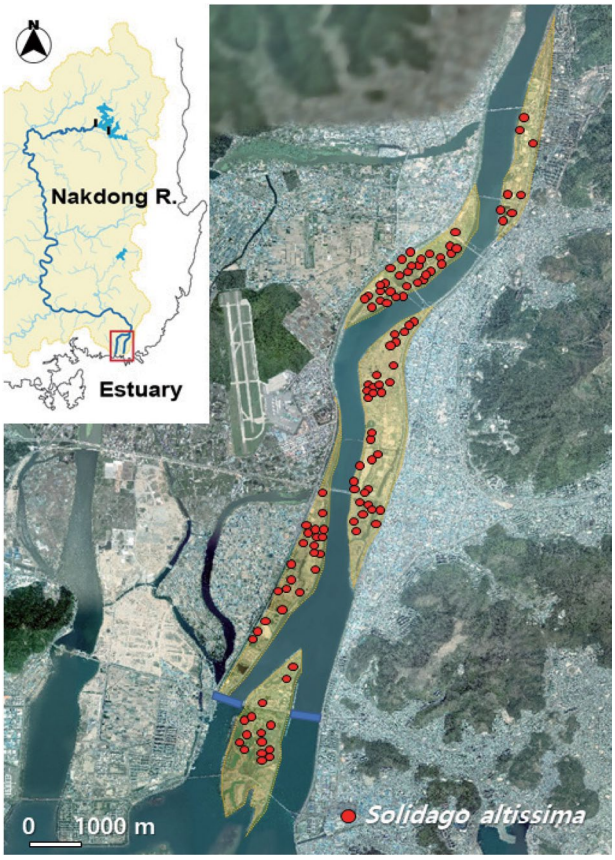

Fig. 3. Distribution of *Solidago altissima*.

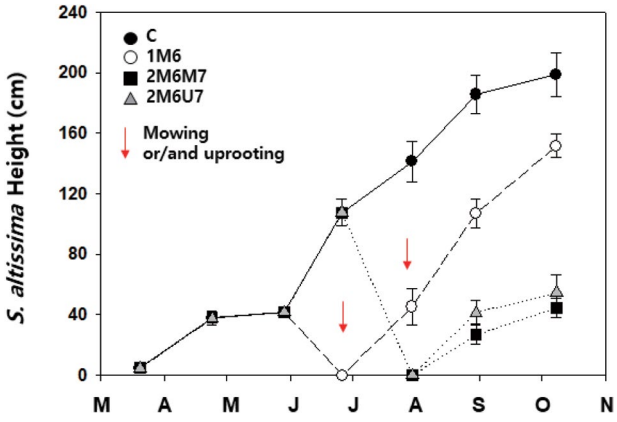

Fig. 4. Change of shoot height of *Solidago altissima* at each plots.

Table 1. List of plant species investigated in the *Solidago altissima* community of the Nakdong River Dae-jeo eco-park.

Family	Scientific name	Korean name	Note
Asteraceae	*Erigeron annuus*	개망초	*
	Ambrosia trifida	단풍잎돼지풀	*
	Conyza canadensis	망초	*
	Bidens tripartita	가막사리	
	Youngia japonica subsp. *elstonii*	뽀리뱅이	
	Artemisia indica	쑥	
	Solidago altissima	양미역취	*
	Lactuca indica	왕고들빼기	
Commelinacea	*Commelina communis*	닭의장풀	
Polygonaceae	*Persicaria perfoliata*	며느리배꼽	
	Rumex crispus	소리쟁이	*
Chenopodiaceae	*Chenopodium album*	명아주	
	Chenopodium ficifolium	좀명아주	*
Asclepiadaceae	*Metaplexis japonica*	박주가리	
Poaceae	*Phragmites australis*	갈대	
	Phalaris arundinacea	갈풀	
	Setaria viridis	강아지풀	
	Echinochloa crus-galli	돌피	
	Alopecurus aequalis	뚝새풀	
	Miscanthus sacchariflorus	물억새	
	Digitaria ciliaris	바랭이	
	Calamagrostis epigeios	산조풀	
	Miscanthus sinensis	억새	
	Bromus japonicus	참새귀리	
Amaranthace	*Achyranthes bidentata* var. *japonica*	쇠무릎	
Cannabaceae	*Humulus japonicus*	환삼덩굴	
Equisetaceae	*Equisetum arvense*	쇠뜨기	
Brassicaceae	*Capsella bursa-pastoris*	냉이	
	Brassica napus	유채	
Rosaceae	*Duchesnea indica*	뱀딸기	
Scrophulariaceae	*Veronica arvensis*	선개불알풀	*

*: naturalized plant

였다(Fig. 4).

양미역취 성장이 거의 완료된 10월초의 대조구와 실험구에서 최종 평균 길이성장은 대조구(199±19.96 cm), 1M6 (152±13.41 cm), 2M6U7 (54±3.17 cm), 2M6M7 (45±19.96 cm) 순으로 나타났으며, 대조구와 1M6, 2M6M7, 2M6U7 그룹으로 구분되었다(Table 2, Fig. 5(a)). 실험 결과 길이성장은 통계적으로 처리군별 차이는 유의수준 5% 이내로 차이가 있는 것으로 판명되었다. 양미역취 식물체의 1회 제거보다 2회 제거에서, 2회 제거한 식물체는 예초/뿌리째뽑기보다 예초 방법이 길이성장을 더 효과적으로 억제하는 것으로 나타났다.

양미역취군락의 식물체 제거에 따른 단위면적당(m^2) 평균 밀도는 1M6 실험구 73개체로 가장 높았으며, 대조구 61개체, 2M6M7 실험구 31개체, 2M6U7 실험구 16개체 순으로 나타났다(Table 2, Fig. 5(b)). 식물체 제거에 따른 밀도 효과는 유의수준 5%에서 유의하게 나타났으며, Scheffe's test에 의한 비교 결과 대조구와 1회 식물체 제거(1M6), 2회 식물체 제거(2M6M7, 2M6U7) 그룹으로 구분되었다. 식물체 제거횟수가 밀도에 영향을 주며, 식물체 제거방법에 따른 효과는 유의하지 않았다.

양미역취군락의 식물체 제거에 따른 평균 개화율(flowering rate, %)은 대조구 97±5.77 (%), 1M6 실험구 77±5.77 (%), 2M6M7 실험구 30±10.00 (%), 2M6U7 실험구 0±0.00 (%) 순으로 나타났다(Table 2, Fig. 6). 식물체 제거에

Table 2. The effect of treatments on the growth characteristics of *Solidago altissima* (mean ± s.e., n = 3). Treatment differences were tested with one-way ANOVA and significance levels are shown. Homogeneous groups were separated using the Scheffe's test, and different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) (1M6: Mowed once in June, 2M6M7: Mowed twice in June and July, 2M6U7: Mowed once in June and Uprooted once in July).

Parameters	Treatments				Stastics
	Control	1M6	2M6M7	2M6U7	*p*
Shoot height (cm)	199 ± 19.96a	152 ± 13.41a	45 ± 19.96b	54 ± 3.17c	< 0.001
Shoot density (m^{-2})	61 ± 6.56a	73 ± 8.19a	31 ± 8.54b	16 ± 1.53b	< 0.001
Flowering rate (%)	97 ± 5.77a	77 ± 5.77b	30 ± 10.00c	0 ± 0.00d	< 0.001

M: Mowing, U: Uprooting

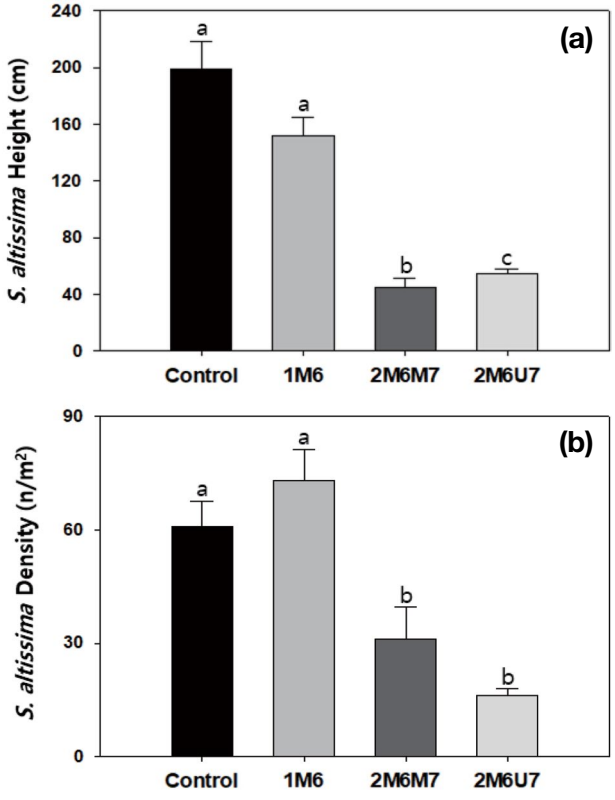

Fig. 5. The shoot height (October 2021) and density (August 2021) of *Solidago altissima* at each plots.

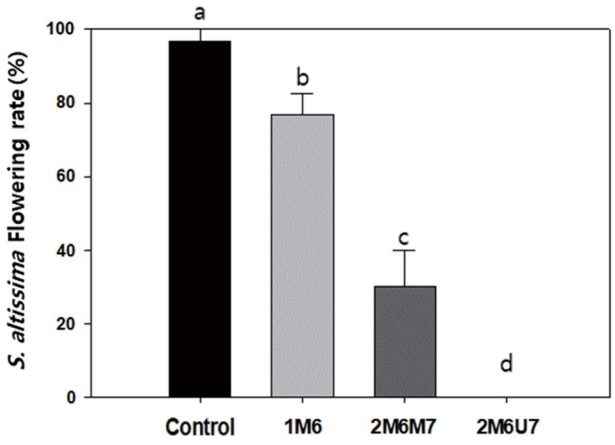

Fig. 6. The flowering rate (%) of *Solidago altissima* at each plots (October 2021).

따른 개화율 효과는 유의수준 5%에서 유의하게 나타났으며, Scheffe's test에 의한 비교 결과 대조구와 실험처리군별 모두 서로 다른 것으로 분석되었다.

본 연구에서 6월말 1회 지상부 제거(예초)는 밀도 증가가 관찰되어 식물의 성장을 억제하는 데 효과적이지 않은 것으로 분석되었으며, 일본에서 5월 예초 후 성장(Fujii *et al.*, 2005) 연구 결과와 일치하였다. 6월말과 7월말에 걸쳐서 총 2회 제거는 분포를 제한하는 데 효과적이었다. Rim *et al.* (2022)은 2회 예초부터 식물의 분포 감소효과가 나타났으며, 3회의 예초가 더 효과적인 것으로 관찰되어 본 연구 결과와 유사하였다. 그러나, 8월 또는 9월 시기에 1회의 예초로도 양미역취 분포를 제한하는 효과가 있는 것으로 관찰되었다(Stoll *et al.*, 1998; Meyer and Schmid, 1999). 미역취속 *S. canadensis*, *S. gigantea*에서도 지상부 1회 제거는 식물의 성장을 억제하는 데 효과적이지 않은 것으로 분석되었다(Szépligeti *et al.*, 2015; Rajdus *et al.*, 2020; Dorota *et al.*, 2021). 낙동강하구의 양미역취와 함께 우점하는 갈대(*Phragmites australis*)와 물억새(*Miscanthus sacchariflorus*)도 봄 시기의 예초 작업은 식물체의 밀도를 증가시킨다고 보고하였다(Bjorndahl, 1985; Kim *et al.*, 2004). 그러나 여름의 갈대(*P. australis*) 지상부제거는 식물체 밀도가 감소하는 것으로 보고하고 있다(Shay *et al.*, 1987). 이러한 결과는 식물체의 분포 제한을 위한 제거효과는 제거횟수와 비례하며, 식물체의 분포 제한을 위한 효율적인 관리방법은 계절적 영향의 고려가 필요한 것으로 판단된다.

침입외래식물 *Solidago* 속 식물의 분포 제한을 위해서 예초, 뿌리째뽑기, 경운 회전과 같은 물리적 방제와 제초제 사용의 화학적 방제, 곤충 또는 경쟁종을 이용한 방법 등 다양하다(Weber and Jakobs, 2005; Guo *et al.*, 2009; Domaradzki and Badowski, 2012; Tang *et al.*, 2013; Shibel and Heard, 2016; Nagy *et al.*, 2022). 제초제 사용을 통한 성장억제는 효과적이지만 또 다른 생태적 문제를 유발할 수 있어 제한되어야 한다. 가장 간단한 방법 중 하나인 물리적 제거방법에서 지상부만 제거하는 예초(2M6M7)와 지하부를 함께 제거하는 뿌리째뽑기(2M6M7)에서 양미역취의 밀도와 개화율을 억제하는 데 효과적이었다. Fujii *et al.* (2005)의 결과에 의하면, 양미역취 식물군락에서 예초는 2회 이상 시행되어야 식물성장을 억제하는 데 효과적이고, 뿌리째뽑기는 1회만으로 식물의 길이와 밀도를 제한하여 본 연구 결과와 유사하였다. 또한 뿌리째뽑기 방법의 시행시기가 제한 효율에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 여러 연구에서 *Solidago* 속은 지하부의 땅속줄기(rhizome) 제거가 그 식물의 분포를 억제하는 데 효과적으로 관찰되었다(Hartnett and Bazzaz, 1983, 1985; Schmid and Bazzaz, 1987, 1991; Meyer and Schmid, 1999; Dorota *et al.*, 2021). 따라서, *Solidago* 속은 지하부의 영양생식기관을 통한 무성번식 억제가 침입외래식물의 분포확산을 제한하는 데 효과적인 것으로 사료된다.

식물체 제거횟수와 방법은 모두 생태계교란종 양미역취의 유성생식 종자형성을 억제하는 효과가 나타났다. 본 연구의 진행 마무리 단계에서 10월초 개화 유무는 관찰하였지만, 11월 결실(fruition)은 부산시의 생태계교란식물 제거사업으로 실험지역이 모두 예초 작업이 이루어져 관찰할 수 없었다. 현장에서 예초와 뿌리째뽑기 처리에서 제거횟수와 무관하게 화서의 길이 및 크기 감소가 관찰되었다. 다른 연구에서도 *Solidago* 속의 식물체 제거는 개화율과 화서 길이 감소가 관찰되었다(Dorota *et al.*, 2021). 화서의 길이 감소는 종자 수 감소를 의미하며, 결과적으로 종자 감소는 종자산포로 인한 식물의 분포 확대를 억제할 수 있을 것으로 판단된다.

대조적으로 Nagy *et al.* (2020)의 결과는 미국미역취 군락에서 장기간(8~20년) 동안 6월에 1회 식물체 지상부 예초는 종의 풍부함과 서식지의 생물다양성 증가가 관찰되었다. 또한 *Solidago* 속은 1년 이상 관리는 종 다양성에 긍정적인 영향을 주며, 1년만 방치해도 대조군보다 밀도가 2배 증가하는 것으로 관찰되었다(Nagy *et al.*, 2022). 이러한 결과는 침입외래식물 군락에서 단기간의 제거관리보다 장기적인 관리유지가 더 중요한 것으로 판단된다. 그러나 낙동강하구 생태공원 환경에서 식물체 제거가 장기간 반복되었을 경우, 식물체 군락 내 변화를 연속적인 연구 없이는 결론을 내리는 데 한계가 있다. 그러므로 양미역취군락에서 지상부제거를 통한 분포 억제가 매년 시행되었을 때, 식물체의 성장패턴과 토양환경의 변화 그리고 생물종 분포변화 등 생태계에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구가 필요하다.

본 연구를 종합해보면 양미역취의 6월 지상부 1회 제거(예초)는 길이성장, 개화율 감소 효과가 있지만, 제거관리가 되지 않은 대조구보다 밀도가 증가하였다. 따라서 식물생장 초기의 1회 제거를 통한 관리는 양미역취의 분포를 억제하는 데 효과적이지 않은 것으로 판단된다. 2회 예초를 통한 식물의 지상부 제거와 1회 예초와 함께 1회 뿌리째뽑기를 통한 식물체 제거는 식물의 길이성장, 밀도, 개화율 모두 대조구보다 감소하여 식물의 분포를 제한하는 데 효과적인 것으로 나타났다. 또한 2회 예초로 지상부만 제거한 경우보다 1회 예초와 함께 1회 뿌리째뽑기에서 밀도와 개화율을 크게 제한하는 것으로 나타났다. 양미역취의 생장을 억제하기 위해서 예초를 통한 지상부만 제거하는 방법보다 뿌리째뽑기를 통한 지하부 제거방법이 함께 병행되어야 분포 제한에 효과적인 것으로 판단된다. 따라서 가장 효과적인 제거방법은 2M6U7로 1회 예초와 함께 1회 뿌리째뽑기 방법이다. 본 연구 결과는 생태계교란식물 양미역취군락의 효과적인 관리를 위한 기초정보로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

침입외래식물의 확산은 서식지훼손 및 생물다양성 감소의 가장 중요한 원인 중 하나이며, 본 연구는 생태계교란식물 양미역취의 방제를 위한 기초자료를 확보하기 위해 수행되었다. 양미역취의 생장이 마무리된 10월 길이성장은 대조구(199 ± 19.96 cm), 1M6 (152 ± 13.41 cm), 2M6U7 (54 ± 3.17 cm), 2M6M7 (45 ± 19.96 cm) 순으로, 양미역취 식물체의 1회 제거보다 2회 제거에서, 2회 제거는 예초/뿌리째뽑기보다 예초 2회 제거처리가 길이성장을 더 효과적으로 억제하는 것으로 나타났다($p < 0.001$). 식물체 제거에 따른 단위면적당(m^2) 평균밀도는 1M6 실험구 73개체로 대조구 61개체보다 높은 밀도가 관찰되었으며, 6M7실험구 31개체, 2M6U7 실험구 16개체 순으로 나타났다. 식물체 제거에 따른 평균 개화율은 대조구 97 ± 5.77 (%), 1M6 실험구 77 ± 5.77 (%), 2M6M7 실험구 30 ± 10.00 (%), 2M6U7 실험구 0 ± 0.00 (%) 순으로 나타났다($p < 0.001$). 식물체 제거에 따른 개화율은 지상부 제거 1회보다 2회가 효과적이고, 2회에서 예초와 뿌리째뽑기를 동시에 실시한 방법이 억제효과가 높은 것으로 나타났다. 따라서 가장 효과적인 양미역취 분포 억제방법은 2M6U7이었다.

저자정보 김구연(경남대학교 과학교육과 조교수; 경남대학교 생물다양성센터 센터장)

저자기여도 연구설계, 자료수집 및 분석, 검토 및 원고작성: 김구연

이해관계 본 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

연구비 본 연구는 한국수자원공사(K-water)의 개방형 혁신 R&D (20-C-G-005) 사업의 일환으로 수행되었습니다.

사사 현장조사와 시료채취에 도움을 주신 낙동강하구에코센터, 경남대학교와 부산대학교 학생에게 고마움을 전합니다.

REFERENCES

AMO. 2021. Aviation Meteorological Office. Climate information of Gimhae airport. https://amo.kma.go.kr.

An, S.D. 2014. Investigation of Flood Stage on the Upstream Waterfront Area in Floodplain Depending on the Operation Rule of the Nakdong River Estuary Barrage. *Crisisonomy* **10**(7): 139-148. (in Korean with English abstract)

Bjorndahl, G. 1985. Influence of winter harvest on stand structure and biomass production of the common reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. in Lake Takern, Southern Sweden. *Biomass* **7**(4): 303-319.

Bode, R.F. and A. Kessler. 2012. Herbivore pressure on goldenrod (*Solidago altissima* L., Asteraceae): its effects on herbivore resistance and vegetative reproduction. *Journal of Ecology* **100**(3): 795-801.

Choi, I.H., M.Y. Lee, H.R. Yoon, S.J. Kim and C.S. Kim. 2021. Analysis of the Correlation between Social Factors and the Use of Hydrophilic Facilities by Age Group-Case Study at the Samrak and Daejeo Ecological Park. *Ecology and Resilient Infrastructure* **8**(4): 273-280. (in Korean with English abstract)

Crutsinger, G.M., W.N. Reynolds, A.T. Classen and N.J. Sanders. 2008. Disparate effects of plant genotypic diversity on foliage and litter arthropod communities. *Oecologia* **158**: 65-75.

De Groot, M., D. Kleijn and N. Jogan. 2007. Species groups occupying different trophic levels respond differently to the invasion of semi-natural vegetation by *Solidago canadensis*. *Biological Conservation* **136**(4): 612-617.

Domaradzki, K. and M. Badowski. 2012. Possibility of chemical reduction of *Solidago gigantea* Aiton occurrence on fallow lands. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu-Rolnictwo* **100**: 17-23. (in Polish with English abstract)

Fujii, T., K. Kurata, K. Fujiwara, K. Ohashi and T. Emoto. 2005. Effects of Mowing and Uprooting on the Height and Density of Goldenrods (*Solidago altissima* L.) Plants. *Journal of Agricultural Meteorology* **60**(6): 1165-1167.

Gala-Czekaj, D., A. Synowiec and T. Dąbkowska. 2021. Self-renewal of invasive goldenrods (*Solidago* spp.) as a result of different mechanical management of fallow. *Agronomy* **11**(6): 1065.

Guo, S.L., H.W. Jiang, F. Fang and G.Q. Chen. 2009. Influences of herbicides, uprooting and use as cut flowers on sexual reproduction of *Solidago canadensis*. *Weed Research* **49**(3): 291-299.

Gwak, S.B., J.H. Jeong and J.H. You. 2021. Naturalized Plants and Their Characteristics in Nakdong River Ecological Park in Busan Metropolitan City. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* **24**(1): 81-96. (in Korean with English abstract)

Hartnett, D.C. and F.A. Bazzaz. 1983. Physiological integration among intraclonal ramets in *Solidago canadensis*. *Ecology* **64**: 779-788.

Hartnett, D.C. and F.A. Bazzaz. 1985. The genet and ramet population dynamics of *Solidago canadensis* in an abandoned field. *The Journal of Ecology* **73**: 407-413.

Heath, J.J., A. Kessler, E. Woebbe, D. Cipollini and J. O. Stireman III. 2014. Exploring plant defense theory in tall goldenrod, *Solidago altissima*. *New Phytologist* **202**(4): 1357-1370.

Hua, H. and G.U.O. Shuiliang. 2004. Review on ecological studies on three invasive species of European genus *Solidago*. *Guangxi Sciences* **11**(1): 69-74.

Jakobs, G., E. Weber and P.J. Edwards. 2004. Introduced plants of the invasive *Solidago gigantea* (Asteraceae) are larger and grow denser than conspecifics in the native range. *Diversity and Distributions* **10**(1): 11-19.

Jang, C.S., S.G. Yang and B.U. Oh. 2012. A taxonomical review of *Solidago japonica* and its relatives (Asteraceae). *Korean Journal of Plant Taxonomy* **42**(1): 40-49. (in Korean with English abstract)

Jezierska-Domaradzka, A. and K. Domaradzki. 2012. *Solidago canadensis* L. as a potential energy plant - the risk to the environment and the estimation of natural raw material resources in the chosen fallow fields in Wołów County (lower Silesia). *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu-Rolnictwo* **584**: 43-51. (in Polish with English abstract)

Kil, J. and C.G. Kim. 2014. Current status of naturalization by exotic ornamental plants in Korea. *Weed Turfgrass Science* **3**: 206-214. (in Korean with English abstract)

Kil, J.H., K.C. Shim, S.H. Park, K.S. Koh, M.H. Suh, Y.B. Ku, S.U. Suh, H.K. Oh and H.Y. Kong. 2004. Distributions of Naturalized Alien Plants in South Korea. *Weed Technology* **18**: 1493-1495. (in Korean with English abstract)

Kim, C.G. and J. Kil. 2016. Alien Flora of the Korean Peninsula. *Biological Invasions* **18**: 1843-1852.

Kim, G.Y. 2020. Growth Characteristics of *Bolboschoenus plani-*

culmis on the Eulsuk Tidal Flat of the Nakdong River Estuary, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **53**(4): 453-460. (in Korean with English abstract)

Kim, G.Y., C.W. Lee and G.J. Joo. 2004. The evaluation of early growth pattern of *Miscanthus sacchariflorus* after cutting and burning in the Woopo wetland. *Korean Journal of Ecology and Environment* **37**(2): 255-262. (in Korean with English abstract)

Kim, G.Y., C.W. Lee, H.S. Yoon and G.J. Joo. 2005. Changes of distribution of vascular hydrophytes in the Nakdong River estuary and growth dynamics of *Schenoplectus triqueter*, waterfowl food plant. *The Korean Journal of Ecology* **28**(5): 335-345. (in Korean with English abstract)

Kim, S.J., C.S. Kim and J.S. Kim. 2019. Estimating Visitors on Water-friendly Space in the River Using Mobile Big Data and UAV. *Ecology and Resilient Infrastructure* **6**(4): 250-257. (in Korean with English abstract)

Lee, C.W., H.J. Cho, M.J. Kang, M.K. Huh, I.C. Hwang and B.K. Choi. 2015. Study of the status of naturalized plants in Busan City, South Korea. *Journal of Life Science* **25**(11): 1244-1254. (in Korean with English abstract)

Lim, J.C., H.G. Jeong, C.H. Lee and B.K. Choi. 2017. Distribution Status of *Paspalum distichum* Community at the Nakdong-River Estuary. *Korean Journal of Ecology and Environment* **50**(2): 195-206. (in Korean with English abstract)

Meyer, A.H. and B. Schmid. 1999. Experimental demography of the old-field perennial *Solidago altissima*: The dynamics of the shoot population. *Journal of Ecology* **87**: 17-27.

Moroń, D., M. Lenda, P. Skórka, H. Szentgyörgyi, J. Settele and M. Woyciechowski. 2009. Wild pollinator communities are negatively affected by invasion of alien goldenrods in grassland landscapes. *Biological Conservation* **142**(7): 1322-1332.

Nagy, D.U., E.S. Rauschert, T. Henn, K. Cianfaglione, S. Stranczinger and R.W. Pal. 2020. The more we do, the less we gain? Balancing effort and efficacy in managing the *Solidago gigantea* invasion. *Weed Research* **60**(3): 232-240.

Nagy, D.U., E.S. Rauschert, R.M. Callaway, T. Henn, R. Filep and R.W. Pal. 2022. Intense mowing management suppresses invader, but shifts competitive resistance by a native to facilitation. *Restoration Ecology* **30**(1): e13483.

Park, J.S., D. Choi and Y. Kim. 2020. Potential Distribution of Goldenrod (*Solidago altissima* L.) during Climate Change in South Korea. *Sustainability* **12**(17): 6710.

Rajdus, T., H. Svehlakova, P. Plohak and B. Stalmachova. 2020. Management of invasive species *Solidago canadensis* in Ostrava region (Czech Republic). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **444**(1): 012046. IOP Publishing.

Rim, H., M. Lee, M. Kim and U. Song. 2022. Mowing inhibits the invasion of the alien species *Solidago altissima* and is an effective management strategy.

Ryu, T.B., J.C. Lim, C.H. Lee, E.J. Kim and B.K. Choi. 2017. Distribution of invasive species in metropolitan Busan, South Korea. *Journal of Life Science* **27**(4): 408-416. (in Korean with English abstract)

Scharfy, D., H. Eggenschwiler, H. Olde Venterink, P.J. Edwards and S. Güsewell. 2009. The invasive alien plant species *Solidago gigantea* alters ecosystem properties across habitats with differing fertility. *Journal of Vegetation Science* **20**(6): 1072-1085.

Schmid, B. and F.A. Bazzaz. 1987. Clonal integration and population structure in perennials: effects of severing rhizome connections. *Ecology* **68**: 2016-2022.

Schmid, B. and F.A. Bazzaz. 1991. Growth of transplanted and native shoots in perennials with contrasting genet architecture. *Flora* **185**(5): 335-344.

Semple, J.C. and R.E. Cook. 2006. *Solidago*. *Flora of North America* **20**: 107-166.

Shay, J.M. 1987. Post-fire performance of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. In the delta marsh, Manitoba, Canada. *Archive Hydrobiology Beihefte Ergebnisse Limnology* **27**: 95-103.

Shibel, Z. and S.B. Heard. 2016. Synergistic and additive effects of drought stress and simulated herbivory on two goldenrods, *Solidago altissima* and *S. gigantea*. *Botany* **94**(8): 635-642.

Skórka, P., M. Lenda and P. Tryjanowski. 2010. Invasive alien goldenrods negatively affect grassland bird communities in Eastern Europe. *Biological Conservation* **143**(4): 856-861.

Stoll, P., P. Egli and B. Schmid. 1998. Plant foraging and rhizome growth patterns of *Solidago altissima* in response to mowing and fertilizer application. *Journal of Ecology* **86**(2): 341-354.

Szépligeti, M., R. Kun, S. Bartha, L. Bodonczi and I. Szentirmai. 2015. Experience gained from the control of giant goldenrod in the Őrség National Park. Rosalia Handbooks.

Szymura, M. and T.H. Szymura. 2013. Soil preferences and morphological diversity of goldenrods (Solidago L.) from south-western Poland. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* **82**(2): 107-115.

Szymura, M. and T.H. Szymura. 2015. Growth, phenology, and biomass allocation of alien *Solidago* species in central Europe. *Plant Species Biology* **30**(4): 245-256.

Szymura, M. and T.H. Szymura. 2016. Interactions between alien goldenrods (*Solidago* and *Euthamia* species) and comparison with native species in Central Europe. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* **218**: 51-61.

Szymura, M., T.H. Szymura and K. Wolski. 2016. Invasive *Solidago* species: how large area do they occupy and what would be the cost of their removal?. *Polish Journal of Ecology* **64**(1): 25-34.

Tang, W., J. Kuang and S. Qiang. 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 Sluis, J.W. and L. Lijklema. 1984. Water quality aspects of the Nakdong estuary barrage. *Water Science and Technology* **16**(1-2): 243-252.

Weber, E. and B. Schmid. 1993. Das neophytenproblem. *Dissertationes Botanicae* **196**: 209-227.

Weber, E. 1998. The dynamics of plant invasions: a case study of three exotic goldenrod species (*Solidago* L.) in Europe. *Journal of Biogeography* **25**: 147-154.

Weber, E. and G. Jakobs. 2005. Biological flora of central Europe: *Solidago gigantea* Aiton. *Flora-morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* **200**(2): 109-118.