



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

침입 외래종 양미역취의 친환경적인
관리방안

제주대학교 대학원

생물학과

이 민 현

침입 외래종 양미역취의 친환경적인 관리방안


지도교수 송 우 람

이 민 현

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함

2020년 2월

이민현의 이학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장	박 수 제	
위 원	고 석 찬	
위 원	송우람	

제주대학교 대학원

2020년 2월

**A study on the environmental friendly management
of an invasive alien species *Solidago altissima* L.**

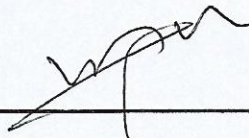
Minhyun Lee

(Supervised by professor Uhram Song)

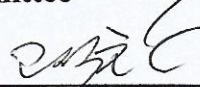
**A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree
of Master of Science**


2020. 2.

This thesis has been examined and approved

Soo J Park 

Chairperson of the Committee

Seok Chan Koh 

Uhram Song 

(Name and signature)

Dec. 2019

DEPARTMENT OF BIOLOGY

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY



ABSTRACT

Due to globalization and increasing trade activities, the problems of ecological stability and economic loss are intensified all over the world due to the invasion of alien species which threatens ecosystems. In Jeju Island, climate change and the invasion of alien species threatens biodiversity, which is one of the most important features of Jeju. One of the invasive alien species, *Solidago altissima* L. has recently risen to threaten biodiversity of the island. Therefore, in this research, vegetation monitoring and analysis were conducted to understand the current invasion status of *Solidago altissima*. Also environment-friendly management of *Solidago altissima* was studied by controlling mowing frequency and using eco-friendly herbicides in areas where the *Solidago altissima* is dominant. Also finding utilizing potentials such as remediation ability and antioxidant activity were studied, under hypothesis that increased use leads to increased harvests, thereby facilitating the removal of the species. During 2018 and 2019, the significant reduction of biomass and height growth was achieved through the removal of aboveground of the *Solidago altissima* through mowing or an eco-friendly pesticide, and the mowing became good candidate for an effective environmental friendly removal method of the invasive alien species. Especially, the biomass of *Solidago altissima* significantly decreased in the mowing twice and three times treatment, indicating possibility of invasion control. Also, the difference in biodiversity between areas where *Solidago altissima* are dominant or not dominant were revealed by vegetation research. *Solidago altissima* showed unaffected growth even under concentration of nanoparticles and showed excellent ability of

bioremediation. Both Silver and Titanium nanoparticle treatments showed no significant difference between the biomass and chlorophyll contents. Consequently, *Solidago altissima* seems to be a suitable species for phytoremediation. As the species are usually at roadsides where contamination often occurs, the removal of *Solidago altissima* will have both soil remediation effects and invasion control effects. As for testing efficacy of *Solidago altissima*, the scavenging activity value of *Solidago altissima* through the analysis of the antioxidant activity was higher than other alien species, indicating the potential of the species utilization. When utilization (remediation and/or scavenging activity) became active, increased use of *Solidago altissima* will lead to harvesting increase and finally promote the removal of the species.

Keywords: *Solidago altissima*, Alien species, Eco-friendly management, Phytoremediation, Plant resource

목 차

ABSTRACT	1
LIST OF TABLES.....	6
LIST OF FIGURES	10
LIST OF APPENDIX.....	11
I. 서 론.....	15
1. 외래종의 유입과 생태계 교란.....	15
2. 제주도 생물다양성의 중요성.....	16
3. 양미역취 (<i>Solidago altissima</i> L.) 연구의 필요성.....	17
II. 재료 및 방법.....	18
1. 양미역취 모니터링 및 친환경 제거.....	18
1.1 양미역취 우점 조사지 선정.....	18
1.2 양미역취 우점 및 비우점 조사지 여름 식생 조사.....	21
1.3 양미역취 친환경 제거	22
1.4 양미역취 패치형태 친환경 제거	27
1.5 친환경 제거의 여름 식생조사	29
1.6 양미역취의 타감 능력 확인.....	29
1.7 생물량 측정 및 토양 분석	30
2. 자원으로의 활용을 통한 수확.....	32
2.1 식물을 통한 정화.....	32
(1) 양미역취 종자 발아 및 화분 이식	32

(2) 농도에 따른 나노물질 처리	33
(3) 생물량 측정 및 식물과 토양 분석	33
2.2 양미역취 항산화활성 분석	34
(1) 추출물 제조.....	34
(2) DPPH radical 소거 활성.....	35
(3) ABTS radical 소거 활성	35
3. 통계 분석.....	36
III. 결과 및 고찰.....	37
1. 양미역취 모니터링.....	37
1.1 조사지역 기상자료	37
1.2 양미역취의 침입 현황	38
1.3 2018 ~ 2019년 양미역취 우점 및 비우점 지역 생물다양성.....	39
1.4 양미역취 우점 및 비우점 지역의 생물다양성의 차이 결과.....	47
1.5 2018 ~ 2019년 양미역취 우점 지역 피도 비교 결과.....	48
1.6 2018 ~ 2019년 양미역취 우점 지역 통합 중요도 비교 결과.....	50
1.7 2018 ~ 2019년 양미역취 우점 지역 평균 중요도 비교 결과	53
1.8 침입종의 우점하는 원인인 타감 작용에 관한 결과.....	54
(1) 양미역취 수용추출액 처리에 따른 발아율 및 유근생장 결과	54
2. 친환경 관리방법 연구 결과.....	57
2.1 벌초 횟수 및 Eco 200 처리에 키 측정 결과 - 2018.....	57
2.2 양미역취 고사체 키 측정 결과.....	59
2.3 벌초 횟수 따른 키 측정 결과 - 2019.....	61
2.4 벌초 횟수에 따른 양미역취의 생리적인 반응	64
2.5 양미역취 우점 지역의 슈트 수 결과	66

2.6 양미역취 우점 지역 벌초 처리에 따른 생물량 결과	67
(1) 양미역취 지상부 생물량 결과	67
(2) 양미역취 잎의 생물량 결과	69
2.7 2019년 봄, 양미역취 우점 지역 종자 유무 확인 결과	71
2.8 2019년 가을, 양미역취 우점 지역 개화 유무 결과	73
2.9 양미역취 패치형태의 친환경 제거의 결과	75
2.10 양미역취 우점 및 비우점, 패치 형태 토양 분석 결과	77
2.11 양미역취 우점 및 비우점 지역의 양미역취, 썩, 칩 잎의 EA분석 결과	80
3. 자원으로의 활용을 통한 수확의 결과	83
3.1 양미역취를 활용한 식물 정화 결과	83
(1) 양미역취 나노물질 농도 처리에 따른 키 성장	83
(2) 나노물질 농도 처리에 따른 엽록소 측정	87
(3) 나노물질 농도 처리에 따른 양미역취 건중량 비교 결과	89
(4) 나노물질 농도 별 처리에 따른 Mg 함량 결과	91
(5) 나노물질 농도 별 처리에 따른 Ti, Ag 함량 결과	93
3.2 양미역취의 항산화 활성을 활용한 결과	96
V. 요 약	98
VI. 참 고 문 헌	100
VII. 부 록	107

LIST OF TABLES

Table 1. List of field investigation of <i>Solidago altissima</i>	20
Table 2. Climate table of 2018 ~ 2019 based on the data of Jeju Weather station..	37
Table 3. Measured Shoots of <i>Solidago altissima</i> , March 2018.....	38
Table 4. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site, July 2018	40
Table 5. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site, July 2018	42
Table 6. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site, July 2019.....	45
Table 7. Comparison of biodiversity of <i>Solidago altissima</i> and native species dominated sites.....	48
Table 8. Comparison of coverage of <i>Solidago altissima</i> dominated site	49
Table 9. Total I.V. of <i>Solidago altissima</i> dominated sites, July 2018	51
Table 10. Total I.V. of <i>Solidago altissima</i> non-dominated sites, July 2018	51
Table 11. Total I.V. of <i>Solidago altissima</i> dominated sites, July 2019	52

Table 12. Comparison of mean I.V. of <i>Solidago altissima</i> domianted sites, 2018 ~ 2019	53
Table 13. Germination rates (%) of <i>L. sativa</i> and <i>O. biennis</i> after treatments	56
Table 14. Effect of <i>Solidago altissima</i> extract solution on root elongation of <i>L. sativa</i> and <i>O. biennis</i>	56
Table 15. Heights of plant before mowing on the respective treatment in July 2018	58
Table 16. Heights of plants after death during winter season	60
Table 17 Heights of plant before mowing on the respective treatment in May 2019	63
Table 18. Heights of plant before mowing on the respective treatment in July 2019	63
Table 19. Heights of plant before mowing on the respective treatment in September 2019	63
Table 20 Chlorophyll contents before mowing on the respective treatment in May 2019	65
Table 21. Chlorophyll contents before mowing on the respective treatment in July 2019	65
Table 22. Chlorophyll contents before mowing on the respective treatment in September 2019	65

Table 23. Measured Shoots of <i>Solidago altissima</i> in April 2019	66
Table 24. The number of leaf of <i>Solidago altissima</i> after treatments in September 2019	70
Table 25. Present seed rate (%) of <i>Solidago altissima</i> dominated after treatments in October 2019	72
Table 26. Present seed rate (%) of patch type of <i>Solidago altissima</i> after treatment in October 2019	72
Table 27. Present flowing rate (%) of dominant of <i>Solidago altissima</i> after treatment in October 2019	74
Table 28. Present flowing rate (%) of patch type of <i>Solidago altissima</i> after treatment in October 2019	74
Table 29. Patch type of <i>Solidago altissima</i> which a percentage on change rate of area from March 2018 to March 2019	76
Table 30. Soil characteristics of <i>Solidago altissima</i> dominated site in July 2018..	78
Table 31. Soil characteristics of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site in July 2018	78
Table 32. Soil characteristics of patch type of <i>Solidago altissima</i> in July 2018.....	78
Table 33. Soil elemental analysis of <i>Solidago altissima</i> dominated site in July 2018	79

Table 34. Soil elemental analysis of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site in July 2018	79
Table 35. Soil elemental analysis of patch type of <i>Solidago altissima</i> dominated site in July 2018.....	79
Table 36. Leaf elemental analysis of <i>Solidago altissima</i> dominated site in July 2018	81
Table 37. <i>A. princeps</i> (a) leaf elemental analysis of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site in July 2018.....	81
Table 38. <i>P. lobata</i> (b) leaf elemental analysis of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site in July 2018	81
Table 39. Chlorophyll content of <i>Solidago altissima</i> after exposure nano-TiO ₂ and AgNP	88
Table 40. Dry weight of <i>Solidago altissima</i> after exposure nano-TiO ₂ and AgNP ..	90
Table 41. Mg content of <i>Solidago altissima</i> after exposure nano-TiO ₂ and AgNP .	92
Table 42. Ti and Ag contents of <i>Solidago altissima</i> after exposure nano-TiO ₂ and AgNP	95
Table 43. Antioxidant activities of <i>Solidago altissima</i> leaf extract	97
Table 44. Antioxidant activities of <i>Solidago altissima</i> flower extract	97
Table 45. Antioxidant activities of <i>A. princeps</i> leaf extract.....	97

LIST OF FIGURES

Figure 1. Blooming of <i>Solidago altissima</i> , October 2018.....	19
Figure 2. Aerial photograph of mowing and patch treatment.....	20
Figure 3. Example of how to use an Eco 200 (Site 8)	23
Figure 4. Picture of the quadrat established treatments.....	24
Figure 5. Picture of mowing of <i>Solidago altissima</i>	25
Figure 6. Comparison of mowing and unmowing treatment	26
Figure 7. Type of patch of <i>Solidago altissima</i>	28
Figure 8. Soil sampling.....	31
Figure 9. Harvested aboveground biomass of <i>Solidago altissima</i> after treatments in September 2019.....	68
Figure 10. Effect of nano-TiO ₂ on the height of <i>Solidago altissima</i>	85
Figure 11. Effect of AgNP on the height of <i>Solidago altissima</i>	86

LIST OF APPENDIX

Appendix 1. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 1, July 2018.....	107
Appendix 2. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 2, July 2018.....	108
Appendix 3. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 3, July 2018.....	109
Appendix 4. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 4, July 2018.....	110
Appendix 5. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 5, July 2018.....	111
Appendix 6. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 6, July 2018.....	112
Appendix 7. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 7, July 2018.....	113
Appendix 8. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site 1-1, July 2018	115
Appendix 9. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site 2-1, July 2018	116
Appendix 10. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site 3-1, July 2018	117
Appendix 11. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site 4-1, July 2018	118
Appendix 12. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site 5-1, July 2018	119

Appendix 13. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> non-dominanted site 6-1, July 2018	120
Appendix 14. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> non-dominanted site 7-1, July 2018	121
Appendix 15. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 1, July 2019.....	122
Appendix 16. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 2, July 2019.....	123
Appendix 17. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 3, July 2019.....	125
Appendix 18. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 4, July 2019.....	126
Appendix 19. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 5, July 2019.....	127
Appendix 20. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 6, July 2019.....	128
Appendix 21. Present vegetation of <i>Solidago altissima</i> dominated site 7, July 2019.....	129
Appendix 22. Important values of <i>Solidago altissima</i> dominated site 1, July 2018.....	130
Appendix 23. Important values of <i>Solidago altissima</i> dominated site 2, July 2018.....	130
Appendix 24. Important values of <i>Solidago altissima</i> dominated site 3, July 2018.....	131

Appendix 25. Important values of <i>Solidago altissima</i> dominated site 4, July 2018.....	131
Appendix 26. Important values of <i>Solidago altissima</i> dominated site 5, July 2018.....	132
Appendix 27. Important values of <i>Solidago altissima</i> dominated site 6, July 2018.....	132
Appendix 28. Important values of <i>Solidago altissima</i> dominated site 7, July 2018.....	133
Appendix 29. Important values of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site 1-1, July 2018	133
Appendix 30. Important values of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site 2-1, July 2018	134
Appendix 31. Important values of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site 3-1, July 2018	134
Appendix 32. Important values of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site 4-1, July 2018	135
Appendix 33. Important values of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site 5-1, July 2018	135
Appendix 34. Important values of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site 6-1, July 2018	136
Appendix 35. Important values of <i>Solidago altissima</i> non-dominated site 7-1, July 2018	136
Appendix 36. Important values of <i>Solidago altissima</i> dominated site 1, July 2019.....	137

Appendix 37. Important values of *Solidago altissima* dominated site 2, July 2019..... 137

Appendix 38. Important values of *Solidago altissima* dominated site 3, July 2019..... 138

Appendix 39. Important values of *Solidago altissima* dominated site 4, July 2019..... 138

Appendix 40. Important values of *Solidago altissima* dominated site 5, July 2019..... 139

Appendix 41. Important values of *Solidago altissima* dominated site 6, July 2019..... 139

Appendix 42. Important values of *Solidago altissima* dominated site 7, July 2019..... 140

I. 서 론

1. 외래종의 유입과 생태계 교란

세계화와 무역활동 증가에 따른 국가간 인적, 물적 교류가 확대됨에 따라 생태계를 위협하는 외래 생물 유입으로 인한 생태계 안정성 훼손과 경제적 손실 문제가 전 세계적으로 심화되어가고 있다(Bang et al. 2004). 이러한 외래 생물 중에서도 생태계교란생물이 많은 문제가 되고 있는 실정이다. 생태계교란생물이란 생태계의 균형을 교란하거나 교란할 우려가 있는 생물로 환경부장관이 지정한다(Me 2016). 이러한 생물들의 국내 유입 혹은 반입으로 인한 생태계 교란, 환경변화 등에 대한 문제는 꾸준히 제기되어 왔다. 환경부가 생태계 교란 야생 동식물로 지정한 이러한 종들 중 특히 식물의 경우 전국 여러 곳에서 많은 문제점을 일으키고 있다(Kim et al. 2014). 이러한 문제점에는 자생종에 비하여 서식지 확보에 높은 경쟁력을 갖고 있으며, 특히 초본류의 외래 식물은 서식 범위가 넓고, 적응력이 뛰어나 상대적으로 빠른 개체군을 확장 및 확산시켜 국내 자생종을 비롯한 생물다양성에 심각한 위협을 초래하고 있다(Lim et al. 2007). 그리고 이러한 외래 식물은 어떠한 환경 조건에서도 발아를 할 수 있는 능력을 가지고 있어 발아를 위한 특별한 환경적 제한 조건이 자생종 보다 상대적으로 적은 편이다(Newsome and Noble 1986). 또한 국내종과 교잡종을 형성하여 국내종의 유전자 풀에 악영향을 미치거나 생태계 교란은 물론이고 새로운 해충의 기주가 되는 경우도 보고되곤 한다. 이러한 생물들은 최근 자연생태계의 교란, 국가간 교역의 증가, 기후변화 등으로 인하여 외래 생물의 침입 가능성이 더욱

높아졌기 때문에 외래 생물에 대한 철저한 관리가 필요하다(Mooney 1996).

2. 제주도 생물 다양성의 중요성

제주도는 다양한 기후대가 분포하여 독특한 식생대가 형성되어 있는 섬이다. 그리고 고도에 따른 온도 구배에 따라서 난대림부터 한대림까지 다양한 식생이 분포하고 있다(Lee et al. 2010). 하지만 기후변화와 외래종 유입으로 인한 제주도의 생물 다양성을 위협받고 있는 실정이다. 생물다양성에는 3 Level 이 존재한다. 3 Level 에는 생태적 다양성, 종 다양성, 유전적 다양성이 포함된다. 제주도는 특히 생태적 다양성에 의존하게 된다. 이러한 생태적 다양성으로 제주도는 사면의 바다 와 중심에는 한라산을 통한 관광 산업에 의존하게 되고, 자연 환경에서 자생하는 식물이나 여러 물질들을 이용한 제품으로 부가가치를 창출하고 있다(Koh 2013). 그리고 제주도는 종 다양성 측면에서도 Biological Hotspot 에 포함되기 때문에 종 다양성의 보고라 할 수 있다. 그런데 최근 이러한 제주도가 개발 등으로 인한 생태적 다양성이 손실 되어가고 있는 실정이며 외래종의 도입 및 유입, 기후변화 등으로 종 다양성도 감소되고 있기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다.

3. 양미역취 (*Solidago altissima* L.) 연구의 필요성

양미역취는 북아메리카 원산의 귀화 식물로 길가나 공터에서 자라는 다년생 초본이다(Lee 2003). 환경부 생태계 위해종으로 지정되어 있으며(Me 2016), 키가 크고 매년 지상부의 새싹이 자라나며 지하경이 매우 발달해 있다. 또한 유럽에서는 높은 종자 발아율과 강한 지하경으로 인한 양미역취의 침입이 문제가 되고 있다(Weber 1998). 양미역취는 한번 침입하여 자리를 잡게 되면 매우 오랫동안 자리를 잡은 지역을 우점하게 된다(Ellenberg 1982, Ellenberg 1993). 이러한 요인으로 제주도에 자리를 잡은 양미역취는 여러 지역으로 침입을 하고 있다. 양미역취가 우점하는지역은 생태적, 종 다양성이 감소하여 제주도의 생태계의 악영향을 미치고 있다. 이에 따라, 본 연구에서는 제주도의 아라동과 오라동에서 2018년 3월부터 2019년 10월까지 양미역취의 기본적인 모니터링과 별초를 통한 친환경 제거를 실시하였다. 또한 우점 및 비우점 지역 간에 식생의 차이 또는 종 다양성 여부를 확인 하였다. 그리고 양미역취가 초기에 침입한 패치형태의 지역에서 친환경적인 제거에 따른 반응을 조사 하였다. 그리고 양미역취를 자원으로의 활용을 통한 수확을 하여 식물의 정화 및 향산화 능력을 조사하여 자연스러운 친환경 제거를 유도하였으며, 침입종 특성에 알맞은 다방면의 친환경적인 관리방안을 수립하였다.

II. 재료 및 방법

1. 양미역취의 모니터링 및 친환경적인 제거

1.1 양미역취 우점 조사지 선정

양미역취가 이미 제주대학교 근처를 침입하는 지역들이 많이 있었다. 이러한 현황을 알아보기 위하여 제주대학교를 중심으로 아라동과 오라동에서 조사를 실시 하였으며, 양미역취가 군락 및 패치 형태로 발견 되었으며 대부분의 발견 지역이 도로변에 인접한 곳에 위치 하였다. 조사지는 도로변과 도로변 안쪽에 경작하지 않는 밭에서 선정하여 실험을 진행하였다. 조사지의 상세한 위치는 다음 표와 드론 사진에서 제시 하였다(Figure 2). 그리고 별초 횡수에 따른 제거 실험과 양미역취 패치 형태의 별초를 통한 면적 감소 실험을 나누어 위치를 기록 하였다(Table 1).



Figure 1. Blooming of *Solidago altissima*, October 2018



Figure 2. Aerial photograph of mowing and patch treatments.

Table 1. List of field investigation of *Solidago altissima*

Site	Longitude	Latitude	Altitude	Treatment
1	126° 33' 5''	33° 27' 22''	283m	M
2	126° 33' 11''	33° 27' 25''	282m	M
3	126° 31' 16''	33° 27' 47''	203m	M
4	126° 31' 36''	33° 27' 39''	212m	M
5	126° 31' 35''	33° 27' 38''	215m	M
6	126° 31' 40''	33° 27' 40''	212m	M
7	126° 31' 40''	33° 27' 40''	212m	M
8	126° 30' 47''	33° 27' 52''	198m	P
9	126° 33' 1''	33° 27' 33''	283m	P
10	126° 33' 30''	33° 26' 55''	350m	P

M: Mowing treatment, P: Patch treatment

1.2 양미역취 우점 및 비우점 조사지 여름 식생 조사

양미역취 우점 및 비우점 조사지의 식생 모니터링을 하기 위하여 여름 식생 조사를 실시하였다. 식생은 식물사회학적방법(Braun-Blanquet 1964)에 따라 조사를 하였다. 또한 대한식물도감을 활용하여 종을 동정 하였다(Lee 2003). 그리고 피도를 측정 하였으며, 우점도를 파악하기 위하여 중요도 (Important Value, I.V.)를 산출하였고(Curtis and McIntosh 1951), 다음에 중요도 산출식을 제시하였다(Brower and Zar 1977).

$$\text{중요도} = (\text{상대 빈도} + \text{상대 피도}) / 2$$

* 상대 빈도: A 종의 빈도 / 모든 종의 빈도 합

* 상대 피도: 종 A의 면적 / 모든 종의 면적 합

1.3 양미역취의 친환경 제거

식물에 지상부의 반복적인 제거는 생물량 감소로 이어지는 것에 착안하여 벌초를 이용한 직접적인 제거 실험을 진행하였다. 2018년 3월, 7개 사이트에 300m²의 대방형구를 설치하였다. 각 대방형구 안에 여러 개의 2m X 2m 크기의 소방형구가 처리구 별로 무작위로 설치되어 2018년 3월부터 2019년 10월까지 실험을 진행하였다. 그리고 처리구는 1년동안 벌초 0회 ~ 3회, (주) 에코인더트리에서 제작한 Eco 200 이라는 친환경 약재를 사용하였다. 이러한 친환경 약재를 사용한 이유는 식물에서 추출한 독성물질을 사용하였으며, 환경에 최소한의 영향과 자연으로 되돌아가는 소재 사용 등으로 다음과 같은 약재를 사용하였다. 그리고 Eco 200 의 친환경 약재의 경우 5, 7, 9월에 양미역취 슈트 수의 30%를 땅에 인접한 줄기 부분을 자르고 Eco 200을 줄기가 잘린 단면에 덮었으며 Eco 200 시공 예시를 제시하였다(Figure 3). 그리고 처리구에 대한 자세한 설명을 위하여 소방형구에 처리구 모식도를 제시하였다(Figure 4).



Figure 3. Example of how to use an Eco 200 (Site 8)

Eco 200	Mowing 1	Mowing 3	Eco 200	Mowing 2
Control	Mowing 2	Mowing 1	Mowing 3	Control

Figure 4. Picture of the quadrat established treatments.

Control: Unmowing, Mowing 1: Mowing once in July, Mowing 2: Mowing twice in May and September, Mowing 3: Mowing three times in May and July, September, Eco 200: Removal of shoots of 30% after treatment in May and July, September.



Figure 5. Picture of mowing of *Solidago altissima*



Figure 6. Comparison of mowing and unmowing treatment

1.4 양미역취 패치형태 친환경 제거

식물의 반복적인 제거는 생물량 및 지하경 감소에 효과가 있으며, 군락이 아닌 초기에 유입되어 패치 형태의 처리는 군락보다 효과적이며, 친환경 약제를 사용한 제거의 효율을 높일 수 있다고 사료되어 본 실험은 2018 년 3월, 양미역취가 군락이 아닌 초기에 진입한 패치 형태로 되어있는 조사지 3곳을 선정하여 각 처리구마다 슈트 수를 기록하고 패치 형태의 외곽에 있는 양미역취에 식별이 가능한 원을 놓고 수직으로 사진 촬영 후 'Image J' 프로그램을 사용하여 처리 전 면적을 계산을 하였다(Figure 7). 그리고 1년 동안 3번 (5, 7, 9월) 별초하는 처리구, 'Eco 200'을 이용하여 슈트 수의 20%, 100%를 자르고 약제를 처리하는 실험을 진행하였다. 이후 2019년 3월에 위와 같은 방법으로 처리구를 사진 촬영 후 면적을 측정하여 감소하는지 여부를 확인하였다.

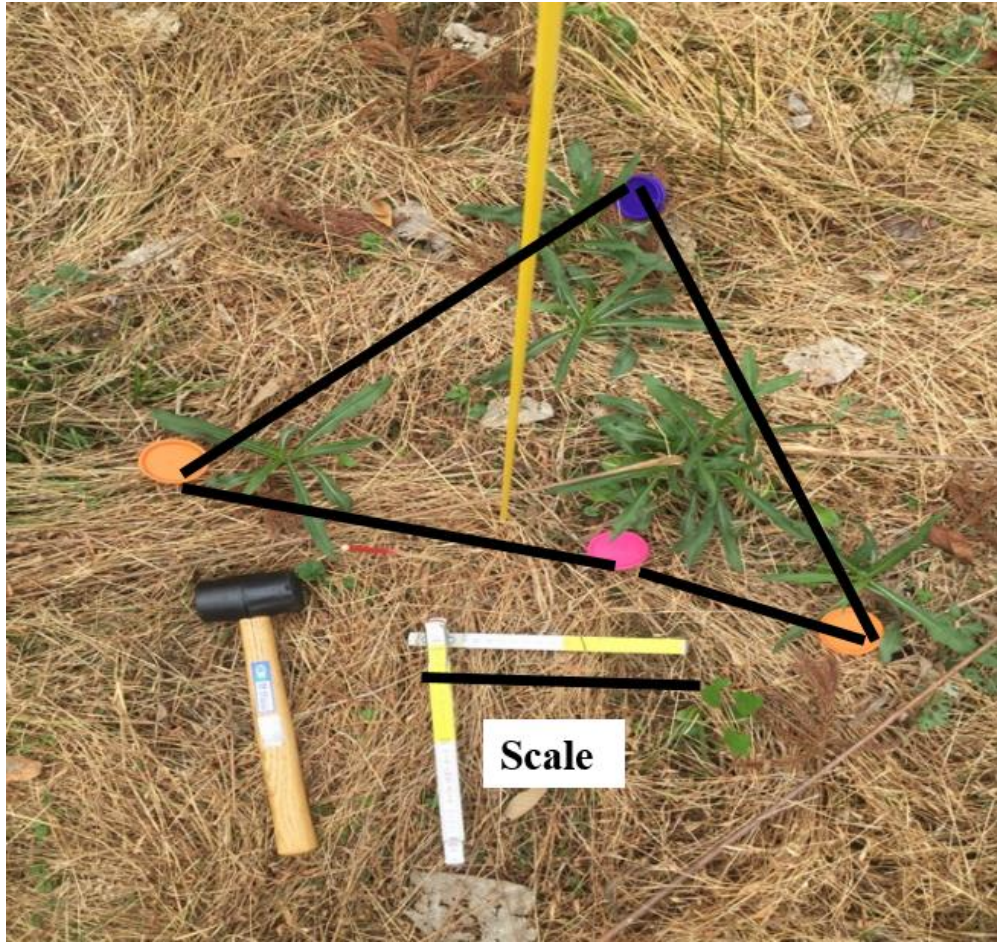


Figure 7. Type of patch of *Solidago altissima* (Scale bar: 25cm)

1.5 친환경 제거의 여름 식생조사

양미역취의 친환경 제거 방법을 통한 식생의 특징 및 변화 등을 확인하기 위하여 여름 색생조사를 실시하였다. 식생조사 방법은 '1.2 양미역취 우점 및 비우점 조사지 여름 식생 조사' 방법과 동일하게 수행하였다.

1.6 양미역취의 타감 능력 확인

타감작용에 양미역취를 적용하여 우점하는 원인에 타감 작용이 포함되는지 확인하기 위하여 상추(*Lactuca sativa* L.), 달맞이꽃(*Oenothera biennis* L.)에 발아율 및 유근생장 실험을 실시하였다. 2019년 9월에 벌초를 하고 남은 양미역취를 잎과 뿌리를 채집하여 세척 후 착즙기로 양미역취를 착즙하고 착즙액을 여과지(Whatman No.2)에 여과하였다. 그리고 양미역취 착즙액을 증류수에 희석하여 0%, 20%, 50%의 처리구로 나누어 실험을 하였다(Kim et al. 2005). 타겟종 선발은 종자의 Seedcoat가 단단하지 않은 종으로 선발하였다. 종자는 10개씩 페트리디쉬(n=7)에 넣고 희석된 착즙액을 5ml씩 분주하였다. 처리구들은 온도 25°C, 습도 80%가 맞추어진 식물생장상에서 설치하였다. 각 페트리디쉬의 종자들은 3일에 한번씩 발아율과 유근 생장의 길이를 측정하여 기록하였으며 처리구들을 균일하게 키우기 위하여 무작위로 위치를 교환하였다.

1.7 생물량 측정 및 토양 분석

양미역취의 친환경적인 제거를 통한 생물량이 어떻게 변화하는지 확인하기 위하여 벌초 전 키와 엽록소를 측정하였다. 그리고 양미역취의 지상부를 잘라 단위면적 당 생물량을 측정하였다. 또한 처리구별 양미역취의 잎 수를 확인하기 위하여 무작위로 5개체의 지상부를 잘라 잎 수를 측정하였다. 양미역취의 우점 및 비우점 지역의 토양의 차이, 양미역취가 침입한 지역에 경쟁 식물 간의 C, N, H 함량을 확인하고자 양미역취 우점, 비우점 지역의 중앙부에서 코어를 이용하여 흙을 채집하였다(Figure 8). 채집한 흙은 상온에서 5일간 건조하여 수분함량을 측정하였고, 2mm 체로 거른 후 1g의 시료를 질산 60%에 4ml를 넣고 24시간 상온에 두어 녹였다. 그리고 과염소산 70% 5ml를 추가로 넣어 200℃에서 액체 시료가 맑아 질때까지 끓였다(Song 2010). 맑아진 시료를 실온으로 식힌 후 증류수로 희석하여 여과지(Whatman No.2)에 여과하여 50ml로 맞추어 ICP (Inductively Coupled Plasma, ICP-730ES, Varian, Australia) 분석을 하였다. 또한 체로 거른 흙 1g을 채취하였고 우점 사이트에 있는 양미역취의 건조한 잎과 비우점 사이트에서 양미역취와 경쟁 관계에 있는 쑥(*Artemisia princeps* Pamp.)과 칩(*Pueraria thunbergiana* Bentham)을 채집하여 동일한 조건으로 EA(Elemental Analysis, Flash EA 1112, Thermo Electron corporation, USA) 분석을 하였다.



Figure 8. Soil sampling

2. 자원으로의 활용을 통한 수확

2.1 식물을 통한 정화

식물정화(Phytoremediation)를 사용하여 도로변과 같이 중금속에 오염된 지역의 양미역취를 제거를 하고 오염지를 정화하는 방식인 외래종과 오염지를 정화하는 일석이조의 효과를 도출할 수 있기에 실험을 진행하였다.

(1) 양미역취 종자 발아 및 화분 이식

2019년 3월에 양미역취 우점 지역에서 남은 종자를 채집하여 페트리디쉬에 종자를 발아시켰다. 발아한 종자는 5일 후에 상토(참그로, 한국)를 넣은 50공 포트에 하나씩 심어주고 온도 25℃, 습도 80% 유지되는 식물생장상에서 3일에 한번씩 관수하고 7일에 한번씩 500배 희석한 하이포넥스 레이쇼(Hyponex, Japan) 원액을 시비하였다. 50공 포트에서 30일 정도 키운 양미역취를 실험에 필요한 화분에 옮겨 심었다. 그리고 화분에 토양은 상토를 사용하였으며, 400g의 상토를 넣어서 심었다. 관수는 3일에 한번씩, 지효성 비료는 화분 면적에 알맞은 양을 1회만 시비하였다. 그리고 500배 희석한 하이포넥스 레이쇼 원액은 7일에 한번씩 시비하였으며, 나노 물질을 처리 후에는 비료를 시비하지 않았다. 양미역취를 균일하게 키우기 위하여 식물생장상 내부에서 무작위로 위치 교환 하였다. 이 후 양미역취가 화분에서 안정기를 가질 수 있도록 20일 동안

식물생장상에 놔두어 생장을 하였다.

(2) 농도에 따른 나노물질 처리

실험에 사용한 물질은 nano-TiO₂(AEROXIDE TiO₂ P 25', Evonik Industries, Germany, aerosol, ≥99.5%, anatase: rutile 80:20, 27 nm particle size), AgNP(ABC Nanotech, Korea, 200,000 mg/L, citrate capped, 10–15 nm particle size)를 사용하였으며, nano-TiO₂ 는 0 mg/kg, 10 mg/kg, 100 mg/kg, 1000 mg/kg, 5000 mg/kg을 설정하였으며(Coll et al. 2016), AgNP는 0 mg/L, 10 mg/L, 100 mg/L, 1000 mg/L, 5000 mg/L을 처리구 별 농도로 설정하였다(Zuverza-Mena et al. 2016). 화분(n=5)에 이식된 양미역취에 각 처리구별 농도에 맞게 끄 나노 물질을 시비하였으며 nano-TiO₂ 는 분말 형태라서 시비 후 흙과 잘 섞이게 하였다. 관수는 3일에 한번씩 하였으며 관수 시 화분 받침에 나노 물질이 포함된 물이 나가지 않도록 화분에 다시 넣어줘서 순환 시켜줬으며, 화분 받침에 침전될 수 있는 나노 물질의 경우는 화분 받침 안쪽을 긁어서 화분에 다시 넣어줘 나노 물질이 순환 할 수 있게 하였다.

(3) 생물량 측정 및 식물과 토양 분석

나노물질 농도 처리에 따라 양미역취가 어떻게 변화하였는지 확인하기

위하여 생물량 및 식물과 토양의 분석을 실시하였다. 실험방법은 1.7 생물량 측정 및 토양 분석에 제시된 방법으로 사용하였다.

2.2 양미역취의 항산화활성 분석

약용으로 사용하는 약초들은 멸종위기종이 많으며 이는 대중적으로 수확이 이루어져서 개체군이 위협을 받는 것처럼(Jeong et al. 2008), 이러한 개념을 착안하여 양미역취를 제거하고 남은 부산물 자원으로서 활용하여 간접이용으로 인한 제거를 할 수 있는지 여부를 확인하기 위하여 실험을 하였다.

(1) 추출물 제조

2019년 10월에 양미역취가 우점하는 7개사이트에서 벌초를 하고 남은 지상부를 채집하였다. 채집한 양미역취는 꽃, 잎으로 나누어 세척하고 60℃에서 24시간 건조시킨 뒤, 분쇄하여 분말 시료로 만들어 사용하였다. 그리고 분말 시료를 에탄올(EtOH) 추출을 이용하여 시료 15.74 g에 70% EtOH 500ml 를 가하고 교반기에서 24시간 동안 추출하였다. 추출물을 여과지(Whatman No.2)를 이용하여 여과한 후 회전농축감압기로 농축하고 동결건조하여 사용하였으며, 동결건조 된 시료는 실험에 사용하기 전까지 밀봉하여 -20℃에 보관하였다. 또한 일반적으로 약재로 이용하게 되는 쑥을 채집하여 동일한 실험 방법으로 추출 후 동결건조하여 양미역취와 비교하여 어떠한 차이가 있는지 확인하기 위하여 사용하였다.

(2) DPPH radical 소거 활성

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH; Sigma, Missouri, USA) 소거활성은 Blois방법(Blois 1958)에 따라 측정하였다. 먼저 96 well plate에 메탄올에 희석시킨 시료를 여러 가지 농도로 100 μ L씩 분주하고 0.4 mM DPPH 용액을 100 μ L 첨가 하여 빛이 없는 상태로 10분간 방치 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. Ascorbic acid(Sigma, Missouri, USA)를 대조군으로 사용하였으며, 100 μ L 첨가하였고 빛이 없는 상태로 10분간 방치 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 소거 활성은 다음 식으로 산출하였다.

$$\text{Scavenging activity (\%)} = 100 \times \left(\frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \right)$$

여기서 A_{control} 은 메탄올만 첨가한 혼합액의 흡광도를 의미하며, A_{sample} 은 시료를 첨가한 반응액의 흡광도를 나타낸다.

(3) ABTS radical 소거 활성

2,2'-Azino-bis-(3-ethyl benzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS; Sigma, Missouri, USA) radical 소거활성은 7 mM ABTS와 2.45 mM ammonium persulphate를 동량 혼합하여 24시간 방치 하여 사용하였다. 그 후 메탄올에 여러 가지 농도로 희석 시료를 100 μ L 분주하고 ABTS용액을 동량

첨가하여 어두운 곳에서 10분간 반응시킨 후 745 nm에서 흡광도를 측정하였다. Ascorbic acid 를 대조군으로 사용하였으며, 100 μ L 첨가하였고 빛이 없는 상태로 10분간 방치 후 745 nm에서 흡광도를 측정하였다. 소거 활성은 다음 식으로 산출하였다.

$$\text{Scavenging activity (\%)} = 100 \times \left(\frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \right)$$

여기서 A_{control} 은 에탄올만 첨가한 혼합액의 흡광도를 의미하며, A_{sample} 은 시료를 첨가한 반응액의 흡광도를 나타낸다.

3. 통계 분석

모든 실험 결과는 평균 \pm 표준오차로 나타내었고, 반복수는 최소 3반복부터 최대 75반복까지 사용하였다. 통계학적 분석은 Tukey's honest significant difference (HSD) test로 검정하여 $p < 0.05$ 일 때 유의성 있는 값으로 판단하였다. 통계 처리는 SAS (SAS v. 9.1, SAS Institute Inc., USA)를 사용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 양미역취 모니터링

1.1 조사지역 기상자료

다음 표에서는 제주지방기상청에서 제공한 기상자료이며(KMA 2019), 2018년 3월부터 2019년 10월까지 조사지의 평균 온도, 강수량, 일사량을 제시하였다(Table 2). 2018년 평균기온은 16.6℃, 평균 강수량은 1769.5mm, 평균 일사량은 5045.31 MJ/m² 을 기록하였다. 2019년 평균기온은 20.4℃, 평균 강수량은 1841.1mm, 평균 일사량은 4058.38 MJ/m² 가 기록되었다.

Table 2. Climate table of 2018 ~ 2019 based on the data of Jeju weather station

Year	Mean Temperature	Mean Precipitation	Mean Sunlight
2018	16.6 °C	1769.5 mm	5045.31 MJ/m ²
2019	20.4 °C	1842.1 mm	4058.38 MJ/m ²

1.2 양미역취의 침입 현황

양미역취는 제주대학교 인근에서 발견되었으며, 아라동과 오라동에서 많이 발견되었다. 양미역취의 우점 군락은 7개가 발견되었다. 이러한 우점 군락의 특징은 도로변 근처에서 발견이 된다. 이는 교통량이 많은 도로에서 차량 및 화물에 이동으로 인한 교란으로 사료된다. 또한 공터나 경작하지 않은 밭에서도 발견이 되는데 이는 관리가 되지 않아서 한번 자리를 잡으면 계속 퍼져나가는 것으로 사료된다. 다음 표에서는 2018년 3월에 측정한 양미역취 우점 군락 지역의 슈트수를 처리구 별로 제시하였다(Table 3). 그리고 부산 낙동강 하류지역에서는 매우 많은 수의 양미역취가 우점하며, 군락의 형태로 확산되고 있는데 제주도의 경우 이제 확산되는 추세이기 때문에 위해성이 더 많아지기 전에 관리가 필요하다.

Table 3. Measured Shoots of *Solidago altissima*, March 2018

Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3	Eco 200
61.13 ± 9.45	63.2 ± 8.55	70.13 ± 11.54	76.2 ± 12.33	79.0 ± 19.16

The data are presented as the mean ± SE of fifteen replicates.

1.3 2018 ~ 2019년 양미역취 우점 및 비우점 지역 생물다양성

양미역취 우점 및 비우점 지역에서 나타나는 생물다양성에 차이를 확인하기 위하여 2018년 7월에는 양미역취 우점 및 비우점 지역에서 여름 식생 조사를 실시 하였으며, 2019년 7월에는 양미역취 우점 지역 식생 조사를 실시하였다. 각 사이트 별 출현종 목록은 부록에서 제시 하였다(Appendix 1~21). 다음 표에서는 모든 조사 지역에 출현종을 표시하였다(Table 4~6). 2018년과 2019년에 양미역취 우점 지역에서는 국화과(科)가 많이 출현하였고 다음으로는 벼과 (科), 장미과(科)가 자주 출현하였다. 특히 국화과(科)에서 많은 외래종이 출현되고 특히 양미역취, 서양금혼초 등 침입성이 강한 외래 식물이 출현 하였다. 양미역취 비우점 지역에서는 국화과(科)가 많이 출현하였고 벼과(科), 콩과(科)가 자주 출현 하였다. 양미역취 우점 지역에서 2018년에는 44종이 출현, 2019년에는 37종이 출현하였고 비우점 지역에서는 53종이 출현하여 비우점 지역에서 종 수의 차이로 인한 생물다양성이 높게 측정이 되어 우점과 비우점 지역의 생물다양성의 차이가 확연히 드러났다.

Table 4. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 과 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
박쥐나물	<i>Parasenecio auriculata</i> var. <i>matsumurana</i> Nakai	P	
고들빼기	<i>Crepidiastrum sonchifolium</i> (Bunge) Pak & Kawano	B	
서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	P	O
망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	B	O
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	B	
큰금계국	<i>Coreopsis lanceolata</i> L.	P	O
Rosaceae	장미 과 (Family)		
뱀딸기	<i>Duchesnea chrysantha</i> (Zoll. & Moritzi) Miq.	P	
장딸기	<i>Rubus hirsutus</i> Thunb.	P	
산딸기	<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge	P	
찔레꽃	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.	P	
Leguminosae	콩 과 (Family)		
철	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don	P	
Gramineae	벼 과 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
큰이삭풀	<i>Bromus unioloides</i> H.B. & K.	P	O
큰김의털	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	P	O
강아지풀	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	A	
방울새풀	<i>Briza minor</i> L.	A	O
갈대	<i>Phragmites communis</i> Trin.	P	
Polygonaceae	마디풀 과 (Family)		

소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	P	O
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Spach	A	
며느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i> Gross	A	
Phytolaccaceae	자리공 科 (Family)		
미국자리공	<i>Phytolacca Americana</i> L.	A	O
Ranunculaceae	미나리아제비 科 (Family)		
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	P	
Commelinaceae	닭의장풀 科 (Family)		
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	A	
Labiatae	꿀풀 科 (Family)		
개박하	<i>Nepeta cataria</i> L.	P	
Aspleniaceae	꼬리고사리 科 (Family)		
고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	P	
Umbelliferae	산형 科 (Family)		
피막이	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam.	P	
Cyperaceae	사초 科 (Family)		
그늘사초	<i>Carex lanceolata</i> Boott	P	
Urticaceae	쑥기풀 科 (Family)		
모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	P	
Amaranthaceae	비름 科 (Family)		
쇠무릎	<i>Achyranthes japonica</i> (Miq.) Nakai	P	
Saxifragaceae	범의귀 科 (Family)		
수국	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	P	
Geraniaceae	쥐손이풀 科 (Family)		
쥐손이풀	<i>Geranium sibiricum</i> L.	P	
Rubiaceae	꼭두서니 科 (Family)		
계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	P	
갈퀴덩굴	<i>Galium spurium</i> L.	B	
Cannabaceae	삼 科 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Sieboid & Zucc.	A	

Cucurbitaceae	박 과 (Family)	
하늘타리	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	P
Asclepiadaceae	박주가리 과 (Family)	
박주가리	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	P
Plantaginaceae	질경이 과 (Family)	
질경이	<i>Plantago asiatica</i> L.	P
Osmundaceae	고비 과 (Family)	
고비	<i>Osmunda japonica</i> Thunb.	P
Araliaceae	두릅나무 과 (Family)	
두릅나무	<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem.	P

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Table 5. Present vegetation of *Solidago altissima* non-dominanted site, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 과 (Family)		
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	B	
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
서양민들레	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	P	O
망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	B	O
단풍취	<i>Ainsliaea acerifolia</i> Sch.Bip.	P	
개미취	<i>Aster tataricus</i> L.f.	P	
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	P	O
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
원추천인국	<i>Rudbeckia bicolor</i> Nutt.	P	O
뽕쑥	<i>Artemisia feddei</i> H.Lev.	P	

금계국	<i>Coreopsis drummondii</i> L.	B	O
똥판지	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	P	O
중대가리풀	<i>Centipeda minima</i> L.	A	
방가지똥	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	B	
미국가막사리	<i>Bidens frondosa</i> L.	A	O
Rosaceae	장미 科 (Family)		
산딸기	<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge	P	
뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	P	
곰딸기	<i>Rubus phoenicolasius</i> Maxim.	P	
Chenopodiaceae	명아주 科 (Family)		
명아주	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	A	
Leguminosae	콩 科 (Family)		
토끼풀	<i>Trifolium repens</i> L.	P	O
돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	A	
췌	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don	P	
차풀	<i>Chamaecrista nomame</i> (Siebold) H. Ohashi	A	
Gramineae	벼 科 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
방울새풀	<i>Briza minor</i> L.	A	O
큰이삭풀	<i>Bromus unioloides</i> H.B. & K.	P	O
강아지풀	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	A	
개밀	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi	B	
Polygonaceae	마디풀 科 (Family)		
소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	P	O
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre	A	
며느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i> Gross	A	
Phytolaccaceae	자리공 科 (Family)		
미국자리공	<i>Phytolacca Americana</i> L.	A	O
Ranunculaceae	미나리아제비 科 (Family)		

사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	P	
Commelinaceae	닭의장풀 科 (Family)		
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	A	
Oxalidaceae	괘이밥 科 (Family)		
괘이밥	<i>Oxalis corniculata</i> L.	P	
Urticaceae	쑤기풀 科 (Family)		
모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	P	
Geraniaceae	쥐손이풀 科 (Family)		
쥐손이풀	<i>Geranium sibiricum</i> L.	P	
Cannabaceae	삼 科 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	A	
Cucurbitaceae	박 科 (Family)		
하늘타리	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	P	
Onagraceae	바늘꽃 科 (Family)		
달맞이꽃	<i>Oenothera biennis</i> L.	B	O
Asclepiadaceae	박주가리 科 (Family)		
박주가리	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	P	
Plantaginaceae	질경이 科 (Family)		
질경이	<i>Plantago asiatica</i> L.	P	
Apocynaceae	협죽도 科 (Family)		
마삭줄	<i>Trachelospermum asiaticum</i> Nakai	P	
Euphorbiaceae	대극 科 (Family)		
깨풀	<i>Acalypha australis</i> L.	A	
Acanthaceae	쥐꼬리망초 科 (Family)		
쥐꼬리망초	<i>Justicia procumbens</i> L.	A	
Solanaceae	가지 科 (Family)		
까마중	<i>Solanum nigrum</i> L.	A	O
Violaceae	제비꽃 科 (Family)		
제비꽃	<i>Viola mandshurica</i> W.Becker	P	
Guttiferae	물레나물 科 (Family)		
고추나물	<i>Hypericum erectum</i> Thunb.	P	

Liliaceae	백합 科 (Family)	
청미래덩굴	<i>Smilax china</i> L.	P
Convolvulaceae	메꽃 科 (Family)	
고구마	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	P

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Table 6. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site, July 2019

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
뚱딴지	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
영경귀	<i>Cirsium japonicum</i> var. <i>ussuriense</i> Kitamura	P	
서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	P	O
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	B	
서양민들레	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	P	O
망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	B	O
큰금계국	<i>Coreopsis lanceolata</i> L.	P	O
Rosaceae	장미 科 (Family)		
뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	P	
Leguminosae	콩 科 (Family)		
철	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don	P	
새콩	<i>Amphicarpaea trisperma</i> (Miq.) Baker	A	
Gramineae	벼 科 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	

개밀	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi	B	
왕바랭이	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	A	
방울새풀	<i>Briza minor</i> L.	A	O
Commelinaceae	닭의장풀 科 (Family)		
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	A	
Polygonaceae	마디풀 科 (Family)		
머느리밑씻개	<i>Persicaria senticosa</i> Nakai	A	
소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	P	O
Phytolaccaceae	자리공 科 (Family)		
미국자리공	<i>Phytolacca Americana</i> L.	A	O
Ranunculaceae	미나리아제비 科 (Family)		
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	P	
Commelinaceae	닭의장풀 科 (Family)		
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	A	
Aspleniaceae	꼬리고사리 科 (Family)		
고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	P	
Umbelliferae	산형 科 (Family)		
구릿대	<i>Angelica dahurica</i> Benth.	B	
피막이	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam.	P	
Cyperaceae	사초 科 (Family)		
그늘사초	<i>Carex lanceolata</i> Boott	P	
Urticaceae	췌기풀 科 (Family)		
모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	P	
Saxifragaceae	범의귀 科 (Family)		
수국	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	P	
Rubiaceae	꼭두서니 科 (Family)		
계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	P	
Cannabaceae	삼 科 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Sieboid & Zucc.	A	
Cucurbitaceae	박 科 (Family)		

하늘타리	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	P
Actinidiaceae	다래나무 과 (Family)	
다래	<i>Actinidia arguta</i> Planch.	P
Pinaceae	소나무 과 (Family)	
소나무	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.	P
Apocynaceae	협죽도 과 (Family)	
마삭줄	<i>Trachelospermum asiaticum</i> Nakai	P

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

1.4 양미역취 우점 및 비우점 지역의 생물다양성의 차이 결과

2018년 여름 식생조사를 바탕으로 양미역취 우점 및 비우점 지역에 침입종인 양미역취가 우점함에 따라 식생 차이가 있는지 여부를 확인하기 위하여 우점과 비우점 간에 차이를 비교 하였다(Table 7). 그 결과 양미역취의 평균 피도는 우점 지역에서 83.2, 비우점 지역에서 5.6으로 평균 피도값이 매우 크게 차이가 있으며 통계적으로 유의한 값을 나타낸다. 그리고 평균 종 수를 비교해보면 우점 지역은 4.8, 비우점 지역은 7.8로 비우점 지역은 평균 종 수가 높으며 유의한 값을 나타내고 있다. 또한 평균 자생종을 비교 해보면 우점 지역에서 3.1, 비우점 지역에서는 4.9로 비우점 지역에서 평균 자생종 수가 많으며 유의한 값의 결과를 보이고 있다. 우점 지역은 비우점 지역에 비해 평균 종수, 평균 자생종 수가 작고 양미역취 피도는 매우 높게 측정이 되었다. 이러한 결과는 양미역취의 강한 침입성과 지하경으로 인하여 지표면을 덮게 되어 피도가 높게 나오고 다른 식물이 정착할 수 있는 기회가 줄어들어 우점 및 비우점 사이트의 식생 차

이가 발생하는 것으로 사료된다(Weber 2000, Walck et al. 2001). 이는 양미역취가 침입하는 지역은 생물다양성이 감소하는 결과를 낳게 된다.

Table 7. Comparison of biodiversity of *Solidago altissima* and native species dominated sites

Stie / Treatment	Average coverage of <i>S. altissima</i>	Average number of total species	Average number of native species
<i>S. altissima</i> dominated	83.2 ^a	4.8 ^b	3.1 ^b
Native species dominated	5.6 ^b	7.8 ^a	4.9 ^a

The data are presented as the mean \pm SE of 75 replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$.

1.5 2018 ~ 2019년 양미역취 우점 지역 피도 비교 결과

2018년과 2019년 여름에 실시한 식생 조사에서 양미역취 우점 지역에 양미역취의 피도를 비교하였다(Table 8). 그 결과 2018년에는 벌초 처리를 1회만 하여서 대조구와 처리구 간에 통계적으로 유의한 차이가 발견되지 않았다. 또한 처리구 사이에서도 유의한 차이가 발견되지 않았다. 2019년 양미역취의 피도에서는 대조구와 처리구 간에 피도 값이 통계적으로 유의한 차이가 확인이 되었다. 벌초 2회 처리구에서 피도값이 대조구에 비해 유의하게 낮은 값을 나타냈으며, 벌초로 인한 생물량 및 종 풍부도가 감소하여 양미역취의 피도가 대조구에 비해 감소하는 경향을 보이는 것으로 사료된다(Yang et al. 2012). 이러한 결과를 바

탕으로 양미역취의 피도 감소는 해당 지역의 양미역취의 면적을 감소 시켜 다른 종이 자리 잡을 수 있는 기회를 제공하여 생물다양성을 증가시킬 수 있는 가능성을 제시한다고 판단된다.

Table 8. Comparison of coverage of *Solidago altissima* dominated sites

Year / Treatment	Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3
2018	74.33 ± 8.35 ^a	86.66 ± 4.13 ^a	72.0 ± 4.89 ^a	82.0 ± 5.40 ^a
2019	72.33 ± 7.18 ^{ab}	88.33 ± 2.27 ^a	71.66 ± 5.82 ^b	73.66 ± 6.33 ^{ab}

The data are presented as the mean ± SE of fifteen replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$.

1.6 2018 ~ 2019년 양미역취 우점 및 비우점 지역 통합 중요도 비교 결과

2018 ~ 2019년 양미역취 우점 및 비우점 지역의 여름 식생조사 데이터를 바탕으로 지역별로 우점하는 종이 어떠한 차이가 있는지 확인하기 위하여 통합 중요도를 나타냈다. 그리고 양미역취 우점 및 비우점 세부 지역의 중요도는 부록에 제시하였다(Appendix 22~42). 2018년 양미역취 우점 지역 통합 중요도에서는 양미역취 0.409로 최우점 종에 기록이 되었으며, 칩 0.141, 쑥 0.087 순으로 나타났다. 그리고 외래종으로는 소리쟁이가 0.022 값으로 Rank 7에 기록되었다(Table 9). 2018년 비우점 지역 통합 중요도에서는 돌콩 0.166, 칩 0.158, 망초 0.154 순으로 나타났으며, 양미역취는 0.104 값으로 Rank 6에 기록되었다(Table 10). 이러한 결과는 우점 및 비우점 지역에서 양미역취의 최우점 종의 차이가 확연히 드러난다. 하지만 제주도에서 침입성이 강한 서양금혼초가 0.103의 값으로서 Rank 7에 기록이 되었다. 2019년 양미역취 우점 통합 중요도에서는 양미역취가 0.321 값으로서 최우점 종으로 나타났다. 그리고 칩 0.128, 사위질빵 0.089 순으로 기록되었다(Table 11). 모든 지역의 통합 중요도 순위에서 칩은 Rank 2를 기록하는데 이러한 결과는 양미역취와 칩은 경쟁관계에 있으며, 덩굴 식물이고 빠르게 퍼져 나가 이러한 중요도 값이 나타난 것으로 사료된다(Frankel 1989).

Table 9. Total I.V. of *Solidago altissima* dominated sites, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V.
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.409
2	쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	0.141
3	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.087
4	박주가리	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	0.032
5	장딸기	<i>Rubus hirsutus</i> Thunb.	0.028
6	고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	0.024
7	소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	0.022
8	왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	0.021
9	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.021
10	계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	0.019

Table 10. Total I.V. of *Solidago altissima* non-dominated sites, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V.
1	돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	0.166
2	쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	0.158
3	망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	0.154
4	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.137
5	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	0.130
6	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.104
7	서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	0.103
8	개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	0.099
9	비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	0.061
10	강아지풀	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	0.055

Table 11. Total I.V. of *Solidago altissima* dominated sites, July 2019

Rank	Korean name	Scientific name	I.V.
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.321
2	쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth	0.128
3	사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	0.089
4	계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	0.061
5	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.050
6	참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	0.046
7	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.035
8	모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	0.026
9	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	0.022
10	피막이	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam.	0.021

1.7 2018 ~ 2019년 양미역취 우점 지역 평균 중요도 비교 결과

양미역취 우점 지역에서 벌초 처리에 따른 최우점 종인 양미역취의 중요도 값의변화를 확인하기 위하여 우점 지역의 세부 지역의 년도 별 차이를 비교하였다(Table 12). 2018년 양미역취의 평균 중요도 값이 0.413, 2019년에는 0.32로 중요도 값이 감소하였으며, 다음 표와 같이 2019년 양미역취가 우점하는 모든 사이트에서 2018년에 비해 중요도 값이 감소하는 결과가 나타났다. 이러한 결과는 벌초 처리를 함으로써 지상부의 생물량 감소와 피도 감소 효과로 나타난 결과로 사료된다(Egli and Schmid 2000). 이러한 결과로 잦은 벌초 인한 양미역취의 감소는 생물다양성을 증가 시킬 수 있는 기회로 이어질 수 있다고 판단된다.

Table 12. Comparison of mean I.V. of *Solidago altissima* dominated sites, 2018 ~ 2019

Year / Site	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	Site 7
2018	0.371	0.359	0.571	0.479	0.339	0.446	0.329
2019	0.241	0.245	0.415	0.334	0.32	0.358	0.326

1.8 침입종의 우점하는 원인인 타감 작용에 관한 결과

우리나라에서는 귀화식물이 자생 식물과의 경쟁에서 우위를 점 할 수 있는 기작 및 생태, 생리 연구는 일부 종에서는 이루어져 왔으나(Kim and Kim 2001) 귀화식물의 타감 작용에 대한 체계적인 연구는 미흡한 상태이다. 또한 제주도에서 강한 침입성을 가진 서양금혼초(*Hypochaeris radicata* L.)는 타감 물질에 분비가 이루어져 식물에서 발아 및 성장을 저해하는 타감 작용 때문에 많은 곳에서 우점하게 되고(Muller 1969), 이러한 요인으로 인하여 생물종 다양성이 감소하는 경향이 보이게 된다(Atkinson et al. 2000). 따라서 본 연구에서는 양미역취의 수용 추출액을 처리하여 타감 작용이 발아율 및 유근 성장에 미치는 영향을 조사하였다.

(1) 양미역취 수용추출액 처리에 따른 발아율 및 유근성장 결과

양미역취 수용 추출액을 상추(*Lactuca sativa* L.)와 달맞이(*Oenothera biennis* L.)에 처리한 후 발아율을 보면 상추는 대조구에서는 6일차까지는 발아율이 증가하다가 9일차에서는 일정하게 유지되었으며, 20% 처리구는 9일차까지는 발아를 하지않다가 12일차에 8.6%의 발아율을 보였고, 50%는 실험 기간동안 발아 하지 않았다. 달맞이꽃은 6일차부터 발아율이 계속 증가하였으며, 20% 처리구에서는 12일차에서만 발아율이 측정되었다. 그리고 50% 처리구에서도 12일차에서 발아율이 측정되었는데 1.4%으로 매우 낮은 수치를 보이고 있다

(Table 13). 두 종자의 발아 이후 유근의 길이를 측정하였는데(Table 14), 상추에서는 20%와 50%에서 9일까지는 유근 생장이 없다가 20%와 50%에서는 대조구와는 유근 길이가 통계적으로 유의한 차이가 있는 값이 특히 20% 처리구에서는 유근의 길이가 매우 낮게 측정이 되었다. 달맞이꽃의 경우 대조구와 처리구간에 통계적으로 유의한 값이 나왔다. 또한 20%와 50% 처리구에서는 발아 자체를 하지 않아 0의 값이 나왔다. 이러한 결과는 두 종 모두 종자가 단단하지 않은 seed coat에 싸여 있어서 타감 물질에 의한 영향을 받았을 가능성이 높고, 양미역취가 가진 타감 물질이 다른 식물에 독성을 일으켜 성장력을 저해한 결과로 해석된다(Ito et al. 1998). 이렇듯 양미역취가 가지고 있는 타감 물질에 의한 주변 식물이 교란을 받아 성장과 발아력 저해로 인해 양미역취가 우점하는데 도움을 되었을 거라 사료된다.

Table 13. Germination rates (%) of *L. sativa* and *O. biennis* after treatments

	<i>L. sativa</i>				<i>O. biennis</i>			
	3 days	6 days	9 days	12 days	3 days	6 days	9 days	12 days
Control	32.9 ± 6.8	44.3 ± 7.8	44.3 ± 7.8	44.3 ± 7.8	0 ± 0	45.7 ± 5.7	54.3 ± 6.9	65.7 ± 9.7
20%	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	8.6 ± 4.6	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	17.1 ± 9.4
50%	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	1.4 ± 1.4

The data are presented as the mean ± SE of seven replicates.

Table 14. Effect of *Solidago altissima* extract solution on root elongation of *L. sativa* and *O. biennis*

	<i>L. sativa</i>				<i>O. biennis</i>			
	3 days	6 days	9 days	12 days	3 days	6 days	9 days	12 days
Control	2.9 ± 0.2 ^a	8.6 ± 0.2 ^a	8.9 ± 0.4 ^a	10.5 ± 0.8 ^a	0 ± 0 ^a	1.3 ± 0.05 ^a	4.4 ± 0.5 ^a	5.2 ± 0.2 ^a
20%	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^b	0.8 ± 0.4 ^b	0 ± 0 ^a	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^b
50%	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^a	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^b

The data are presented as the mean ± SE of five replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$.

2. 친환경 관리방법 연구 결과

2.1 벌초 횟수 및 Eco 200 처리에 키 측정 결과 - 2018

벌초를 한 지역과 벌초를 안한 지역에는 차이가 있으며, 종 구성의 전반적인 변화가 있다(Güsewell et al. 1998). 벌초는 식물의 구조에 짧은 시간에 식물 구조 변화와 천이 효과를 나타낸다(McCoy et al. 2001). 또한 각 식물의 개체와 벌초를 한 지역이 벌초를 안한 지역보다는 최종 생물량이 작다(Egli and Schmid 2000). 그리고 자주 벌초를 해주면 지하부 생물량이 작게 유도된다. 따라서 본 연구에서는 양미역취의 벌초 횟수에 따른 처리 결과를 확인 해 보았다. 2018년 7월에는 처리구 별 키 측정을 하였다(Table 15). 측정 결과 5월에 첫 벌초를 한 후 양미역취가 우점하는 7개 사이트에서 대조구와 벌초 처리구에서 통계적으로 유의한 차이를 확인하였다. 하지만 Eco 200 처리구에서는 대조구 보다 유의하게 키가 크거나, 대조구와 통계적으로 차이가 없었다. 이러한 결과로 볼 때 Eco 200 처리구의 경우 벌초를 하고 슈트 수의 30%를 Eco 200을 처리하는 것만으로는 성장량을 유의하게 감소 시키지를 못하는 것으로 사료된다. 이러한 이유로 Eco 200 처리구는 성장량을 유의성 있게 감소하지도 않고 벌초와 더불어 약제를 처리하는 두 가지에 처리를 병행 해야 하므로 효율성 문제 때문에 2018년 9월까지만 처리를 하고 더 이상 실험을 진행하지 않았다.

Table 15. Heights of plant before mowing on the respective treatment in July 2018

Site / Treatment	Control	Mowing	Eco 200
Site 1	102.1 ± 3.2 ^b	96.9 ± 4.8 ^b	118.7 ± 5.6 ^a
Site 2	156.9 ± 5.5 ^a	99.0 ± 2.2 ^b	148.0 ± 5.2 ^a
Site 3	129.1 ± 4.9 ^a	70.8 ± 2.6 ^c	106.3 ± 6.4 ^b
Site 4	119.5 ± 3.1 ^b	81.0 ± 1.4 ^c	129.5 ± 2.1 ^a
Site 5	187.5 ± 5.1 ^a	83.5 ± 3.2 ^c	164.3 ± 5.4 ^b
Site 6	183.3 ± 6.2 ^a	68.5 ± 2.2 ^c	119.8 ± 4.0 ^b
Site 7	158.5 ± 10.4 ^a	74.0 ± 1.7 ^c	140.5 ± 2.9 ^b

The data are presented as the mean ± SE of twenty replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: Cm

2.2 양미역취 고사체 키 측정 결과

양미역취 우점 군락 지역의 1년동안 별초 및 Eco 200을 처리하여 처리구 별로유의한 차이가 있는지 여부를 확인하기 위하여 2019년 4월에 양미역취 고사체의 키를 측정하였다. 작년 고사체 키 측정 결과는 대부분의 처리구에서 대조구와는 통계적으로 유의한 값의 차이를 보이고 있다(Table 16). 특히 별초 1~3회 처리구는 두드러진 차이를 보이고 있지만, Eco 200은 대조구와 유의성 있게 차이가 나지 않거나 고사체의 키가 별초 처리구 보다는 값이 크게 나왔다. 이러한 결과는 별초에 비해서는 성장량 감소 효과가 미미하다고 볼 수 있다. 그리고 별초 3회에서는 두드러지게 키 차이가 많이 나타났으며, 별초 2회에서도 3회와 비슷한 값의 결과를 보이고 있다. 이는 별초 2회의 경우 별초 3회와 마찬가지로 9월에 별초 처리를 하기 때문에 위와 같은 값을 보이는 것으로 사료된다. 이러한 결과를 비춰 볼 때 별초 횟수에 따른 양미역취의 성장량 감소가 침입을 저해하는 결과를 유도하는 것으로 보인다.

Table 16. Heights of plants after death during winter season

Site / Treatment	Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3	Eco 200
Site 1	162.8 ± 6.62 ^a	85.7 ± 5.52 ^b	29.5 ± 2.74 ^c	21.3 ± 2.09 ^c	77.9 ± 8.94 ^b
Site 2	213.2 ± 12.08 ^a	87.1 ± 7.33 ^c	38.4 ± 2.17 ^d	29.0 ± 2.01 ^d	144.8 ± 9.57 ^b
Site 3	163.4 ± 7.31 ^a	66.3 ± 4.55 ^c	40.7 ± 2.57 ^d	33.4 ± 2.11 ^d	143.4 ± 7.13 ^b
Site 4	191.6 ± 3.84 ^a	160.8 ± 7.90 ^b	59.2 ± 1.66 ^d	81.9 ± 6.50 ^c	166.9 ± 12.33 ^b
Site 5	181.7 ± 4.76 ^a	114.7 ± 2.90 ^b	89.5 ± 10.23 ^c	46.6 ± 5.12 ^d	183.8 ± 9.00 ^a
Site 6	174.8 ± 4.34 ^a	82.9 ± 4.49 ^c	39.7 ± 2.51 ^d	31.6 ± 2.47 ^d	153.3 ± 3.12 ^b
Site 7	165.5 ± 4.79 ^a	91.2 ± 6.02 ^b	64.7 ± 3.24 ^c	44.0 ± 3.67 ^d	153.8 ± 7.25 ^a

The data are presented as the mean ± SE of twenty replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: Cm

2.3 별초 횟수 따른 키 측정 결과 - 2019

2018년과 동일하게 별초에 횟수에 따른 양미역취의 생장량 감소가 각 처리구 별로 어떻게 변화하는지 확인하기 위하여, 2019년 5월에 별초 전에 올해 새로 자란 양미역취의 키를 측정하였다(Table 17). 별초 전 키 측정 결과값을 보면 대조구와 별초 1회(7월 별초) 처리구의 경우 통계적으로 유의한 차이가 많이 나타나지 않았다. 또한 대조구와 약간의 차이가 있는 처리구가 나타났다. 별초 2회(5, 9월 별초)와 별초 3회(5, 7, 9월 별초)의 경우 대조구와는 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 그리고 별초 1회와 2회 또한 유의한 값의 차이를 보이고 있다. 별초 3회의 경우 별초 1회와는 유의한 값의 차이를 보이고 있다. 또한 별초 2회와 비교 해보면 유의하게 키 차이가 감소하는 경향이 있는 것으로 사료된다. 2019년 7월 별초 전 키 측정 결과를 다음 표에 제시 하였다(Table 18). 7월의 키 측정 결과의 경우 5월에 별초를 하여 잘려나간 후 양미역취의 생장량을 측정하였다. 대조구와 별초 1회 처리구를 비교 해 보았을때는 통계적으로 유의한 값이 차이를 보이지 않거나, 오히려 별초 1회가 대조구 보다 키가 유의성 있게 크게 나왔다. 이러한 결과는 별초 1회는 7월에 한번만 처리하기 때문에 효과가 미미하거나 생장량이 좋게 나오는 결과로 사료된다. 별초 2, 3회의 경우는 대조구와는 생장량이 유의성 있게 감소 하였다. 양미역취 우점 7개 사이트 중 5개가 별초 2, 3회가 통계적으로 차이가 없었으며, 오히려 별초 2회가 생장량이 작게 나온 사이트가 존재한다. 2019년 9월 별초 처리구 별 결과는 다음 표에 제시 되었다(Table 19). 7개 사이트 중 1곳의 별초 2회 처리구만 제외하고 대조구와는 통계적으로 유의한 값의 차이를 보이고 있다. 9월의 별초 2회 처리구는 별초 1회보

다는 생장량이 크거나 통계적으로 차이가 없게 나왔다. 이러한 이유는 벌초 2회는 5, 9월 그리고 벌초 1회는 7월에 처리하기 때문에 양미역취가 잘려나간 후 생장할 수 있는 기간 차이로 인하여 생장량이 차이를 보이는 것으로 사료된다. 또한 벌초 3회 와 1회는 2개 사이트에서 차이가 없었는데 이 또한 같은 7월달에 처리를 해서 이러한 결과값이 나온 것으로 사료된다. 그리고 3개 사이트에서는 대조구와 벌초 1, 2, 3회의 순서대로 통계적으로 유의하게 생장량이 감소하는 것을 비취볼 때 벌초에 의한 효과로 벌초의 횟수가 증가할 수로 생장량이 유의하게 감소하는 결과값을 얻는 것으로 사료되며 (Willms 1991), 또한 생장량 감소가 침입을 저해하는 것으로 사료된다 (Wilson and Clark 2001). 특히 연구 중에 해외 연구진과 디스커션중에 구글에서 양미역취 학명으로는 검색이 되지 않았던 연구를 받았는데 본 연구와 비슷한 결과인 “벌초가 침입을 저해한다” 는 결과를 보였다.

Table 17. Heights of plant before mowing on the respective treatment in May 2019

Site / Treatment	Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3
Site 1	101.0 ± 3.2 ^a	101.0 ± 3.0 ^a	81.1 ± 2.6 ^b	64.9 ± 3.1 ^c
Site 2	116.5 ± 4.7 ^a	111.8 ± 4.7 ^a	82.9 ± 4.1 ^b	72.5 ± 6.6 ^b
Site 4	89.1 ± 2.2 ^a	74.8 ± 2.2 ^b	49.5 ± 3.1 ^d	59.8 ± 1.6 ^c
Site 5	93.5 ± 2.5 ^a	99.5 ± 2.3 ^a	78.0 ± 2.0 ^b	77.1 ± 2.0 ^b
Site 6	125.3 ± 5.2 ^a	117.0 ± 3.0 ^a	86.5 ± 3.0 ^c	105.0 ± 3.4 ^b
Site 7	123.3 ± 3.3 ^a	119.3 ± 2.9 ^{ab}	111.3 ± 2.8 ^{bc}	110.3 ± 3.1 ^c
Site 8	96.0 ± 4.0 ^a	94.5 ± 4.1 ^{ab}	84.5 ± 3.3 ^{bc}	81.0 ± 3.1 ^c

The data are presented as the mean ± SE of ten replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: Cm

Table 18. Heights of plant before mowing on the respective treatment in July 2019

Site / Treatment	Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3
Site 1	128.8 ± 17.52 ^b	160.4 ± 8.18 ^a	65.6 ± 3.64 ^c	60.3 ± 4.7 ^c
Site 2	142.4 ± 11.34 ^b	170.7 ± 5.24 ^a	70.0 ± 6.01 ^c	119.0 ± 10.86 ^b
Site 3	120.3 ± 2.16 ^a	111.1 ± 4.31 ^b	51.7 ± 3.41 ^c	44.0 ± 1.99 ^c
Site 4	154.9 ± 8.60 ^a	157.8 ± 6.67 ^a	74.9 ± 10.6 ^b	78.1 ± 2.01 ^b
Site 5	185.3 ± 7.21 ^a	153.4 ± 9.18 ^b	81.6 ± 6.82 ^c	72.2 ± 8.07 ^c
Site 6	130.6 ± 8.48 ^a	128.9 ± 4.98 ^a	80.5 ± 3.24 ^b	71.6 ± 1.55 ^b
Site 7	120.1 ± 6.0 ^a	99.6 ± 10.93 ^b	89.1 ± 4.62 ^b	64.6 ± 2.84 ^c

The data are presented as the mean ± SE of ten replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: Cm

Table 19. Heights of plant before mowing on the respective treatment in September 2019

Site / Treatment	Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3
Site 1	168.0 ± 3.27 ^a	64.0 ± 3.32 ^c	100.5 ± 9.14 ^b	67.5 ± 3.1 ^c
Site 2	192.0 ± 11.3 ^a	79.0 ± 4.07 ^c	111.0 ± 6.9 ^b	73.0 ± 7.61 ^c
Site 3	159.0 ± 4.99 ^a	123.0 ± 7.12 ^b	84.5 ± 5.89 ^c	47.0 ± 2.71 ^d
Site 4	190.0 ± 2.98 ^a	102.0 ± 3.89 ^b	112.5 ± 8.07 ^b	62.0 ± 5.33 ^c
Site 5	217.0 ± 10.23 ^a	87.5 ± 4.9 ^c	137.0 ± 4.96 ^b	62.5 ± 3.1 ^d
Site 6	177.5 ± 6.76 ^a	97.5 ± 5.44 ^c	120.5 ± 4.97 ^b	60.0 ± 2.58 ^d
Site 7	143.5 ± 12.2 ^a	81.0 ± 2.77 ^b	138.5 ± 3.5 ^a	62.0 ± 4.67 ^b

The data are presented as the mean ± SE of ten replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: Cm

2.4 벌초 횟수에 따른 양미역취의 생리적인 반응

벌초 횟수에 따른 양미역취의 성장량의 감소 효과가 있었는데 이러한 감소가 식물에 스트레스가 유발되어 엽록소 함량이 어떻게 변화하는지 확인하기 위하여 SPAD meter를 사용해 확인하였다. 엽록소 함량 측정은 2018년에는 하지 않았는데 그 이유는 양미역취의 첫 벌초 시작이고 지상부 제거로 인한 스트레스 효과가 미미 할 수 있기 때문에 벌초를 모두 처리한 2019년 5월부터 9월까지 측정한 결과값을 다음 표에 제시 하였다. 2019년 5월 벌초 전 엽록소 함량은 대조구와 처리구 별 차이가 통계적으로 유의한 값이 차이가 나타나지 않는다 (Table 20). 7월에는 대조구와 벌초1회는 유의한 값에 차이를 보이지 않지만 벌초 2회의 경우 3개 사이트에서 유의적으로 낮은 값을 보이고 있다(Table 21). 이는 벌초 2회는 5월에 잘라 주었기 때문에 스트레스로 인한 효과로 사료된다. 9월 측정값은 대조구와 비교하여 유의한 값에 차이를 보이고 있지 않다(Table 22). 이러한 결과를 비춰 볼 때 벌초 횟수의 증가는 성장량 감소 및 양미역취의 스트레스를 유발하여 침입을 저해하는 효과가 있는 것으로 사료된다.

Table 20. Chlorophyll contents before mowing on the respective treatment in May 2019

Site / Treatment	Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3
Site 1	31.07 ± 1.08 ^{ab}	32.19 ± 1.04 ^a	28.94 ± 1.43 ^{bc}	26.76 ± 0.84 ^c
Site 2	28.05 ± 1.11 ^a	28.91 ± 1.05 ^a	29.72 ± 1.35 ^a	28.02 ± 1.60 ^a
Site 3	27.99 ± 0.81 ^a	26.51 ± 1.03 ^a	27.93 ± 1.69 ^a	25.54 ± 1.21 ^a
Site 4	30.42 ± 0.90 ^a	30.84 ± 0.62 ^a	27.87 ± 0.83 ^b	29.75 ± 0.84 ^{ab}
Site 5	28.67 ± 1.44 ^a	29.35 ± 1.07 ^a	27.51 ± 0.72 ^a	27.26 ± 0.43 ^a
Site 6	29.43 ± 1.65 ^{ab}	33.31 ± 1.12 ^a	30.56 ± 1.10 ^{ab}	29.3 ± 1.48 ^b
Site 7	31.89 ± 1.47 ^a	28.21 ± 0.94 ^b	30.71 ± 1.07 ^{ab}	31.63 ± 1.00 ^{ab}

The data are presented as the mean ± SE of ten replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: Spad unit

Table 21. Chlorophyll contents before mowing on the respective treatment in July 2019

Site / Treatment	Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3
Site 1	29.11 ± 1.71 ^{ab}	31.08 ± 1.10 ^a	23.02 ± 1.13 ^c	26.54 ± 1.07 ^{bc}
Site 2	25.83 ± 0.84 ^a	25.02 ± 0.84 ^a	26.56 ± 0.97 ^a	25.99 ± 0.93 ^a
Site 3	27.73 ± 1.16 ^a	26.3 ± 0.94 ^a	25.79 ± 1.00 ^a	25.03 ± 1.46 ^a
Site 4	29.54 ± 0.86 ^{ab}	31.92 ± 1.09 ^a	25.58 ± 1.23 ^c	28.06 ± 0.85 ^{bc}
Site 5	32.78 ± 0.29 ^a	28.81 ± 1.13 ^b	25.87 ± 1.03 ^c	29.7 ± 0.77 ^b
Site 6	28.78 ± 0.83 ^a	28.73 ± 0.67 ^a	29.45 ± 0.66 ^a	27.93 ± 0.49 ^a
Site 7	30.32 ± 1.15 ^a	31.73 ± 1.14 ^a	29.8 ± 0.80 ^a	28.63 ± 1.24 ^a

The data are presented as the mean ± SE of ten replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: Spad unit

Table 22. Chlorophyll contents before mowing on the respective treatment in September 2019

Site / Treatment	Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3
Site 1	38.48 ± 1.27 ^a	36.93 ± 1.03 ^a	37.71 ± 0.71 ^a	36.2 ± 1.19 ^a
Site 2	35.54 ± 0.81 ^a	34.2 ± 0.98 ^a	35.59 ± 1.04 ^a	35.38 ± 1.31 ^a
Site 3	35.31 ± 1.0 ^a	30.81 ± 0.83 ^a	29.87 ± 1.37 ^a	35.44 ± 1.12 ^a
Site 4	35.12 ± 0.84 ^{ab}	37.44 ± 1.21 ^a	33.98 ± 1.09 ^b	36.3 ± 0.85 ^{ab}
Site 5	34.88 ± 0.78 ^b	38.13 ± 0.52 ^a	36.71 ± 1.12 ^{ab}	37.17 ± 0.47 ^{ab}
Site 6	35.72 ± 1.21 ^a	35.13 ± 0.59 ^a	35.52 ± 0.66 ^a	34.92 ± 0.8 ^a
Site 7	32.65 ± 1.24 ^a	33.88 ± 1.61 ^a	33.84 ± 1.61 ^a	34.07 ± 0.9 ^a

The data are presented as the mean ± SE of ten replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: Spad unit

2.5 양미역취 우점 지역의 슈트 수 결과

양미역취 모니터링을 통해 2018년 3월에 처리구 별로 양미역취의 초기 슈트 수를 기록하였다(Table 3). 이 후, 처리구 별로 벌초 및 Eco 200을 처리하여 1년동안 양미역취의 각 처리구별 차이를 새로 올라오는 슈트 수를 확인하여 측정하였다. 2019년 4월에 양미역취 우점 지역에 슈트 수를 기록하였으며, 1년동안 벌초 및 Eco 200을 처리한 후 슈트 수가 처리구 별로 어떻게 변화하는지 확인하였다(Table 23). 슈트 수 결과를 보면, 대조구와 벌초 2회, Eco 200 은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않고 있으며, 오히려 벌초 1회는 대조구 보다 근소한 차이로 슈트 수가 높은 결과값을 보이고 있다. 그러나 벌초 3회의 경우 1년동안 3번 잘라냈기 때문에 다른 처리구에 비해 통계적으로 유의하게 값이 작게 나왔다. 이러한 결과는 지상부가 자주 잘려 나가 지하경에 저장된 에너지를 빼앗아가 내년엔 슈트 수의 감소로 이어지는 것으로 사료된다(Stoll et al. 1998). 이렇듯 벌초에 따른 지상부 및 지하부 감소로 대조구간에 유의한 차이가 발생하므로 양미역취의 침입을 저해하는 것으로 보인다.

Table 23. Measured Shoots of *Solidago altissima* in April 2019

Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3	Eco 200
105.13 ± 15.33 ^{ab}	135.8 ± 12.34 ^a	104.33 ± 7.13 ^{ab}	88.40 ± 9.9 ^b	103.13 ± 11.63 ^{ab}

The data are presented as the mean ± SE of fifteen replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$.

2.6 양미역취 우점 지역 벌초 처리에 따른 생물량 결과

(1) 양미역취 지상부 생물량 결과

양미역취 우점 지역에 벌초 횟수에 따른 양미역취의 지상부 생물량의 차이를 확인하기 위하여 2019년 9월에 벌초를 하기 전 양미역취의 지상부 생물량을 측정하였다. 2m x 2m의 방형구에서 40cm x 40cm 크기의 지상부를 수확한 후 단위면적 당 생물량을 계산하여 다음 표에서 제시 하였다(Figure 9). 생물량 측정 결과 대조구와 처리구 사이에서는 통계적으로 유의하게 생물량이 감소되는 결과값을 보이고 있다. 이러한 결과는 빈번한 벌초로 인하여 대조구에 비해 잎과 줄기의 길이가 짧아지게 되어 지상부에 성장량이 감소하여 지상부가 작아지는 원인으로 사료된다(Li et al. 2016). 그리고 처리구 별 잎의 수가 대조구와 비교했을 때 유의하게 감소하는 경향을 보이기 때문에 지상부 생물량 감소에도 영향을 미쳤을 것으로 사료된다(Table 24). 그러나 벌초 1 ~ 3회의 생물량에서는 유의한 값의 차이를 보이지 않고 있다. 이는 평균 값에서는 많이 차이가 나지만 편차가 커서 통계적으로 차이를 보이지 않는 것으로 사료된다. 이러한 결과로 양미역취 벌초는 지상부 생물량을 감소 시켜 우점을 저해하고 생물다양성을 높이는 기회로 이어질 수 있다.

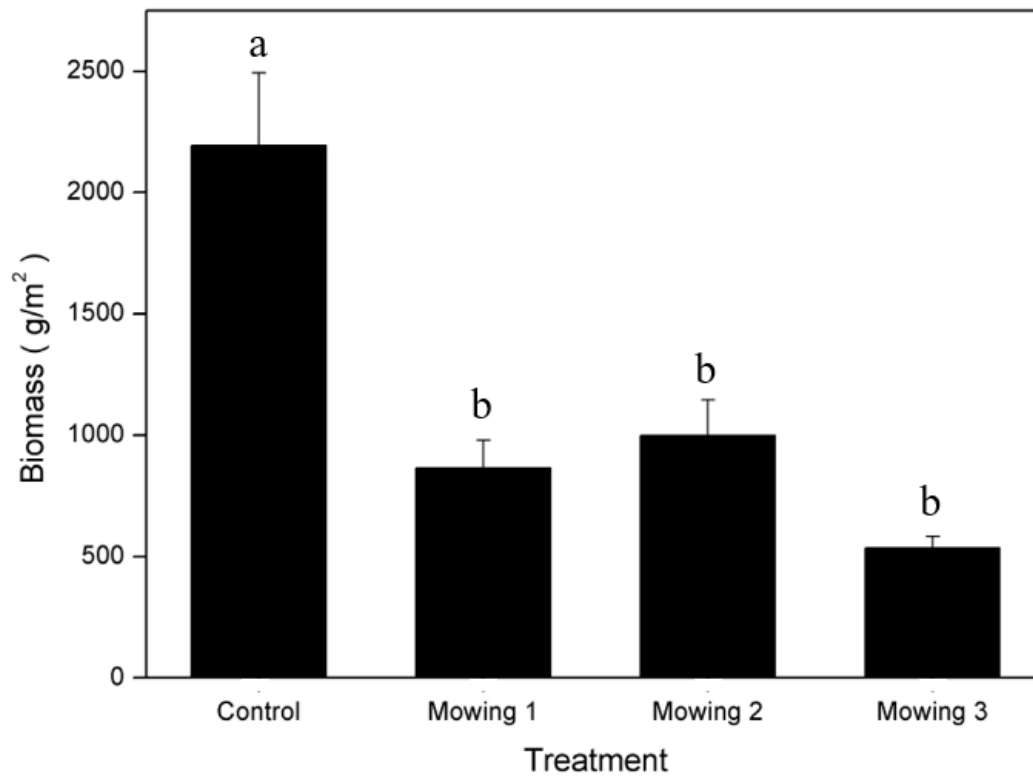


Figure 9. Harvested aboveground biomass of *Solidago altissima* after treatments in September 2019

The data are presented as the mean \pm SE of fifteen replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: g/m²

(2) 양미역취 잎의 생물량 결과

양미역취 우점 지역에 별초에 따른 지상부 성장량 및 생물량 감소에 따라 광합성에 관여하는 잎의 수를 측정하여 생물량이 어떻게 차이가 나는지 확인하기 위하여 본 실험을 진행하였다. 잎의 생물량은 2019년 9월 별초 처리를 한 후 지상부를 수확하여 양미역취의 잎의 수를 측정하였다. 각 처리구 별 잎의 수 측정 결과는 다음에 제시하였다(Table 24). 잎의 수 측정 결과, 대조구와 별초 1~3회는 통계적으로 유의하게 잎의 수가 감소하는 결과로 나타났다. 그러나 별초 2회의 2개 사이트에서는 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 그리고 별초 횟수가 증가 할수록 잎의 수는 유의적으로 감소하는 경향을 보이고 있으며, 이는 빈번한 별초를 인해 양미역취의 성장량이 감소로 이어지고 키가 작아지며 또한 잎이 새로 생기는 기회가 사라져 이러한 결과가 나타난 것으로 사료된다(Egli and Schmid 2000). 그리고 별초 1회와 3회는 4개 사이트에서 통계적으로 같은 값을 갖는데 이는 7월에 동시에 별초를 하기 때문에 같은 기간에 생장을 하여 이와 같은 결과값을 나타내는 것으로 사료된다. 그리고 별초로 인한 잎의 수 감소는 양미역취의 생장을 감소할 수 있는 기회이며, 우점을 저해할 수 있는 가능성이 높다고 판단된다.

Table 24. The number of leaf of *Solidago altissima* after treatments in September 2019

Site / Treatment	Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3
Site 1	115.7 ± 6.61 ^a	45.9 ± 5.2 ^{bc}	60.3 ± 5.28 ^b	37.4 ± 5.38 ^c
Site 2	96.7 ± 12.37 ^a	36.7 ± 3.35 ^c	64.5 ± 3.91 ^b	36.1 ± 5.25 ^c
Site 3	78.1 ± 6.64 ^a	67.7 ± 7.22 ^{ab}	55.5 ± 7.83 ^b	36.3 ± 2.29 ^c
Site 4	81.3 ± 7.32 ^a	46.7 ± 3.38 ^b	57.7 ± 4.79 ^b	54.0 ± 3.93 ^b
Site 5	109.8 ± 4.86 ^a	49.7 ± 6.09 ^{bc}	57.4 ± 2.62 ^b	37.9 ± 2.68 ^c
Site 6	60.5 ± 3.93 ^a	41.7 ± 3.23 ^b	57.9 ± 3.97 ^a	33.7 ± 3.54 ^b
Site 7	71.0 ± 4.64 ^a	34.9 ± 3.48 ^b	69.0 ± 3.99 ^a	37.7 ± 1.81 ^b

The data are presented as the mean ± SE of ten replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$.

2.7 2019년 봄, 양미역취 우점 지역 종자 유무 확인 결과

양미역취는 영양번식을 하지만 종자 번식을 통한 번식이 가능하기에 처리구에 따른 종자 유무를 확인하기 위하여 본 실험을 진행하였다. 2018년에 1년 동안 양미역취 우점 및 패치 형태 사이트에서 별초 및 Eco 200을 처리한 후 2019년 봄에 각 처리구 별로 종자의 유무를 확인하여 방형구에서 종자가 출현하면 1 없으면 0으로 표기하여 종자 출현 빈도율을 측정하였다. 그 결과 양미역취 우점 지역에서는 대조구와 별초 1회에서는 종자가 모두 출현 하였으며, Eco 200, 별초 2, 3회 순으로 종자 출현 빈도율이 감소하였다(Table 25). 패치 형태 지역에서는 대조구는 모두 종자가 출현하였고 A 처리구에서는 종자가 나타나지 않았는데, 이는 자주 잘라주었고 균락이 아닌 패치 형태라서 지하경이 작기 때문에 나타난 결과로 사료된다. 그리고 B, C 처리구 역시 모두 다 자르고 Eco 200 처리한 것이 종자 출현 빈도율이 낮게 측정되었다(Table 26). 또한 별초 횟수가 증가할수록 종자 생산량이 감소한다(Jantunen et al. 2007). 이로 인해 다음과 같은 결과가 나타났으며, 양미역취 우점 사이트에서 별초 처리를 효율적으로 하기 위해서는 별초2 또는 3회 같이 처리를 하는 시기가 개화가 완료되거나 종자가 생산되기 전에 하는 것이 또한 종자 생산 감소를 유도하는 것으로 사료된다. 이러한 별초가 종자 생산 감소를 유도함에 따라 양미역취의 내년 발아를 억제하여 침입을 저해하는 긍정적인 효과를 유도 할 수 있다고 사료된다.

Table 25. Present seed rate (%) of *Solidago altissima* dominated after treatments in October 2019

Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3	Eco 200
100	100	86.7	60	93.3

Table 26. Present seed rate (%) of patch type of *Solidago altissima* after treatment in October 2019

Control	A	B	C
100	0	37.5	25

A: Mowing Three times, B: Removal of shoots of 20% after Eco 200, C: Removal of shoots of 100% after Eco 200

2.8 2019년 가을, 양미역취 우점 지역 개화 유무 결과

꽃의 개화는 곧 종자 생산의 의미가 있으므로 벌초 횟수에 따른 양미역취 꽃의 개화 유무가 중요하다고 판단되어 본 실험을 진행하였다. 2018 ~ 2019년에 2년동안 양미역취 우점 및 패치 형태 지역에서 벌초 횟수에 따른 처리후 2019년 가을에 각 처리구 별로 개화의 유무를 확인하여 방형구에서 양미역취가 개화하면 1 개화하지 않으면 0으로 표기하여 개화율을 측정하였다. 그 결과 대조구와 벌초 1회에서는 93.3%, 100%의 개화율을 보여 벌초 처리에 따른 개화 감소 유도 효과가 미미한 것으로 사료된다, 벌초 2회는 0%, 벌초 3회는 20%의 값으로 나와 벌초 2회에서 개화율의 감소가 두드러지게 나타나고 있다(Table 27). 개화율 측면에서는 벌초 2회가 더 효율적으로 보인다. 패치 형태 지역에서는 대조구는 개화가 모두 일어났고 A 처리구에서는 개화가 나타나지 않았는데, 이는 자주 잘라주었고 군락이 아닌 패치 형태라서 지하경이 작기 때문에 나타난 결과로 사료된다. 그리고 B, C 처리구 역시 모두 다 자르고 Eco 200처리한 것이 개화율이 0%로 측정되었다(Table 28). 그리고 양미역취의 생장은 11 ~ 12월에 끝나게 된다. 이러한 시점이 벌초 2, 3회의 9월 시점에 처리와 맞물리게 되어 개화율의 영향을 준것으로 사료된다. 이렇듯 시간 또는 금전적 제약이 있을 경우 한번 벌초를 하더라도 9 ~ 10월 시점에 벌초를 해준다면 개화를 막고 또한 종자 출현 빈도율을 감소시켜 양미역취의 침입을 저해 할 수 있다고 판단된다.

Table 27. Present flowing rate (%) of dominant of *Solidago altissima* after treatment in October 2019

Control	Mowing 1	Mowing 2	Mowing 3
93.3	100	0	20

Table 28. Present flowing rate (%) of patch type of *Solidago altissima* after treatment in October 2019

Control	A	B	C
100	75	0	0

A: Mowing Three times, B: Removal of shoots of 20% after Eco 200, C: Removal of shoots of 100% after Eco 200

2.9 양미역취 패치형태의 친환경 제거의 결과

양미역취가 초기에 정착을 하면 군락이 아닌 소규모의 패치형태를 이루게 된다. 이러한 초기에 자리를 잡은 양미역취를 별초 및 Eco 200 처리로 양미역취의 감소를 확인하기 위하여 본 실험을 진행하였다. 패치 형태의 친환경 제거에 결과는 별초 3회, 슈트 수의 20% 별초 후 Eco 200 처리, 슈트 수의 100% 별초 후 Eco 200처리구에 따른 양미역취 패치 형태의 면적 증감율의 결과를 나타내었으며, 편차 값이 커서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지는 않았다(Table 29). 대조구에서는 매우 높은 면적 증가율이 나타났다. 그리고 별초 3회, Eco 20% 순으로 면적 증가율이 증가하였다. Eco 100% 처리구에서는 면적이 다른 처리구에 비해 현저히 감소되는 결과가 나왔다. 이러한 결과를 볼 때, 양미역취가 군락 형태가 아닌 패치 형태 즉, 처음 초기에 자리를 잡았을 때는 모든 슈트의 별초를 해주는 것이 면적 감소를 유도 할 수 있는 조건이라고 사료된다. 또한 Eco 20%는 슈트 수의 20%만 별초 후 Eco 200을 처리하기 때문에 나머지 지상부가 유지되어 다른 처리구에 비해 미미한 효과가 나타난 것으로 보이며, Eco 100%에서는 모든 슈트의 수를 별초를 하면서 개체수가 적은 양미역취에 약제를 처리하다보니 군락 형태의 양미역취보다는 높은 감소율이 나타난것으로 사료된다. 하지만 군락 지역의 양미역취를 다 별초를 하고 지상부에 Eco 200을 처리하는 것은 비효율적이라 할 수 있지만, 양미역취가 초기에 자리를 잡고 적은 수의 별초와 약제 처리는 효율적이라고 판단된다. 이러한 결과를 바탕으로 군락이 아닌 초기 진입한 양미역취를 위와 같은 방법으로 친환경 제거를 시도 한다면 침입을 저지하여 생물다양성을 증가 시킬 수 있을거라 사료된다.

Table 29. Patch type of *Solidago altissima* which a percentage on change rate of area from March 2018 to March 2019

Control	Mowing 3	Eco 20%	Eco 100%
205.2 ± 107.3	24.7 ± 44.0	104.5 ± 85.2	- 31.7 ± 13.0

The data are presented as the mean ± SE of six replicates. No significant difference column at the 0.05 level. Unit: %

2.10 양미역취 우점 및 비우점, 패치 형태 토양 분석 결과

다음 표에서는 양미역취 우점 및 비우점, 패치 형태 지역에 따른 토양 중금속 함량 및 C, H, N 함량 차이가 있는지 확인하기 위하여 토양 분석을 결과를 제시하였다. 토양 분석 결과 양미역취 우점 지역의 Site 1에서 식물에 성장에 영향을 미치는 원소 Ca, Na, Mg 값이 낮게 나왔으며, 나머지 사이트에서는 비슷한 값을 나타냈다(Jones Jr 1997). 그리고 미국환경보호국(US Environmental Protection Agency, USEPA)에서 제시하는 Ecological Soil Screening Level (Zn: 160, Cd: 32, Cu: 70, Pb: 120, Unit: mg/kg) 수치에서 Cu, Zn 원소에서 기준치를 넘는 중금속 함량을 나타냈다(USEPA 2003a, c, b, d) (Table 30). 양미역취 비우점 지역에서는 영양 원소의 경우, 비슷한 값을 나타내며 중금속 함량은 미국환경보호국에서 제시하는 기준치보다는 낮게 측정이 되었다(Table 31). 양미역취 패치 형태의 지역에서는 영양 원소의 경우 Ca, Mg 이 두 사이트에서 차이가 났다. 중금속 함량의 경우 기준치 보다 낮은 측정 값이 나왔다(Table 32). 그리고 토양 원소 분석 결과는 양미역취 우점 지역의 Site 2에서 N, C 함량이 높게 나타났다으며, Site 1에서 H 함량이 높게 나타났다(Table 33). 양미역취 비우점 지역에서는 Site 11에서 N, C 함량이 높게 나타났으며, Site 2에서는 H 함량이 높게 나타났다(Table 34). 양미역취 패치 형태 지역의 Site 9 에서 N, C 함량이 높게 나타났고 Site 8 에서는 H 함량이 높게 나타났다(Table 35). 각 사이트에서 N, C, H 함량 평균이 우점, 비우점, 패치형태 순서대로 낮아지는 값을 나타냈다.

Table 30. Soil characteristics of *Solidago altissima* dominated site in July 2018

Site	Cd	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Ca	Na	Mg
1	0.15	19.2	8.2	67	502.45	21455.35	860.5	159.8	3427.8
2	0.3	19.65	18.7	103	1207.1	35294.4	1944.1	281.85	6622.6
3	0.15	16.6	15.45	83.7	1151.95	42663.7	3601.1	415	7065.95
4	0.35	119.75	15.6	233.85	993.05	49464.25	3103.4	359.75	6039.4
5	0.4	60	15.35	184.35	1073.8	48760	2817.5	398.7	6946.65
6	0.15	19.7	10.3	107.6	958.5	45115.45	3506.1	394.3	7656.6
7	0.15	20.8	8.9	99.95	1035.5	52165	4326.55	410.15	9134.9

Unit: mg/kg

Table 31. Soil characteristics of *Solidago altissima* non-dominated site in July 2018

Site	Cd	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Ca	Na	Mg
1-1	0.25	21.05	15.3	115.55	1038.6	43689.5	2165.9	370.7	8238.1
2-1	0.25	22.3	17.55	110.25	1000.8	43418.95	1526.4	355.6	7431.35
3-1	0.2	25.95	11.45	106.7	1055.15	55910.5	1179.5	442	7798.5
4-1	0.3	22.25	10.85	99.65	1153.5	44448.65	2166.9	299.5	7488.65
5-1	0.3	24.45	11.2	107.6	1234	53499.5	1996.8	332.55	7272.55
6-1	0.25	22	10.55	135.5	891.5	42728.9	5862.9	377.95	7745.35
7-1	0.35	23.9	12.95	106.4	1156.2	43292.3	2014.45	311.15	6978.95

Unit: mg/kg

Table 32. Soil characteristics of patch type of *Solidago altissima* in July 2018

Site	Cd	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Ca	Na	Mg
8	0.2	15.35	10.1	111.3	1132.2	49753.4	1874.15	377.7	6945.9
9	0.25	20.65	8.25	92.3	839.3	44173.9	5234.8	416.45	8440.65
10	0.2	27.55	12.5	109.1	1147.6	59768.5	2020.3	359.65	11208.85

Unit: mg/kg

Table 33. Soil elemental analysis of *Solidago altissima* dominated site in July 2018

Site / column	N	C	H
Site 1	0.4111	5.0255	3.3569
Site 2	0.6762	9.8265	2.3028
Site 3	0.2699	3.3923	1.1335
Site 4	0.4424	5.3962	1.5206
Site 5	0.4286	5.2903	1.7522
Site 6	0.3864	5.2668	1.5051
Site 7	0.4323	5.6481	1.6051

Unit: %

Table 34. Soil elemental analysis of *Solidago altissima* non-dominated site in July 2018

Site / column	N	C	H
Site 1	0.4456	5.6996	1.9881
Site 2	0.4064	4.8011	2.0496
Site 3	0.1591	2.0654	1.7277
Site 4	0.5147	6.0881	1.8433
Site 5	0.3021	4.0208	1.3451
Site 6	0.3291	4.5428	1.6508
Site 7	0.3189	4.0797	1.2432

Unit: %

Table 35. Soil elemental analysis of patch type of *Solidago altissima* dominated site in July 2018

Site / column	N	C	H
8	0.2361	5.2153	1.4439
9	0.3976	5.2153	1.3171
10	0.2306	2.9019	1.5221

Unit: %

2.11 양미역취 우점 및 비우점 지역의 양미역취, 쑥, 칩 잎의 EA 분석 결과

양미역취가 우점 또는 비우점하는 지역에 따른 경쟁 관계에 있는 식물이 다량 영양 원소인 N, C, H 함량 차이가 있는지 여부를 확인하기 위하여 본 실험을 진행하였다. 다음 표에서는 양미역취 우점 지역에 있는 양미역취의 잎, 비우점 지역에서 양미역취와 경쟁 관계에 있는 쑥과 칩의 잎을 이용하여 N, C, H 함량을 측정하기 위하여 EA 분석 결과를 나타냈다. 양미역취 우점 지역에 있는 양미역취에서는 N 함량이 Site 12, 13에서 타 사이트보다는 높게 측정이 되었고 C, H는 우점 지역에서는 함량 차이가 크지 않았다(Table 36). 양미역취 비우점 지역에 있는 쑥은 Site 11에서 N 함량이 높게 나왔고 나머지는 비슷한 수치가 나왔다(Table 37). 칩은 각 지역에서 N, C, H 함량이 비슷한 수치가 측정되었다(Table 38). 우점 지역과 비우점 지역에서 양미역취, 쑥, 칩의 잎에서 N 함량 평균이 비우점 지역 칩에서 높게 측정되었는데, 칩은 콩과 식물이기 때문에 다른 식물보다 질소 고정율이 높은 결과로 사료된다(Zahran 2001).

Table 36. Leaf elemental analysis of *Solidago altissima* dominated site in July 2018

Site / column	N	C	H
Site 1	2.0404	48.3386	6.3386
Site 2	1.8203	48.1908	6.4735
Site 3	1.7489	47.6952	6.2841
Site 4	1.9287	46.9033	6.2445
Site 5	1.4751	47.8298	6.3332
Site 6	3.0108	45.7695	6.2211
Site 7	3.8765	46.0833	6.3503

Unit: %

Table 37. *A. princeps* (a) leaf elemental analysis of *Solidago altissima* non-dominated site in July 2018

Site / column	N	C	H
Site 1 - a	2.3054	46.2044	6.1312
Site 2 - a	3.7003	44.6904	6.0421
Site 3 - a	2.6994	46.1343	6.0067
Site 4 - a	5.1208	41.3842	5.7527
Site 5 - a	4.3738	43.6339	6.1034
Site 6 - a	2.3425	47.2892	6.1825
Site 7 - a	2.3539	45.4471	5.9408

Unit: %

Table 38. *P. lobata* (b) leaf elemental analysis of *Solidago altissima* non-dominated site in July 2018

Site / column	N	C	H
Site 1 - b	4.2718	44.0426	6.3188
Site 2 - b	4.9063	45.3077	6.4182
Site 3 - b	4.6936	42.4961	6.0371
Site 4 - b	5.2496	44.5589	6.3795
Site 5 - b	4.2481	44.8217	6.3737
Site 6 - b	4.4008	42.4102	6.0337
Site 7 - b	4.0124	43.1241	6.1727

Unit: %

양미역취의 모니터링을 통한 친환경 제거 방법을 적용한 결과 대조구와 별초 1회에서는 유의한 값의 차이를 보이지 않았지만 별초 2회와 별초3회 처리구에서는 생장량, 지상부 생물량, 잎의 수가 잦은 별초로 인해 감소하는 경향을 보였다. 특히 별초 2회에서 두드러진 효과를 보았으며, 초기에 확산되는 양미역취의 패치 형태 지역에서는 별초 3회와 슈트 수의 100% Eco 200을 처리하는 친환경 약재에서도 확산을 저지하는 효과가 강하게 나타났다. 또한 별초 처리에 따른 종자 및 개화 유무에서도 많은 차이가 나타났다. 우점 지역에서는 별초 2~3회가 종자 및 개화율이 현저히 낮게 측정되었으며, 패치 형태 지역에서도 별초 및 약재와 별초를 처리하는 처리구에서 매우 낮은 빈도율을 보였다. 이처럼 별초 처리가 양미역취 자체의 생장 및 생물량을 감소시켜 침입을 저지하기도 하고 개화와 종자 발생율을 감소시켜 다음 세대의 번식 줄여 다른 지역으로의 확산을 막을 수 있는 효과적인 관리방안이라 사료된다.

3. 자원으로의 활용을 통한 수확의 결과

3.1 양미역취를 활용한 식물 정화 결과

식물정화 (Phytoremediation)는 식물을 이용하여 오염된 토양, 수질 등을 정화하는 기술을 의미한다. 따라서 이러한 기술을 양미역취에도 적용할 수 있는지 확인하기 위하여 실험을 실시하였다. 양미역취는 도로변에 많이 출현하고 조사지역 또한 도로변이나 버려진 초지가 많았다(Ji and Kim 2014). 이러한 식물정화에 착안하여 도로변과 같이 중금속에 오염된 지역의 양미역취를 제거하고 오염지를 정화하는 방식인 외래종과 중금속 오염지를 정화하는 일석이조의 효과를 도출할 수 있기에 실험을 진행하였다.

(1) 양미역취 나노물질 농도 처리에 따른 키 성장

양미역취의 나노물질 흡수 능력을 알아보기 위하여 nano-TiO₂ 와 AgNP를 농도 별로 처리하여 양미역취의 흡수량과 생물량 등을 확인하였다. nano-TiO₂ 에서 양미역취의 키 성장은 일수가 지남에 따라 대부분에 처리구에서 농도에 따라 차이가 없었다. 40일차에 nano-TiO₂ 5000mg/kg에서 키 성장이 통계적으로 유의한 수치를 보였으며, nano-TiO₂ 100mg/kg에서는 다른 값보다 유의하게 작은 값을 나타냈다(Figure 10). AgNP에서는 일수가 지남에 따라 모든 처리구에서 통계적으로 유의한 차이가 보이지 않았다(Figure 11). Nano-TiO₂ 와 AgNP 키 성장 결과에 원인은 저농도에서 고농도를 처리하여도 양미역취의 독성

을 줄 만큼 영향을 주지 않기 때문에 생장에는 문제가 없는 것으로 사료된다. 그래서 양미역취에 민감하지 않고 고농도에서도 생존력이 강하기 때문에 식물정화 (Phytoremediation) 적합한 종이라고 사료된다.

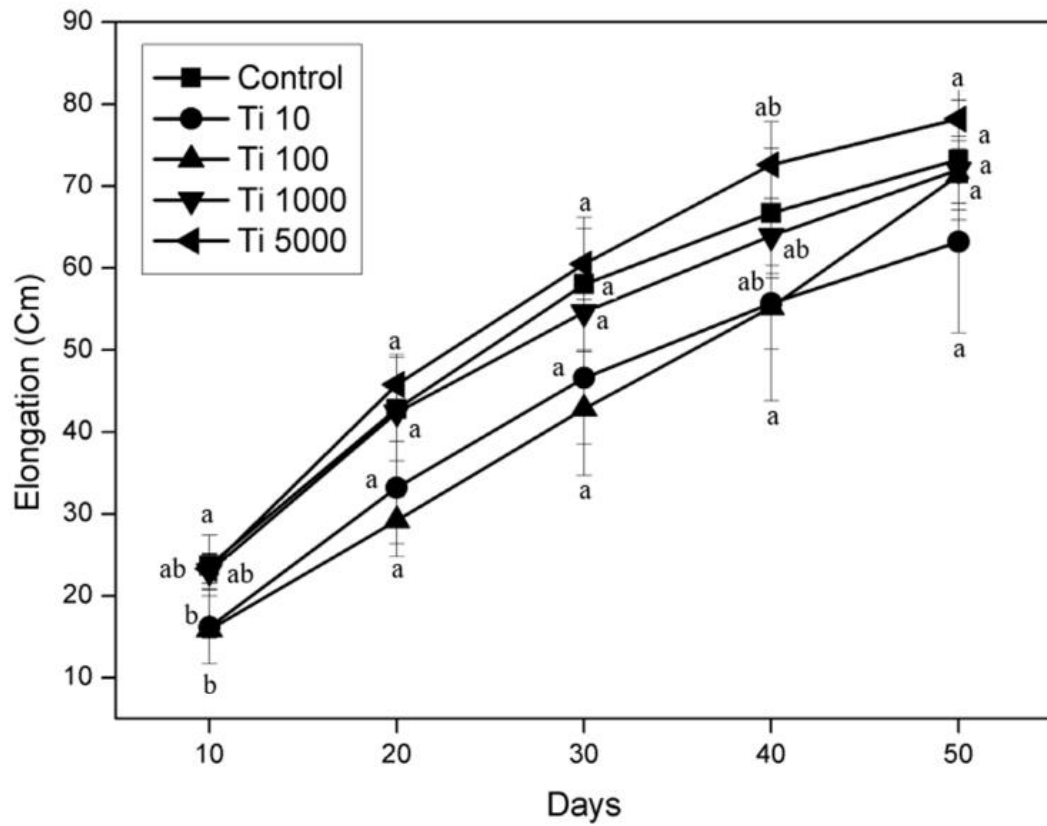


Figure 10. Effect of nano-TiO₂ on the height of *Solidago altissima*

The data are presented as a mean ± SE of five replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: Cm

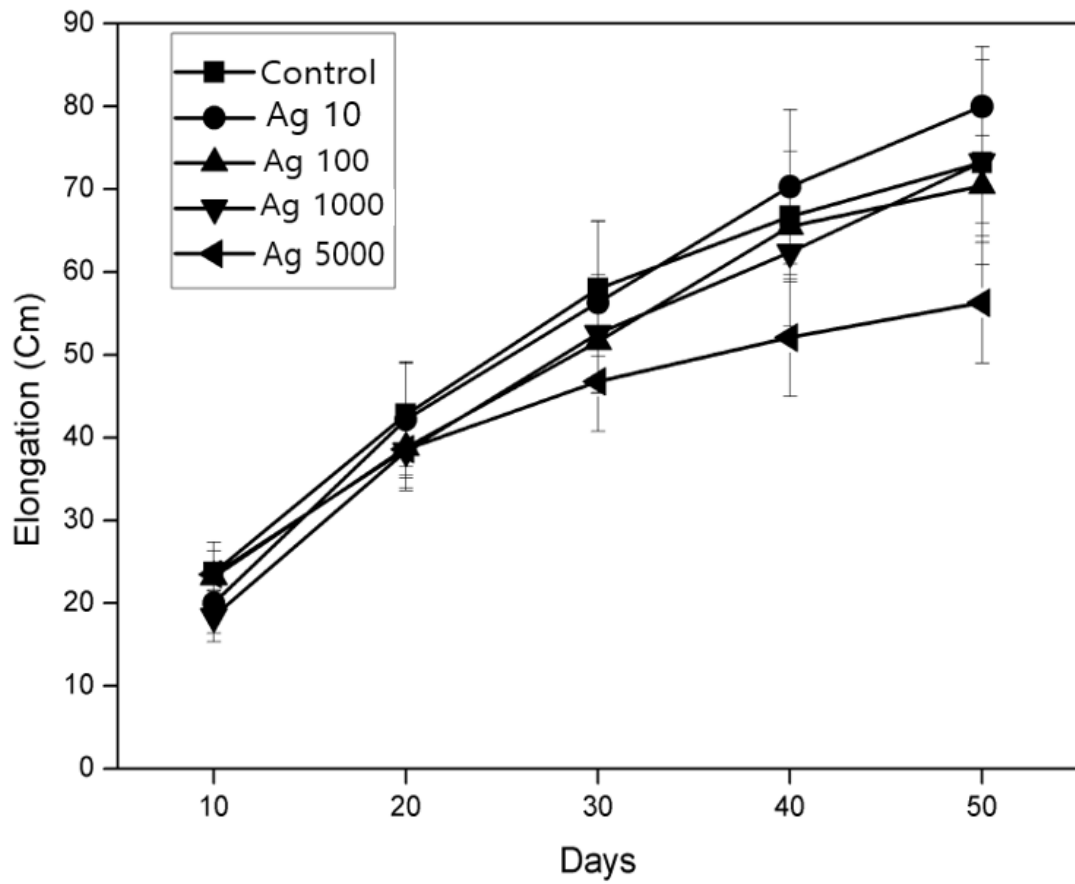


Figure 11. Effect of AgNP on the height of *Solidago altissima*

The data are presented as a mean \pm SE of five replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: Cm

(2) 나노물질 농도 처리에 따른 엽록소 측정

나노물질 농도 처리에 따른 양미역취의 엽록소 측정을 통한 생리적인 반응을 확인하기 위하여 본 실험을 진행하였다. nano-TiO₂의 엽록소 측정 결과 일수가 지남에 따라 농도 별로 엽록소 함량 차이가 유의성 있게 나타나지 않았다. 또한 nano-TiO₂ 5000mg/kg 과 대조구 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 보지 않았으며, 40일 차에 대조구가 엽록소 함량이 작은 값을 나타내기도 했다 (Table 39). AgNP에서는 일수가 지남에 따라 대조구와 각 처리구간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 또한 AgNP 5000mg/kg 에서는 대조구보다 유의하게 높은 엽록소 함량이 측정 되었다(Table 39). nano-TiO₂ 와 AgNP 에서 키 성장과 마찬가지로 나노물질의 독성에 영향이 미미하여 처리구 간에 차이가 없는 결과가 나온것으로 사료된다.

Table 39. Chlorophyll content of *Solidago altissima* after exposure nano-TiO₂ and AgNP

Treatment / Day	10	20	30	40	50
Control	41.86 ± 1.31 ^{ab}	33.04 ± 0.94 ^a	30.76 ± 1.10 ^a	28.7 ± 1.54 ^b	28.6 ± 1.36 ^a
Ti10	35.84 ± 3.35 ^b	35.72 ± 2.80 ^a	33.0 ± 2.44 ^a	32.48 ± 0.65 ^a	29.04 ± 0.95 ^a
Ti100	38.36 ± 3.21 ^b	37.02 ± 1.72 ^a	31.02 ± 1.50 ^a	30.36 ± 1.11 ^{ab}	29.28 ± 1.16 ^a
Ti1000	49.8 ± 4.36 ^a	37.48 ± 1.46 ^a	34.6 ± 0.78 ^a	31.4 ± 1.20 ^{ab}	32.0 ± 2.04 ^a
Ti5000	41.18 ± 1.03 ^{ab}	35.08 ± 1.23 ^a	33.8 ± 1.07 ^a	31.06 ± 1.45 ^{ab}	31.86 ± 1.74 ^a
Control	41.86 ± 1.31 ^a	33.04 ± 0.94 ^b	30.76 ± 1.10 ^b	28.7 ± 1.54 ^a	28.6 ± 1.36 ^a
Ag10	39.42 ± 2.89 ^a	35.86 ± 1.60 ^{ab}	33.24 ± 1.01 ^b	28.38 ± 1.61 ^a	29.08 ± 1.55 ^a
Ag100	44.2 ± 2.19 ^a	37.72 ± 1.45 ^{ab}	34.66 ± 1.35 ^{ab}	31.66 ± 1.60 ^a	31.86 ± 2.65 ^a
Ag1000	41.54 ± 3.32 ^a	36.34 ± 2.96 ^{ab}	35.4 ± 1.17 ^{ab}	33.96 ± 3.15 ^a	33.82 ± 4.33 ^a
Ag5000	43.82 ± 1.42 ^a	40.12 ± 2.84 ^a	39.46 ± 3.05 ^a	33.54 ± 2.19 ^a	28.06 ± 1.88 ^a

The data are presented as a mean ± SE of five replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: Spad unit

(3) 나노물질 농도 처리에 따른 양미역취 건중량 비교 결과

양미역취를 지상부와 지하부 그리고 총 건중량을 비교하여 생물량이 얼마나 차이가 있는지 확인하였다. nano-TiO₂는 모든 처리구에서 총, 지상, 지하부에서 건중량은 통계적으로 차이가 없음을 확인하였다(Table 40). 이렇듯 나노물질 농도 별 처리에 따른 생물량에 차이가 없기 때문에 양미역취는 정화 식물로 적합한 종으로 사료된다. AgNP 처리구에서는 저농도 처리구인 AgNP 10mg/kg는 대조구보다 높은 값을 보였으며, 이러한 결과는 은의 경우 살균 등의 효과(Yao et al. 2008)가 있기 때문에 실내에서 키웠던 양미역취에서 곰팡이가 발생할 가능성이 있는데 이러한 부분을 살균을 해주어 나타난 결과로 사료된다. 그리고 AgNP 100mg/kg 부터는 약간의 독성이 보이기 시작해서 낮은 값을 나타냈다. 고농도 처리구인 AgNP 5000mg/kg 처리구에서는 약간의 저해가 있어서 대조구보다는 낮게 측정이 되었다. 지하부의 경우, 건중량의 편차가 커서 통계적으로 차이가 없었다(Table 40).

Table 40. Dry weight of *Solidago altissima* after exposure nano-TiO₂ and AgNP

Treatment / Column	Total	Above ground	Under ground
Control	9.70 ± 1.89	8.04 ± 1.33	1.65 ± 0.60
Ti10	9.26 ± 2.67	7.67 ± 2.02	1.58 ± 0.71
Ti100	7.23 ± 1.25	6.18 ± 1.03	1.04 ± 0.23
Ti1000	10.46 ± 2.51	9.38 ± 2.18	1.08 ± 0.36
Ti5000	8.17 ± 1.84	7.13 ± 1.32	1.03 ± 0.52
Control	9.70 ± 1.89 ^{ab}	8.04 ± 1.33 ^{ab}	1.65 ± 0.60 ^a
Ag10	11.74 ± 5.94 ^a	9.44 ± 1.84 ^a	2.29 ± 0.83 ^a
Ag100	7.77 ± 1.15 ^{ab}	6.79 ± 0.82 ^{ab}	0.99 ± 0.36 ^a
Ag1000	6.72 ± 1.47 ^{ab}	5.81 ± 1.12 ^{ab}	0.91 ± 0.36 ^a
Ag5000	6.43 ± 1.29 ^b	5.59 ± 1.06 ^b	0.83 ± 0.24 ^a

The data are presented as a mean ± SE of five replicates. No significant difference column at the 0.05 level. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: g

(4) 나노물질 농도 별 처리에 따른 Mg 함량 결과

본 실험에서 사용된 비료에는 미량원소 성분 중 하나인 Mg이 포함되어 있기 때문에 Mg의 함량을 측정하였다. 식물에서 Mg은 토양에서 영양분을 흡수하는 능력을 나타내는 지표이므로 식물의 활력에 관계가 있다(Hladun et al. 2015). 다음 표에서는 nano-TiO₂ 농도 별 처리에 따른 Mg의 함량을 나타내었다(Table 41). 토양, 잎, 뿌리에서 각 농도 별 처리구는 통계적으로 유의한 값의 차이를 보이지 않는다. 줄기는 nano-TiO₂ 5000mg/kg의 농도에서 대조구와는 유의한 값의 차이는 없지만 nano-TiO₂ 1000mg/kg의 농도에서는 높은 함량이 측정되었다. 이러한 결과는 나노물질의 농도가 높아져도 양미역취의 양분 흡수력이 이상 없다고 사료된다. 다음 표에서는 AgNP 처리구에 Mg의 함량을 나타내었다(Table 41). 잎, 줄기, 뿌리의 Mg 흡수량은 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 토양은 AgNP 5000mg/kg 에서 대조구와 유의한 차이가 있으며 함량이 낮게 측정이 되었다. 이는 고농도에서도 양미역취가 양분 흡수력이 좋기 때문에 나온 결과로 사료된다. 또한 나머지 항목에서도 대조구와는 차이가 없기 때문에 고농도 처리구로 갈수록 흡수력에는 문제가 없는 것으로 사료된다.

Table 41. Mg content of *Solidago altissima* after exposure nano-TiO₂ and AgNP

	Soil	Leaf	Stem	Root
Control	9932.3 ± 1229.2 ^a	4567.6 ± 342.9 ^a	783.5 ± 131.4 ^{ab}	2353.5 ± 220.8 ^a
Ti 10	10036.7 ± 623.1 ^a	3840.5 ± 369.7 ^a	1133.0 ± 123.4 ^a	2772.5 ± 423.2 ^a
Ti 100	10114.1 ± 452.1 ^a	3455.0 ± 960.9 ^a	508.2 ± 203.0 ^b	1916.5 ± 189.0 ^a
Ti 1000	9305.3 ± 837.6 ^a	4577.9 ± 243.2 ^a	1016.2 ± 91.0 ^a	2343.0 ± 195.7 ^a
Ti 5000	9058.0 ± 935.5 ^a	3827.8 ± 947.9 ^a	953.7 ± 192.3 ^{ab}	2706.0 ± 351.0 ^a
Control	9932.3 ± 1229.2 ^{ab}	4567.6 ± 342.9 ^a	783.5 ± 131.4 ^a	2353.5 ± 220.8 ^a
Ag10	10863.9 ± 827.0 ^a	5079.3 ± 323.5 ^a	731.7 ± 176.9 ^a	2183.5 ± 300.3 ^a
Ag100	9655.8 ± 1091.8 ^{ab}	4471.4 ± 494.4 ^a	913.2 ± 134.2 ^a	2759.5 ± 530.5 ^a
Ag1000	8291.6 ± 1698.9 ^{ab}	4892.2 ± 529.9 ^a	947.0 ± 93.4 ^a	3720 ± 1138.1 ^a
Ag5000	7099.0 ± 653.6 ^b	4799.7 ± 322.4 ^a	1097.8 ± 128.2 ^a	2411.0 ± 206.0 ^a

The data are presented as a mean ± SE of five replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: mg/kg

(5) 나노물질 농도 별 처리에 따른 Ti, Ag 함량 결과

nano-TiO₂를 농도 별로 처리한 토양에서 함량은 모든 처리구에서 통계적으로 유의한 값의 차이가 나타나지 않았다(Table 42). 이러한 결과는 nano-TiO₂ 처리 시 분말 형태로 되어 있기 때문에 토양과 잘 섞여 준다고 해도 응집이 발생하였고 nano-TiO₂ 100, 1000, 5000mg/kg 처리구의 경우 고농도로 증가 할수록 많은 양의 nano-TiO₂ 분말이 투입 되어 응집 현상으로 인한 함량 값의 차이가 나타나지 않은 것으로 사료되며(Loosli et al. 2015), 기존 식물 정화로 본 논문이 없어서 양미역취와 비교가 어려웠다. 대조구에서는 Ti 값이 예상치 못한 값이 검출 되었다. 이는 유기물상토에 식물이 다른 지역에서 Ti 흡수하여 나타난 결과로 사료된다. 양미역취 잎에서는 Ti 함량은 모든 처리구에서 통계적으로 유의한 값의 차이가 나타나지 않았다. 양미역취의 줄기는 고농도 처리군에서 적은 함량을 보였고 나머지 처리구에서는 일정량 흡수되었다. 양미역취 뿌리는 고농도 처리구에서 높은 값을 보였고 상대적으로 저농도의 처리구에서도 높은 함량의 결과 값이 나타나는데, 이러한 결과를 볼 때 농도 자체가 높지 않아도 생물량이 크기 때문에 나타난 결과로 해석되며 제주도에서 많은 문제를 일으키는 서양금혼초와 비교해도 생물량이 크기 때문에(Schoenfelder et al. 2010) 식물 정화 측면에서 생물량이 큰 식물이 효율적이라고 사료된다(Mleczek et al. 2010). AgNP를 처리한 토양에서는 고농도 처리군으로 갈수록 통계적으로 유의한 값의 차이를 보였다(Table 42). AgNP 5000mg/kg에서 식물 흡수 및 침출이 잘 되었다. AgNP 10mg/kg의 경우, 식물의 영향보다는 화분 벽면에 붙거나 뭍침 현상으로 나타난 값으로 사료된다. 잎은 AgNP 1000, 5000mg/kg 처리구에서 대

조구와 비교하여 유의성 있는 높은 값을 나타냈다. 줄기는 대조구 및 저농도에서는 검출이 안되었으며, 고농도 순서대로 유의한 값의 차이를 나타냈다. 뿌리는 고농도 처리구로 갈수록 함량이 유의하게 증가하는 결과가 나왔다. 이는 잎이나 줄기에 보다 높은 흡수력으로 보아 지상부로는 이동이 적고 뿌리 흡수력이 높은 것으로 사료되며, 양미역취는 지하경이 많이 발달하고 생물량 또한 크기 때문에 식물 정화에 적합한 종이라고 판단된다. 이렇듯 도로변에 중금속이 오염된 지역에 우점하는 양미역취의 친환경 제거를 시도하여 침입을 저지하며, 식물정화를 통한 오염원 제거를 동시에 할 수 있어 일석이조의 효과가 기대되는 바이다.

Table 42. Ti and Ag contents of *Solidago altissima* after exposure nano-TiO₂ and AgNP

Treatment	Soil	Leaf	Stem	Root
Control	442.0 ± 65.94 ^a	14.63 ± 0.9 ^a	18.37 ± 2.29 ^{ab}	291.0 ± 38.48 ^{ab}
Ti 10	461.74 ± 38.94 ^a	15.6 ± 1.03 ^a	31.93 ± 9.05 ^a	312.5 ± 24.96 ^{ab}
Ti 100	485.36 ± 32.56 ^a	11.0 ± 2.69 ^a	10.93 ± 3.81 ^b	329.0 ± 30.08 ^a
Ti 1000	389.58 ± 28.27 ^a	13.53 ± 1.56 ^a	19.97 ± 1.17 ^{ab}	216.0 ± 11.77 ^b
Ti 5000	569.04 ± 122.35 ^a	12.40 ± 3.22 ^a	18.60 ± 3.86 ^{ab}	341.5 ± 49.45 ^a
Control	ND	0.1 ± 0.11 ^b	ND	ND
Ag10	2.8 ± 0.36 ^c	ND	ND	1.5 ± 1.5 ^c
Ag100	36.36 ± 3.69 ^c	0.6 ± 0.08 ^b	ND	80.0 ± 30.18 ^c
Ag1000	336.12 ± 72.20 ^b	11.37 ± 4.26 ^a	0.2 ± 0.13 ^b	588.5 ± 54.89 ^b
Ag5000	1552.94 ± 136.69 ^a	12.57 ± 6.34 ^a	1.37 ± 0.76 ^a	1173 ± 349.08 ^a

The data are presented as a mean ± SE of five replicates. The means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$. Unit: mg/kg, ND: Not Detected

3.2 양미역취의 항산화 활성을 활용한 결과

Free radical은 체내에서 산화적 스트레스를 발생시켜 여러가지 질병을 발생한다(Delanty and Dichter 1998). 이러한 산화적 스트레스를 저해하여 질병을 억제하는 항산화제의 연구가 진행되며, 그 중에서 부작용이 적은 천연물을 활용한 항산화제 개발이 진행되고 있다(Stanely Mainzen Prince and Menon 2001). 이러한 실험에 착안하여 침입종인 양미역취와 전통적으로 약재로 활용되는 쑥의 항산화 활성 비교 분석을 통해 항산화제 실험을 진행하였다(Table 43~45). 연구 결과 전통적으로 약재로 많이 활용되는 쑥에서 DPPH, ABTS radical 소거 활성 값이 양미역취의 잎과 꽃 보다는 높은 소거 활성을 보였다. 그리고 양미역취에서는 잎보다는 꽃에서 DPPH, ABTS radical 소거 활성이 높은 값을 보인 결과 꽃에서 높은 항산화제의 가능성이 높다고 사료된다. 그러나 전통적으로 약재로 활용되는 쑥에 비해 소거 활성이 낮지만, 기존에 연구되었던 침입종인 서양금혼초 연구에서는 DDPH radical 소거 활성이 139.63 ± 5.3 , ABTS radical 소거 활성이 203.6 ± 4.68 로서(Hwang et al. 2019) 양미역취의 꽃이 소거 활성이 더 높다고 할 수 있다. 이러한 기존 연구를 바탕으로 서양금혼초는 약재로서의 가능성은 있지만 지상부 제거로 인한 교란이 증가하여 침입이 강해지는 반면, 양미역취는 지상부를 제거하여 약재로 쓰면 서양금혼초에 비해 효율성도 좋고 친환경 제거 및 약재로 활용하는 일석이조의 효과가 있다고 사료된다.

Table 43. Antioxidant activities of *Solidago altissima* leaf extract

Sample	EtoH	Ascorbic acid
DPPH radical Scavenging activity	156.7 ± 8.7	10.1 ± 0.5
ABTS radical scavenging activity	246.3 ± 17.5	9.8 ± 3.5

The data are presented as a mean ± SE of three replicates. IC₅₀ values were calculated from regression lines using five different concentrations in triplicate experiments. Unit: IC₅₀ (µg/mL)

Table 44. Antioxidant activities of *Solidago altissima* flower extract

Sample	EtoH	Ascorbic acid
DPPH radical Scavenging activity	109.3 ± 2.1	9.8 ± 1.5
ABTS radical scavenging activity	179.0 ± 8.2	9.6 ± 2.5

The data are presented as a mean ± SE of three replicates. IC₅₀ values were calculated from regression lines using five different concentrations in triplicate experiments. Unit: IC₅₀ (µg/mL)

Table 45. Antioxidant activities of *A. princeps* leaf extract

Sample	EtoH	Ascorbic acid
DPPH radical Scavenging activity	81.3 ± 2.5	10.4 ± 1.5
ABTS radical scavenging activity	152.1 ± 7.5	10.2 ± 2.5

The data are presented as a mean ± SE of three replicates. IC₅₀ values were calculated from regression lines using five different concentrations in triplicate experiments. Unit: IC₅₀ (µg/mL)

V. 요약

최근 국가간 교역의 증가, 기후변화 등으로 인하여 외래 생물의 침입 가능성이 더욱 높아졌다. 이러한 문제를 가지고 있는 제주도에서는 침입 외래종인 양미역취(*Solidago altissima* L.)의 확산으로 환경에 위해를 끼침에 따라 생태계 기능을 약화시키고 자생종의 멸종을 초래하여 결국에는 생물다양성을 감소시키는 결과를 보이고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 제주도에서 확산되고 있는 양미역취를 친환경적 관리방안에 대한 연구를 통해 양미역취 확산을 저지하는데 기여하고자 하였다. 양미역취는 별초 횃수 및 친환경 약제 처리에 따른 생물량 및 성장량의 유의적 감소로 확산을 저지할 수 있음을 알 수 있으며 특히, 별초 2, 3회 처리구에 매우 두드러진 감소 효과를 나타내었다. 그리고 초기에 침입한 패치형태 조사지에서 또한 별초 3회 처리구가 유의한 값을 나타내었다. 또한 양미역취 우점 및 비우점 지역의 식생분석을 통한 생물다양성에 차이가 확연히 나타났다. 그리고 양미역취의 식물 정화 능력에서는 나노물질의 농도에 따라 처리를 하더라도 양미역취의 성장과 생물량에는 큰 차이가 없어 식물 정화 종으로 적합하다고 사료된다. 이러한 양미역취를 활용하여 중금속에 오염된 지역의 토양을 정화 및 제거를 통한 침입종의 저지 및 오염원 제거의 일석이조의 활용 가능성을 모색하였다. 또한 양미역취의 천연 향산화제에 관한 실험에서는 양미역취 꽃에서 타 침입종 보다는 향산화 능력이 높게 나타났다. 따라서, 이 종에 대한 활용이 많아져서 채집의 증가로 인한 일반적인 대중들의 참여적인 관리가 가능함으로서 식물정화 능력과 마찬가지로 효능 및 제거의 일석이조 효과의 가능성을 제시하였다. 이러한 양미역취의 친환경적인 관리방안을 수립하여 확산을 저지하는데 기여를 하였

으며, 나아가서는 외래종의 친환경적인 관리와 활용 방안을 통한 생태적인 접근을 모색하는 연구를 시도 했음에 의미가 있다.

VI. 참고 문헌

- Atkinson, I., Atkinson, T., and Sherey, G. 2000. Invasive species in the Pacific: A technical review and draft regional strategy.
- Bang, S., Kim M., and Roh, T. 2004. Development of Integrated Management Plan for Abating the Threats from Invasive Alien Species in Korea. Korea Environment Institute 2004:1-340.
- Blois, M. S. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *nature* 181:1199-1200.
- Braun-Blanquet, J. 1964. *Pflanzensoziologie*. 3 Aufl. 865 pp. Wien-New York.
- Brower, J., and Zar, J. 1977. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. WMC Brown Comp. Publishing Co. Inc. New York.
- Coll, C., Notter D., Gottschalk F., Sun T., Som C., and Nowack B. 2016. Probabilistic environmental risk assessment of five nanomaterials (nano-TiO₂, nano-Ag, nano-ZnO, CNT, and fullerenes). *Nanotoxicology* 10:436-444.
- Curtis, J. T., and McIntosh, R. P. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32:476-496.
- Delanty, N. and Dichter, M. 1998. Oxidative injury in the nervous system. *Acta neurologica scandinavica* 98:145-153.
- Egli, P., and Schmid, B. 2000. Seasonal dynamics of biomass and nitrogen in canopies of *Solidago*

altissima and effects of a yearly mowing treatment. *Acta Oecologica* 21:63-77.

Ellenberg, H. 1982. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. [The vegetation of central Europe including the Alps]. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Ellenberg, H. 1993. *Vom Wechsel des Pflanzenkleids*. E. Goltze.

Frankel, E. 1989. Distribution of *Pueraria lobata* in and around New York City. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*:390-394.

Güsewell, S., Buttler, A., and Klötzli, F. 1998. Short-term and long-term effects of mowing on the vegetation of two calcareous fens. *Journal of Vegetation Science* 9:861-872.

Hladun, K. R., Parker, D. R. and Trumble, J. T. 2015. Cadmium, copper, and lead accumulation and bioconcentration in the vegetative and reproductive organs of *Raphanus sativus*: implications for plant performance and pollination. *Journal of chemical ecology* 41:386-395.

Hwang, H., Lee, M. J. Kim, S. Lee, D. Son, J. Oh, and Song, U. 2019. A study on the utilization of the exotic invasive species *Hypochaeris radicata* L. as management perspective. *Applied Ecology and Environmental Research* 17:6595-6604.

Ito, I., Khi, K., and Yoneyama, T. 1998. Fate of Dehydromatricaria Ester Added to Soil and its Implications for the Allelopathic Effect of *Solidago altissima* L. *Annals of Botany* 82:625-630.

Jantunen, J., Saarinen, K. Valtonen, A. and Saarnio, S. 2007. Flowering and seed production success along roads with different mowing regimes. *Applied Vegetation Science* 10:285-292.

Jeong, G., Park, M., Jeong, S., Lee, S., Choi, H., Nam, B., Lee, Y. and Choi, H. 2008. Distribution of

vascular plants in Gongdeoksan (Mungyeong, Gyeongbuk). Korean Journal of Plant Resources 21:270-280.

Ji, H., and Kim, C. 2014. Current Status of Naturalization by Exotic Ornamental Plants in Korea. Weed & Turfgrass Science 3:206-214.

Jones Jr, J. B. 1997. Plant nutrition manual. CRC press.

Kim, H.-S., and Kim, J.-H. 2001. Allelopathic effects of volatile compounds from *Ambrosia artemisiifolia* leaves on the selected species. The Korean Journal of Ecology 24:61-66.

Kim, O. Y., Park, S. I., Jung, I. M. and Ha, S. Y. 2005. The Allelopathic Effects of Aqueous Extracts of *Hypochaeris radicata* L. on Forage Crops. Journal of Life Science 15:871-878.

Kim, S. H., Kim, D. E., Lee, D., Lee, C. W., Hwang, I. C., and Lee, H. 2014. Monitoring of Invasive Alien Species National Institute of Ecology:0-0.

KMA, Korea Meteorological Administration 2019. Annual weather report.

Available at: <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltmList.do?pgmNo=36>.

Koh, S. I. 2013. The Promotion Plan of UNESCO World Heritage in Jeju Tourism. Research of Jeju island 39:71-100.

Lee, C. 2003. Colored flora of Korea.

Lee, S., Choi, S., Kang, H. Jo, H. and Jo, J. 2010. The Change and Structure of Altitudinal Vegetation on the East Side of Hallasan National Park. Korean Society of Environment & Ecology 24:26-36.

- Li, X., Hou, X., Ren, W., Baoyin, T., Liu, Z., Badgery, W., Li, Y. Wu, X. and Xu, H. 2016. Long-term effects of mowing on plasticity and allometry of *Leymus chinensis* in a temperate semi-arid grassland, China. *Journal of Arid Land* 8:899-909.
- Lim, D.-O., Park, M.-S. and Kim, H.-S. 2007. The distribution and management methods of naturalized plants in Jeollanamdo, Korea-A focus on the south-western area. *Korean Journal of Plant Resources* 20:353-361.
- Loosli, F., Vitorazi, L., Berret, J.-F. and Stoll, S. 2015. Towards a better understanding on agglomeration mechanisms and thermodynamic properties of TiO₂ nanoparticles interacting with natural organic matter. *Water research* 80:139-148.
- McCoy, T. D., Kurzejeski, E. W., L. Burger Jr, W. and M. Ryan, R. 2001. Effects of conservation practice, mowing, and temporal changes on vegetation structure on CRP fields in northern Missouri. *Wildlife Society Bulletin*:979-987.
- Moe, Ministry Of Environment 2016. Handbook for the Management of. Invasive Alien Species in Korea.
Available at: <http://www.me.go.kr/ysg/web/board/read.do?menuId=4246&boardMasterId=271&boardCategoryId=551&boardId=782430>.
- Mleczek, M., Rutkowski, P., Rissmann, I., Kaczmarek, Z., Golinski, P., Szentner, K., Strażyńska, K. and Stachowiak, A. 2010. Biomass productivity and phytoremediation potential of *Salix alba* and *Salix viminalis*. *Biomass and bioenergy* 34:1410-1418.
- Mooney, H. 1996. The SCOPE initiatives: the backgrounds and plans for a global strategy on invasive species. Pages 30-33 *in* Proceedings Norway/UN conference on alien species, Sandlund OT,

Schei PJ, Viken A.(eds.), Norwegian Institute for Nature Research publ.

Muller, C. H. 1969. Allelopathy as a factor in ecological process. *Plant Ecology* 18:348-357.

Newsome, A., and Noble, I. 1986. Ecological and physiological characters of invading species. *Ecological and physiological characters of invading species.*:1-20.

Schoenfelder, A. C., Bishop, J. G., Martinson, H. M. and Fagan, W. F. 2010. Resource use efficiency and community effects of invasive *Hypochaeris radicata* (Asteraceae) during primary succession. *American journal of botany* 97:1772-1779.

Song, U. 2010. Ecological monitoring and management of plant, soil and leachate channel in the Sudokwon landfill, Korea. Seoul: Ph. D thesis of Seoul National University.

Stanely Mainzen Prince, P., and Menon, V. P. 2001. Antioxidant action of *Tinospora cordifolia* root extract in alloxan diabetic rats. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives* 15:213-218.

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

USEPA, United States Environmental Protection Agency. 2003a. Ecological Soil Screening Level for Cd. Available at: http://www.epa.gov/ecotox/ecossl/pdf/eco-ssl_cadmium.pdf.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. 2003b. Ecological Soil Screening Level for Cu. Available at: http://www.epa.gov/ecotox/ecossl/pdf/eco-ssl_copper.pdf.

- USEPA, United States Environmental Protection Agency. 2003c. Ecological Soil Screening Level for Iron. Available at: http://www.epa.gov/ecotox/ecossl/pdf/eco-ssl_iron.pdf.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency. 2003d. Ecological Soil Screening Level for Pb. Available at: http://www.epa.gov/ecotox/ecossl/pdf/eco-ssl_lead.pdf.
- 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* 28:1221-1237.
- 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. 2000. Biological flora of Central Europe: *Solidago altissima* L. *Flora* 195:123-134.
- Willms, W. D. 1991. Cutting frequency and cutting height effects on rough fescue and Parry oat grass yields. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives* 44:82-86.
- Wilson, M. V., and Clark, D. L. 2001. Controlling invasive *Arrhenatherum elatius* and promoting native prairie grasses through mowing. *Applied Vegetation Science* 4:129-138.
- Yang, H., Jiang, L., Li, L., Li, A., Wu, M. and Wan, S. 2012. Diversity-dependent stability under mowing and nutrient addition: evidence from a 7-year grassland experiment. *Ecology Letters* 15:619-626.
- Yao, Y., Ohko, Y., Sekiguchi, Y., Fujishima, A. and Kubota, Y. 2008. Self-sterilization using silicone

catheters coated with Ag and TiO₂ nanocomposite thin film. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials* 85:453-460.

Zahran, H. H. 2001. Rhizobia from wild legumes: diversity, taxonomy, ecology, nitrogen fixation and biotechnology. *Journal of biotechnology* 91:143-153.

Zuverza-Mena, N., Armendariz, R., J. Peralta-Videa, R. and Gardea-Torresdey, J. L. 2016. Effects of silver nanoparticles on radish sprouts: root growth reduction and modifications in the nutritional value. *Frontiers in plant science* 7:90.

VII. 부 록

Appendix 1. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 1, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 과 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
Rosaceae	장미 과 (Family)		
뱀딸기	<i>Duchesnea chrysantha</i> (Zoll. & Moritzi) Miq.	P	
장딸기	<i>Rubus hirsutus</i> Thunb.	P	
Leguminosae	콩 과 (Family)		
참	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
Gramineae	벼 과 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
Polygonaceae	마디풀 과 (Family)		
소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	P	O
Phytolaccaceae	자리공 과 (Family)		
미국자리공	<i>Phytolacca Americana</i> L.	A	O
Ranunculaceae	미나리아재비 과 (Family)		
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	P	
Aspleniaceae	꼬리고사리 과 (Family)		
고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 2. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 2, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 과 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
Rosaceae	장미 과 (Family)		
찔레꽃	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.	P	
장딸기	<i>Rubus hirsutus</i> Thunb.	P	
Leguminosae	콩 과 (Family)		
취	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
Gramineae	벼 과 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
큰이삭풀	<i>Bromus unioloides</i> H.B. & K.	P	O
Phytolaccaceae	자리공 과 (Family)		
미국자리공	<i>Phytolacca Americana</i> L.	A	O
Umbelliferae	산형 과 (Family)		
피막이	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam.	P	
Aspleniaceae	꼬리고사리 과 (Family)		
고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	P	
Saxifragaceae	범의귀 과 (Family)		
수국	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	P	
Cannabaceae	삼 과 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	A	
Araliaceae	두릅나무 과 (Family)		
두릅나무	<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem.	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 3. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 3, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 과 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
고들빼기	<i>Crepidiastrum sonchifolium</i> (Bunge) Pak & Kawano	B	
Rosaceae	장미 과 (Family)		
뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	P	
Leguminosae	콩 과 (Family)		
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don	P	
Gramineae	벼 과 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
Phytolaccaceae	자리공 과 (Family)		
미국자리공	<i>Phytolacca Americana</i> L.	A	O
Umbelliferae	산형 과 (Family)		
피막이	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam.	P	
Saxifragaceae	범의귀 과 (Family)		
수국	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	P	
Rubiaceae	꼭두서니 과 (Family)		
계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 4. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 4, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	B	O
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	B	
Rosaceae	장미 科 (Family)		
뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	P	
Leguminosae	콩 科 (Family)		
철	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
Gramineae	벼 科 (Family)		
큰이삭풀	<i>Bromus unioloides</i> H.B. & K.	P	O
큰김의털	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	P	O
Polygonaceae	마디풀 科 (Family)		
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Spach	A	
Ranunculaceae	미나리아제비 科 (Family)		
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	P	
Asclepiadaceae	박주가리 科 (Family)		
박주가리	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	P	
Rubiaceae	꼭두서니 科 (Family)		
계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	P	
Amaranthaceae	비름 科 (Family)		
쇠무릎	<i>Achyranthes japonica</i> (Miq.) Nakai	P	
Commelinaceae	닭의장풀 科 (Family)		
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	A	
Labiatae	꿀풀 科 (Family)		
개박하	<i>Nepeta cataria</i> L.	P	
Cyperaceae	사초 科 (Family)		

그늘사초	<i>Carex lanceolata</i> Boott	P
Geraniaceae	쥐손이풀 科 (Family)	
쥐손이풀	<i>Geranium sibiricum</i> L.	P

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 5. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 5, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
박쥐나물	<i>Parasenecio auriculata</i> var. <i>matsumurana</i> Nakai	P	
Rosaceae	장미 科 (Family)		
뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	P	
Leguminosae	콩 科 (Family)		
철	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
Gramineae	벼 科 (Family)		
역새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
강아지풀	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	A	
Polygonaceae	마디풀 科 (Family)		
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Spach	A	
Asclepiadaceae	박주가리 科 (Family)		
박주가리	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	P	
Rubiaceae	꼭두서니 科 (Family)		
계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	P	
Amaranthaceae	비름 科 (Family)		

쇠무릎	<i>Achyranthes japonica</i> (Miq.) Nakai	P
Commelinaceae	닭의장풀 科 (Family)	
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	A
Saxifragaceae	범의귀 科 (Family)	
수국	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	P
Aspleniaceae	꼬리고사리 科 (Family)	
고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	P
Geraniaceae	쥐손이풀 科 (Family)	
쥐손이풀	<i>Geranium sibiricum</i> L.	P
Cucurbitaceae	박 科 (Family)	
하늘타리	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	P
Plantaginaceae	질경이 科 (Family)	
질경이	<i>Plantago asiatica</i> L.	P
Osmundaceae	고비 科 (Family)	
고비	<i>Osmunda japonica</i> Thunb.	P

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 6. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 6, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	B	
큰금계국	<i>Coreopsis lanceolata</i> L.	P	O
Leguminosae	콩 科 (Family)		
철	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don	P	

Gramineae	벼 과 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
큰이삭풀	<i>Bromus unioloides</i> H.B. & K.	P	O
방울새풀	<i>Briza minor</i> L.	A	O
갈대	<i>Phragmites communis</i> Trin.	P	
Polygonaceae	마디풀 과 (Family)		
소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	P	O
Rubiaceae	꼭두서니 과 (Family)		
계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	P	
Cannabaceae	삼 과 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	A	
Cyperaceae	사초 과 (Family)		
그늘사초	<i>Carex lanceolata</i> Boott	P	
Urticaceae	쐯기풀 과 (Family)		
모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 7. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 7, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 과 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	B	
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
Leguminosae	콩 과 (Family)		
철	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
Rosaceae	장미 과 (Family)		

산딸기	<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge	P	
Polygonaceae	마디풀 科 (Family)		
소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	P	O
머느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i> Gross	A	
Rubiaceae	꼭두서니 科 (Family)		
계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. scandens	P	
갈퀴덩굴	<i>Galium spurium</i> L.	B	
Cannabaceae	삼과 科 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	A	
Cucurbitaceae	박 科 (Family)		
하늘타리	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	P	
Urticaceae	쐐기풀 科 (Family)		
모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	P	
Asclepiadaceae	박주가리 科 (Family)		
박주가리	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	P	
Commelinaceae	닭의장풀 科 (Family)		
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	A	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 8. Present vegetation of *Solidago altissima* non-dominanted site 1-1, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	B	
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
서양민들레	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	P	O
망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	B	O
단풍취	<i>Ainsliaea acerifolia</i> Sch.Bip.	P	
개미취	<i>Aster tataricus</i> L.f.	P	
Leguminosae	콩 科 (Family)		
토끼풀	<i>Trifolium repens</i> L.	P	O
돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	A	
Gramineae	벼 科 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
방울새풀	<i>Briza minor</i> L.	A	O
큰이삭풀	<i>Bromus unioloides</i> H.B. & K.	P	O
강아지풀	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	A	
개밀	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi	B	
Cannabaceae	삼 科 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	A	
Apocynaceae	협죽도 科 (Family)		
마삭줄	<i>Trachelospermum asiaticum</i> Nakai	P	
Polygonaceae	마디풀 科 (Family)		
소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	P	O
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre	A	
Oxalidaceae	괘이밥 科 (Family)		
괘이밥	<i>Oxalis corniculata</i> L.	P	
Commelinaceae	닭의장풀 科 (Family)		
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	A	

Plantaginaceae	질경이 科 (Family)	
질경이	<i>Plantago asiatica</i> L.	P
Euphorbiaceae	대극 科 (Family)	
개풀	<i>Acalypha australis</i> L.	A
Acanthaceae	쥐꼬리망초 科 (Family)	
쥐꼬리망초	<i>Justicia procumbens</i> L.	A

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 9. Present vegetation of *Solidago altissima* non-dominanted site 2-1, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
서양민들레	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	P	O
망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	B	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	P	O
Gramineae	벼 科 (Family)		
큰이삭풀	<i>Bromus unioloides</i> H.B. & K.	P	O
강아지풀	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	A	
개밀	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi	B	
Polygonaceae	마디풀 科 (Family)		
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre	A	
Oxalidaceae	괭이밥 科 (Family)		
괭이밥	<i>Oxalis corniculata</i> L.	P	
Phytolaccaceae	자리공 科 (Family)		
미국자리공	<i>Phytolacca Americana</i> L.	A	O
Asclepiadaceae	박주가리 科 (Family)		

박주가리	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	P	
Solanaceae	가지 科 (Family)		
까마중	<i>Solanum nigrum</i> L.	A	O
Violaceae	제비꽃 科 (Family)		
제비꽃	<i>Viola mandshurica</i> W.Becker	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 10. Present vegetation of *Solidago altissima* non-dominanted site 3-1, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	B	
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
원추천인국	<i>Rudbeckia bicolor</i> Nutt.	P	O
망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	B	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
뺨쑥	<i>Artemisia feddei</i> H.Lev.	P	
서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	P	O
Leguminosae	콩 科 (Family)		
토끼풀	<i>Trifolium repens</i> L.	P	O
돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	A	
참	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don	P	
차풀	<i>Chamaecrista nomame</i> (Siebold) H. Ohashi	A	
Gramineae	벼 科 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
Asclepiadaceae	박주가리 科 (Family)		
박주가리	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	P	
Cucurbitaceae	박 科 (Family)		

하늘타리	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	P	
Rosaceae	장미 科 (Family)		
산딸기	<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge	P	
Onagraceae	바늘꽃 科 (Family)		
달맞이꽃	<i>Oenothera biennis</i> L.	B	O
Geraniaceae	쥐손이풀 科 (Family)		
쥐손이풀	<i>Geranium sibiricum</i> L.	P	
Guttiferae	물레나물 科 (Family)		
고추나물	<i>Hypericum erectum</i> Thunb.	P	
Liliaceae	백합 科 (Family)		
청미래덩굴	<i>Smilax china</i> L.	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 11. Present vegetation of *Solidago altissima* non-dominanted site 4-1, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
Leguminosae	콩 科 (Family)		
돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	A	
참	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
Gramineae	벼 科 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
Rosaceae	장미 科 (Family)		
뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	P	
Onagraceae	바늘꽃 科 (Family)		
달맞이꽃	<i>Oenothera biennis</i> L.	B	O
Cannabaceae	삼 科 (Family)		

환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	A	
Urticaceae	쐐기풀 科 (Family)		
모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	P	
Polygonaceae	마디풀 科 (Family)		
머느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i> Gross	A	
Commelinaceae	닭의장풀 科 (Family)		
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	A	
Phytolaccaceae	자리공 科 (Family)		
미국자리공	<i>Phytolacca Americana</i> L.	A	O

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial
*Exotic: E

Appendix 12. Present vegetation of *Solidago altissima* non-dominanted site 5-1, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
Leguminosae	콩 科 (Family)		
돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	A	
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	P	
참	<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth	P	
Gramineae	벼 科 (Family)		
강아지풀	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	A	
Onagraceae	바늘꽃 科 (Family)		
달맞이꽃	<i>Oenothera biennis</i> L.	B	O
Cannabaceae	삼 科 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	A	
Urticaceae	쐐기풀 科 (Family)		
모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	P	

Polygonaceae	마디풀 科 (Family)	
머느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i> Gross	A

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 13. Present vegetation of *Solidago altissima* non-dominanted site 6-1, July2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	B	O
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	B	
서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	P	O
큰금계국	<i>Coreopsis lanceolata</i> L.	P	O
뚱딴지	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	P	O
개미취	<i>Aster tataricus</i> L.f.	P	
금계국	<i>Coreopsis drummondii</i> L.	B	O
Leguminosae	콩 科 (Family)		
돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	A	
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don	P	
참	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
Gramineae	벼 科 (Family)		
강아지풀	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	A	
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
큰이삭풀	<i>Bromus unioloides</i> H.B. & K.	P	O
개밀	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi	B	
큰김의털	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	P	O
Onagraceae	바늘꽃 科 (Family)		

달맞이꽃	<i>Oenothera biennis</i> L.	B	O
Cannabaceae	삼 科 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	A	
Polygonaceae	마디풀 科 (Family)		
소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	P	O
며느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i> Gross	A	
Commelinaceae	닭의장풀 科 (Family)		
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	A	
Ranunculaceae	미나리아재비 科 (Family)		
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	P	
Cucurbitaceae	박 科 (Family)		
하늘타리	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	P	
Oxalidaceae	괭이밥 科 (Family)		
괭이밥	<i>Oxalis corniculata</i> L.	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 14. Present vegetation of *Solidago altissima* non-dominanted site 7-1, July 2018

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	B	O
서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	P	O
중대가리풀	<i>Centipeda minima</i> L.		
방가지뚱	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	B	
미국가막사리	<i>Bidens frondosa</i> L.		
Rosaceae	장미 科 (Family)		
곰딸기	<i>Rubus phoenicolasius</i> Maxim.	P	
Chenopodiaceae	명아주 科 (Family)		

명아주	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>		
Gramineae	벼 科 (Family)		
큰이삭풀	<i>Bromus unioloides</i> H.B. & K.	P	O
개밀	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi	B	
Onagraceae	바늘꽃 科 (Family)		
달맞이꽃	<i>Oenothera biennis</i> L.	B	O
Polygonaceae	마디풀 科 (Family)		
소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	P	O
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre	A	
Commelinaceae	닭의장풀 科 (Family)		
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	A	
Convolvulaceae	메꽃 科 (Family)		
고구마	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	P	
Cucurbitaceae	박 科 (Family)		
하늘타리	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	P	
Oxalidaceae	괘이밥 科 (Family)		
괘이밥	<i>Oxalis corniculata</i> L.	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 15. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 1, July 2019

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
똥판지	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	P	O
Leguminosae	콩 科 (Family)		
쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	

Gramineae	벼 科 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
Ranunculaceae	미나리아제비 科 (Family)		
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	P	
Rubiaceae	꼭두서니 科 (Family)		
계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	P	
Cannabaceae	삼 科 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	A	
Aspleniaceae	꼬리고사리 科 (Family)		
고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	P	
Urticaceae	췌기풀 科 (Family)		
모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	P	
Apocynaceae	협죽도 科 (Family)		
마삭줄	<i>Trachelospermum asiaticum</i> Nakai	P	
Umbelliferae	산형 科 (Family)		
구릿대	<i>Angelica dahurica</i> Benth.	B	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 16. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 2, July 2019

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 科 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
엉겅퀴	<i>Cirsium japonicum</i> var. <i>ussuriense</i> Kitamura	P	
Leguminosae	콩 科 (Family)		

취	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
Rosaceae	장미 科 (Family)		
뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	P	
Gramineae	벼 科 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
Phytolaccaceae	자리공 科 (Family)		
미국자리공	<i>Phytolacca Americana</i> L.	A	O
Ranunculaceae	미나리아제비 科 (Family)		
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	P	
Rubiaceae	꼭두서니 科 (Family)		
계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	P	
Aspleniaceae	꼬리고사리 科 (Family)		
고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	P	
Urticaceae	쑥기풀 科 (Family)		
모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	P	
Umbelliferae	산형 科 (Family)		
구릿대	<i>Angelica dahurica</i> Benth.	B	
Saxifragaceae	범의귀 科 (Family)		
수국	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	P	
Polygonaceae	마디풀 科 (Family)		
며느리밑씻개	<i>Persicaria senticosa</i> Nakai	A	
Pinaceae	소나무 科 (Family)		
소나무	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 17. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 3, July 2019

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 과 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	P	O
Leguminosae	콩 과 (Family)		
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	P	
Gramineae	벼 과 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
개밀	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi	B	
왕바랭이	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	A	
Ranunculaceae	미나리아재비 과 (Family)		
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	P	
Rubiaceae	꼭두서니 과 (Family)		
계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	P	
Cucurbitaceae	박 과 (Family)		
하늘타리	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	P	
Umbelliferae	산형 과 (Family)		
피막이	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam.	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 18. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 4, July 2019

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 과 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	B	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	P	O
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	B	
서양민들레	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	P	O
Leguminosae	콩 과 (Family)		
철	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
Gramineae	벼 과 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
방울새풀	<i>Briza minor</i> L.	A	O
Ranunculaceae	미나리아제비 과 (Family)		
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	P	
Rubiaceae	꼭두서니 과 (Family)		
계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. scandens	P	
Urticaceae	췌기풀 과 (Family)		
모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	P	
Umbelliferae	산형 과 (Family)		
피막이	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam.	P	
Aspleniaceae	꼬리고사리 과 (Family)		
고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	P	
Actinidiaceae	다래나무 과 (Family)		
다래	<i>Actinidia arguta</i> Planch.	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 19. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 5, July 2019

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 과 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	B	
Leguminosae	콩 과 (Family)		
취	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
Rosaceae	장미 과 (Family)		
뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	P	
Gramineae	벼 과 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
방울새풀	<i>Briza minor</i> L.	A	O
Ranunculaceae	미나리아재비 과 (Family)		
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	P	
Rubiaceae	꼭두서니 과 (Family)		
계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	P	
Urticaceae	쐐기풀 과 (Family)		
모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	P	
Aspleniaceae	꼬리고사리 과 (Family)		
고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	P	
Actinidiaceae	다래나무 과 (Family)		
다래	<i>Actinidia arguta</i> Planch.	P	
Cucurbitaceae	박 과 (Family)		
하늘타리	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	P	
Cannabaceae	삼 과 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	A	
Umbelliferae	산형 과 (Family)		
피막이	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam.	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial *Exotic: E

Appendix 20. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 6, July 2019

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 과 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	B	O
큰금계국	<i>Coreopsis lanceolata</i> L.	P	O
뚥판지	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	P	O
Leguminosae	콩 과 (Family)		
철	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	P	
새콩	<i>Amphicarpaea trisperma</i> (Miq.) Baker	A	
Rosaceae	장미 과 (Family)		
뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	P	
Gramineae	벼 과 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
Cucurbitaceae	박 과 (Family)		
하늘타리	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	P	
Cannabaceae	삼 과 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	A	
Polygonaceae	마디풀 과 (Family)		
소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	P	O
Commelinaceae	닭의장풀 과 (Family)		
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	A	
Cyperaceae	사초 과 (Family)		
그늘사초	<i>Carex lanceolata</i> Boott	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 21. Present vegetation of *Solidago altissima* dominated site 7, July 2019

Korean name	Scientific name	Life form	Exotic
Compositae	국화 과 (Family)		
양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	P	O
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	P	
참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	P	
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	B	
Leguminosae	콩 과 (Family)		
쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	P	
새콩	<i>Amphicarpaea trisperma</i> (Miq.) Baker	A	
Gramineae	벼 과 (Family)		
억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	P	
Cannabaceae	삼 과 (Family)		
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	A	
Polygonaceae	마디풀 과 (Family)		
소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	P	O
며느리밑씻개	<i>Persicaria senticosa</i> Nakai	A	
Urticaceae	쑥대풀 과 (Family)		
모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	P	
Ranunculaceae	미나리아재비 과 (Family)		
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	P	
Apocynaceae	협죽도 과 (Family)		
마삭줄	<i>Trachelospermum asiaticum</i> Nakai	P	

*Life form A: annual, Life form B: biannual, Life form P: perennial

*Exotic: E

Appendix 22. Important values of *Solidago altissima* dominated site 1, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V.
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.371
2	쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	0.173
3	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.138
4	장딸기	<i>Rubus hirsutus</i> Thunb.	0.071
5	고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	0.062
6	개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	0.048
7	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.042
8	사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	0.029
9	뱀딸기	<i>Duchesnea chrysantha</i> (Zoll. & Moritzi) Miq.	0.021
10	미국자리공	<i>Phytolacca Americana</i> L.	0.015

Appendix 23. Important values of *Solidago altissima* dominated site 2, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V.
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.359
2	장딸기	<i>Rubus hirsutus</i> Thunb.	0.135
3	미국자리공	<i>Phytolacca Americana</i> L.	0.103
4	고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	0.090
5	쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham.	0.085
6	개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	0.062
7	수국	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	0.041
8	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.032
9	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.013
10	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	0.011

Appendix 24. Important values of *Solidago altissima* dominated site 3, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V.
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.571
2	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.170
3	피막이	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam.	0.071
4	비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don	0.060
5	계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	0.035
6	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.033
7	뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	0.022
8	개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	0.017
9	고들빼기	<i>Crepidiastrum sonchifolium</i> (Bunge) Pak & Kawano	0.016

Appendix 25. Important values of *Solidago altissima* dominated site 4, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V.
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.479
2	박주가리	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	0.088
3	쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	0.076
4	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.058
5	닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	0.049
6	망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	0.038
7	사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	0.022
8	뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	0.021
9	쇠무릎	<i>Achyranthes japonica</i> (Miq.) Nakai	0.019
10	쥐손이풀	<i>Geranium sibiricum</i> L.	0.017

Appendix 26. Important values of *Solidago altissima* dominated site 5, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V.
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.339
2	칩	<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth	0.232
3	뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	0.211
4	서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	0.196
5	박주가리	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	0.104
6	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.038
7	수국	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	0.037
8	하늘수박	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	0.030
9	계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	0.026
10	쥐손이풀	<i>Geranium sibiricum</i> L.	0.022

Appendix 27. Important values of *Solidago altissima* dominated site 6, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V.
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.446
2	칩	<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth	0.169
3	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.132
4	소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	0.069
5	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	0.036
6	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.034
7	비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	0.027
8	방울새풀	<i>Briza minor</i> L.	0.024
9	모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	0.008
10	계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	0.007

Appendix 28. Important values of *Solidago altissima* dominated site 7, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V.
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.329
2	쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth	0.187
3	왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	0.128
4	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.071
5	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	0.058
6	소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	0.049
7	계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	0.043
8	갈퀴덩굴	<i>Galium spurium</i> L.	0.023
9	박주가리	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	0.021
10	머느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i> Gross	0.020

Appendix 29. Important values of *Solidago altissima* non-dominated site 1-1, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V.
1	돌콩	<i>Glycine soja</i> S. et Z.	0.314
2	참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	0.117
3	망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	0.074
4	강아지풀	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	0.055
5	개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	0.054
6	개미취	<i>Aster tataricus</i> L.f.	0.043
7	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> S. et Z.	0.036
8	소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	0.024
9	마삭줄	<i>Trachelospermum asiaticum</i> (Siebold & Zucc.) Nakai var. <i>asiaticum</i>	0.019
10	닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	0.014

Appendix 30. Important values of *Solidago altissima* non-dominated site 2-1, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	0.347
2	서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	0.110
3	개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	0.079
4	목본류		0.064
5	개밀	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi	0.056
6	미국자리공	<i>Phytolacca Americana</i> L.	0.055
7	괭이밥	<i>Oxalis corniculata</i> L.	0.044
8	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.042
9	서양민들레	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	0.030
10	까마중	<i>Solanum nigrum</i> L.	0.024

Appendix 31. Important values of *Solidago altissima* non-dominated site 3-1, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	취	<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth	0.232
2	비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don	0.099
3	청미래	<i>Smilax china</i> L.	0.068
4	미동정		0.067
5	차풀	<i>Chamaecrista nomame</i> (Siebold) H. Ohashi	0.059
6	서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	0.055
7	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.052
8	돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	0.047
9	왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	0.040
10	하늘수박	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	0.031

Appendix 32. Important values of *Solidago altissima* non-dominanted site 4-1, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	0.278
2	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.164
3	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	0.146
4	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.078
5	달맞이꽃	<i>Oenothera biennis</i> L.	0.067
6	쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth	0.058
7	닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	0.056
8	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.046
9	모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	0.025
10	며느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i> Gross	0.025

Appendix 33. Important values of *Solidago altissima* non-dominanted site 5-1, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	0.333
2	쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth	0.240
3	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.090
4	강아지풀	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	0.074
5	돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	0.073
6	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.060
7	비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don	0.0259
8	며느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i> Gross	0.0259
9	모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	0.0259
10	달맞이꽃	<i>Oenothera biennis</i> L.	0.024

Appendix 34. Important values of *Solidago altissima* non-dominated site 6-1, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	취	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	0.157
2	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.134
3	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.075
4	돼지감자	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	0.066
5	비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don	0.044
6	닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L	0.044
7	금계국	<i>Coreopsis drummondii</i> L.	0.042
8	돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.	0.034
9	큰이삭풀	<i>Bromus unioloides</i> H.B. & K.	0.031
10	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	0.031

Appendix 35. Important values of *Solidago altissima* non-dominated site 7-1, July 2018

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	망초	<i>Erigeron canadensis</i> L.	0.204
2	서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L	0.176
3	개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	0.136
4	고구마	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	0.066
5	괭이밥	<i>Oxalis corniculata</i> L.	0.050
6	여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Spach	0.050
7	소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	0.043
8	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.027
9	곰딸기	<i>Rubus phoenicolasius</i> Maxim.	0.027
10	닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	0.019

Appendix 36. Important values of *Solidago altissima* dominated site 1, July 2019

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.241
2	사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	0.211
3	쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth	0.114
4	계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	0.092
5	구릿대	<i>Angelica dahurica</i> Benth	0.075
6	참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	0.059
7	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.046
8	고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	0.031
9	뚥딴지	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	0.017
10	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	0.014

Appendix 37. Important values of *Solidago altissima* dominated site 2, July 2019

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.245
2	사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	0.138
3	쑥	<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth	0.109
4	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.093
5	계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	0.079
6	고사리	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw.	0.067
7	뱀달기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	0.047
8	모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	0.043
9	구릿대	<i>Angelica dahurica</i> Benth.	0.035
10	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.031

Appendix 38. Important values of *Solidago altissima* dominated site 3, July 2019

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.415
2	피막이	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam.	0.132
3	비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don	0.091
4	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.077
5	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.071
6	개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	0.058
7	참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	0.038
8	서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	0.032
9	계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	0.027
10	개밀	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi	0.015

Appendix 39. Important values of *Solidago altissima* dominated site 4, July 2019

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.334
2	췌	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	0.145
3	계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	0.079
4	다래	<i>Actinidia arguta</i> Planch.	0.049
5	사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	0.038
6	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.031
7	참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	0.025
8	서양금혼초	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	0.023
9	피막이	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam.	0.022
10	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.018

Appendix 40. Important values of *Solidago altissima* dominated site 5, July 2019

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.320
2	취	<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth	0.157
3	계요등	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	0.150
4	모시풀	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	0.075
5	하늘수박	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	0.053
6	다래	<i>Actinidia arguta</i> Planch.	0.043
7	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.039
8	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.037
9	뱀딸기	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	0.036
10	사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	0.033

Appendix 41. Important values of *Solidago altissima* dominated site 6, July 2019

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.358
2	취	<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth	0.162
3	참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	0.106
4	새콩	<i>Amphicarpaea trisperma</i> (Miq.) Baker	0.079
5	소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	0.055
6	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.0397
7	사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	0.0395
8	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) Hara	0.033
9	그늘사초	<i>Carex lanceolata</i> Boott	0.027
10	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	0.025

Appendix 42. Important values of *Solidago altissima* dominated site 7, July 2019

Rank	Korean name	Scientific name	I.V
1	양미역취	<i>Solidago altissima</i> L.	0.326
2	칩	<i>Pueraria thunbergiana</i> Bentham	0.181
3	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	0.104
4	사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	0.100
5	왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.	0.058
6	참쑥	<i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC.	0.047
7	소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.	0.044
8	새콩	<i>Amphicarpaea trisperma</i> (Miq.) Baker	0.027
9	억새	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> Rendle	0.025
10	마삭줄	<i>Trachelospermum asiaticum</i> Nakai	0.013