



순천대학교 산학협력단
INDUSTRY-ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION



한우지조금관리위원회

조사료 생산이 동계 환경에 미치는 영향 연구

2021. 6.



조사료 생산이 동계 환경에 미치는 영향 연구

2021. 6.

순천대학교 산학협력단

제 출 문

한우자조금관리위원장 귀하

“조사료 생산이 동계 환경에 미치는 영향 연구 (부제 : 토양에서 발생하는 먼지 방지 효과)”에 관한 결과보고서를 제출합니다.

2021. 6.

순천대학교 산학협력단

참 여 연 구 진

“조사료 생산이 동계 환경에 미치는 영향 연구 (부제 : 토양에서 발생하는 먼지 방지 효과)” 용역 참여 연구원

책임연구원 : 교 수 양 철 주

연 구 원 : 학술연구교수 문 홍 석

연구보조원 : 박 사 과 정 Muhammad Ammar Dilawar

석 사 과 정 Dhanushka Rathnayake

보 조 원 : 학 사 과 정 원 준 성

학 사 과 정 민 소 희

목 차

제1장. 연구개발과제의 개요	1
제1절. 연구개발 목적	1
제2절. 연구개발 필요성	1
제2장. 연구수행 방법 및 결과	6
제1절. 연구수행 방법	6
1. 겨울철 조사료 생산현황 조사	6
2. 국내 동계 조사료 생산 가능 품목 조사	6
3. 겨울철 조사료 생산의 대기환경에 미치는 효과 분석	7
제2절. 연구수행 결과	10
1. 겨울철 조사료 생산현황 조사	10
2. 국내 동계 조사료 생산 가능 품목 조사	13
3. 겨울철 조사료 생산의 대기환경에 미치는 효과 분석	21
제3장. 연구결과의 활용 계획	31
제1절. 연구개발 결과의 활용방안	31
제2절. 기대성과 및 파급효과	31
제3절. 정책 제언	31
제4장. 요 약	32
제5장. 참고문헌	33

제1장. 연구개발과제의 개요

제1절. 연구개발 목적

- 2018년 농촌진흥청 발표에 따르면 겨울철 논밭에 경관작물을 재배함에 따라 토양과 양분이 쓸려 내려가는 것을 방지하여 농경지를 확보하고 토심을 높이는 효과가 있을 뿐만 아니라, 이산화탄소를 흡수하고 산소를 배출해 공기정화와 온실가스 저감 등 공익적 기능을 수행하는 것으로 나타남
- 이와 같이 동계 유흥지를 활용하여 조사료를 생산할 경우, 경관작물 재배하는 것보다 높은 공기정화와 함께 온실가스 저감 등의 효과가 있을 것으로 기대됨
- 경관작물 재배 및 심근성 또는 서류에 집중되어 있는 반면, 조사료 생산이 대기환경에 미치는 영향을 보다 면밀히 검토하고 분석하고자 함

제2절. 연구개발 필요성

- 전 세계적으로 산업화가 진행되면서 1900년대 이후부터 미세먼지는 꾸준히 증가해왔음
- 먼지는 대기중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상 물질을 의미함. 먼지는 총먼지 (TSP, Total Suspended Particles), 미세먼지 (PM 10) 및 초미세먼지 (PM 2.5)로 분류함. 총먼지는 지름이 50 μ m 이하를 의미하며, 미세먼지는 지름이 10 μ m 이하인 먼지, 초미세먼지는 지름이 2.5 μ m 이하인 먼지를 의미함 (그림 1)
- 미세먼지 배출원은 크게 자연적 배출원과 인위적 배출원으로 구분할 수 있음
 - 자연적 배출원 (Natural sources)으로는 지구활동 및 기상현상에 의해 주로 생성되는 것으로 해수 분무 (Sea spray), 화산 분출 (Volcanic eruptions), 자발적으로 발생하는 산림 화재 (Forest fires) 및 토양 풍화 등이 있음
 - 인위적 배출원 (Anthropogenic sources)은 인간 활동, 주로 산업활동과 관계되는 것으로 가스상 물질의 형성 및 배출의 핵심 인자인 고온이 수반되는 소각, 발전, 용접, 자동차 등이 대표적임
- 미세먼지는 굴뚝 등 발생원으로부터 고체 상태의 미세먼지로 나오는 경우 (1차적 발생)와 발생원에서는 가스 상태로 나온 물질이 공기 중의 다른 물질과 화학반응을 일으켜 미세먼지가 되는 경우 (2차적 발생)로 나누어질 수 있음 (그림 2)



그림 1. 미세먼지 크기 비교 (출처 : 국립환경과학원, 미국환경보호청)

- 석탄, 석유 등 화석연료가 연소되는 과정에서 배출되는 황산화물이 대기 중의 수증기, 암모니아와 결합하거나, 자동차 배기가스에서 나오는 질소산화물이 대기 중의 수증기, 오존, 암모니아 등과 결합하는 화학반응을 통해 미세먼지가 생성되기도 하는데 이것이 2차적 발생에 속함. 2차적 발생이 중요한 이유는 수도권만 하더라도 화학반응에 의한 2차 생성 비중이 전체 미세먼지 (PM 2.5) 발생량의 약 2/3를 차지할 만큼 매우 높기 때문임 (환경부, 2016)

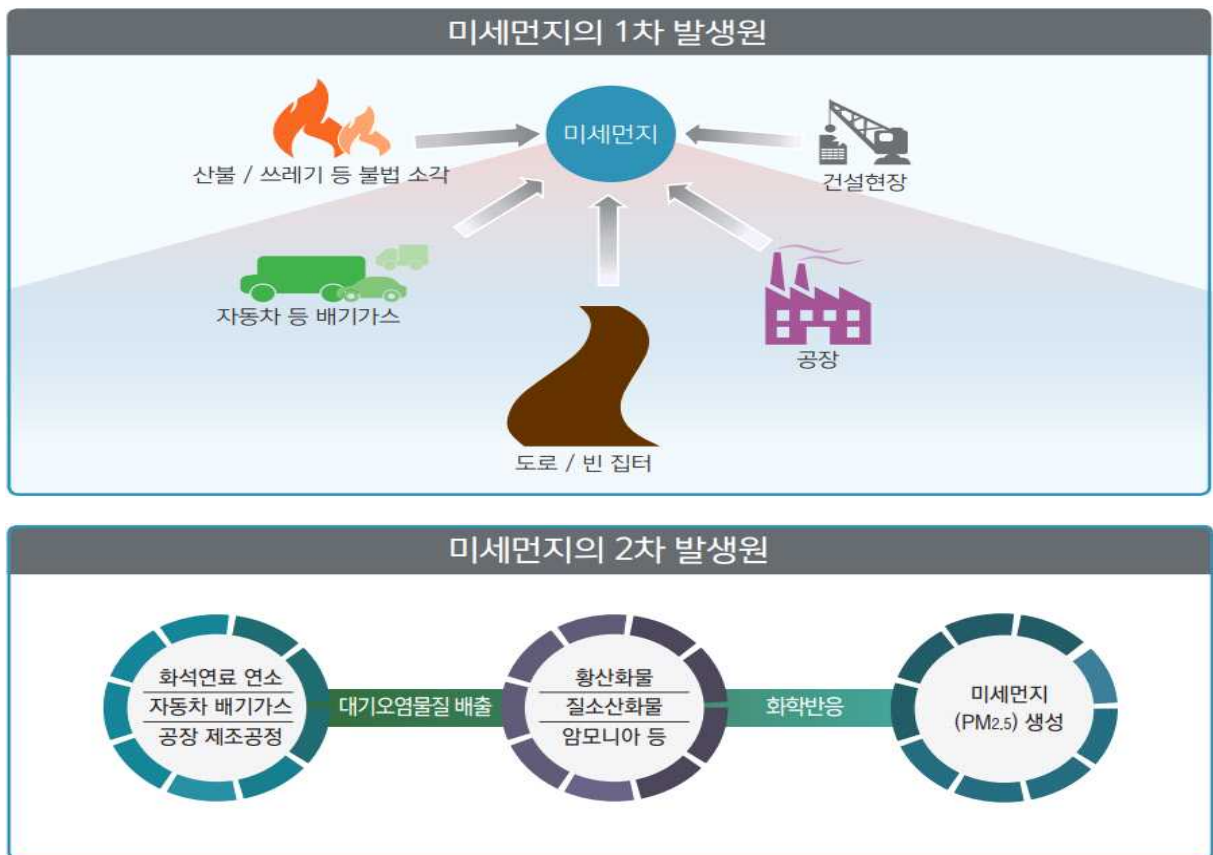


그림 2. 미세먼지 발생 메커니즘 (1차 및 2차 발생, 출처 : 환경부, 2016)

- 대기오염물질인 휘발성 유기화합물, 질소산화물, 황산화물 등이 미세먼지로 전환되는 과정은 다음과 같음 (그림 3)
- 자동차 배기가스, 주유소 유증기 등에 많이 포함된 휘발성 유기화합물 (VOCs)은 반응성이 강한 물질 (OH, O₃ 등)과 화학반응을 일으켜 2차 유기입자 (Secondary Organic Particles)가 됨. 또한 각종 연소과정에서 발생한 질소산화물 (NO, NO₂)은 대기 중 오존 (O₃) 등과 반응해 산성물질인 질산 (HNO₃)을 생성하고, 이는 대기 중 알칼리성 물질인 암모니아 (NH₃)와 반응하여 질산암모늄 (NH₄NO₃)이 됨. 이 질산암모늄 (NH₄NO₃)은 입자상 물질로서 2차적 미세먼지인 것임. 또한, 아황산가스 (SO₂)는 수증기 등과 반응하여 황산 (H₂SO₄)이 되고, 이는 다시 암모니아 등과 반응하여 황산암모늄 ((NH₄)₂SO₄) 등 미세먼지 입자를 생성함

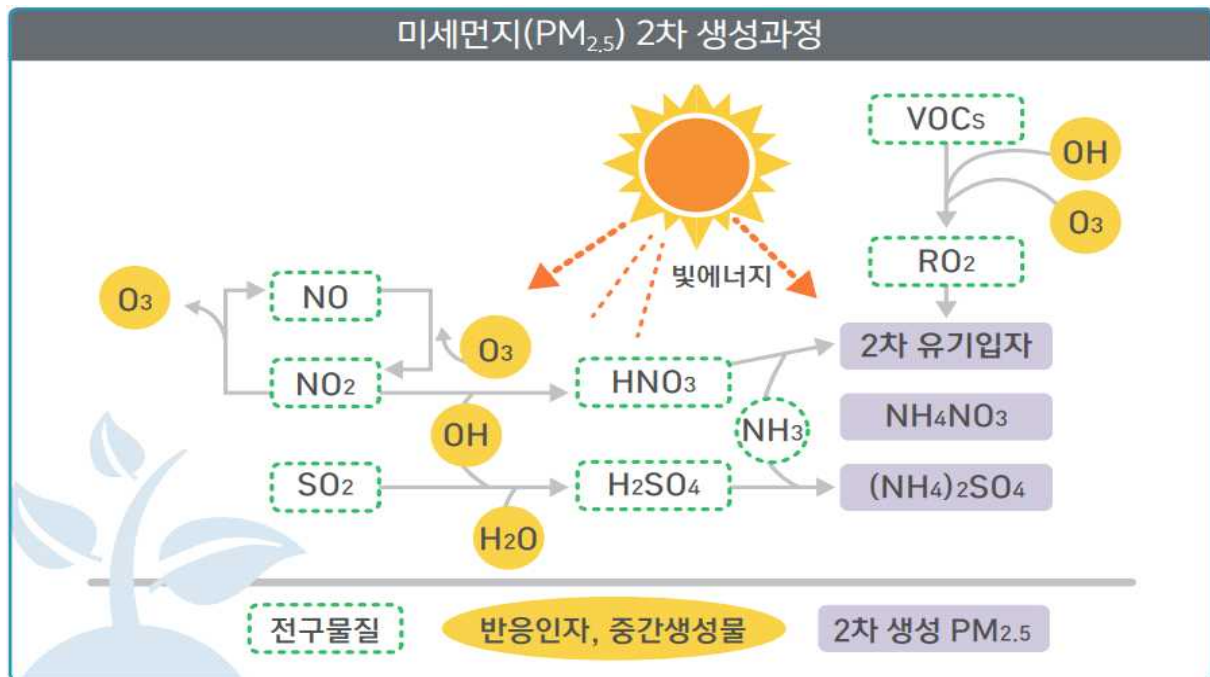


그림 3. 미세먼지 2차 생성과정 (출처 : 환경부, 2016)

- 세계보건기구에서는 매년 대기오염으로 인하여 2백만 명이 사망하는 것으로 보고되고 있으며, PM 10을 20~70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 관리하면 공기의 질과 관련된 사망자를 대략 15% 정도 줄일 수 있다고 보고하고 있음 (WHO, 2005). 우리나라 미세먼지 (PM 10)의 경우 2010년 1월에는 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었으나 2021년 5월에는 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 59.6% 감소되는 것으로 조사되었음 (환경부, 2021)

- 2015년~2019년의 월별 미세먼지 농도를 비교하면 겨울철과 봄철 농도가 높으며, 특히 12~3월 중 월평균 농도는 연평균 대비 높은 수준 ($30\sim32\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 기록하고 있음 (그림 4)

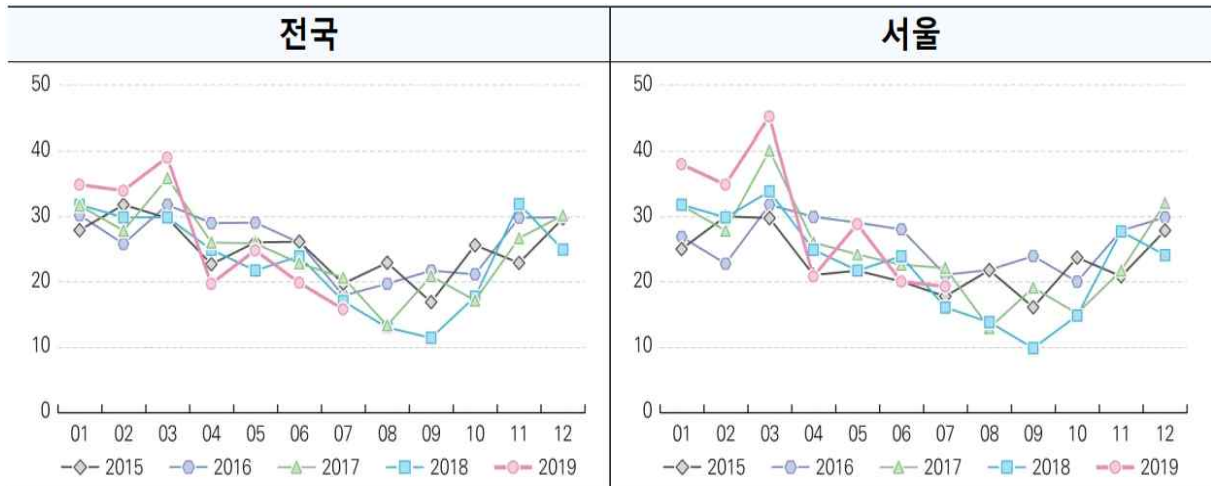


그림 4. 전국 · 서울지역의 월평균 미세먼지 농도

(출처 : 미세먼지특별대책위원회, 2019)

- 2020년 월별 초미세먼지 평균농도 추이를 보아도 12~3월에 매우 높은 것을 확인할 수가 있어 겨울철 미세먼지를 낮출 수 있는 연구가 필요한 실정임 (그림 5)

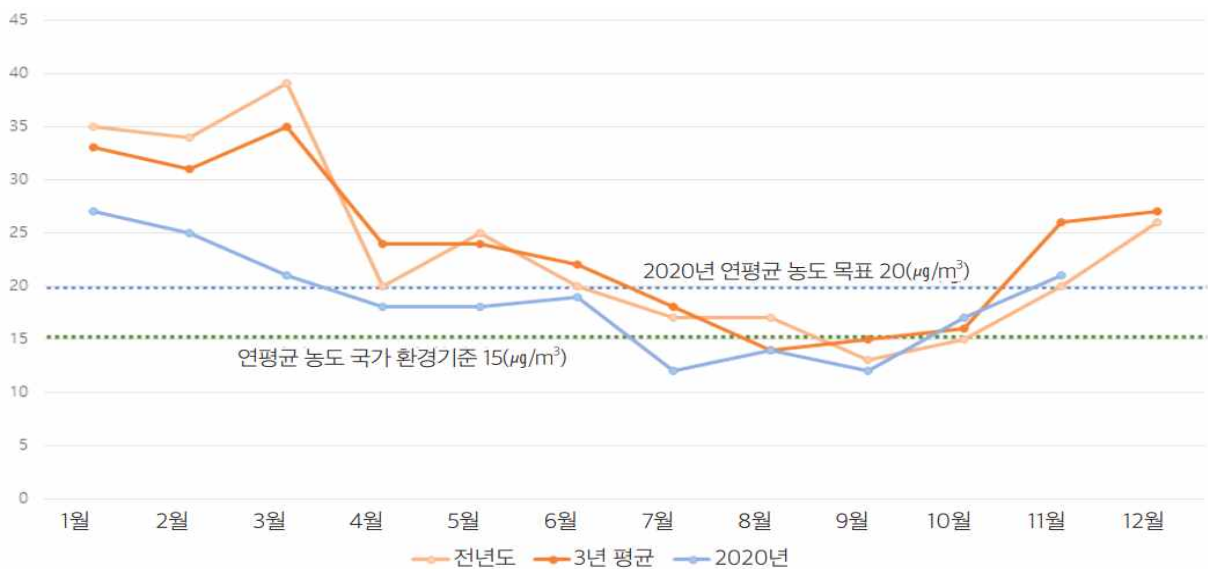


그림 5. 2020년 월별 초미세먼지 평균농도 추이

(출처 : 환경부, 2020)

- 미세먼지특별대책위원회에서는 미세먼지 줄이기 10가지 국민실천약속을 제시하고 있음 (미세먼지특별대책위원회, 2021)
- 생활주변에서 미세먼지 줄이기 방법 중에 식물을 심는 것을 권장하고 있음



그림 6. 생활주변 미세먼지 줄이기 10가지 국민실천약속

(출처 : 미세먼지특별대책위원회, 2021)

- 김민태 등 (2012)은 녹비작물 (토양에 양분과 유기물을 공급하는 작물)에는 귀리, 호밀 등이 있으며, 미세먼지 제거, 공기정화 등의 효과가 있다고 보고하였음
- 축산분야에서 식물을 식재하는 방법으로는 조사료를 재배하는 방법이 있으며, 국내 조사료 재배작물은 동계작물과 하계작물로 구분하여 재배되고 있음
- 우리나라 기후는 사계절인 특성을 가지고 있어 겨울철 기온이 영하로 내려가기 때문에 일반적으로 동계 농경지는 작물을 재배하지 않으며, 작물을 수확한 이후에는 흙으로 덮여져 있는 상황임
- 농사를 짓지 않는 겨울철 농경지는 건조한 대기환경에 의해 겨울철과 봄철 파종이 시작되기 전까지 지속적으로 농경지에서 먼지가 발생하고 있는 상황임. 또한, 국내 휴경지 면적은 매년 꾸준히 증가하고 있음
- 휴경면적 증가에는 농촌인구 고령화, 국내 기후변화, 쌀 소비량 및 생산 감축 (쌀 시장 수급 및 가격안정 도모) 등 다양한 요인이 있음 (1인당 쌀소비량 : 1970년 136kg, 2021년 60kg 이하). 지속적인 휴경면적 증가에 대해서 휴경지를 활용하는 방안에 대해서도 고려가 필요한 상황임
- 따라서, 본 연구에서는 동계 조사료 생산이 동계 환경에 미치는 영향 연구를 통해 토양에서 발생하는 먼지 방지효과를 조사하고자 함

제2장. 연구수행 방법 및 결과

제1절. 연구수행 방법

1. 겨울철 조사료 생산현황 조사

가. 지역별 조사료 파종시기 및 수확시기 현황 조사

- 뉴스 및 지자체 시범사업 등을 조사하여 지역별 조사료 파종 현황 조사
- 조사항목 : 지역, 조사료 품목 및 파종 시작년도

나. 조사료 생산 통계자료 조사

2. 국내 통계 조사료 생산 가능 품목 조사

가. 국내 조사료 생산품목 및 수입 조사료 품목조사

- 국내에서 생산하고 있는 조사료 조사
- 해외에서 생산하고 있는 조사료 조사
- 조사항목 : 조사료 품목, 생육온도 및 특성

나. 국내 지역별 추동계 기온 조사

- 기상청 기상자료 개방포털 자료를 토대로 지역별 추동계 기온 조사
- 조사기간 : 2020년 9월 ~ 2021년 5월 (9개월)
- 조사항목 : 평균기온, 최고평균기온 및 최저평균기온

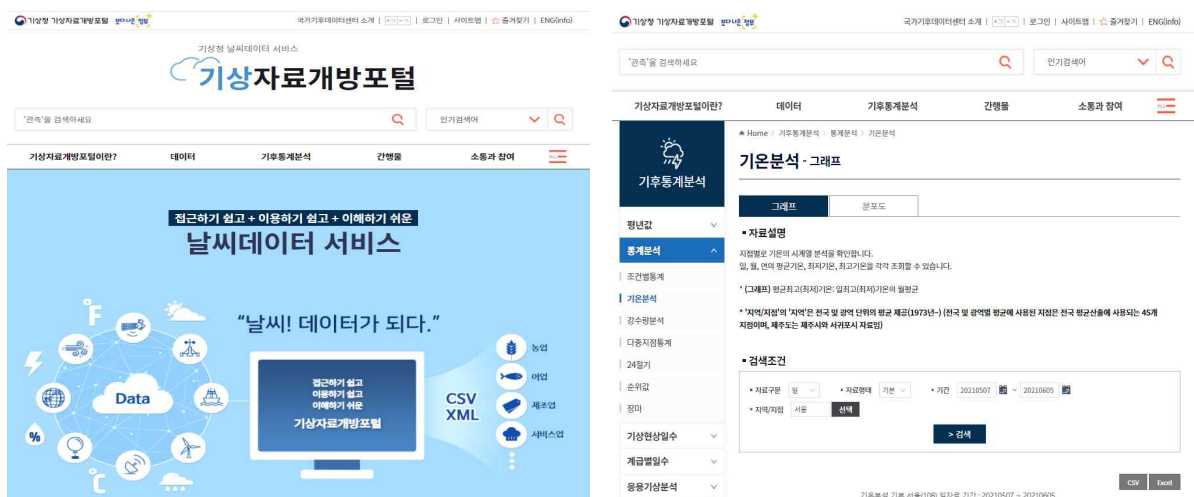


그림 7. 기상청 기상자료 개방포털

다. 국내 동계 조사료 생산가능 품목 조사

- 국내 및 수입되는 조사료 중에서 생육온도에 따른 동계작물 구분
- 국내 지역별 평균 동계기온 조사
- 조사료 생육온도 및 국내 지역별 평균 동계기온과 비교하여 생산 가능한 동계 조사료 품목 분석

3. 겨울철 조사료 생산의 대기환경에 미치는 효과 분석

가. 겨울철 조사료 생산에 따른 대기환경에 미치는 영향

- 1) 조사 시기 : 2021년 2월, 4월 (2월에 측정한 위치를 4월에 재측정)
- 2) 대기환경 측정 장소
 - 측정지역은 지역별 시범사업이나 농림축산식품부 자료를 참고하여 지역 선정
 - 선정된 지역의 네이버 위성사진과 로드뷰를 참고하여 측정할 장소를 선정

표 1. 대기환경 측정 장소 및 면적

주 소	동계 작물명	면 적 (m ²)
순천시 해룡면 대안리 503-1	이탈리안라이그라스	6,021.0
순천시 순천만길 224	이탈리안라이그라스	12,322.7
순천시 홍내교길 106	이탈리안라이그라스	22,660.3
나주시 동강면 곡천로 255-147	이탈리안라이그라스	8,007.7
나주시 노안면 학산리 938	이탈리안라이그라스	2,884.0
함평군 해보면 발미길 19	이탈리안라이그라스	3,735.4
보성군 별교읍 장호길 56-43	이탈리안라이그라스	16,136.9
구례군 구례읍 봉동리 289-1	이탈리안라이그라스	2,527.3
구례군 광의면 구만제로 128	이탈리안라이그라스	6,449.1
익산시 함라면 다망리 1476-2	청보리	7,973.2
익산시 오산면 신지리 1318, 1319	청보리	7,532.9

3) 대기환경 측정 장비

- 온도, 습도 및 미세먼지측정기 : CAS, FM-322 (그림 8)
- 풍속측정기 : 베네테크, GM-816 (그림 9)
- 측정높이 고정장치 : 요이치, 다용도 삼각대 (그림 10)
- 풍향계 : 탐카드, 나무풍향계 (그림 11)



그림 8. 미세먼지 측정기 (CAS, FM-322)



그림 9. 디지털 풍속계 (베네테크, GM-816)



그림 10. 휴대용 다용도 삼각대 (요이치)



그림 11. 반제품 나무 풍향계 (탭카드)

4) 대기환경 측정방법

- 곽진협 등 (2020)은 새만금 간척지 내 동계사료작물 재배에 따른 미세먼지 저감 효과에 대한 연구결과에서 지표로부터 1m와 2m에서 측정한 결과 2m 높이는 차이가 없다고 보고한 결과를 참고하여 본 연구에서는 최대 높이를 1m로 결정하여 측정방법을 참고하였음
- 대기환경을 측정할 위치는 휴경지 또는 조사료 재배지의 바람의 방향에 따라서 측정면적의 경계부근에서 측정하였음

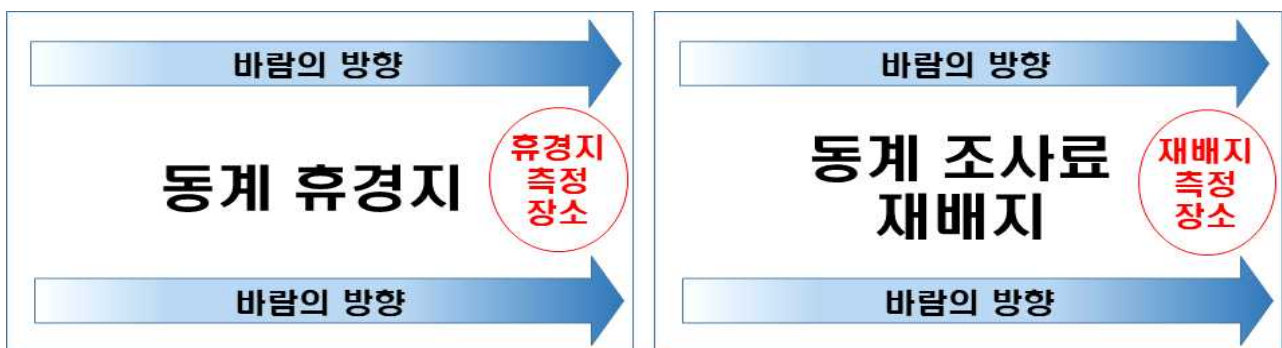


그림 12. 대기환경 측정위치

- 측정 높이는 2곳 (상 (103cm), 하 (33.7cm))에서 각각 6회 반복하여 측정



그림 13. 상 (103cm), 하 (33.7cm) 측정사진

- 대기환경 측정은 측정 장소의 풍향을 체크 후, 측정 위치를 선정하여 미세먼지 농도 및 풍속을 측정시작 (60초/회, 6회 반복)

5) 측정 항목

- 대기온도, 대기습도
- PM (Particulate Matter) 10 : 지름 $10\mu\text{m}$ 이하 먼지 [미세 먼지]
·예 : 머리카락 두께 : $100\mu\text{m} = 0.1\text{mm}$
- PM 2.5 : 지름 $2.5\mu\text{m}$ 이하 먼지 [초미세 먼지]
- PM 1.0 : 지름 $1.0\mu\text{m}$ 이하 먼지 [극초미세 먼지]
- AQI (Air Quality Index) : 6가지 오염물질 (PM 10, PM 2.5, 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스)의 무게를 측정하여 공기의 오염정도를 측정
- 풍속 : 지면으로부터 150cm 높이에서 측정 전에 측정

제2절. 연구수행 결과

1. 겨울철 조사료 생산현황 조사

가. 지역별 조사료 파종시기 및 수확시기 현황 조사

- 지역별 조사료 파종시기 및 수확시기를 조사한 결과는 표 2에 나타나 있음
- 조사년도는 최근 2017년부터 2020년까지 검색된 자료를 정리하였음. 동계 조사료 생산은 지역별로 생산을 실시하고 있으며, 파종시기는 지역별로 차이가 있었지만 대부분 9월과 10월에 집중되어 있었음. 수확시기는 다음해 5월과 6월에 수확하는 것으로 조사되었음
- 지역별 생산하는 조사료 품목조사 결과 경기도는 이탈리아라이그라스, 호밀 및 청보리를 생산하고 있으며, 강원도는 이탈리아라이그라스, 호맥 및 밀을 생산하고 있음. 충청북도, 충청남도 및 경상북도는 이탈리아라이그라스, 청보리 및 호밀을 생산하고 있으며, 전라북도 및 전라남도는 이탈리아라이그라스, 청보리, 귀리 및 트리티케일을 생산하고 있음. 경상남도는 이탈리아라이그라스를 주로 생산하고 있음
- 종합적으로 국내에서는 이탈리아라이그라스를 가장 많이 생산하고 있으며, 청보리, 호밀, 귀리, 트리티케일, 호맥 및 밀을 생산하고 있음

표 2. 지역별 조사료 파종시기 및 수확시기

지역	파종시기		수확시기		조사료 품목
	년도	월	년도	월	
경기도	2020	10	2017	5	이탈리안라이그라스, 호밀, 청보리
강원도	2018~2020	9~10	2018~2020	5~6	이탈리안라이그라스, 호맥, 밀
충청북도	2018~2020	9~11	2020	5	이탈리안라이그라스, 청보리, 호밀
충청남도	2018~2020	9~2	2017~2020	5~6	이탈리안라이그라스, 청보리, 호밀
경상북도	2018~2020	10~12	2017~2019	5~6	이탈리안라이그라스, 청보리, 호밀
전라북도	2018~2020	9~12	2018~2020	5~6	이탈리안라이그라스, 청보리, 귀리 트리티케일
전라남도	2018~2020	9~11	2017~2020	5~6	이탈리안라이그라스, 청보리, 귀리 트리티케일
경상남도	2018, 2020	10	2020	5~6	이탈리안라이그라스

출처 : 농림축산식품부 (2017), 영농자재신문 (2018), 최승연 (2020), 임경주 (2018) 등

나. 조사료 생산 통계자료 조사

- 지역 및 초종별 조사료 생산량 (2016)은 표 3에 나타나 있음 (김종덕, 2019)
- 2016년 조사료 생산량은 1,033천톤으로 조사되었음. 사료작물별 생산비율은 IRG (이탈리안라이그라스) 56.3%, 청보리 3.0%, 호밀 9.5%, 연맥 (귀리) 2.8%, 옥수수 9.7%, 수단그라스 12.7% 및 기타 6.0%로 조사되었음

표 3. 지역 및 초종별 조사료 생산량 (2016)

(단위 : 톤)

사료 작물	지역									합계 (톤)	비율 (%)
	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주		
IRG	14,924	0	3,244	32,354	165,827	253,598	34,300	54,039	23,941	582,227	56.3
청보리	217	0	1,187	9,376	16,575	1,937	1,269	0	0	30,561	3.0
호밀	10,451	13,192	5,646	14,324	7,053	815	24,095	22,610	169	98,355	9.5
연맥 (귀리)	12,058	2,537	1,753	4,749	2,070	944	1,836	2,897	0	28,844	2.8
옥수수	22,939	9,229	10,651	18,426	9,568	12,820	10,665	5,838	0	100,136	9.7
수단 그라스	26,637	10,909	3,798	24,506	17,802	17,231	18,901	11,201	0	130,985	12.7
기타	19,891	3,130	2,256	10,336	4,363	615	4,784	3,238	13,635	62,248	6.0
전체	107,117	38,997	28,535	114,071	223,258	287,960	95,850	99,823	37,745	1,033,356	100.0
비율	10.4	3.8	2.8	11.0	21.6	27.9	9.3	9.7	3.7	100.0	-

출처 : 김종덕 (2019)

- 국내 조사료 수급 및 초지면적 현황은 표 4에 나타나있음
- 국내 조사료 공급량은 2010년 대비 2019년까지 계속적으로 증가하였으며, 국내 산뿐 만 아니라 수입산의 공급량도 증가하였음
- 국내 조사료 공급량은 2019년 6,050천톤으로 (국내산 4,872천톤, 수입산 1,178천톤) 국내 조사료 자급률은 81%로 조사되었음
- 국내 소 사육두수와 조사료 공급량은 지속적으로 증가하고 있으나 국내 초지면적은 39천ha (2010년)에서 33천ha (2019년)로 지속적으로 감소하고 있음
- 조사료 수급통계 환산표 (최근 5년 평균)는 표 5에 나타나있음
- 국내산 조사료는 목초, 볏짚, 사료작물로 분류할 수 있고 사료작물은 동계작물 (청보리, IRG, 호밀 등)과 하계작물 (옥수수, 수단그라스, 귀리 등)로 구분하고 있음

- 조사료 수급 비율은 볏짚이 36%, 사료작물은 38%를 차지하고 있음. 국내 조사료 자급률은 81%로 높은 것으로 보이나 사료작물이 차지하는 비율은 낮기 때문에 양질의 사료작물 비율을 높이는 정책이 필요함

표 4. 국내 조사료 수급 및 초지면적 현황

구분	단위	‘10	‘11	‘12	‘13	‘14	‘15	‘16	‘17	‘18	‘19
소 사육두수	천두	3,352	3,372	3,479	3,342	3,190	3,088	3,121	3,188	3,421	3,637
합 계	천톤	5,033	5,577	5,676	5,814	5,659	5,526	5,428	5,765	5,896	6,050
공급량	국내산	4,127	4,606	4,543	4,672	4,598	4,476	4,303	4,346	4,707	4,872
	수입산	906	971	1,133	1,142	1,061	1,050	1,125	1,419	1,189	1,178
재배면적	천ha	244	260	268	298	297	241	272	241	266	283
자급률	%	82	83	80	80	81	81	79	75	80	81
초지면적	천ha	39	39	38	39	38	35	35	34	33	33

출처 : 농림축산식품부 (2020)

표 5. 조사료 수급통계 환산표 (최근 5년 평균, 2015~2019)

구분	건물	건초	헤일리지	사일리지	생초
총 소요량 (사육기준: 한육우+젖소)	5,733	7,166	9,555	14,333	28,665
국내산	4,541	5,676	7,568	11,353	22,705
목초 (톨페스큐, 오차드그라스 등)	252	315	420	630	1,260
볏짚	2,074	2,593	3,457	5,185	10,370
사료작물	2,229	2,786	3,715	5,573	11,145
동계 작물	1,550	1,938	2,583	3,875	7,750
청보리	124	155	207	310	620
IRG · 호밀 등	1,426	1,783	2,377	3,565	7,130
하계 작물	680	850	1,133	1,700	3,400
옥수수	195	244	325	488	975
수단그라스, 귀리 등	485	606	808	1,213	2,425
수입산	1,192	1,490	1,987	2,980	5,960

출처 : 농림축산식품부 (2020)

2. 국내 통계 조사료 생산 가능 품목 조사

가. 국내 조사료 생산품목 및 수입 조사료 품목조사

- 국내에서 생산되는 주요 조사료 품목 및 생육온도 조사결과는 표 6에 나타나 있음
- 국내에서 생산되는 주요 조사료는 대표적으로 이탈리아라이그라스, 청보리, 호밀, 트리티케일, 귀리, 옥수수, 유채, 수수, 해바라기, 사탕수수 및 이탈리아 라이그라스 개량종 (그린팜, 그린콜, 코그린, 코스피드, 코원어리, 코원마스터, 코위너, 화산101호, 104호 및 그린콜 2호, 그린팜 2호, 3호)이 있음
- 조사료 품목은 생육온도에 따라 동계작물 및 하계작물로 구분할 수 있음
- 동계작물은 이탈리아라이그라스, 청보리, 호밀, 트리티케일 및 귀리가 있음
- 하계작물은 옥수수, 유채, 수수, 해바라기, 사탕수수 및 이탈리아라이그라스 개량종 (그린팜, 그린콜, 코그린, 코스피드, 코원어리, 코원마스터, 코위너, 화산101호, 104호 및 그린콜 2호, 그린팜 2호, 3호)이 있음

표 6. 국내에서 생산되는 주요 조사료 품목 및 생육온도

품 목	생육온도	특 성
이탈리안라이그라스 (IRG)	생육 최저온도 -6℃	사료가치가 높고 기호성이 좋으며, 동계 사료작물로 잘 알려져 있음
청보리 (충체보리)	4~20℃ / 생육 최저온도 -10℃	단백질, 비타민 B 및 E, 식이섬유, 엽산 등의 성분 함유
호밀	생육 최저온도 -25℃	호밀은 일년생 동계작물로서 토양이 척박한 조건하에 잘 자랄 수 있음
트리티케일 (라이밀)	생육 최저온도 -10℃	밀과 호밀의 교잡종으로 밀의 높은 영양 가치와 생산성, 호밀의 높은 항병성
귀리	4~25℃ / 생육 최저온도 -6℃	호밀과 마찬가지로 척박한 땅에서도 파종과 재배, 수확이 용이함
옥수수	25~35℃	당분과 전분함량이 높아 가축이 좋아함, 파종에서 수확까지 기계화 작업이 쉬움, 발아온도 최저 8~11℃ 최적 32~34℃ 최고 40℃ 내외
유채	20~25℃	냄새가 매우 독특해서 호불호가 있음

품 목	생육온도	특 성
수수	25~35℃	척박한 환경과 건조한 토양에서도 잘 자라 아프리카 등지에서 주요 곡식재배
해바라기	20~30℃	높이는 1~3 m 정도로 외대로 자라 직립하며, 일년초화류
사탕수수	16℃ 이상	열대지방에서 자생하는 풀을 재배작물로 전환해 기르고 있음. 기온이 따뜻한 곳에서 재배하는 것이 수월함
그린팜, 그린콜 코그린, 코스피드 코윈어리, 코워너 코윈마스터	최저평균 -9℃ 이상	추위에 강한 품종, 극조생종, 사료가치 높고 수량이 많음. 이탈리아 라이그라스 개량종임
화산101호 화산104호	최저평균 -9℃ 이상	내한성, 만생품종, 재생이 잘되며 전작 재배에 유리, 사료가치 높고 수량 많음. 이탈리아 라이그라스 개량종임
그린콜 2호 그린팜 2호 그린팜 3호	최저평균 -9℃ 이상	추위에 강한 내한성 품종, 극조생종, 사료 가치 높고 수량 많음. 이탈리아 라이그라스 개량종임

- 해외에서 생산하고 있는 조사료 품목 및 생육온도 조사 결과는 표 7에 나타나 있음
- 해외조사료는 톨페스큐, 라이그라스, 오차드그라스, 클라인그라스, 페레니얼 라이그라스, 켄터키 블루그라스, 벤트그라스, 버뮤다그라스, 수단그라스, 사료용 피, 티모시, 화이트클로버, 총채밀, 알팔파, 레드클로버, 스위트클로버, 브롬그라스, 레드톱, 리드카나리그라스, 알사익클러버, 헤어리베치, 버드풋트레포일, 델러스그라스, 바히아 그라스 및 존슨 그라스가 있음
- 조사된 조사료 품목의 생육온도는 대부분 하계작물로 구분되었음
- 하계작물은 톨페스큐, 라이그라스, 오차드그라스, 클라인그라스, 페레니얼 라이그라스, 켄터키 블루그라스, 벤트그라스, 버뮤다그라스, 수단그라스, 사료용 피, 티모시, 화이트클로버, 총채밀, 알팔파, 레드클로버, 스위트클로버, 브롬그라스, 레드톱, 리드카나리그라스, 알사익클러버, 헤어리베치, 버드풋트레포일, 델러스그라스, 바히아그라스 및 존슨그라스가 있음

표 7. 해외에서 생산하고 있는 조사료 품목 및 생육온도

품 목	생육온도	특 성
톨페스큐	4.4℃ 이상 / 15~24℃	저급 조사료, 잎이 거칠기 때문에 가축이 그리 좋아하지 않음
라이그라스	15~25℃	사료가치가 높고 가축의 기호성이 매우 좋음
오차드그라스	20~22 / 15~25℃	습기에 약하며, 추위, 건조, 음성 토양에서도 잘 자라며, 초지를 조성하는 주초종, 서늘 기후 좋음. 대표 품종은 온그린, 온누리, 코디원이 있음
클라인그라스	30~35℃	영년생 작물이며, 온대 및 아열대지방에서 주로 재배됨
페레니얼라이그라스 켄터키블루그라스 벤트그라스	15~24℃	주로 방목용으로 이용되며, 키가 작고 줄기가 초지위에 포복하거나 발굽에 잘 견딤
버뮤다그라스, 수단그라스 사료용 피	25~35℃	건조한 토양에서도 잘 자라며, 재생력 왕성함. 어린 것에는 청산 성분 포함되어있어 급여 시 주의가 필요함
티모시	18.3~21.6℃	서늘하고 습운한 기후에 잘 적응하나 예취 높이나 횡수에 민감하므로 충분한 재생기간 필요
화이트클로버	20~28℃	초기 생육이 빠르고 여름 생육이 왕성함. 서늘한 기후를 좋아하여 여름 고온, 건조에서는 생육 불량함
충체밀	15~25℃	청보리보다 추위에 견디는 특성이 좋고, TDN이 높음
알팔파, 레드클로버 스위트클로버, 브롬그라스 레드톱, 리드카나리그라스 알사익클러버 헤어리베치 버드풋트레포일	15~21℃	북방형 사료작물로 저온에 강하고 고온에 약함. 6월경에 출수와 개화가 되면서 최고의 생장에 이름. 우리나라에서 재배되는 목초로 여름철 하고현상이 올수 있음
델러스그라스 바히아그라스 존슨그라스	30~35℃	열대, 아열대 작물임. C4 식물로 여름철에 높은 광합성을 발휘함. 보통 1년생으로 더운 지방에서는 계속 재배할 수 있음

나. 국내 지역별 동계기온 조사

- 국내 북부지역 (서울 경기, 강원 영동, 강원 영서) 추동계 (2020년 9월 ~ 2021년 5월) 기온 조사 결과는 표 8에 나타나 있음
- 서울 경기 평균기온은 8.8℃, 최고기온 평균 13.7℃ 및 최저기온 평균 4.3℃로 조사됨. 강원 영동 평균기온은 10.1℃, 최고기온 평균 14.7℃ 및 최저기온 평균 5.8℃로 조사됨. 강원 영서 평균기온은 7.6℃, 최고기온 평균 13.9℃ 및 최저기온 평균 2.1℃로 조사됨

표 8. 국내 북부지역 추동계 기온

지역	년도	월	평균기온 (℃)	최고기온 (℃)	최저기온 (℃)
서울 경기	2020	9	21.0	25.1	17.6
	2020	10	14.0	19.1	9.0
	2020	11	7.7	12.3	3.4
	2020	12	-0.4	3.9	-4.5
	2021	1	-2.5	2.1	-7.3
	2021	2	2.1	7.2	-2.9
	2021	3	7.9	13.6	3.2
	2021	4	13.3	18.5	8.6
	2021	5	16.4	21.2	12.0
	서울경기 평균		8.8	13.7	4.3
강원 영동	2020	9	20.4	24.2	17.0
	2020	10	14.7	19.6	10.3
	2020	11	10.5	15.0	6.1
	2020	12	2.4	6.9	-1.6
	2021	1	-0.3	4.3	-4.7
	2021	2	4.0	9.0	-0.7
	2021	3	8.9	13.7	4.4
	2021	4	13.1	17.8	8.4
	2021	5	17.3	22.0	12.8
	강원 영동 평균		10.1	14.7	5.8
강원 영서	2020	9	19.3	24.5	15.3
	2020	10	11.7	19.0	6.1
	2020	11	6.2	12.5	1.0
	2020	12	-2.5	3.5	-7.5
	2021	1	-4.2	1.8	-9.9
	2021	2	1.5	8.0	-4.5
	2021	3	7.7	14.5	1.8
	2021	4	12.8	19.4	6.3
	2021	5	15.9	22.0	10.5
	강원 영서 평균		7.6	13.9	2.1

출처 : 기상청 기상자료개방포털, 「기후통계」 (2021)

- 국내 중부지역 (충청북도, 충청남도, 경상북도) 추동계 (2020년 9월 ~ 2021년 5월) 기온 조사 결과는 표 9에 나타나 있음
- 충청북도 평균기온은 8.1℃, 최고기온 평균 14.2℃ 및 최저기온 평균 2.6℃로 조사됨. 충청남도 평균기온은 8.9℃, 최고기온 평균 14.9℃ 및 최저기온 평균 3.4℃로 조사됨. 경상북도 평균기온은 9.5℃, 최고기온 평균 15.4℃ 및 최저기온 평균 4.2℃로 조사됨

표 9. 국내 중부지역 추동계 기온

지역	년도	월	평균기온 (℃)	최고기온 (℃)	최저기온 (℃)
충청북도	2020	9	19.3	24.6	15.0
	2020	10	12.2	19.1	6.3
	2020	11	7.0	12.9	1.6
	2020	12	-1.6	4.2	-6.5
	2021	1	-2.8	3.0	-8.4
	2021	2	2.2	8.5	-3.9
	2021	3	8.0	14.4	1.9
	2021	4	13.0	19.3	6.6
	2021	5	16.0	21.8	10.4
	충청북도 평균		8.1	14.2	2.6
충청남도	2020	9	20.3	25.4	16.3
	2020	10	13.1	19.9	7.2
	2020	11	7.8	13.8	2.6
	2020	12	0.0	5.6	-4.7
	2021	1	-1.7	3.9	-7.2
	2021	2	2.8	8.7	-2.9
	2021	3	8.0	14.8	2.0
	2021	4	13.1	19.6	6.8
	2021	5	16.3	22.1	10.9
	충청남도 평균		8.9	14.9	3.4
경상북도	2020	9	20.0	24.9	16.0
	2020	10	14.0	20.3	8.6
	2020	11	8.8	14.6	3.5
	2020	12	0.8	6.7	-4.2
	2021	1	-0.6	5.2	-5.9
	2021	2	3.9	10.4	-2.0
	2021	3	9.1	15.0	3.4
	2021	4	13.1	19.2	7.1
	2021	5	16.7	22.5	11.3
	경상북도 평균		9.5	15.4	4.2

출처 : 기상청 기상자료개방포털, 「기후통계」 (2021)

- 국내 남부지역 (전라북도, 전라남도, 경상남도) 추동계 (2020년 9월 ~ 2021년 5월) 기온 조사 결과는 표 10에 나타나 있음
- 전라북도 평균기온은 10.0℃, 최고기온 평균 15.5℃ 및 최저기온 평균 5.2℃로 조사됨. 전라남도 평균기온은 11.0℃, 최고기온 평균 16.1℃ 및 최저기온 평균 6.5℃로 조사됨. 경상남도 평균기온은 10.5℃, 최고기온 평균 16.5℃ 및 최저기온 평균 5.3℃로 조사됨

표 10. 국내 남부지역 추동계 기온

지역	년도	월	평균기온 (℃)	최고기온 (℃)	최저기온 (℃)
전라북도	2020	9	20.9	25.9	17.2
	2020	10	14.4	20.5	9.2
	2020	11	9.3	14.4	4.7
	2020	12	1.5	6.4	-2.6
	2021	1	0.0	4.9	-4.6
	2021	2	4.0	9.6	-0.9
	2021	3	8.8	15.0	3.7
	2021	4	13.7	20.1	8.2
	2021	5	17.3	22.8	12.0
	전라북도 평균		10.0	15.5	5.2
전라남도	2020	9	21.4	25.5	18.0
	2020	10	15.6	21.1	11.0
	2020	11	10.8	15.7	6.3
	2020	12	2.9	8.1	-1.7
	2021	1	1.8	6.8	-2.7
	2021	2	5.3	10.5	0.6
	2021	3	9.9	15.5	5.0
	2021	4	13.9	19.3	8.8
	2021	5	17.7	22.7	12.9
	전라남도 평균		11.0	16.1	6.5
경상남도	2020	9	20.5	25.2	16.8
	2020	10	14.8	21.3	9.8
	2020	11	9.7	15.9	4.4
	2020	12	2.0	8.2	-3.0
	2021	1	1.0	6.8	-4.2
	2021	2	5.0	11.5	-0.7
	2021	3	10.1	16.1	4.5
	2021	4	13.9	20.2	7.9
	2021	5	17.6	23.3	12.4
	경상남도 평균		10.5	16.5	5.3

출처 : 기상청 기상자료개방포털, 「기후통계」 (2021)

- 제주지역 추동계 (2020년 9월 ~ 2021년 5월) 기온 조사결과는 표 11에 나타나 있음
- 제주도 평균기온은 14.2℃, 최고기온 평균 17.6℃ 및 최저기온 평균 11.2℃로 조사됨

표 11. 국내 제주지역 추동계 기온

지역	년도	월	평균기온 (℃)	최고기온 (℃)	최저기온 (℃)
제주도	2020	9	22.5	25.4	20.1
	2020	10	18.5	21.7	15.7
	2020	11	14.6	17.8	11.6
	2020	12	8.0	11.3	5.1
	2021	1	7.0	10.1	4.0
	2021	2	9.8	13.1	6.6
	2021	3	12.9	16.6	9.5
	2021	4	15.7	19.6	12.5
	2021	5	19.0	23.1	15.8
	제주도 평균		14.2	17.6	11.2

출처 : 기상청 기상자료개방포털, 「기후통계」 (2021)

- 국내 지역 추동계 (2020년 9월 ~ 2021년 5월) 기온 조사결과는 표 12에 나타나 있음
- 전국지역 평균기온은 9.5℃, 최고기온 평균 15.2℃ 및 최저기온 평균 4.5℃로 조사됨

표 12. 국내 지역 추동계 기온

지역	년도	월	평균기온 (℃)	최고기온 (℃)	최저기온 (℃)
전국	2020	9	20.3	25.1	16.6
	2020	10	14.0	20.2	8.7
	2020	11	8.8	14.3	3.8
	2020	12	0.7	6.3	-4.0
	2021	1	-0.7	4.7	-5.8
	2021	2	3.6	9.6	-1.8
	2021	3	8.9	14.9	3.4
	2021	4	13.4	19.4	7.6
	2021	5	16.9	22.4	11.7
	전국 평균		9.5	15.2	4.5

출처 : 기상청 기상자료개방포털, 「기후통계」 (2021)

다. 국내 동계 조사료 생산가능 품목 조사

- 생육온도에 따른 국내에서 생산 가능한 동계 조사료 품목 결과는 표 13에 나타나 있고, 국내 지역별 동계기온 결과는 표 14에 나타나 있음
- 국내에서 생산 중인 조사료는 이탈리아라이그라스, 청보리, 호밀, 트리티케일, 귀리 및 이탈리아라이그라스 개량종 (그린팜, 그린콜, 코그린, 코스피드, 코윈어리, 코윈마스터, 코위너, 화산 101호, 화산 104호, 그린콜 2호, 그린팜 2호, 그린팜 3호)가 있음. 조사된 모든 조사료의 생육온도와 동계기온을 비교하였을 때 국내에서 생산이 가능함

표 13. 생육온도에 따른 국내에서 생산 가능한 동계 조사료 품목

구분	품 목	생육온도	동계기온과 비교
국내	이탈리안라이그라스 (IRG)	생육 최저온도 -6℃	생산가능
국내	청보리 (총채보리)	4~20℃ / 생육 최저온도 -10℃	생산가능
국내	호밀	생육 최저온도 -25℃	생산가능
국내	트리티케일 (라이밀)	생육 최저온도 -10℃	생산가능
국내	귀리	4~25℃ / 생육 최저온도 -6℃	생산가능
국내	그린팜, 그린콜, 코그린 코스피드, 코윈어리 코윈마스터, 코위너	최저평균 -9℃ 이상	생산가능
국내	화산 101호, 화산 104호	최저평균 -9℃ 이상	생산가능
국내	그린콜 2호, 그린팜 2호 그린팜 3호	최저평균 -9℃ 이상	생산가능

표 14. 국내 지역별 추동계 기온 (2020년 9월 ~ 2021년 5월)

	지역	평균기온 (℃)	최고기온 (℃)	최저기온 (℃)
북부	서울 경기	8.8	13.7	4.3
	강원 영동	10.1	14.7	5.8
	강원 영서	7.6	13.9	2.1
중부	충청북도	8.1	14.2	2.6
	충청남도	8.9	14.9	3.4
	경상북도	9.5	15.4	4.2
남부	전라북도	10.0	15.5	5.2
	전라남도	11.0	16.1	6.5
	경상남도	10.5	16.5	5.3
제주	제주도	14.2	17.6	11.2
	전국 평균	9.5	15.2	4.5

출처 : 기상청 기상자료개방포털, 「기후통계」 (2021)

3. 겨울철 조사료 생산의 대기환경에 미치는 효과 분석

가. 순천지역 겨울철 조사료 생산에 따른 대기환경에 미치는 영향

- 순천지역 동계 휴경지 및 재배지의 미세먼지 농도는 표 15에 나타나 있음
- 순천지역 2월에 측정한 결과는 상 높이에서 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 20.2%, PM 2.5는 18.8%, PM 1.0은 14.9% 및 AQI는 19.9%가 각각 감소되는 결과가 나타남. 하 높이에서는 PM 10은 13.0%, PM 2.5는 11.6%, PM 1.0은 10.3% 및 AQI는 13.0%가 모두 감소되는 결과가 나타남

표 15. 순천지역 동계 휴경지 및 재배지의 미세먼지 농도 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$, %)

월	환경정보	높이 ¹⁾	미세먼지 ²⁾	휴경지	재배지	감소율	SEM	p-value
2월	온도 : 11.9℃ 습도 : 20.0% 풍향 : 북, 북, 남 풍속 : 1.4m/s	상 (103 cm)	PM 10	15.95 ^a	12.72 ^b	20.2	1.73	0.0158
			PM 2.5	11.50 ^a	9.33 ^b	18.8	1.17	0.0166
			PM 1.0	9.33 ^a	7.95 ^b	14.9	0.62	0.0058
			AQI	15.95 ^a	12.78 ^b	19.9	1.71	0.0168
		하 (33.7 cm)	PM 10	13.22 ^a	11.50 ^b	13.0	0.82	0.0084
			PM 2.5	9.61 ^a	8.50 ^b	11.6	0.64	0.0185
			PM 1.0	8.11 ^a	7.28 ^b	10.3	0.38	0.0091
			AQI	13.22 ^a	11.50 ^b	13.0	0.82	0.0084
4월	온도 : 27.4℃ 습도 : 20.8% 풍향 : 남, 서남, 동 풍속 : 1.8m/s	상 (103 cm)	PM 10	12.22	11.89	2.7	0.56	0.3580
			PM 2.5	9.06	8.72	3.7	0.37	0.1688
			PM 1.0	7.72	7.33	5.0	0.40	0.1286
			AQI	12.28	11.94	2.7	0.54	0.3362
		하 (33.7 cm)	PM 10	12.78	11.95	6.5	0.88	0.1390
			PM 2.5	9.39	8.78	6.5	0.51	0.0690
			PM 1.0	7.89 ^a	7.22 ^b	8.4	0.34	0.0072
			AQI	12.78	12.11	5.2	0.86	0.2160
평균		PM 10	13.54 ^a	12.01 ^b	11.3	1.43	0.0014	
		PM 2.5	9.89 ^a	8.83 ^b	10.7	0.96	0.0010	
		PM 1.0	8.26 ^a	7.44 ^b	9.9	0.64	0.0001	
		AQI	13.56 ^a	12.08 ^b	10.9	1.42	0.0018	

^{a,b} Values with different superscripts in the same row differ significantly ($p < 0.05$)

¹⁾ 풍속 : 지면으로부터 150cm 높이에서 측정 전에 측정 (상 (103cm), 하 (33.7cm))

²⁾ PM 10 : 미세먼지 (지름 $10\mu\text{m}$ 이하), PM 2.5 : 초미세먼지 (지름 $2.5\mu\text{m}$ 이하)

PM 1.0 : 극초미세먼지 (지름 $1.0\mu\text{m}$ 이하), AQI : 6가지 오염물질 (PM 10, PM 2.5, 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스)의 무게를 측정하여 공기 오염정도 측정

- 순천지역 4월에 측정한 결과는 상 높이에서 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 2.7%, PM 2.5는 3.7%, PM 1.0은 5.0% 및 AQI는 2.7%가 모두 감소되는 결과가 나타남. 하 높이에서는 재배지의 PM 10은 6.5%, PM 2.5는 6.5%, PM 1.0은 8.4% 및 AQI는 5.2%가 각각 감소되는 결과가 나타남
- 순천지역의 2월, 4월 기준을 종합한 미세먼지 농도 결과는 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 11.3%, PM 2.5는 10.7%, PM 1.0은 9.9% 및 AQI는 10.9%가 모두 감소되는 결과가 나타남



그림 14. 순천시 해룡면 대안리 503-1 (좌 : 2021.02.04., 우 : 2021.04.08.)



그림 15. 순천시 순천만길 224 (좌 : 2021.02.09., 우 : 2021.04.08.)



그림 16. 순천시 홍내교길 106 (좌 : 2021.02.09., 우 : 2021.04.08.)

나. 나주 및 함평지역 겨울철 조사료 생산에 따른 대기환경에 미치는 영향

- 나주 및 함평지역 동계 휴경지 및 재배지의 미세먼지 농도 결과는 표 16에 나타나 있음
- 나주 및 함평지역 2월에 측정한 결과는 상 높이에서 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 5.5%, PM 2.5는 5.7%, PM 1.0은 5.1% 및 AQI는 5.9%가 각각 감소되는 결과가 나타남. 하 높이에서는 재배지의 PM 10은 11.4%, PM 2.5는 11.8%, PM 1.0은 9.1% 및 AQI는 11.9%가 모두 감소되는 결과가 나타남

표 16. 나주 및 함평지역 동계 휴경지 및 재배지의 미세먼지 농도 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$, %)

월	환경정보	높이 ¹⁾	미세먼지 ²⁾	휴경지	재배지	감소율	SEM	p-value
2월	온도 : 7.0℃ 습도 : 40.4% 풍향 : 북서, 북 풍속 : 2.7m/s	상 (103 cm)	PM 10	16.06 ^a	15.17 ^b	5.5	0.61	0.0319
			PM 2.5	11.61 ^a	10.94 ^b	5.7	0.36	0.0094
			PM 1.0	9.83 ^a	9.33 ^b	5.1	0.32	0.0238
			AQI	16.11 ^a	15.17 ^b	5.9	0.57	0.0188
		하 (33.7 cm)	PM 10	17.56	15.56	11.4	1.41	0.0568
			PM 2.5	12.72 ^a	11.22 ^b	11.8	1.00	0.0454
			PM 1.0	10.39 ^a	9.44 ^b	9.1	0.47	0.0061
			AQI	17.72 ^a	15.61 ^b	11.9	1.15	0.0099
4월	온도 : 25.3℃ 습도 : 27.5% 풍향 : 북서, 서, 북 풍속 : 1.8m/s	상 (103 cm)	PM 10	12.56	11.94	4.9	0.50	0.0678
			PM 2.5	9.28	8.83	4.8	0.38	0.0843
			PM 1.0	7.56	7.61	-0.7	0.42	0.8269
			AQI	12.56	11.94	4.9	0.50	0.0678
		하 (33.7 cm)	PM 10	14.45 ^a	11.67 ^b	19.2	0.76	0.0001
			PM 2.5	10.50 ^a	8.56 ^b	18.5	0.52	0.0001
			PM 1.0	8.28 ^a	7.22 ^b	12.7	0.40	0.0010
			AQI	14.45 ^a	11.67 ^b	19.2	0.76	0.0001
평 균		PM 10	15.15 ^a	13.58 ^b	10.4	2.07	0.0119	
		PM 2.5	11.03 ^a	9.89 ^b	10.3	1.41	0.0079	
		PM 1.0	9.01	8.40	6.8	1.16	0.0741	
		AQI	15.21 ^a	13.60 ^b	10.6	2.04	0.0089	

^{a,b} Values with different superscripts in the same row differ significantly ($p < 0.05$)

¹⁾ 풍속 : 지면으로부터 150cm 높이에서 측정 전에 측정 (상 (103cm), 하 (33.7cm))

²⁾ PM 10 : 미세먼지 (지름 $10\mu\text{m}$ 이하), PM 2.5 : 초미세먼지 (지름 $2.5\mu\text{m}$ 이하)

PM 1.0 : 극초미세먼지 (지름 $1.0\mu\text{m}$ 이하), AQI : 6가지 오염물질 (PM 10, PM 2.5, 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스)의 무게를 측정하여 공기 오염정도 측정

- 나주 및 함평지역 4월에 측정한 결과는 상 높이에서는 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 4.9%, PM 2.5는 4.8% 및 AQI는 4.9%가 각각 감소되었지만 PM 1.0은 0.7% 증가되는 결과가 나타남. 하 높이에서는 재배지의 PM 10은 19.2%, PM 2.5는 18.5%, PM 1.0은 12.7% 및 AQI는 19.2%가 모두 감소되는 결과가 나타남
- 나주 및 함평지역의 2월, 4월 기준을 종합한 미세먼지 농도 결과는 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 10.4%, PM 2.5는 10.3%, PM 1.0은 6.8% 및 AQI는 10.6%가 모두 감소되는 결과가 나타남



그림 17. 나주시 동강면 곡천로 255-147 (좌 : 2021.02.23., 우 : 2021.04.14.)



그림 18. 나주시 노안면 학산리 938 (좌 : 2021.02.23., 우 : 2021.04.14.)



그림 19. 나주시 해보면 발미길 19 (좌 : 2021.02.23., 우 : 2021.04.14.)

다. 구례 및 보성지역 겨울철 조사료 생산에 따른 대기환경에 미치는 영향

- 구례 및 보성지역 동계 휴경지 및 재배지의 미세먼지 농도 결과는 표 17에 나타나 있음
- 구례 및 보성지역 2월에 측정한 결과는 상 높이에서 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 8.6%, PM 2.5는 8.5%, PM 1.0은 7.2% 및 AQI는 8.3%가 각각 감소되는 결과가 나타남. 하 높이에서는 재배지의 PM 10은 11.2%, PM 2.5는 10.3%, PM 1.0은 11.5% 및 AQI는 10.6%가 모두 감소되는 결과가 나타남

표 17. 구례 및 보성지역 동계 휴경지 및 재배지의 미세먼지 농도 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$, %)

월	환경정보	높이 ¹⁾	미세먼지 ²⁾	휴경지	재배지	감소율	SEM	p-value
2월	온도 : 15.1℃ 습도 : 36.8% 풍향 : 동, 서 풍속 : 2.2m/s	상 (103 cm)	PM 10	18.11 ^a	16.56 ^b	8.6	0.85	0.0107
			PM 2.5	13.06 ^a	11.94 ^b	8.5	0.61	0.0102
			PM 1.0	10.83 ^a	10.06 ^b	7.2	0.26	0.0005
			AQI	18.11 ^a	16.61 ^b	8.3	0.81	0.0108
		하 (33.7 cm)	PM 10	17.95 ^a	15.94 ^b	11.2	0.63	0.0003
			PM 2.5	12.89 ^a	11.56 ^b	10.3	0.42	0.0003
			PM 1.0	11.11 ^a	9.84 ^b	11.5	0.26	<.0001
			AQI	17.89 ^a	16.00 ^b	10.6	0.59	0.0002
4월	온도 : 33.6℃ 습도 : 18.7% 풍향 : 북동, 북 풍속 : 1.8m/s	상 (103 cm)	PM 10	13.83	13.34	3.6	0.90	0.3618
			PM 2.5	10.06	9.61	4.4	0.55	0.1957
			PM 1.0	8.39	8.22	2.0	0.33	0.4066
			AQI	13.83	13.34	3.6	0.90	0.3618
		하 (33.7 cm)	PM 10	14.83 ^a	13.67 ^b	7.9	0.62	0.0092
			PM 2.5	10.78 ^a	9.94 ^b	7.7	0.42	0.0066
			PM 1.0	8.95 ^a	8.33 ^b	6.9	0.27	0.0031
			AQI	14.89 ^a	13.67 ^b	8.2	0.66	0.0094
평균		PM 10	16.18 ^a	14.88 ^b	8.1	1.82	0.0177	
	PM 2.5	11.69 ^a	10.76 ^b	8.0	1.27	0.0153		
	PM 1.0	9.82 ^a	9.11 ^b	7.2	1.06	0.0271		
	AQI	16.18 ^a	14.90 ^b	7.9	1.82	0.0198		

^{a,b} Values with different superscripts in the same row differ significantly ($p < 0.05$)

¹⁾ 풍속 : 지면으로부터 150cm 높이에서 측정 전에 측정 (상 (103cm), 하 (33.7cm))

²⁾ PM 10 : 미세먼지 (지름 $10\mu\text{m}$ 이하), PM 2.5 : 초미세먼지 (지름 $2.5\mu\text{m}$ 이하)

PM 1.0 : 극초미세먼지 (지름 $1.0\mu\text{m}$ 이하), AQI : 6가지 오염물질 (PM 10, PM 2.5, 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스)의 무게를 측정하여 공기 오염정도 측정

- 구례 및 보성지역 4월에 측정한 결과는 상 높이에서 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 3.6%, PM 2.5는 4.4%, PM 1.0은 2.0% 및 AQI는 3.6%가 각각 감소되는 결과가 나타남. 하 높이에서는 재배지의 PM 10은 7.9%, PM 2.5는 7.7%, PM 1.0은 6.9% 및 AQI는 8.2%가 모두 감소되는 결과가 나타남
- 구례 및 보성지역의 2월, 4월 기준을 종합한 미세먼지 농도 결과는 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 8.1%, PM 2.5는 8.0%, PM 1.0은 7.2% 및 AQI는 7.9%가 모두 감소되는 결과가 나타남



그림 20. 보성군 벌교읍 장호길 56-43 (좌 : 2021.02.26., 우 : 2021.04.20.)



그림 21. 구례군 구례읍 봉동리 289-1 (좌 : 2021.02.26., 우 : 2021.04.20.)



그림 22. 구례군 광의면 구만제로 128 (좌 : 2021.02.26., 우 : 2021.04.20.)

라. 익산지역 겨울철 조사료 생산에 따른 대기환경에 미치는 영향

- 익산지역 동계 휴경지 및 재배지의 미세먼지 농도 결과는 표 18에 나타나 있음
- 익산지역 2월에 측정한 결과는 상 높이에서 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 10.6%, PM 2.5는 10.3%, PM 1.0은 10.5% 및 AQI는 9.9%가 각각 감소되는 결과가 나타남. 하 높이에서는 재배지의 PM 10은 13.1%, PM 2.5는 12.8%, PM 1.0은 11.0% 및 AQI는 14.9%가 모두 감소되는 결과가 나타남

표 18. 익산지역 동계 휴경지 및 재배지의 미세먼지 농도 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$, %)

월	환경정보	높이 ¹⁾	미세먼지 ²⁾	휴경지	재배지	감소율	SEM	p-value
2월	온도 : 19.3℃ 습도 : 24.8% 풍향 : 북서, 북 풍속 : 1.7m/s	상 (103 cm)	PM 10	52.50 ^a	46.92 ^b	10.6	2.02	0.0007
			PM 2.5	37.17 ^a	33.33 ^b	10.3	1.52	0.0014
			PM 1.0	29.33 ^a	26.25 ^b	10.5	0.81	<.0001
			AQI	51.50 ^a	46.42 ^b	9.9	2.04	0.0015
		하 (33.7 cm)	PM 10	54.92 ^a	47.75 ^b	13.1	1.22	<.0001
			PM 2.5	38.88 ^a	33.91 ^b	12.8	0.93	<.0001
			PM 1.0	30.71 ^a	27.32 ^b	11.0	1.13	0.0004
			AQI	52.67	44.83	14.9	6.35	0.0591
4월	온도 : 13.4℃ 습도 : 61.3% 풍향 : 북서, 북 풍속 : 1.4m/s	상 (103 cm)	PM 10	25.67 ^a	20.17 ^b	21.4	1.30	<.0001
			PM 2.5	18.25 ^a	14.92 ^b	18.3	1.06	0.0004
			PM 1.0	14.58 ^a	12.33 ^b	15.4	0.57	<.0001
			AQI	25.67 ^a	20.50 ^b	20.1	1.21	<.0001
		하 (33.7 cm)	PM 10	22.58 ^a	19.83 ^b	12.2	1.84	0.0273
			PM 2.5	16.17 ^a	14.33 ^b	11.3	1.25	0.0295
			PM 1.0	13.08 ^a	12.00 ^b	8.3	0.72	0.0265
			AQI	22.67 ^a	20.08 ^b	11.4	1.70	0.0254
평균		PM 10	38.92	33.67	13.5	14.65	0.2212	
	PM 2.5	27.62	24.12	12.6	10.26	0.2446		
	PM 1.0	21.93	19.48	11.2	7.93	0.2902		
	AQI	38.13	32.96	13.6	14.02	0.2086		

^{a,b} Values with different superscripts in the same row differ significantly ($p < 0.05$)

¹⁾ 풍속 : 지면으로부터 150cm 높이에서 측정 전에 측정 (상 (103cm), 하 (33.7cm))

²⁾ PM 10 : 미세먼지 (지름 $10\mu\text{m}$ 이하), PM 2.5 : 초미세먼지 (지름 $2.5\mu\text{m}$ 이하)

PM 1.0 : 극초미세먼지 (지름 $1.0\mu\text{m}$ 이하), AQI : 6가지 오염물질 (PM 10, PM 2.5, 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스)의 무게를 측정하여 공기 오염정도 측정

- 익산지역 4월에 측정한 결과는 상 높이에서 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 21.4%, PM 2.5는 18.3%, PM 1.0은 15.4% 및 AQI는 20.1%가 각각 감소되는 결과가 나타남. 하 높이에서는 재배지의 PM 10은 12.2%, PM 2.5는 11.3%, PM 1.0은 8.3% 및 AQI는 11.4%가 모두 감소되는 결과가 나타남
- 익산지역의 2월, 4월 기준을 종합한 미세먼지 농도 결과는 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 13.5%, PM 2.5는 12.6%, PM 1.0은 11.2% 및 AQI는 13.6%가 모두 감소되는 결과가 나타남



그림 23. 익산시 함라면 다망리 1476-2 (좌 : 2021.02.13., 우 : 2021.04.30.)



그림 24. 익산시 오산면 신지리 1318~1319 (좌 : 2021.02.13., 우 : 2021.04.30.)



그림 25. 익산시 오산면 신지리 1318~1319 (2021.04.30., 좌 : 재배지, 우 : 휴경지)

마. 겨울철 조사료 생산에 따른 대기환경에 미치는 영향 종합결과

- 동계 휴경지 및 재배지의 미세먼지 농도를 종합한 결과는 표 19에 나타나 있음
- 2월에 측정한 결과는 상 높이에서 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 11.0%, PM 2.5는 10.6%, PM 1.0은 9.7% 및 AQI는 10.5%가 각각 감소되는 결과가 나타남. 하 높이에서는 재배지의 PM 10은 12.4%, PM 2.5는 12.0%, PM 1.0은 10.7% 및 AQI는 13.3%가 모두 감소되는 결과가 나타남

표 19. 동계 휴경지 및 재배지의 미세먼지 농도 (종합) (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$, %)

월	환경정보	높이 ¹⁾	미세먼지 ²⁾	휴경지	재배지	감소율	SEM	p-value
2월	온도 : 13.3℃ 습도 : 30.5% 풍향 : 북, 북서, 남 동, 서 풍속 : 2.0m/s	상 (103 cm)	PM 10	25.66 ^a	22.84 ^b	11.0	0.78	0.0001
			PM 2.5	18.34 ^a	16.39 ^b	10.6	0.59	0.0002
			PM 1.0	14.84 ^a	13.40 ^b	9.7	0.33	<.0001
			AQI	25.42 ^a	22.75 ^b	10.5	0.79	0.0002
		하 (33.7 cm)	PM 10	25.91 ^a	22.69 ^b	12.4	0.51	<.0001
			PM 2.5	18.53 ^a	16.30 ^b	12.0	0.36	<.0001
			PM 1.0	15.09 ^a	13.47 ^b	10.7	0.35	<.0001
			AQI	25.37 ^a	21.99 ^b	13.3	1.61	0.0046
4월	온도 : 24.9℃ 습도 : 32.1% 풍향 : 남, 남서, 동 북서, 서, 북 북동 풍속 : 1.7m/s	상 (103 cm)	PM 10	16.07 ^a	14.33 ^b	10.8	0.41	<.0001
			PM 2.5	11.66 ^a	10.52 ^b	9.8	0.30	<.0001
			PM 1.0	9.57 ^a	8.88 ^b	7.2	0.22	0.0003
			AQI	16.09 ^a	14.43 ^b	10.3	0.40	<.0001
		하 (33.7 cm)	PM 10	16.16 ^a	14.28 ^b	11.7	0.52	<.0001
			PM 2.5	11.71 ^a	10.40 ^b	11.1	0.38	0.0001
			PM 1.0	9.55 ^a	8.70 ^b	8.9	0.23	0.0001
			AQI	16.20 ^a	14.38 ^b	11.2	0.51	0.0001
평 균		PM 10	20.95	18.54	11.5	4.66	0.0799	
		PM 2.5	15.06	13.40	11.0	3.25	0.0849	
		PM 1.0	12.26	11.11	9.4	2.58	0.1311	
		AQI	20.77	18.39	11.5	4.49	0.0733	

^{a,b} Values with different superscripts in the same row differ significantly ($p < 0.05$)

¹⁾ 풍속 : 지면으로부터 150cm 높이에서 측정 전에 측정 (상 (103cm), 하 (33.7cm))

²⁾ PM 10 : 미세먼지 (지름 $10\mu\text{m}$ 이하), PM 2.5 : 초미세먼지 (지름 $2.5\mu\text{m}$ 이하)

PM 1.0 : 극초미세먼지 (지름 $1.0\mu\text{m}$ 이하), AQI : 6가지 오염물질 (PM 10, PM 2.5, 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스)의 무게를 측정하여 공기 오염정도 측정

- 4월에 측정한 결과는 상 높이에서 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 10.8%, PM 2.5는 9.8%, PM 1.0은 7.2% 및 AQI는 10.3%가 각각 감소되는 결과가 나타남. 하 높이에서는 재배지의 PM 10은 11.7%, PM 2.5는 11.1%, PM 1.0은 8.9% 및 AQI는 11.2%가 모두 감소되는 결과가 나타남
- 측정지역의 2월, 4월 기준을 종합한 미세먼지 농도 결과는 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 11.5%, PM 2.5는 11.0%, PM 1.0은 9.4% 및 AQI는 11.5%가 모두 감소되는 결과가 나타남

제3장. 연구결과의 활용 계획

제1절. 연구개발 결과의 활용방안

- 겨울철 조사료 생산으로 조사료 생산지역의 미세먼지 11.5% 감소 효과 근거 확보
- 동계 조사료의 긍정적인 효과를 토대로 동계 휴경지 활성화 사업계획 근거 마련
- 국내 조사료 생산에 대한 축산 공익직불금지원 필요성과 근거 마련
- 동계 휴경지 경작으로 정부의 미세먼지 저감대책에 기여
- 농축산분야의 미세먼지 및 온실가스 감축방안에 동계 조사료 생산계획을 포함
- 동계 휴경지뿐만 아니라 동계 하천부지에도 겨울철 조사료 생산 정책 보급

제2절. 기대성과 및 파급효과

- 동계 휴경지를 이용한 조사료 생산 시 국내 조사료 생산량 10% 이상 증가 기대
- 수입산 조사료 대체효과 10% 및 조사료 자급률 5% 이상 향상 기대
- 동절기 조사료 생산으로 국내 휴경면적 감소 및 경지이용률 증가
- 휴경지를 이용한 조사료 생산으로 대기 미세먼지 11.5% 저감효과
- 농축산분야의 미세먼지 및 온실가스 감축 목표량에 기여
- 겨울철 조사료 생산으로 환경보전, 가축분뇨 처리 및 정서함양 (자연 경관, 보건 휴양 등) 공익적 기능 효과 증대
- 동계 조사료 생산으로 미세먼지 저감 및 ‘2050 탄소중립’ 국가정책에 기여하는 긍정적인 산업으로 이미지 탈바꿈 및 지원사업 확대 기대

제3절. 정책 제언

- 국내 휴경면적에 동계 조사료 생산효과는 조사료 생산지역의 미세먼지를 11.5% 감소시켜주는 경제적인 가치가 있어 공익기능증진 직접지불사업 지원 필요
- 국내 조사료 자급률은 81%로 높은 경향이지만 볏짚을 제외한 양질의 사료작물이 차지하는 비중은 50% 수준으로 양질의 사료작물 자급률을 높이는 정책지원 필요
- 서울 녹색미래정상회의 (2021 P4G)를 통해 온실가스 감축목표를 추가 상향하기로 결정됨에 따라 기후변화당사국 총회 (26차, 2021년 11월)에서 휴경면적에 동계 조사료 생산을 통한 미세먼지 및 온실가스 감축방안 정책 제시

제4장. 요약

- 본 연구는 동계 조사료 생산이 동계 환경에 미치는 영향 연구를 통해 토양에서 발생하는 먼지 방지효과를 조사하고자 실시함
- 우리나라의 동계 조사료는 대부분 9~10월에 파종을 실시하고 다음해 5~6월에 수확하는 것으로 조사됨
- 국내에서 가장 많이 생산하는 동계 조사료는 이탈리아라이그라스를 가장 많이 생산하고 있으며, 청보리, 호밀 등이 있음
- 국내 조사료 수급비율은 볏짚이 36%, 사료작물은 38%를 차지하고 있음. 국내 조사료 자급률은 81%로 매우 높은 것으로 보이나 사료작물이 차지하는 비율은 낮기 때문에 국내 사료작물의 수급비율을 높이는 정책이 필요함
- 국내 지역의 추동계 (2020년 9월 ~ 2021년 5월) 기온은 평균기온 9.5℃, 최고기온 평균 15.2℃ 및 최저기온 평균 4.5℃로 조사됨
- 조사료의 생육온도와 국내 기온을 비교한 결과, 국내에서 생산 가능한 동계 조사료는 이탈리아라이그라스, 청보리, 호밀, 트리티케일, 귀리가 가능함
- 순천지역의 2월, 4월 기준을 종합한 미세먼지 농도 결과는 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 11.3%, PM 2.5는 10.7%, PM 1.0은 9.9% 및 AQI는 10.9%가 모두 감소되는 결과가 나타남
- 나주 및 함평지역의 2월, 4월 기준을 종합한 미세먼지 농도 결과는 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 10.4%, PM 2.5는 10.3%, PM 1.0은 6.8% 및 AQI는 10.6%가 모두 감소되는 결과가 나타남
- 구례 및 보성지역의 2월, 4월 기준을 종합한 미세먼지 농도 결과는 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 8.1%, PM 2.5는 8.0%, PM 1.0은 7.2% 및 AQI는 7.9%가 모두 감소되는 결과가 나타남
- 익산지역의 2월, 4월 기준을 종합한 미세먼지 농도 결과는 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 13.5%, PM 2.5는 12.6%, PM 1.0은 11.2% 및 AQI는 13.6%가 모두 감소되는 결과가 나타남
- 동계 휴경지 및 재배지의 2월, 4월 기준을 종합한 미세먼지 농도 결과는 휴경지와 비교하여 재배지의 PM 10은 11.5%, PM 2.5는 11.0%, PM 1.0은 9.4% 및 AQI는 11.5%가 모두 감소되는 결과가 나타남
- 결론적으로 겨울철 조사료 생산은 조사료 생산지역의 미세먼지 농도를 11.5% 감소시키고 경제적인 가치가 있어 공익기능증진 직접지불사업 지원 필요함
- 국내 조사료 자급률은 81%로 높은 경향이지만 볏짚을 제외한 양질의 사료작물이 차지하는 비중은 50% 수준으로 양질의 사료작물 자급률을 높이는 정책지원 필요함

제5장. 참고문헌

1. Jennifer A. 2014. Fine particulate matter air pollution and cognitive function among U.S. older adults. Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences. 2014;70(2):322-30
2. R.M. Rees, I.J. Bingham, J.A. Baddeley, C.A. Watson. 2005. The role of plants and land management in sequestering soil carbon in temperate arable and grassland ecosystems. Geoderma 128 (2005) pp.130-154
3. WHO regional office for Europe. 2013. Health effects of particulate matter
4. 곽진협, 채재석, 양정원, 이가현, 김세인, 윤석인, 김기용. 2020. 새만금 간척지 내 동계사료작물 재배에 따른 미세먼지 저감 효과. 한국환경농학회. 학술발표대회. pp.175-176
5. 김민태, 전원태, 조현숙, 김숙진, 이용환, 서명철, 강항원. 2012. 작물을 키우는 작물 「친환경농업의 감초, 녹비작물」. pp.1-20
6. 김원호. 2020. 양질조사료 특성과 활용기술
7. 김종근, 유창, 조국강, 김학진, 김맹중, 김천만, 안억근. 2018. 남부지역에서 사료용 벼와 동계작물을 연계한 조사료 생산 체계 연구. 한국초지조사료학회. 38(4): 202-209
8. 김종덕. 2019. 조사료 생산 및 유통 현황. 연암대학교. 2019년 후진학 선도형 사업 “조사료 생산기술 과정”
9. 김종호, 김래현, 윤호중, 이승우, 최형태, 김재준, 박찬열, 김기동. 2012. 산림공익기능의 경제적 가치평가. 한국산림휴양학회지. 제16권 4호 pp.9-18
10. 농림축산식품부. 2016. 새만금에서 폴사료 수확 시연, 생산·이용 붐 조성. <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156128293>
11. 농림축산식품부. 2017. 동계사료작물 재배기술 리플릿
12. 농림축산식품부. 2020. 농림축산식품 주요통계
13. 농촌진흥청. 2018a. 밀. 농촌진흥청. 농업기술길잡이 44(개정판). pp.40-43
14. 농촌진흥청. 2018b. 보리. 농촌진흥청. 농업기술길잡이 118(개정판). pp.8-10
15. 농촌진흥청. 2018c. 조사료. 농촌진흥청. 농업기술길잡이 91(개정판). pp.139-145
16. 미세먼지특별대책위원회. 2019. 미세먼지 관리 종합계획 (2020~2024). 제3차 미세먼지특별대책위원회. pp.1-92
17. 서성. 2000. 가을철 조사료 확보 어떻게 해야 하나. 낙농육우 (2000. 10). pp.140-150

18. 영농자재신문. 2019. 드론으로 동계 사료작물 적기파종 해결
19. 임경주. 2017. 우리지역에 맞는 겨울작물 제때 파종하세요. 농축유통신문
20. 조현정, 박성우, 이희일, 이상원. 2018. 미세먼지의 건강영향과 건강보호 수칙. 11(15) pp.458~462
21. 지희정. 2008. 동계 사료작물 재배 및 관리요령. 종축개량지 9월호
22. 질병관리본부. 2014. 미세먼지황사 건강피해 예방 및 관리 권고지침 개발연구 (호흡기질환)
23. 최승연. 2020. 진주시, 조사료 생산용 종자 드론파종 시범사업 추진. 내외경제 TV.
24. 축산과학원. 2016. 산지축산 활성화 기술개발. 초지사료과
25. 통계청. 2021. 사회통계국 농어업통계과 - 가축 동향조사
26. 환경부 국립환경과학원. 대기환경연보 2016. 2017.
27. 환경부. 2020. 주간 미세먼지 정책 동향 소식지 23호 「푸른 하늘을 위한 모두의 발걸음」. pp.1-9

본 보고서에 대한 지적재산권은 한우자조금관리위원회에 있으며, 본 연구결과 및 내용의 일부 또는 전부를 인용하는 경우에는 한우자조금관리위원회 자료를 인용하였음을 반드시 명기해야함. 이러한 내용을 명기한 경우에만 사전 승인 없이 무상으로 인용할 수 있음



순천대학교 산학협력단
INDUSTRY-ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION