

과제구분	기관고유	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
원예작물 탄소저감 재배기술 개발		채소	'21~'23	원예연구과 도시원예팀	김대균
원예 부산물의 소각 대체 환원 기술 개발		채소	'22~'23	원예연구과 도시원예팀	김대균
색인용어	부산물, 소각 대체				

ABSTRACT

In this study, we investigated the status of disposal of horticultural by-products generated after harvest at farming sites and verified the effects on crops by applying them to the soil as a resource rather than incinerating the by-products of crops that are most difficult to dispose of at farming sites.

The survey on the disposal of horticultural by-products at agricultural sites was conducted in 36 vegetable gardens managed by local governments and by private citizens in urban areas and in 75 farms including pepper farms, eggplant farms, apple and pear farms, and grape farms.

In both vegetable gardens managed by local governments and operated by private citizens, the most difficult crop to dispose of agricultural by-products was pepper, and the most common current disposal method was collection and then composting.

The most common method of disposing agricultural by-products in pepper farms was incineration. In eggplant farms, incineration and direct return to soil were the most common methods for disposing agricultural by-products at the same rate. In apple farms, pear farms, and grape farms, the most common method of disposing agricultural by-products was direct return to soil.

In a test to verify the effect on crops by applying pepper stalks to the soil without incinerating them, the soil C/N ratio of the pepper stalk treatments was higher than that of the control in the early stages of growth, but was lower from the mid-season onwards.

The growth of pepper plants was slightly lower in the main stem length and stem thickness of the pepper stalk treatments at 30 days after planting peppers compared to the control, but there was no significant difference between treatments in growth after 30 days. At 140 days after planting, the dry weight of plants increased by 6.8 to 8.4% in the pepper stalks treatments compared to the

control.

The anthracnose incidence rate and tobacco moth damage rate in the pepper stalks treatments were similar to the control.

In terms of soil physical properties, the soil hardness and bulk density of the pepper stalks treatments were lower than the control, and the soil air and aggregate ratios were higher. Soil moisture potential tended to be lower in the pepper stalks treatments compared to the control.

The amount of N_2O generated increased with the increase of WFPS and decreased with the increase of AFPS, and compared to the control, WFPS tended to decrease and AFPS increased in the pepper stalks treatment.

The carbon uptake of pepper plants was 25.2 kg/10a higher at 283.1 kg/10a in the pepper stalk treatments compared to 257.9 kg/10a in the control. The carbon content stored in the soil was 55.1 kg/10a for the treatment with crushed red pepper stalks and 82.1 kg/10a for the direct rotary tillage treatment.

The emission of greenhouse gas N_2O decreased by 11.3% to 98.6 g/ha/dy in the red pepper treatments compared to 111.2 g/ha/dy in the control, and was significantly positively correlated with soil moisture content.

The quantity of dried peppers tended to increase by 4-5% in the red pepper stalk treatments compared to the control(306.6kg/10a), but there was no significant difference between treatments. As a result of economic analysis, compared to the control, the treatment with crushed pepper stalks had an income of 277,397 won/10a, and the income of the direct rotary tillage treatment was 319,317 won/10a.

In the pot cultivation test, the growth of pepper plants was slightly lower in the main stem length and stem thickness of the pepper stalk treatments compared to the control at 30 days after planting, but there was no significant difference between treatments after 30 days.

After the test, the physical properties of the soil were lower in the pepper stalks treatments than in the control, the amount of air was increased, and the bulk density was decreased. Also, as the amount of pepper stalks applied increased, the effect tended to increase.

The dry weights of the five plants were 7.7 to 11.5 g higher in the pepper stalks treatments compared to 251.9 g in the control, and the yields of dried peppers increased by 3 to 5% in the pepper stalks treatments compared to 380.4 g in the control.

Key words: Pepper, Incineration, N_2O , Soil physical properties

1. 연구목표

영농부산물은 폐기물관리법 상 생활폐기물에 해당하며(환경부, 2022), 농가 자체적으로 소각해서는 안된다. 소각시 산불위험과 함께 미세먼지 발생을 높일 수 있으며, 정부는 산림연접지(산 경계로부터 100m 이내 토지) 불법 소각행위 적발시 관련 법에 따라 100만원 이하의 과태료를 부과하고 있다(산림청, 2022).

비료란 식물에 영양을 주거나 식물의 재배를 돕기 위하여 흙에서 화학적 변화를 가져오게 하는 물질로 보통비료와 부산물비료로 분류된다. 부산물비료란 농업·임업 또는 판매업을 영위하는 과정에서 나온 부산물 등을 이용하여 제조한 비료로서, 농림산 부산물류로 사용 가능한 원료로는 농산물 잔사인 고춧대, 짚류, 왕겨, 톱밥 등이 있으며(농축산부, 2022; 농진청, 2023), 폐기물관리법에서도 고춧대 등 식물성 잔재물은 재활용이 가능한 물질로 포함시키고 있다(환경부, 2022).

2020년도 기준으로 우리나라 농업분야의 온실가스 총 배출량은 약 21.1백만톤 CO₂eq.으로 국가 총 배출량의 3.2%를 차지하고 있으며, 이 중 CH₄ 배출량은 11.9백만톤 CO₂eq.으로 56.4%, N₂O 배출량은 9.2백만톤 CO₂eq.으로 43.6%를 차지하고 있다. 부문별 배출량 비중은 벼 재배 27.1%, 농경지 토양 26.6%, 가축분뇨 처리 23.7%, 장내 발효 22.5%, 작물 잔사소각 0.1% 순이었다. 작물별 잔사물의 소각에 의한 온실가스 배출량은 15.1천톤 CO₂eq.으로, 고추는 45.6%인 6.89천톤 CO₂eq.으로 가장 높은 비중을 차지하고 있다(환경부, 2023).

농업 부산물에 속하는 고춧대는 탄질비도 높고 짚류, 왕겨 등 보다 조직이 거칠어 배수가 불량한 토양에 시용시 토양의 공극을 크게 하여 배수성과 통기성 등 물리성이 크게 개선되는 장점이 있으리라 생각된다. 고춧대의 활용에 관한 연구로는 고춧대를 이용한 버섯배지 개발 등이 있으나(충북도원, 2004), 농경지에서의 재활용에 관한 연구는 미미한 실정이다. 또한 정부에서는 산불예방 차원에서 영농부산물을 소각하는 행위를 엄격히 금지하고 있으며 또한 미세먼지 저감을 위해 농업 부산물에 대한 소각을 대체할 기술이 필요하다.

현실적인 고춧대 처리방법으로는 파쇄 후 경작지에 살포, 또는 로터리로 직접 경운하여 경작지에 다시 환원하는 방법 등으로 처리해야 하나 이런 방법들을 권장하기 위한 효과에 대한 정보가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고춧대를 소각하지 않고 자원으로써 토양에 환원한 후 작물에 대한 효과를 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 원에 부산물의 영농현장 처리실태 조사('22)

원에 부산물의 영농현장 처리실태를 조사하기 위해, 도심지 텃밭과 일반농가를 대상으로 현장조사 및 전화조사를 통한 설문은 실시하였다. 도심지 텃밭은 수도권 일대의 공영텃밭 16개소, 민간텃밭 20개소를 대상으로, 영농 부산물중 가장 처리가 어

려운 작물과 현재 처리방법 등에 대하여 설문을 실시하였으며, 일반농가는 고추 20농가(경기도 용인 지역), 가지 20농가(경기도 여주 지역), 과수 35농가(경기도사과연구회, 경기도배연구회 소속의 사과, 배 20농가, 경기도포도연구회 소속의 15농가)를 대상으로 영농 부산물의 현재 처리방법, 처리에 있어서 향후 해결되어야 할 문제점을 조사하였다.

나. 원예 부산물 소각대체 토양 환원 기술 개발(' 23)

1) 포장재배 시험

1년차 조사결과 다양한 작물을 재배하는 도심지 텃밭에서 영농 부산물중 가장 처리가 어려운 작물로 조사된 고추에 대하여 토양으로의 환원 방법별 작물에 대한 효과를 검증하고자 하였다.

처리내용은 표준시비(3요소+퇴비+고춧대 무시용)를 대조로, 고춧대 파쇄 로터리(표준시비+고춧대를 수거후 파쇄 투입한 시험구), 고춧대 직접 로터리(표준시비+고춧대를 수거없이 직접 로터리 처리한 시험구) 처리로 나누어서 실시하였다. 표준시비는 3요소 N - P₂O₅ - K₂O = 19.0 - 11.2 - 14.8kg/10a과 퇴비로 혼합가축분퇴비 720kg/10a을 처리하였다. 고춧대 파쇄 로터리는 표준시비에 더하여 고춧대를 예취기에 회전 톱날을 장착한 후 잘라서 지상부만 수거한 후 파쇄기(모델명: 한성 HTI-WC100)를 이용, 파쇄하여 시험포장에 315kg/10a을 살포한후 트랙터로 2회 로터리 작업을 하였다. 고춧대 직접 로터리는 표준시비에 더하여 고춧대를 예취기에 회전 톱날을 장착하고 잘라서 포장에 균일하게 배치한 후 로터리를 부착한 트랙터(모델명: 대동 LK360)로 2회 로터리 작업을 하였다.

시험재료인 고춧대의 질소는 0.68%, 탄소는 42.8% 이었으며 탄질비는 63.1로 벚짚 77(농과원, 2016)에 비해 낮은편 이었다. 고춧대 처리량인 315kg/10a은 고추 정식 전 4월 3일에 사용하여 경운하였다. 화학비료와 퇴비는 작물별 비료사용처방기준 (농과원, 2019)에 따라 계산하여 사용하였으며, N은 요소, P₂O₅은 용과린, K₂O는 염화칼리를 사용하였다.

고추 시험품종은 티탄대박고추로 2023년 5월 2일, 조간 100cm, 주간 40cm 정식하여 9월 20일까지 재배하였다. 관수방법은 Tensiometer(Daiki, Japan)를 토심 15cm에 묻고 점적호스를 이용하여 -50kPa시 관수하고 -10kPa시 종료하였다. 토양과 식물체 분석, 토양물리성 조사방법 및 분석은 농업환경 실험분석법(경기도농업기술원, 2018)에 준하였다. C, N은 C/N/S 분석(vario, Elementar Max CNS), 토양경도는 관입식 토양 경도계(TYD-2, China), 용적밀도와 용적수분 및 공기는 코아법, 입단비율은 습식체별법으로 분석하였다. 토성은 USDA 분류법에 의거 점토는 비중계법으로, 양토와 모래는 0.05mm 체로 분리하여 결정하였다. 토양 중의 고춧대 분해율은 1m×0.4m=0.4m² 면적에서 토심 0.15m까지의 2mm 이상 되는 고춧대를 수거 후 계산하였다. 고추의 생육과 병해충 발생 정도는 연구조사 분석기준(농진청, 2012)에 준하여 조사하였다. 온실가스인 아산화질소(N₂O)는 N₂O 포집용 챔버(아래Ø 25.3cm×위Ø

25.3cm × 높이 25.3cm)를 처리당 3반복으로 설치하여 1회/주, 오전 10시에 GC-ECD(Agilent 8890 GC System, USA)로 분석하였다.

2) 포트재배 시험

고춧대를 토양에 환원하고자 할 때 농가별 재식밀도가 달라 시용량이 상이하여 고춧대 시용량별 고추의 생육반응을 검토하여 정보를 제공하고자 고춧대 투입량을 달리하여 포트재배 시험을 수행하였다.

처리내용은 표준시비구를 대조로 하여 파쇄한 고춧대 1.0배를 기준(315kg/10a)으로 0.5배, 1.5배 등 4처리를 두어 처리 당 5포트, 난괴법 3반복으로 시험하였다. 포트는 무저 포트(∅ 25cm × 높이 30cm)로 포장시험과 동일한 토양을 2mm 체질하여 10kg을 충전하여 고추를 재배하였으며, 고추 품종, 정식일, 3요소 및 퇴비 시용방법 등 기타 조사방법은 포장재배 시험과 동일하게 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 원에 부산물의 영농현장 처리실태 조사('22)

1) 도심지 텃밭(공영텃밭 16개소, 민간텃밭 20개소)

도심지 공영텃밭 16개소와 민간텃밭 20개소에 대한 영농 부산물 처리실태를 조사한 결과는 각각 표 1, 표 2와 같다. 공영텃밭에서 가장 처리가 어려운 작물은 고추라고 답한 텃밭이 16개소 중 12개소로 75%를 차지하며 가장 많았다. 현재의 처리방법으로는 수거 후 퇴비화가 94%로 가장 많았으며, 해결되어야 할 문제점으로는 69%의 텃밭이 수거 후 퇴비화 문제가 해결되어야 할 문제점으로 답변하였다. 민간텃밭에서도 가장 처리가 어려운 작물은 고추라고 답한 텃밭이 55%로 가장 많았다. 민간텃밭에서는 공영텃밭에 없는 옥수수가 10%를 차지하였는데, 공영텃밭에서는 옥수수를 타작물에 대하여 빗을 가린다는 이유로 재배하지 못하게 하나 민간텃밭에서는 옥수수를 허용하는 곳이 있어서 민간텃밭에서는 옥수수가 조사된 것으로 판단되었다. 민간텃밭에서도 현재의 처리방법으로는 수거 후 퇴비화가 85%로 가장 많았으며, 해결되어야 할 문제점으로는 60%의 텃밭이 수거 후 퇴비화 문제가 해결되어야 할 문제점으로 답변함으로써 공영텃밭과 비슷한 답변을 하였다.

표 1. 공영텃밭에 대한 영농 부산물 처리실태

가장 처리가 어려운 작물			그다음 처리가 어려운 작물		
고추	12개소	75%	고추	2개소	13%
가지	3개소	19%	가지	5개소	31%
들깨	0개소	0%	들깨	0개소	0%
옥수수	0개소	0%	옥수수	0개소	0%
토마토	1개소	6%	토마토	9개소	56%
합계	16개소	100%	합계	16개소	100%

현재 처리방법			해결되어야 할 문제점		
직접 토양환원	1개소	6%	직접 토양환원	3개소	19%
수거후 폐기	0개소	0%	수거후 폐기	2개소	12%
수거후 퇴비화	15개소	94%	수거후 퇴비화	11개소	69%
소각	0개소	0%	소각	0개소	0%
합계	16개소	100%	합계	16개소	100%

표 2. 민간텃밭에 대한 영농 부산물 처리실태

가장 처리가 어려운 작물			그다음 처리가 어려운 작물		
고추	11개소	55%	고추	8개소	40%
가지	4개소	20%	가지	5개소	25%
들깨	0개소	0%	들깨	0개소	0%
옥수수	2개소	10%	옥수수	2개소	10%
토마토	3개소	15%	토마토	5개소	25%
합계	20개소	100%	합계	20개소	100%

현재 처리방법			해결 되어야 할 문제점		
직접 토양환원	0개소	0%	직접 토양환원	4개소	20%
수거후 폐기	3개소	15%	수거후 폐기	4개소	20%
수거후 퇴비화	17개소	85%	수거후 퇴비화	12개소	60%
소각	0개소	0%	소각	0개소	0%
합계	20개소	100%	합계	20개소	100%

2) 일반농가(고추 20농가, 가지 20농가, 사과+배 20농가, 포도 15농가)

고추 재배 농가에서 영농 부산물 처리실태 조사 결과는 표 3과 같고, 가지 재배 농가에서의 영농 부산물 처리실태를 조사한 결과는 표 4와 같다.

고추 재배 농가에서 영농 부산물 처리는 소각이 70%로 가장 많았으며, 직접 토양환원을 하고 있는 농가가 25%로 다음으로 많았다. 해결되어야 할 문제점으로는 소각을 자유롭게 할수 있었으면 한다고 답한 농가가 65%로 가장 많았으며, 직접 토양환원을 쉽게 할수 있도록 개선되었으면 한다고 답변한 농가가 30%로 다음이었다.

가지 재배 농가에서 영농 부산물 처리는 소각(45%)과 직접 토양환원(45%)이 동일한 비율로 가장 많았다. 고추 재배 농가 보다 가지 재배 농가에서 직접 토양환원이 많았던 것은 고추 부산물에 비하여 온실 조건 등 주변 환경으로 인하여 가지 부산물의 소각이 더 어려웠을 것으로 판단되었다. 해결되어야 할 문제점으로는 소각을 자유롭게 할 수 있었으면 한다고 답한 농가가 60%로 가장 많았으며, 직접 토양환원을 쉽게 할 수 있도록 개선되었으면 한다고 답변한 농가가 35%로 다음을 차지하여 고추 재배 농가와 비슷한 경향이였다.

표 3. 고추 농가에 대한 영농 부산물 처리실태

현재 처리방법			해결 되어야 할 문제점		
직접 토양환원	5농가	25%	직접 토양환원	6농가	30%
수거후 폐기	0농가	0%	수거후 폐기	1농가	5%
수거후 퇴비화	1농가	5%	수거후 퇴비화	0농가	0%
소각	14농가	70%	소각	13농가	65%
합계	20농가	100%	합계	20농가	100%

표 4. 가지 농가에 대한 영농 부산물 처리실태

현재 처리방법			해결 되어야 할 문제점		
직접 토양환원	9농가	45%	직접 토양환원	7농가	35%
수거후 폐기	0농가	0%	수거후 폐기	0농가	0%
수거후 퇴비화	2농가	10%	수거후 퇴비화	1농가	5%
소각	9농가	45%	소각	12농가	60%
합계	20농가	100%	합계	20농가	100%

사과, 배 재배 농가에 대한 영농 부산물 처리실태 조사 결과는 표 5와 같고, 포도 재배 농가에 대한 영농 부산물 처리실태를 조사한 결과는 표 6과 같다.

사과, 배 재배 농가에서 영농 부산물 처리는 직접 토양환원이 75%로 가장 많았다. 해결되어야 할 문제점으로는 직접 토양환원을 쉽게 할 수 있도록 개선되었으면 한다고 답변한 농가가 75%로 가장 많았으며, 포도 재배 농가에서도 현재 처리는 직접 토양환원이 67%로 가장 많았으며, 해결되어야 할 문제점으로는 직접 토양환원을 쉽게 할 수 있도록 개선되었으면 한다고 답변한 농가가 67%로 가장 많았다.

사과, 배, 포도 재배 농가에서는 연구회나 작목반 또는 개별 농가가 파쇄기를 가지고 있었으며, 또 고춧대나 가지대와 다르게 소각 자체도 어려워서인 것으로 판단되었다.

표 5. 사과, 배 농가에 대한 영농 부산물 처리실태

현재 처리방법			해결 되어야 할 문제점		
직접 토양환원	15농가	75%	직접 토양환원	15농가	75%
수거후 폐기	4농가	20%	수거후 폐기	3농가	15%
수거후 퇴비화	0농가	0%	수거후 퇴비화	1농가	5%
소각	1농가	5%	소각	1농가	5%
합계	20농가	100%	합계	20농가	100%

표 6. 포도 농가에 대한 영농 부산물 처리실태

현재 처리방법			해결 되어야 할 문제점		
직접 토양환원	10농가	67%	직접 토양환원	10농가	67%
수거후 폐기	1농가	7%	수거후 폐기	2농가	13%
수거후 퇴비화	2농가	13%	수거후 퇴비화	2농가	13%
소각	2농가	13%	소각	1농가	7%
합계	15농가	100%	합계	15농가	100%

나. 원예 부산물 소각대체 토양 환원 기술 개발(' 23)

1) 포장재배 시험

시험 토양은 배수가 약간 양호한 인위토로 용적밀도는 1.37Mg/m³이고, 경도는 토심 15cm부터 뿌리의 장해기준인 -2MPa(농과원, 2017) 이상을 초과하는 사양토였으며, 탄질비는 17.6이고, 포장용수량은 17.4%(중량)이었다.

표 7. 시험토양 특성

토양통	토성	배수등급	포장용수량 (중량, %)	토양탄소 (%)	토양질소 (%)
인위토 (성토형)	사양토	약간양호	17.4	1.41	0.08

용적밀도 (Mg/m ³)	토심별 경도(-MPa)				
	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm
1.37	0.49	1.34	2.32	3.08	3.59

2023년 고추 재배 기간 중의 평균온도는 24.5℃로 평년 23.4℃에 비해 1.1℃ 높았다. 강수량은 987.7mm로 평년 대비 111.8mm 많았으며, 특히 7월에는 집중호우로 평년에 비해 174.7mm 많았다(기상청, 2023).

토양에 사용된 고춧대에 의한 질소 투입량은 표 8과 같다. 파쇄 로터리구는 고춧대 사용량 315kg/10a × 고춧대 질소함량(0.68/100) × 고춧대 분해율(46/100) = 0.98kg/10a, 직접 로터리구는 고춧대 사용량(315kg/10a) × 고춧대 질소함량(0.68/100) × 고춧대 분해율(27.2/100) = 0.58kg/10a 이었다.

표 8. 고춧대 처리에 의한 질소 투입량

고춧대 처리방법	고춧대 시용량 (kg/10a)	고춧대 T-N (%)	T-N 투입량 (kg/10a)	고춧대 분해율 (%)	실 T-N 투입량 (kg/10a)
고춧대 파쇄 로터리	315	0.68	2.14	46.0	0.98
고춧대 직접 로터리	315	0.68	2.14	27.2	0.58

시험 처리구별 고춧대 처리후 토양 성분(C, N) 변화는 그림 1과 같다. 고춧대 처리구의 토양 중 T-N 함량은 표준시비인 대조구에 비해 정식 후 90일에서만 다소 높았을 뿐 큰 차이는 없었다. 그러나 토양 중 T-C 함량은 전 생육기간 동안 고춧대 처리구가 대조구에 비해 높은 수준이었다. 이는 고춧대에 함유된 탄소가 생물학적, 물리학적 등의 영향으로 토양에 용출돼 T-C 함량이 늘어난 것이라 생각된다. 고춧대 처리간의 T-C 함량은 고춧대 분해율이 높았던 파쇄 처리구에서 높은편 이었다. 토양의 C/N 비는 정식 후 30일에서는 대조구에서 낮았으나, 정식 후 60~90일에서는 고춧대 처리구에서 낮은 경향이었다.

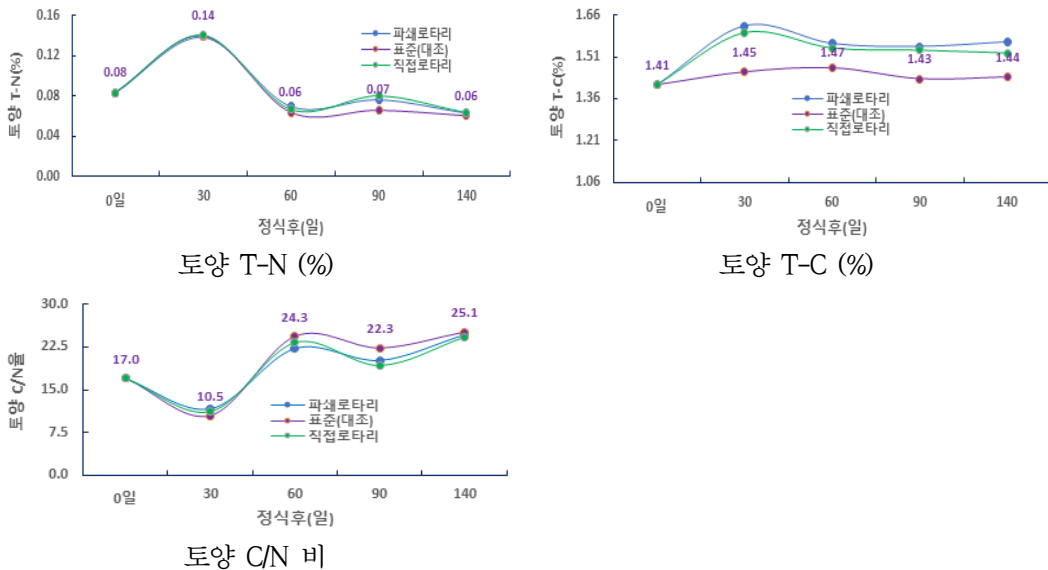


그림 1. 고춧대 처리후 토양 성분(C, N) 변화

고추 정식 후 30일에서 고춧대 처리구의 주경장, 경경 등 생육은 표준시비인 대조구에 비해 다소 부진하였다. 그 원인은 고춧대 처리로 토양이 팽창돼 대조구에 비해 토양의 다짐 현상이 상대적으로 적어 뿌리의 활착이 지연된 것으로 생각되며, 30일 이후의

생육은 처리간 큰 차이 없이 대등한 수준이었다(표 9). 그리고 토양 중의 C/N 비(그림 1)로 보아 고추 생육기간 중의 C/N 비는 모두 30이하여서 고춧대 처리에 의한 무기태 양분 공급의 과·부족 현상은 크지 않았으리라 생각된다.

표 9. 식물체 생육의 경시적 변화

처리내용	주경장(cm)			경경(mm)		
	정식후 30일	60일	90일	정식후 30일	60일	90일
표준시비(대조)	21.2	21.4	22.1	5.8	11.6	12.2
고춧대 파쇄 로터리	20.8	22.4	23.0	5.6	12.0	12.5
고춧대 직접 로터리	20.4	21.8	23.2	5.5	11.8	12.7

정식 후 140일에서 식물체의 건물중을 조사한 결과는 표 10과 같다. 건물중은 대조구 192.3kg/10a에 비해 파쇄로터리구는 205.3kg/10a으로 6.8%, 직접 로터리구는 208.5kg/10a으로 8.4% 각각 증가하였다. 경엽/뿌리 비는 대조구 19.9에 비해 고춧대 처리구는 18.7~18.9로 다소 낮은 경향이어서 고춧대를 처리하면 경엽/뿌리 비가 낮아져 강풍 등에 의한 재해가 감소 될 수 있다고 생각된다.

표 10. 식물체의 건물중

처리내용	건물중(kg/10a)			T/R
	지상부 (T)	지하부 (R)	계	
표준시비(대조)	183.2	9.4	192.3	19.9
고춧대 파쇄 로터리	194.9	10.1	205.3	18.9
고춧대 직접 로터리	197.9	10.7	208.5	18.7

전년도에 탄저병 병해충이 발생되었던 고춧대를 토양에 환원할 경우의 병해충 발생정도를 검토하기 위해, 탄저병과 담배나방을 각각 2회 조사한 결과는 각각 표 11, 표 12와 같다. 고춧대 처리구의 탄저병 발병과율은 대조구와 비슷하였으며, 담배나방도 같은 경향이였다. 전년도에 탄저병이 많이 발생 되었음에도 불구하고 금년에 발생빈도가 낮았던 것은, 기상 등의 원인도 있겠지만 금년만의 결과로는 탄저병 발병과에 의한 심한 감염 정도는 관찰할 수 없었다. 전년도의 고추 수확 후 발생한 고춧대를 경작지에 투입한 후 당해연도 고추의 병발생에 관한 조사자료이며, 연용에 따른 병발생에 관한 조사자료는 아니어서 향후 연용에 따른 병해충 발생 연구 수행도 필요하다고 생각한다.

표 11. 탄저병 발생

처리내용	1차 조사(8. 21)		2차 조사(9. 4)	
	발병과율 (%)	발병과지수 [↓] (0~9)	발병과율 (%)	발병과지수 (0~9)
표준시비(대조)	1.5	3	1.1	3
고춧대 파쇄 로터리	1.7	3	1.4	3
고춧대 직접 로터리	1.6	3	1.3	3

↓. 발병과지수: 0(없음), 1(1%이하), 3(1~10%), 5(10~20%), 7(20~50%), 9(50% 이상)

표 12. 담배나방 발생

처리내용	1차 조사(8. 21)		2차 조사(9. 4)	
	피해과율 (%)	피해과지수 [↓] (0~9)	피해과율 (%)	피해과지수 (0~9)
표준시비(대조)	1.6	3	2.6	3
고춧대 파쇄 로터리	1.8	3	2.8	3
고춧대 직접 로터리	1.7	3	2.8	3

↓. 피해과지수: 0(없음), 1(0.1~1%), 3(1~3%), 5(3~8%), 7(8~15%), 9(15% 이상)

고추 정식 후의 토양경도는 대조구에 비해 고춧대 처리로 감소하는 경향을 보였으며, 전 생육기간을 통하여 경운층 이하인 토심 25cm 지점에서는 작물 뿌리의 장해기준인 -2MPa(농과원, 2017) 이상을 모두 초과하였다(표 13). 정식 후 30~60일에서는 토심 5~20cm 까지의 경도는 모든 처리구에서 뿌리의 장해기준인 한계치(-2MPa) 이상을 초과하지 않았다. 그러나 정식 후 90일에서는 대조구는 15cm부터 한계치에 다달은 반면, 파쇄 로터리구는 20cm부터, 직접 로터리구는 25cm부터 한계치에 다달았다. 정식 후 140일에서는 대조구는 15cm부터, 파쇄 로터리구와 직접 로터리구는 모두 20cm부터 한계치에 다달았다. 즉, 고춧대를 처리하는 것이 경작지의 더 깊은 곳까지 경도를 낮추어 토양 작토층의 범위를 넓게 할 수 있고, 이로 인해 작물의 뿌리가 더 깊게 뻗어 나갈 수 있어서 작물의 생육뿐만 아니라 태풍 등 재해에도 견디는 힘이 클 것으로 판단되었다.

표 13. 처리 및 토심별 경도(-MPa)

처리내용	정식후 30일					정식후 60일				
	토심 5cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	토심 5cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
표준시비(대조)	0.38	0.58	0.75	1.36	2.91	0.24	0.95	1.16	1.61	3.02
고춧대 파쇄 로터리	0.34	0.52	0.66	1.35	2.82	0.23	0.76	0.88	1.59	3.00
고춧대 직접 로터리	0.32	0.47	0.68	1.34	2.81	0.23	0.72	0.85	1.59	2.97

처리내용	정식후 90일					정식후 140일(시험후)				
	토심 5cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	토심 5cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
표준시비(대조)	0.37	1.09	2.19	2.84	3.46	0.40	1.27	2.21	2.90	3.58
고춧대 파쇄 로터리	0.34	1.04	1.80	2.06	3.43	0.34	0.88	1.59	2.66	3.51
고춧대 직접 로터리	0.31	0.84	1.71	1.84	3.37	0.33	0.76	1.38	2.53	3.44

토심 0~10cm 지점에서 토양공기의 함량을 시기별로 조사한 결과는 표 14와 같이 고춧대 처리구의 공기함량은 대조구에 비해 많았으며, 고춧대 처리 방법별로는 파쇄 로터리구 보다는 직접 로터리구에서 약간 높았으나 현저한 차이는 없었다. 경도와 공기 함량과의 관계를 보면, 경도가 높아지면 공기함량은 적어지고 경도가 낮아지는 공기 함량이 많아지는 반비례하는 경향을 보였다.

표 14. 경시적 토양의 공기 변화(토심 0~10cm, %)

처리내용	정식후 30일	60일	90일	140일
표준시비(대조)	36.4	39.1	35.1	29.9
고춧대 파쇄 로터리	38.1	42.1	36.5	35.2
고춧대 직접 로터리	38.5	42.7	37.1	36.1

대조구의 용적밀도는 정식 후 30일에 1.05Mg/m³, 60일에 1.09Mg/m³, 90일에 1.14Mg/m³, 140일에 1.26Mg/m³으로 정식 후 일수가 경과될수록 높아졌으며, 고춧대 처리구의 경우도 같은 경향이였다(표 15). 고춧대 처리구별 용적밀도는 정식 후 30일에서는 고춧대 처리간에는 같았으나 60일 이후부터는 직접 로터리구에서 약간 더 낮아지는 경향이였다. 정식 후 60일에서 140일까지의 경도와 용적밀도와는 정비례하는 경향으로, 경도가 낮아지면 용적밀도는 작아지고, 경도가 높아지면 용적밀도가 커지는 경향이였다(표 13, 표 15). 밭토양에서 퇴비를 4년 연용하여 옥수수 재배시 용적밀도는 퇴비 무시용구에 비해 퇴비 시용구에서, 그리고 표토에서 낮아졌고, 사양토가 양토보다 더 감소하여 물리성이 개선되었다고 하였는데(농과원, 2012), 본 시험에서도 유기물로써 고춧대가 시용된 구에서 물리성이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

표 15. 경시적 토양의 용적밀도(Mg/m³) 변화

처리내용	토심 0~10cm			
	정식후 30일	60일	90일	140일
표준시비(대조)	1.05	1.09	1.14	1.26
고춧대 파쇄 로터리	1.02	1.06	1.10	1.14
고춧대 직접 로터리	1.02	1.05	1.09	1.13

정식 후 140일에서 토양의 입단비율은 입경이 클수록 높은 경향이였다. 대조구의 누적 입단비율은 17.6% 인데 반하여 고춧대 처리구는 20.8~21.8%로 다소 높은 수준 이였다(표 16). 그러나 고춧대 처리방법 간에는 큰 차이가 없었다. 이와 같은 결과는 시설재배지에 볏짚, 톱밥, 팽화왕겨 등 신선유기물을 사용하면 유기물 무시용에 비해 입단비율이 증가한다는 보고(경기도원, 2003)와도 같았다.

표 16. 처리별 입단비율(% , 정식후 140일)

처리내용	입경별 입단비율					누계
	> 2mm	1~ 2mm	0.5~ 1mm	0.25~ 0.5mm	0.1~ 0.25mm	
표준시비(대조)	9.7	5.1	1.6	0.7	0.5	17.6
고춧대 파쇄 로터리	11.4	5.9	2.2	1.5	0.8	21.8
고춧대 직접 로터리	13.1	4.3	1.8	1.0	0.6	20.8

정식 후 140일의 물리성과 근중과의 관계를 보면 그림 2와 같다. 경도와 근중, 용적밀도와 근중 간에는 각각 유의한 부의 상관관이 있었으며, 공기와 근중과는 유의한 정의 상관관이 있었다. 따라서 배수와 통기가 불량한 토양에서 작물의 뿌리 발달을 촉진시키기 위해서는, 고춧대를 토양에 처리하여 경도와 용적밀도를 낮추고 공기의 함량을 증가시키는 것도 필요하다고 생각된다.

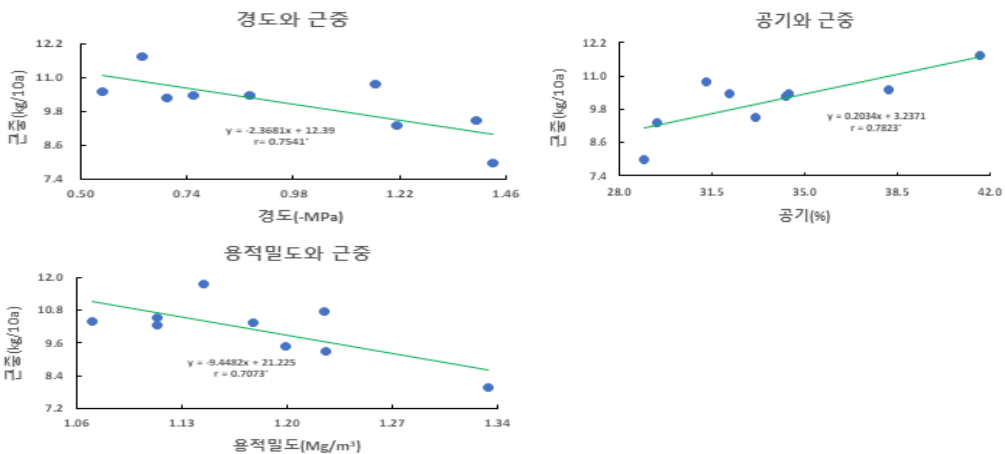


그림 2. 고춧대 처리후 근중과 토양 물리성의 관계

온실가스 N₂O 포집기의 외부 30cm 지점에 텐시오메타를 설치하여 토양수분포텐셜을 조사한 결과(그림 3), 고춧대 처리구(직접 로터리구)는 -3.7~-51.2kPa로 대조구의 -3.4~-45.0kPa에 비해 토양수분 함량이 낮은 경향이였다. 이는 토양에 사용된 고춧대

에 의해 토양내 공기 함량(표 14)이 증가되어 모세관현상에 의해 수분의 상승이 제어된 것으로 생각된다.

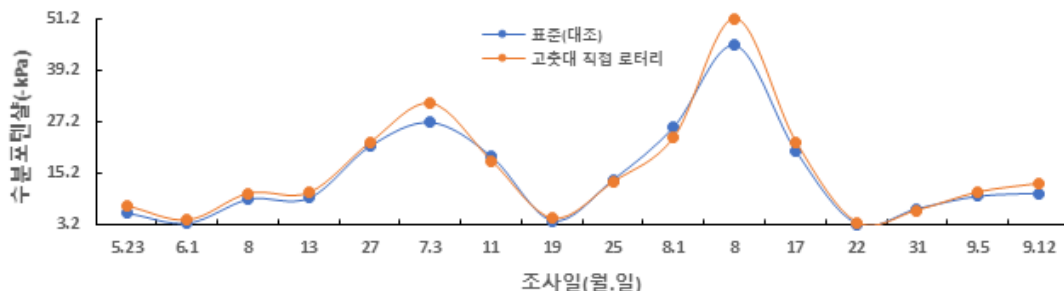


그림 3. 온실가스 포집기내의 경시적 토양수분 변화

온실가스인 N₂O를 5월 9일부터 9월 12일까지 1회/주 총 16회 분석한 결과(그림 4), 대조구 111.2g/ha/dy에 비해 고춧대 처리구(직접 로터리구)는 98.6g/ha/dy으로 12.6g/ha/dy 줄어들어 11.3% 감소하였다. 월별 N₂O의 배출량은 대조구는 5월 138.4, 6월 124.5, 7월 146.6, 8월 64.6, 9월 47.0g/ha/dy이 배출되고, 고춧대 처리구는 5월 84.0, 6월 78.6, 7월 203.2, 8월 52.9, 9월 32.9g/ha/dy이 배출되었다. 강우가 많았던 7월에 가장 많이 배출되고 강수량이 적었던 9월에 배출량이 제일 낮은 경향으로, N₂O의 발생량은 토양의 수분과 관계가 있다고 생각된다.

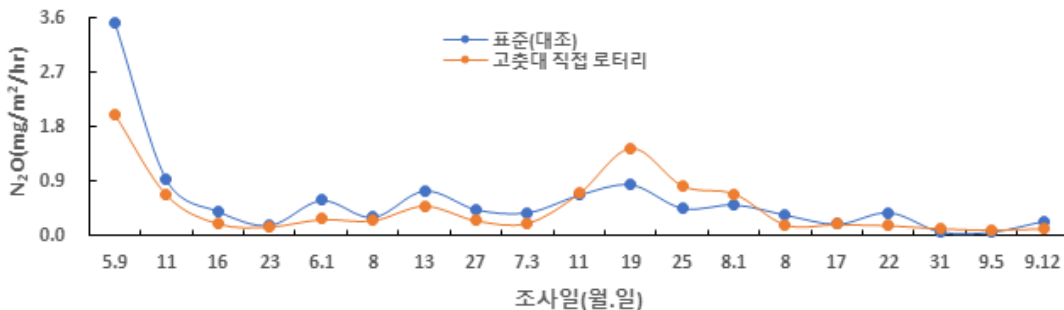


그림 4. N₂O의 경시적 배출량 변화

고추 정식 후 30일, 60일, 90일에서 N₂O 분석시 마다 토양의 공극을 조사하여 수분이 차지하는 비율인 WFPS(Water Filled Pore Space), 공기가 차지하는 비율인 AFPS(Air Filled Pore Space)을 구하여, N₂O와의 관계를 나타낸 것은 그림 5, 그림 6과 같다. 즉, N₂O의 발생량은 WFPS의 증가와 함께 많아지고, AFPS가 증가 함에 따라 감소하였다. 따라서 경작지에 적절한 물관리를 통해 토양의 수분과 공기의 함량을

적절히 조절하면 N₂O을 손쉽게 감소시킬 수 있다고 생각한다.

Arone 등(1998)과 Taggart 등(1997)은 N₂O 배출량과 토양 수분함량과는 정의상관 관계가 있다고 하였다. Frolking 등(1998)과 Parton 등(1996)은 토양수분을 조절하면 N₂O 배출을 줄일 수 있다고 하였으며, Lemke 등(1998)과 Wagner-Riddle 등(1997)은 토양수분 함량과 N₂O 배출량과의 관계에서 토양 공극율에 대한 용적수분 함량 비율(WFPS, Water Filled Pore Space)이 70~90%에서 탈질이 가장 많이 일어나며, WFPS 90% 이상에서는 N₂O 배출량이 급격히 감소한다고 하였다. Sozanska 등(2002)은 토양 수분에서 액상과 기상부분을 고려한 WFPS(Water Filled Pore Space)가 80~85%에서 N₂O 배출이 최대가 된다고 하였고, 조(경기도원, 2013)는 사양토에서 N₂O의 최대 배출되는 WFPS는 59.3% 라고 하였다.

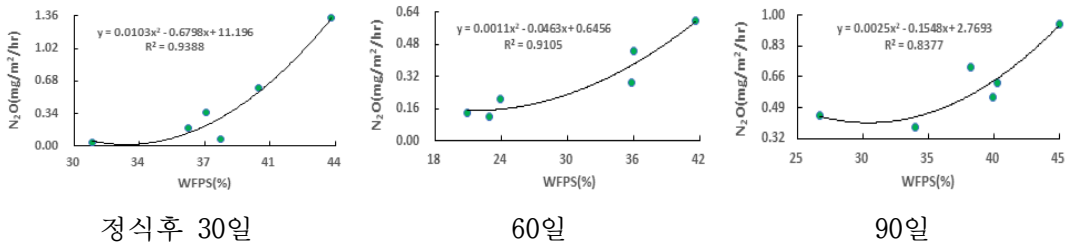


그림 5. N₂O 배출량과 WFPS와의 관계

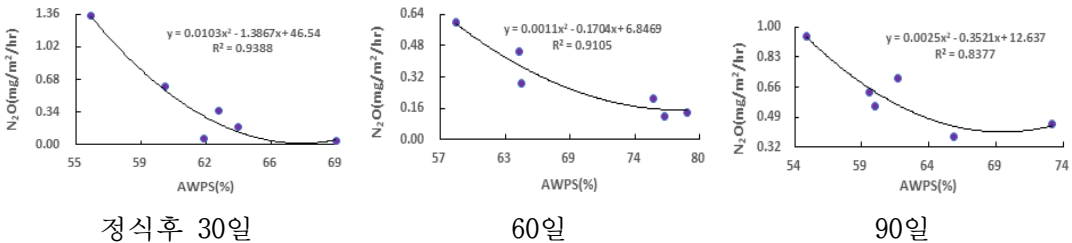


그림 6. N₂O 배출량과 AFPS와의 관계

정식 후 140일에서 고추 식물체 부위별로 건물중과 탄소 함량을 조사하여 탄소 흡수량을 조사한 결과, <홍고추> <경엽> <청고추> <뿌리> 순으로 탄소의 흡수량이 많았다. 총 탄소 흡수량은 대조구 257.9kg/10a에 비해 고춧대 처리구(직접 로터리구)는 283.1kg/10a으로 25.2kg/10a 더 많았다(표 17).

표 17. 고추 식물체 부위별 탄소 흡수량

처리내용	경엽 (kg/10a)	뿌리 (kg/10a)	홍고추 (kg/10a)	청고추 (kg/10a)	계 (kg/10a)
표준시비(대조 A)	69.1	3.4	128.9	56.5	257.9
고춧대 직접 로터리(B)	77.2	4.0	134.0	67.9	283.1
순 탄소흡수량(B-A)	8.1	0.6	5.1	11.4	25.2

정식 후 140일에서 고추 재배 전에 사용된 고춧대의 분해율은 파쇄 로터리구는 46.0%, 직접 로터리구는 27.2%로, 파쇄하여 로터리한 구에서 분해율이 더 높았다. 논에서 벼짚의 분해율이 38.4%라는 보고(농과원, 2012)와 비교하면, 파쇄 로터리구의 고춧대 분해율은 높은 편이나 직접 로터리구는 낮은 경향이였다. 고추 재배 후 토양에 남은 고춧대의 탄소 함량을 분석한 결과 토양에 저장된 탄소 함유량은 파쇄 로터리구는 55.1kg/10a이고, 직접 로터리구는 82.1kg/10a으로 27.0kg/10a 더 많았다(표 18).

표 18. 토양중 탄소 저장량

처리내용	고춧대 분해율 (%)	재배후 남은 고춧대 C함량(%)	토양탄소 저장량 (kg/10a)
고춧대 파쇄 로터리	46.0	31.6	55.1
고춧대 직접 로터리	27.2	36.0	82.1

토양에서 126일간 배출된 N₂O 양을 N₂O GWP(Global Warming Potential) 310를 곱하여 CO₂eq.로 환산한 결과, 대조구 434.2kg CO₂eq./10a에 비해 직접 로터리구는 385.1kg CO₂eq./10a으로 49.1kg CO₂eq./10a의 탄소가 토양에서 적게 배출되었다(표 19).

표 19. 토양의 탄소 배출량

처리내용	N ₂ O배출량 (kg/10a/126일)	GWP ¹ (kg CO ₂ eq./10a/126일)
표준시비(대조 A)	1.401	434.2
고춧대 직접 로터리(B)	1.242	385.1
순 탄소배출량(B-A)	-0.159	-49.1

1. GWP: 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP), 이산화탄소가 지구 온난화에 미치는 영향을 기준으로 다른 온실가스가 지구온난화에 기여하는 정도를 나타낸 지수. 온실가스는 종류별 상호 비교를 위해 GWP를 사용해 이산화탄소 환산량(CO₂eq)으로 온실가스 배출량을 산정 함.

건고추의 수량은 대조구 306.6kg/10a에 비해 파쇄 로터리구는 322.7kg/10a으로 5%, 직접 로터리구는 317.9kg/10a으로 4% 증가하였다(표 20).

표 20. 건고추 수량

처리내용	건고추 수량 (kg/10a)	수량지수
표준시비(대조)	306.6	100
고춧대 파쇄 로터리	322.7	105
고춧대 직접 로터리	317.9	104

시군에서 시범사업으로 하고 있는 고춧대 파쇄 로터리와 농가에서 최근 선호하고 있는 고춧대 직접 로터리 처리 후 고추 재배 후의 경제성을 분석한 결과는 표 21과 같다. 대조구에 비해 파쇄 로터리구는 10a당 277,397원, 직접 로터리구는 319,317원의 소득이 발생하여 고추대 처리로 토양환경이 개선되고 수량이 증수되는 등 경제적 이익 효과가 있었으며, 고춧대의 경작지로의 환원방법에 있어서는 파쇄 로터리에 비해 직접 로터리가 더 경제적 효과가 좋았다.

표 21. 경제성 분석 (10a 기준)

구 분	이익적 요소 (A)	손실적 요소 (B)
고춧대 파쇄 로터리	○ 수량 증가: 371,952원 - 금액: 16kg × 23,247원/kg = 371,952원	○ 동력파쇄기 임차료: 30,955원(일) ○ 고춧대 파쇄작업 등: 127,200원
	○ 고춧대 수거(C): 63,600원 - 남자: 2명 × 120분 × 265원/분 = 63,600원	- 남자: 4명 × 120분 × 265원/분 = 127,200원
	계 [A - B] = 277,397원	
	고춧대 직접 로터리	○ 수량 증가: 255,717원 - 금액: 11kg × 23,247원/kg = 255,717원
○ 고춧대 수거(C): 63,600원 - 남자: 2명 × 120분 × 265원/분 = 63,600원		
계 [A - B] = 319,317원		
※ 참고자료: 2022 농업과학기술개발 경제성분석 기준 자료집 - 고추가격: 연평균가격(697,419/30kg) 적용 - 동력파쇄기 임차료: 30,955원/일 적용 - 농업노임: 남(127,215원/일), 여(93,826원/일)		

2) 포트재배 시험

파쇄한 고춧대를 1.0배 기준(315kg/10a)으로 0.5배, 1.5배를 무저 포트에 처리하여 고추의 생육을 조사한 결과는 표 22와 같다. 정식 후 30일에서 고춧대 처리구의 주경장, 경경 등 생육은 표준시비인 대조구에 비해 다소 적었으나, 이후부터는 처리간에 큰 차이 없이 대등한 수준으로, 이는 포장시험과 같은 양상이었다. 이 결과는 고춧대를 토양에 환원하고자 할 때 농가별 재식밀도가 달라 포장에 환원되는 고춧대의 양이 달라져도 고추의 생육에는 큰 차이가 없다는 것을 알수 있었다.

표 22. 고추 식물체의 생육

처리내용	주경장(cm)			경경(mm)		
	정식후 30일	60일	90일	정식후 30일	60일	90일
표준시비(대조)	23.0	23.8	24.1	6.4	10.4	11.2
고춧대 0.5배	22.7	24.0	24.4	6.3	10.9	11.5
고춧대 1.0배	22.4	24.2	24.7	6.2	11.1	11.8
고춧대 1.5배	22.1	24.6	25.1	6.0	11.4	12.2

※ 고춧대 1.0배: 315kg/10a(노지 1열재배 1.0m*0.4m 재배시 발생하는 고춧대량)

정식 후 140일에서 고추대 처리구의 경도는 대조구에 비해 낮아지고, 공기는 많아졌으며, 용적밀도는 적어졌다. 그리고 고춧대의 시용량이 많아질수록 그 효과는 더 커지는 경향이었다(표 23).

표 23. 시험후 토양 물리성(정식후 140일)

처리내용	토양경도 (-MPa)					토양공기 (%)	용적밀도 (Mg/m ³)
	토심 5cm	10	15	20	25		
표준시비(대조)	0.86	1.28	1.55	1.80	2.23	29.8	1.40
고춧대 0.5배	0.76	1.16	1.38	1.68	2.23	33.9	1.33
고춧대 1.0배	0.75	1.12	1.27	1.53	2.22	38.7	1.25
고춧대 1.5배	0.73	1.03	1.20	1.43	2.21	41.0	1.20

식물체의 건물중은 대조구 251.9g/5주에 비해 고춧대 처리구는 262.0~263.4g/5주로 10.1~11.5g 많았다. 건고추의 수량은 식물체의 건물중과 같은 경향이었으며 3~5% 증가하였으나 현저한 차이는 없었다. 따라서 건물중과 수량으로 보아, 고추 재배 후의 고춧대는 10a당 최대 472.5kg 시용해도 큰 문제가 없으리라 판단된다(표 24).

표 24. 식물체 건물중 및 건고추 수량

처리내용	식물체 건물중 (g/5주)	건고추 수량 (g/5주)	건고추 수량지수
표준시비(대조)	251.9	380.4	100
고춧대 0.5배	262.0	393.3	103
고춧대 1.0배	263.4	399.4	105
고춧대 1.5배	259.6	394.8	104

4. 적 요

<시험 1> 원에 부산물의 영농현장 처리실태 조사(' 22)

- 가. 원에 부산물의 영농현장 처리실태조사는 도심지의 공영텃밭 16개소, 민간텃밭 20개소, 고추 20농가, 가지 20농가, 과수 사과+배 20농가, 포도 15농가를 조사하였다.
- 나. 공영텃밭과 민간텃밭 모두에서 영농 부산물 처리가 가장 처리가 어려운 작물은 고추로 조사되었으며, 현재 처리방법은 수거후 퇴비화가 가장 많았으며, 해결되어야 할 문제점은 수거 후 퇴비화에 대한 개선이었다.
- 다. 고추 재배농가에서 현재 부산물 처리방법은 소각의 비율이 가장 높았으며, 해결되어야 할 문제점은 소각을 할 수 있도록 개선이 가장 많았다. 가지 재배농가에서 현재 부산물 처리방법은 소각과 직접 토양환원이 동일한 비율로 높았으며, 해결되어야 할 문제점은 고추 재배농가와 같았다.
- 라. 사과와 배 재배농가에서 현재 부산물 처리방법은 직접 토양환원이 가장 많았으며, 해결되어야 할 문제점은 직접 토양환원 방법에 대한 개선이었다. 포도 재배농가에서도 사과와 배 농가와 같았다.

<시험 2> 원에 부산물 소각대체 토양 환원 기술 개발(' 23)

- 가. 고춧대 처리구의 토양 C/N비는 대조구에 비해 생육초기에는 높았으나, 중기 이후부터는 낮았다.
- 나. 식물체의 생육은 고추 정식 후 30일에서 고춧대 처리구의 주경장, 경경 등 생육은 표준시비인 대조구에 비해 다소 적었으나 30일 이후의 생육은 처리간 큰 차이 없었다. 정식 후 140일에서 식물체의 건물중은 대조구 192.3kg/10a에 비해 고춧대 처리구는 6.8~8.4% 증가하였으며, 경엽/뿌리 비는 대조구 19.9에 비해 고춧대 처리구는 18.7~18.9로 다소 낮았다.
- 다. 고춧대 처리구의 탄저병 발병과율과 담배나방 피해과율은 대조구와 비슷하였다.
- 라. 토양의 물리적 특성에서 고춧대 처리구의 토양경도와 용적밀도는 대조구에 비해 낮아지고, 토양공기와 입단비율은 높아졌다. 정식후 140일의 토양경도와 근중, 용적밀도와 근중 간에는 각각 유의한 부의상관이, 토양공기와 근중과는 유의한 정의상관이 있었다. 토양수분 포텐셜은 대조구(-3.4~-45.0 kPa)에 비해 고춧대 처리구(-

3.7~51.2 kPa)에서 낮은 경향이었다.

- 마. N₂O의 발생량은 WFPS의 증가와 함께 많아지고, AFPS가 증가 함에 따라 감소하였다. 대조구에 비해 고춧대 처리구에서 WFPS는 감소하고, AFPS는 증가하는 경향으로, 고춧대 처리에 의해 토양수분은 감소하고 상대적으로 토양공기는 증가하였다.
- 바. 고추 식물체의 탄소 흡수량은 대조구 257.9kg/10a에 비해 고춧대 처리구는 283.1kg/10a으로 25.2kg/10a 더 많았다. 정식후 140일의 토양에서 고춧대 분해율은 파쇄 로터리구 46.0%, 직접 로터리구 27.2%이었으며, 토양에 저장된 탄소 함유량은 파쇄 로터리구는 55.1kg/10a, 직접 로터리구는 82.1kg/10a이었다..
- 사. 온실가스 N₂O의 배출량은 대조구 111.2g/ha/dy에 비해 고춧대 처리구는 98.6g/ha/dy으로 11.3% 감소하였다.
- 아. 건고추 수량은 대조구 306.6kg/10a에 비해 고춧대 처리구는 4~5% 증가하는 경향이었으나 처리간 큰 차이는 없었으며, 경제성 분석결과 대조구에 비해 파쇄 로터리구는 277,397원/10a, 직접 로터리구는 319,317원/10a의 소득이 있었다.
- 자. 포트재배 시험에서 고추 식물체의 생육은 정식 후 30일에서 고춧대 처리구의 주경장, 경경 등 생육은 대조구에 비해 다소 적었으나, 30일 이후부터는 처리간 큰 차이가 없었다.
- 차. 시험 후 토양의 물리성은 대조구에 비해 고춧대 처리구의 토양경도는 낮아지고, 공기는 많아졌으며, 용적밀도는 적어졌다. 또한 고춧대의 사용량이 많아질수록 그 효과는 더 커지는 경향이었다.
- 카. 5주 당 식물체의 건물중은 대조구 251.9g에 비해 고춧대 처리구는 7.7~11.5g 많았으며, 건고추의 수량은 대조구 380.4g에 비해 고춧대 처리구는 3~5% 증가하였다. 따라서 건물중과 수량으로 보아, 고추 재배 후의 고춧대는 10a당 최대 472.5kg 사용해도 큰 문제가 없으리라 판단된다.

5. 인용문헌

- Arone, J.A., and P.J. Bohlen. 1998. Stimulated N₂O flux from intact grassland monoliths after two growing seasons under elevated atmospheric CO₂. *Oecologia*. 116:331-335.
- Firestone, M.K. and E.A. Davidson. 1989. Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: Andreae, M.O., Schimel, D.S. (Eds.), *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere*. Wiley, New York.
- Frolking, S.E., A.R. Mosier, and D.S. Ojima. 1998. Comparison of N₂O emissions from soils at three temperate agricultural sites: simulations of year-round measurements by four models. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 52:77-105.
- Hellebrand, H.J., V. Scholz, and J. Kem. 2008. Fertilizer induced nitrous oxide emissions during energy crop cultivation on loamy sand soils. *Atmospheric Environment*. 42:8403- 8411.

- IPCC. 1996. Revised IPCC guideline for national greenhouse gas inventories: Reference Manual, revised in 1996. IPCC.
- Iserman, K. 1944. Agriculture's share in the emissions of trace gases affecting the climate and some cause oriented proposals for reducing this share. Environ. Pollut. 83:95-111.
- Lemke, R.L., R.C. Izaurralde, S.S. Malhi, M.A. Arshad, and M. Nyborg. 1998. Nitrous oxide emissions from agricultural soils of the Boreal and Parkland regions of Alberta. Soil Sci. Soc. Am. J. 62:1096-1102.
- Parton, W. J., A.R. Mosier, D.S. Ojima, D.W. Valentine, D.S. Schimel, K. Weier, and A.E. Kulmala. 1996. Generalized model for N₂ and N₂O production from nitrification and denitrification. Global Biochem. Cycles. 10:401-412.
- Sozanska, M., U. Skiba, and S. Metcalfe. 2002. Developing an inventory of N₂O emissions from British Soils. Atmos. Environ. 36:987-998
- Taggart, M.I.P., H. Clayton, J. Parker, L. Swan, and K.A. Smith. 1997. Nitrous oxide emissions from grassland and springbarley, following N fertiliser application with and without nitrification inhibitors. Biol. Fertil. Soils. 25:261-268.
- Wagner-Riddle, C., G.W. Thurtell, G.E. Kidd, E.G. Beauchamp, and R. Sweetman. 1997. Estimates of nitrous oxide emissions from agricultural fields over 28 months. Can. J. Soil Sci. 77:135-144.
- Zhang, H.H., P.J. He, L.M. Shao, and L. Yuan. 2008. Minimisation of N₂O emissions from a plant-soil system under landfill leachate irrigation. J. Waste Management. 6:1.
- 경기도농업기술원. 2003. 2002년도 시험연구보고서.
- 경기도농업기술원. 2013. 2012년도 시험연구보고서.
- 국립농업과학기술원. 2012. 가축분뇨 퇴·액비 품질관리와 활용.
- 국립농업과학기술원. 2016. 커피박을 이용한 퇴비제조 및 활용 매뉴얼.
- 국립농업과학기술원. 2017. 토양물리성 조사방법 및 분석법.
- 국립농업과학기술원. 2022. 5차 개정본 작물별 비료사용 처방.
- 기상청. 2023. 기상자료
- 농림축산식품부. 2022. 비료관리법.
- 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법.
- 농촌진흥청. 2012. 농업과학기술 연구조사분석기준.
- 농촌진흥청. 2023. 비료 공정규격 설정.
- 산림청. 2022. 산림보호법.
- 충청북도농업기술원 시험연구보고서. 2004. 고추대를 이용한 느타리버섯 배지 개발 pp291-297
- 환경부. 2022. 폐기물관리법
- 환경부. 2023. 온실가스종합정보센터. 2022 국가온실가스 인벤토리보고서.

6. 연구결과 활용제목

- 고춧대 처리에 의한 근권환경 개선 효과방법(' 23 영농활용)
- 고춧대 처리에 의한 병해충 발생 실태(' 23 영농활용)
- 고춧대 환원시 탄소 저감 효과(' 23 영농활용)
- 고춧대 시용량별 생육 반응(포트재배) (' 23 영농활용)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
						22	23
원예 부산물의 소각 대체 환원 기술 개발	책임자	원예연구과	농업연구사	김대균	세부과제 총괄	○	○
	공동연구자	원예연구과	농업연구관	이진구	자료검토	○	○
	〃	〃	농업연구사	최란선	문헌조사	○	○
	〃	〃	〃	황지은	생육조사	○	○
	〃	〃	농업연구관	이수연	결과검토	○	○