

## 중부지역 평야지 논 이용 밭작물 2년 3모작 작부모형 개발

심강보<sup>1§</sup> · 조현민<sup>2§</sup> · 신명나<sup>3</sup> · 한아름<sup>3</sup> · 채미진<sup>3</sup> · 김정주<sup>3</sup> · 이석기<sup>1</sup> · 전원태<sup>1,†</sup>

### Development of Cropping System Involving a Two-Year Rotation of Three Upland Crops using Paddy Soil in the Middle Plain Area

Kang-Bo Shim<sup>1§</sup>, Hyun-Min Cho<sup>2§</sup>, Myeon-Na Shin<sup>3</sup>, Areum Han<sup>3</sup>, Mi-Jin Chae<sup>3</sup>, Jeong-Ju Kim<sup>3</sup>, Seuk-Ki Lee<sup>1</sup>, and Weon-Tai Jeon<sup>1,†</sup>

**ABSTRACT** This study aimed to develop a cropping system to use limited crop-land with optimum efficiency, while considering management from farmers. To establish the cropping system involving a two-year rotation of three crops, three types of cropping system were evaluated in Suwon (Seogcheon series) and Anseong (Geumcheon series) in the middle plain area using six crops from 2018 to 2019: maize-perilla-onion, potato-sesame-garlic, and maize-sesame-onion. The crop productivity and income of the cropping systems involving food-, oilseed-, and horticultural crops were analyzed, and the optimal cropping system was reviewed. The total yield of each crop was as follows: maize 1,281 kg, potato 4,837 kg, perilla 125 kg, sesame 120 kg, onion 6,503 kg, and garlic 1,027 kg per 10a. However, in terms of gross profit, the potato was more than 3.8 times more profitable than corn, sesame was 1.8 times more profitable than perilla, and garlic was more than 2.8 times more profitable than onions. As a result, in terms of net income, the potato-sesame-garlic cropping system produced the highest income per unit area. Sesame seedlings were planted after the potato harvest, thereby solving the problem of competition between the first and last crops. Overall, this study confirmed that the potato-sesame-garlic cropping system, a two-year rotation of three crops, contributed to the improvement of upland crop productivity and farmers' income and was an overall effective cropping system.

**Keywords** : cropping system, paddy soil, rotation, upland crops

우리나라의 경지이용률과 식량자급률은 지속적으로 감소하고 있다(KOSIS, 2019; MAFRA, 2019). 쌀 생산량 대비 1인당 쌀 소비량은 지속적인 감소 추세이며, 이로 인한 쌀 재고량 증가에 따른 정부의 재고 관리비 및 변동직불금 상승으로 정부 재정 부담이 가중되는 상황이다. 이에 정부는 '논 타작물 재배 지원사업'을 실시하는 등 쌀 과잉 문제를 해소하고자 하였다(MAFRA, 2017; Cho *et al.*, 2022). 논을 이용한 벼 대체 작물로 사료작물 등을 포함한 다양한 작목의 재

배가 검토되었으나, 논 배수 불량에 따른 습해 발생이 가장 큰 원인으로 수량 안정성이 크게 떨어져 재배 적합성을 만족하지 못하고 있는 실정이다(Kim *et al.*, 2006; Kim & Lee, 1994; Lee *et al.*, 1994; Cho *et al.*, 2022; NICS, 2020).

작부체계(cropping system)는 일정한 농경지에서 여러 작물을 바꾸어 재배하는 작물의 종류별 재배순서나, 일정기간 동안 여러 작물을 동일 농경지에서 조합 및 배열하여 함께 재배하는 것을 의미한다(NICS, 2020). 일정한 공간과

§This author contributed equally to this work

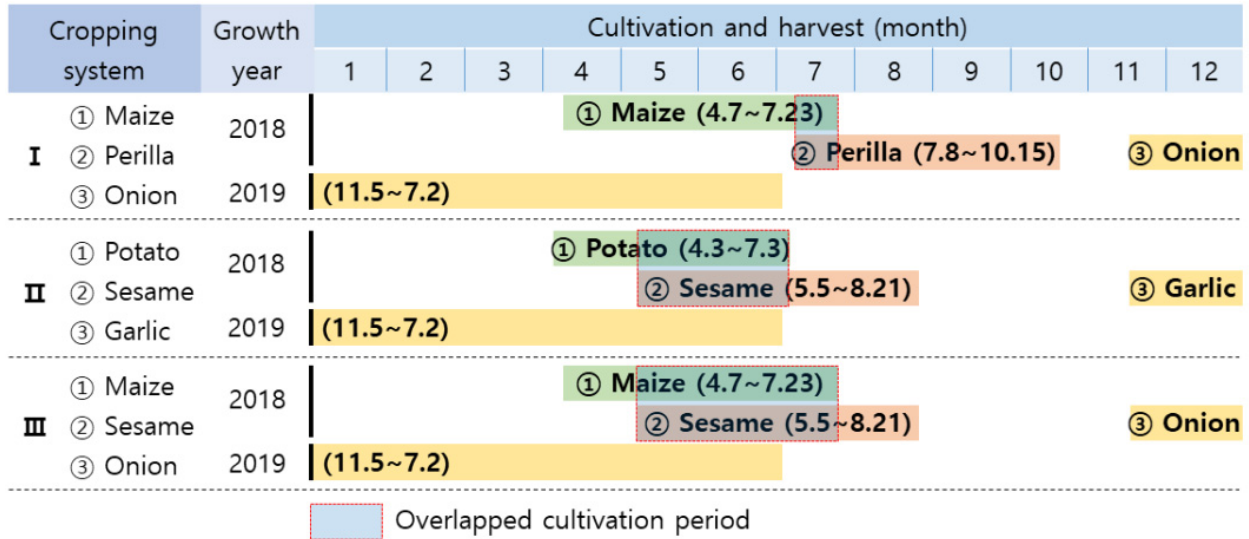
<sup>1</sup>국립식량과학원 중부작물부 재배환경과 농업연구관 (Senior Scientist, Department of Central Area Crop Science, NICS, RDA, Suwon 16429, Republic of Korea)

<sup>2</sup>국립식량과학원 중부작물부 재배환경과 전문연구원 (Post-doc, Department of Central Area Crop Science, NICS, RDA, Suwon 16429, Republic of Korea)

<sup>3</sup>국립식량과학원 중부작물부 재배환경과 농업연구사 (Researcher, Department of Central Area Crop Science, NICS, RDA, Suwon 16429, Republic of Korea)

†Corresponding author: Weon-Tai Jeon; (Phone) +82-31-695-0637; (E-mail) Jeon0tai@korea.kr

<Received 17 October, 2022; Revised 11 November, 2022; Accepted 11 November, 2022>



**Fig. 1.** Cultivation scheme for two-year rotations of three crops as cropping systems in the years 2018-2019. The Roman numerals I, II, and III represent three types of cropping system. The first and second crops were cultivated in 2018 and the third crops were grown from 2018 to 2019.

시간 속에 특정 작물을 선택하고 재배하는 시간 순서 및 공간 배치로 재정의할 수 있다. 또한 작부체계는 제한된 토지를 시공간적으로 최대한 효율적으로 이용하여 경지이용률 및 곡물자급률 제고 측면뿐만 아니라 농가 수익성과 노동력 효율적 배분 등 경영적인 측면에서도 중요하다(NICS, 2020). 우리나라의 경지이용률, 곡물자급률 제고 등을 위하여 논 이용 작부체계에 관한 연구는 주로 미맥 2모작 등 1년 2모작 중심이었다(Shim *et al.*, 2015; Shim *et al.*, 2017; Choi *et al.*, 2017; Yu *et al.*, 2019; Um *et al.*, 2020). 논 이용 작부체계에 있어서 경지이용률 및 곡물자급률 등 식량안보 측면의 제고가 필요하며, 논을 기능을 유지하면서 자급률이 낮은 밭작물의 생산성을 높이기 위한 작부체계 기술개발이 필요하다. 특히, 중북부(경기, 강원, 충북) 지역은 남부지역에 비하여 기온이 낮고 무상기간이 짧아 작부체계에 불리한 환경조건이어서 경지이용률이 남부(영호남) 지역 109.7%에 비하여 90.3%로 낮다(KOSIS, 2019). 이러한 기상적 특성을 고려한 1년 2모작에서 벗어난 새로운 형태의 중부 평야지의 작부모형 개발이 요구된다. 또한, 밭작물 농작업의 기계화율이 60.2%로 벼농사 농작업의 기계화율 98.4%에 비해 낮은(NICS, 2020) 점과 작부체계의 경제적 측면에서 접근한 연구(Yu *et al.*, 2019)도 부족한 상황이다. 이러한 점을 개선하기 위하여 식량작물인 밭작물과 연계된 마늘, 양파 등 소득작물의 논 이용 작부체계의 적극적 도입 검토가 요청되는 실정이다.

그러나 단작에 비하여 다모작, 다기작 등의 작부체계는

수확과 파종의 연속 작업으로 시간적 여유가 없어 적기 파종과 수확이 원활하지 못한 실정이다. 이러한 점을 개선하면서도 효율적이고 경제적 생산성 확보가 용이한 합리적인 작부체계 기술 개발을 위한 2년 3모작의 작부모형 설정 연구가 필요하다.

따라서 본시험은 중부 평야지 논 토양에서 밭작물의 2년 3모작 작부체계를 확립함으로써 경지이용률 및 식량자급률 향상을 위한 밭작물 간 합리적 작부 순서, 생산성 향상 재배기술을 개발하고, 식량작물(유지작물)과 소득작물을 연계함으로써 농가소득 향상의 기초자료로 활용하고자 본시험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 재배법 및 작부체계

본 연구는 2018년부터 2019년까지 옥수수-들깨-양파(작부모형 I), 감자-참깨-마늘(작부모형 II), 옥수수-참깨-양파(작부모형 III) 세 가지 유형의 2년 3모작 작부체계를 설정하여 작물을 재배하였다(Fig. 1). 2018년도에 1모작 작물인 옥수수(일미찰)는 4월 7일에 파종하여 7월 23일에 수확하였고, 감자(수미)는 4월 3일에 파종하여 7월 3일에 수확하였다. 2모작 작물인 들깨(다유)는 6월 7일에 파종 및 육묘 후 7월 8일 포장에 이식하여 10월 15일에 수확하였고, 참깨(양백)는 5월 5일에 파종하여 8월 21일에 수확하였다. 3모작 작물인 양파(아스날)는 9월 5일 육묘하여 마늘(한산)

Cropping system	Growth year	Cultivation and harvest (month)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
II	① Potato	① Potato (4.3~7.3)											
	② Sesame	② Sesame (7.19~9.20)											
	③ Garlic	③ Garlic (11.5~7.2)											
III	① Maize	① Maize (4.3~7.16)											
	② Sesame	② Sesame (7.19~9.20)											
	③ Onion	③ Onion (11.5~7.2)											

Fig. 2. Cultivation scheme for two-year rotations of three crops as cropping systems in the year 2019. The Roman numerals II and III represent different types of cropping system. The first and second crops were cultivated in 2019 and the third crops were grown from 2019 to 2020.

파종일과 맞추어 11월 5일 포장에 이식하였고 이듬해 7월 2일에 수확하였다. 작부체계에 따른 1모작 작물과 2모작 작물의 재배기간이 겹치는 문제를 해소하기 위해 2019년에는 옥수수의 파종을 4월 3일에 하여 7월 16일에 수확하였고, 참깨를 6월 28일에 파종 및 육묘하여 7월 19일에 포장에 이식 후 9월 20일에 수확하였다(Fig. 2). 난괴법 3반복으로 시험구를 배치하였으며, 작물별 일반 재배관리는 농촌진흥청 농업기술길잡이(RDA, 2021)에 준하여 실시하였다.

### 시험 장소 및 토양 분석

경기도 수원(석천통, 미사질양토)과 안성(금천통, 사양토)에서 작부체계별로 시험 수행 전인 1모작 식량작물을 파종하기 전과 2모작 유지작물 수확 종료 후인 3모작 원예작물을 파종하기 전에 각각 15 cm 깊이에서 토양을 채취하였다. 채취된 토양의 화학성은 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2012)에 준하여 분석하였다. 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 pH meter로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법으로, 유효인산은 Lancaster법 그리고 치환성양이온은 1N ammonium acetate로 침출한 후 ICP(GBC, IntegraXL)를 이용하여 분석하였다.

### 작물생육 조사 및 기상자료 수집

옥수수의 착수고율은 지면에서 맨 위 이삭이 달린 마디까지의 길이를 초장으로 나누어 백분율로 환산한 값이며, 감자의 상품성은 상서율로 총 수량 중 81 g 이상의 무게를 갖는 건전한 괴경을 백분율로 환산한 값이다. 들깨와 참깨의 주당 분지수는 1개 식물체에 꼬투리가 달려있는 총 분지수로 계산하였고, 참깨의 주당 삭수는 1개 식물체에 달려있는 총 꼬투리 수이다. 양파와 마늘의 구중 구분은 양파의 경우 구중의 무게가 300 g 이상은 대, 300 g 미만~200 g

초과는 중, 200 g 이하는 소로 구분하였고, 마늘의 경우 구중의 지름이 4 cm 이상은 대, 4 cm 미만~2 cm 초과는 중, 2 cm 이하는 소로 구분하였다. 그 외 초장, 분지수, 천립중 등을 포함한 작물 생육 및 수량성에 관한 기본조사요령은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 준하여 실시하였다.

기상자료는 기상청 기상자료개방포털에서 2018년과 2019년의 수원지역(위도: 37.25745, 경도: 126.983)과 안성지역(위도: 37.00371, 경도: 127.25017) 자료를 수집하였고, 평년 기상 자료는 2013년부터 5년간의 기상자료로 평균값을 산출하여 이용하였다.

### 경제성 및 통계 분석

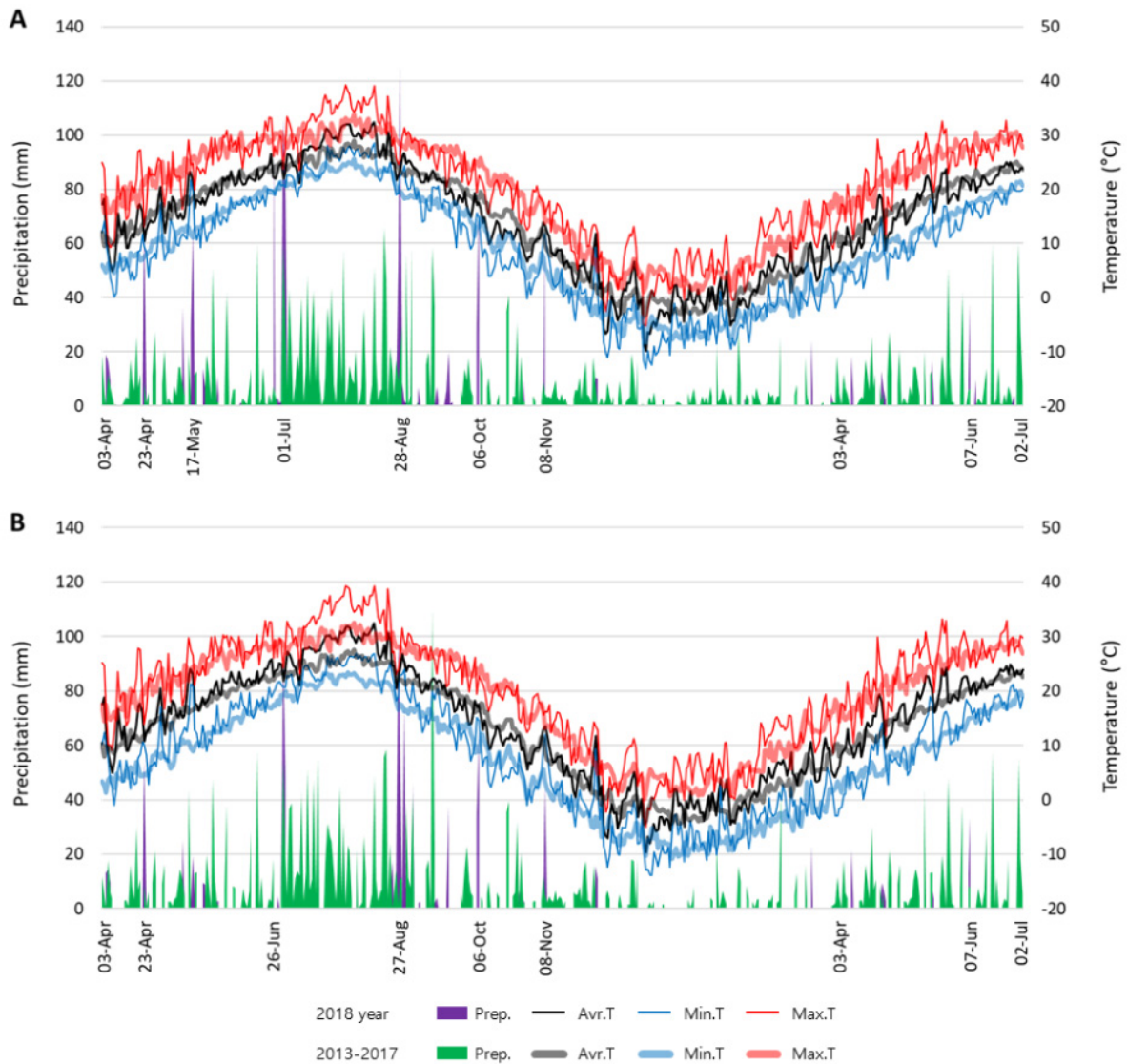
경제성 분석은 aT농산물유통정보(KAMIS, 2019)에서 공시한 당해연도의 작물 평균가격으로 단위면적 당 조수익을 산출하였고, 농촌진흥청에서 분석한 지역별 농산물소득자료(RDA, 2019)를 통해 작물별 단위면적 당 경영비를 산출하였다. 순소득은 해당 작물의 단위면적 당 조수익에서 경영비를 제외한 값으로 산출하여 작부모형에 따른 경제성을 분석하였다.

통계분석은 SAS 9.2 (Statistical Analysis Systems Inc., Raleigh, NC, USA)를 이용하였고, 조사 항목 간 유의성은 independent sample Student's *t*-test를 수행하여 5% 유의수준에서 통계적인 차이를 검정하였다.

## 결론 및 고찰

### 재배기간 기상 및 토양 특성

본 연구의 2018년부터 수행한 2년 3모작 재배시험 전체 기간 동안(2018.4.3.~2019.7.2.) 기상을 재배 지역별로 비

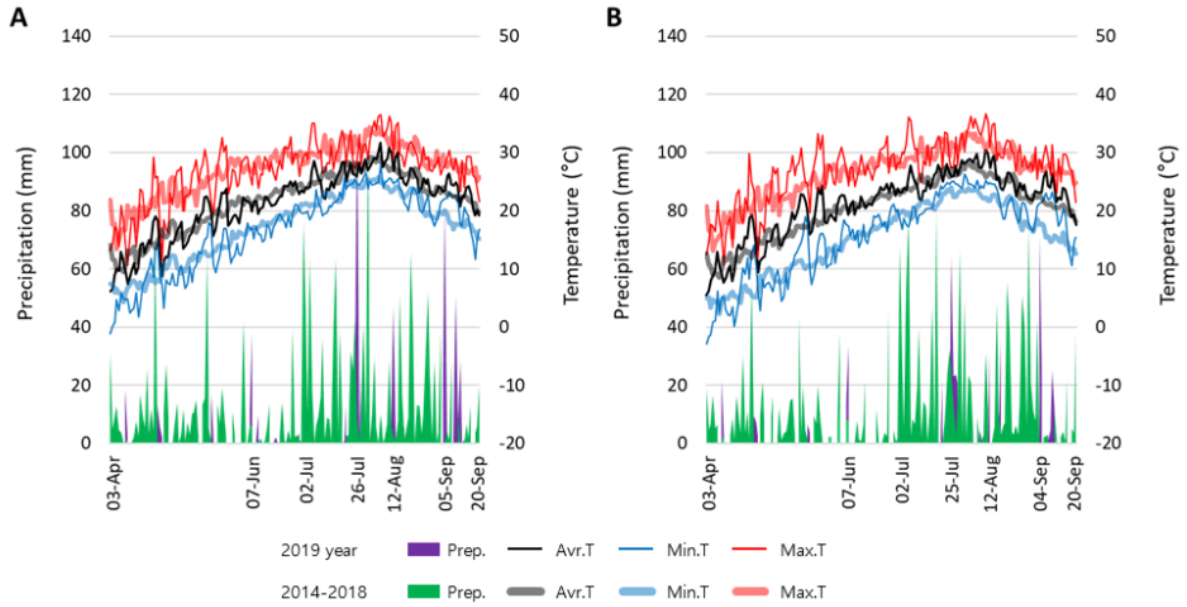


**Fig. 3.** Comparison of climate conditions from planting to harvesting according to cultivation region (2018–2019). The bars and lines represent precipitation per day and daily temperature, respectively. A) Suwon and B) Anseong region. The purple bar represents precipitation in 2018 and 2019 and the green shows average precipitation from 2013 to 2017. The black, red, and blue lines represent the daily average, maximum, and minimum temperature, respectively. The thin lines show the temperature in 2018–2019 and the thick lines show the average temperature from 2013 to 2017.

교해보면(Fig. 3), 평균기온은 수원 지역이 안성 지역보다 0.3°C 높았고, 강수량도 수원 지역에서 100.3 mm 많았다. 작물별 재배 기간의 기상과 동일한 시기의 5년 평년 기상을 비교해보면, 평균 기온의 경우 최대 ±2.2°C, 평균 강수량은 ±391.6 mm 수준으로 시험 당해연도와 5년 평년 간 기상 차이를 보였다. 수원 지역의 시험 당시 기온이 5년 평년 기온보다 0.1°C 낮았으며, 안성 지역은 시험 당해 연도에 평년보다 0.9°C 높았다. 식량작물 재배 기간 동안 수원 지역의 평균 기온은 평년보다 옥수수(2018.4.7.~2018.7.23.)

재배 기간에는 0.2°C, 감자(2018.4.3.~2018.7.3.) 재배 기간에는 0.4°C 낮았고, 안성 지역은 평년보다 각각 옥수수 1.5°C, 감자 1.4°C 높았다. 유지작물은 수원에서 들깨(2018.7.8.~2018.10.15.) 0.5°C, 참깨(2018.5.5.~2018.8.21.) 0.8°C 씩 평년보다 높았고, 안성에서도 들깨 1.4°C, 참깨 2.2°C 씩 평년보다 높았다. 같은 기간 동안 재배한 원예작물(2018.11.5.~2019.7.2.) 양파와 마늘의 경우 평균 기온이 수원은 평년보다 0.1°C 낮았고, 안성은 0.8°C 높았다.

식량작물 재배 기간 동안 수원 지역의 총 강수량은 5년 평



**Fig. 4.** Comparison of climate conditions from planting to harvesting according to cultivation region (2019). The bars and lines represent precipitation per day and daily temperature, respectively. A) Suwon and B) Anseong region. The purple bar shows precipitation in 2019 and the green shows average precipitation from 2014 to 2018. The black, red, and blue lines represent the daily average, maximum, and minimum temperature, respectively. The thin lines show the temperature in 2018–2019 and the thick lines show the average temperature from 2014 to 2018.

년보다 옥수수 148.1 mm, 감자 391.6 mm 많았고, 안성 지역도 옥수수 47.7 mm, 감자 254.8 mm 많았다. 유지작물은 수원에서 들깨 177.8 mm, 참깨 95.9 mm 적었고, 안성에서는 들깨 재배 기간 35.1 mm 많았던 반면, 참깨 재배 기간에는 157.4 mm 적었다. 원예작물 양파와 마늘의 경우 수원에서 166.5 mm 적었고, 안성도 126.1 mm 적은 것으로 조사되었다.

2019년 시험 기간 동안(2019.4.3.~2019.9.20.) 수원 지역이 안성 지역보다 평균 기온은 0.2°C, 강수량은 67.5 mm 많았다(Fig. 4). 작물별 재배 기간의 기상과 5년 평년의 기상을 비교해보면, 수원 지역의 평균 기온은 작물별로 각각 옥수수 18.7°C, 감자 17.8°C, 참깨 25.8°C로 평년에 비해 옥수수와 감자 재배 기간 동안 평균 기온은 0.6°C씩 낮았고, 참깨 재배 기간에는 0.3°C 높았다. 안성 지역의 경우에는 옥수수 18.7°C, 감자 17.9°C, 참깨 25.4°C로 평년에 비해 0.6~0.9°C 수준 높았다.

총 강수량의 경우 작물별로 옥수수 155.1 mm, 감자 139.1 mm, 참깨 484.9 mm로 평년에 비해 옥수수와 감자 재배 기간 동안 총 강수량이 각 270.0 mm, 171.6 mm 적었던데 반해, 참깨 재배 기간에는 124.1 mm 많았다. 안성 지역에서도 마찬가지로, 옥수수 166.5 mm, 감자 137.5 mm, 참깨 406.0 mm로 평년에 비해 옥수수와 감자 재배 기간 동안 각 209.9 mm, 134.1 mm 적었고, 참깨 재배 기간 동안 107.8

mm 많았던 것으로 조사되었다.

수원 지역의 토양은 석천통(Seogcheon series)으로 토성은 미사질양토이고 유기는 느린 특성을 띤다. 안성 지역의 토양은 금천통(Geumcheon series)으로 토성은 사양토이고 유기는 매우 느린 특성을 띤다(RDA, 2022). 이러한 토양 특성을 갖는 중부지역 수원과 안성에서 논을 이용한 2년 3모작 작부체계 시험 전 지역별 논 토양의 화학성 분석을 수행하였다(Table 1). 수원 토양은 산성, 안성 토양은 중성 토양이었으며 유기물 함량과 유효인산 함량은 수원보다 안성 지역에서 더 높았고 치환성 양이온 중  $Mg^{++}$  이온은 수원 지역에서 안성보다 높았으나,  $K^{+}$ 과  $Ca^{++}$  이온의 함량은 안성 지역에서 높은 것으로 분석되었다. 2년 3모작 중 1년 동안 2모작 재배 후 3모작 작물을 파종하기 전, 1년간 재배한 전작물(식량작물 및 유지작물)이 토양에 미치는 영향을 추적하기 위해 2모작 수확이 끝난 직후 3모작 작물(원예작물) 파종 전 토양 화학성을 분석하였다. 재배 지역에 관계없이 토양의 pH, EC, 유기물 함량 등이 감소하였으나 유효한 수준은 아니었다. 유효인산 및 치환성 양이온 함량도 변동성이 적었다. 또한, 시험 전 토양 화학성 분석 결과에서 보였던 재배 지역별 토양 화학성 차이가 시험 후에도 동일한 경향을 보인 것을 확인하였다.

**Table 1.** Soil chemical properties of pre-cultivation paddies in the central region.

Cultivation region	pH (1:5)	EC (ds m <sup>-1</sup> )	O.M. (g kg <sup>-1</sup> )	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex. Cation (cmol kg <sup>-1</sup> )		
					K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
At pre-first cultivation							
Suwon	5.4	0.4	25	116	0.5	3.7	2.2
Anseong	7.1	2.4	36	505	0.9	6.1	1.1
At pre-third cultivation							
Suwon	5.3	0.3	21	119	0.6	3.9	2.3
Anseong	6.9	2.2	32	519	0.9	6.2	1.3

**Table 2.** Growth characteristics and yield of maize (cv. Ilmichal) according to cultivation region in 2018.

Cultivation region	Stalk length (cm)	Ear height ratio <sup>2)</sup> (%)	Stalk diameter (cm)	Node number (ea)	
Suwon	227	43	2.7	11	
Anseong	242	45	2.8	11	
Cultivation region	Ear length (cm)	Ear diameter (cm)	Kernel length (cm)	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )	Yield index (%)
Suwon	19.8	4.7	19.5	1,204 <sup>ns</sup>	100
Anseong	20.6	4.8	19.9	1,357	113

\*Student's *t*-test (\**p* < 0.05); ns means non-significant.

<sup>2)</sup> Ear height ratio = ear height / plant height × 100.

**Table 3.** Growth characteristics and yield of perilla (cv. Dayu) according to cultivation region in 2018.

Cultivation region	Stem length (cm)	Panicle number (ea)	Number of cluster (ea plant <sup>-1</sup> )	Cluster length (cm)	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )
Suwon	73	11.8	179	9.6	138*
Anseong	25	4.6	158	7.5	112

\*Student's *t*-test (\**p* < 0.05); ns means non-significant.

**작부모형별 작물 생육 및 수량과 경제성 분석**

2018년도 옥수수는 재배 지역별로 안성에서 10a 당 1,357 kg으로 수원의 1,204 kg보다 12.7% 수준 더 많은 수량을 확보하였으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 2). 수량구성요소 성적에서도 수원보다 안성 지역에서 간장(6.6%), 착수고율(4.7%), 경태(3.7%), 이삭길이(4%), 이삭직경(2.1%), 착립장(2.1%) 및 수량지수(13%) 등이 더 높은 것으로 조사되었고, 마디수는 차이가 없었다. 비록 통계적으로 완전히 독립된 차이를 보이지 않았으나, 안성 지역에서 재배된 옥수수의 수량을 구성하는 요소들의 높았던 수준이 최종 수량에 반영되어 수원 지역보다 더 높은 수량을 보인 것으로 판단된다. 이러한 결과는 안성 지역 토양의 유기물 함량 등 토양 양분이 높아 토양 비옥도(Table 1)가 수원 지역의 토양 비옥도보다 좋으며 또한 옥수수는 비료 요구량이 많은 작물(RDA, 2021)이기 때문인 것으로 판단된다.

들깨는 재배 지역별 수량이 수원에서 10a 당 138 kg으로 안성의 112 kg보다 23.2% 더 많았으며, 통계적으로 유의한 (*p*<0.05) 수준임을 확인하였다(Table 3). 특히 수량구성요소 중 경장(192%)과 분지수(156.5%)가 두 배 이상 차이를 보였고, 화방군수(13.3%)와 화방군장(28%) 또한 수원 지역에서 재배된 들깨에서 안성보다 더 높은 것을 확인하였다. 안성보다 수원이 들깨의 생산성이 좋은 이유는 수원의 토양은 석천통으로 유거가 느린 특성이 있으나, 안성의 토양은 금천통으로 석천통보다 유거가 더 느린 특성을 띠는 논으로 물빠짐이 양호하지 않은 것이 수량에 영향을 미친 것으로 판단된다. 이는 여러 연구(Kim *et al.*, 2006; Kim & Lee, 1994; Lee *et al.*, 1994; Cho *et al.*, 2022; NICS, 2020)에서 보고 된 바와 같이 발작물의 논 재배 시 배수 개선이 중요함을 시사한다. 2018년에 정식하여 이듬해 2019년 수확한 양파는 재배 지역별로 전체 수량이 안성에서 10a 당 18,168 kg으로 수

**Table 4.** Growth characteristics and yield of onion (cv. Arsenal) according to cultivation region from 2018 to 2019.

Cultivation region	Plant height (cm)	Average bulb weight (g)	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )				Missing hills ratio (%)
			Large <sup>2)</sup>	Middle	Small	Total	
Suwon	59.5	213	5,863 (46%)	3,836 (31%)	2,948 (23%)	12,647* (100%)	6.9
Anseong	61.5	313	8,634 (48%)	4,238 (23%)	5,296 (29%)	18,168 (100%)	7.7

\*Student's *t*-test (*p* < 0.05); ns means non-significant.

<sup>2)</sup> Onion grade (bulb weight, g): large ≥ 300, 300 > middle > 200, 200 ≥ small.

**Table 5.** Growth characteristics and yield of potato (cv. Sumi) according to cultivation region in 2018.

Cultivation region	Plant height (cm)	Stem number (ea plant <sup>-1</sup> )	Marketability <sup>2)</sup> (%)	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )
Suwon	49.8	3.6	83.5	5,118*
Anseong	47.5	3.4	81.9	4,556

\*Student's *t*-test (*p* < 0.05); ns means non-significant.

<sup>2)</sup> Marketability (%): ratio of marketable potatoes (> 81 g each).

**Table 6.** Growth characteristics and yield of sesame (cv. Yangbaek) according to cultivation region in 2018.

Cultivation region	Stem length (cm)	Branch number (ea)	Capsule number (ea plant <sup>-1</sup> )	First capsule length (cm)	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )
Suwon	168	1.3	61	109	124 <sup>ns</sup>
Anseong	165	1.2	59	107	116

\*Student's *t*-test (*p* < 0.05); ns means non-significant.

원의 12,647 kg보다 43.7% 수준 더 많았고 통계적으로 유의한 차이를 보였으며(*p*<0.05), 양파 구중별로 재배 지역 간 수량 차이는 소구(79.6%), 대구(47.3%), 중구(10.5%) 순으로 수원보다 안성에서 더 높은 수량을 보였다(Table 4). 또한, 안성 지역 재배 양파의 초장은 3.4% 수준 길었고 평균구중 역시 46.9% 수준으로 수원 지역 재배 양파보다 더 무거운 것을 확인하였다. 결주율은 안성에서 수원보다 더 높은 것으로 조사되었으나 그 차이는 0.8%p 수준임을 감안하면 수량에 대한 영향은 크지 않은 것으로 판단된다. 옥수수와 유사하게 토양의 비옥도(Table 1)가 중요한 요인으로 작용하여 안성의 양파 수량이 높은 것으로 판단된다.

전반적으로 옥수수-들깨-양파(작부모형 I) 작부체계는 옥수수와 양파의 재배는 작기 상 문제는 없으나 2모작 들깨의 재배기간이 길어서 3모작 작물 재배 시 각종 농작업 등의 어려움이 있을 것으로 판단된다.

감자는 수원 지역 재배에서 안성보다 초장은 4.8%, 경수는 5.9% 높은 수량구성요소 수준을 보였고, 상품률이 83.5%로 안성 지역 재배 감자의 상품률 81.9%보다 1.6%p 더 높은

것으로 나타났다(Table 5). 수량은 수원에서 10a 당 5,118 kg로 안성의 4,556 kg 보다 12.3% 높은(*p*<0.05) 것으로 조사되었다. 감자는 가뭄 스트레스에 민감한 작물로 봄감자 재배 시 5월경 괴경비대기에 수분이 부족하면 균락형성과 생산성에 제한을 받는다고 알려져 있다(Lahlou *et al.*, 2003). 따라서, 본 시험의 5월 중순까지(5.1.~5.20.) 총 강수량이 수원 지역은 161.6 mm로, 안성 지역의 82.0 mm에 비해 약 절반 정도로 적었기 때문에 안성 지역의 감자 생육이 상대적으로 부진하여 수원 지역과 수량 차이를 보인 것으로 판단된다.

참깨는 재배 지역별로 수원에서 수량이 10a 당 124 kg으로 안성의 116 kg보다 6.9% 높은 수준을 보였으나 통계적으로 차이는 없는 것으로 확인되었다(Table 6). 수량구성요소 생육특성은 수원 지역에서 재배된 참깨에서 경장(1.8%), 분지수(8.3%), 주당 삭수(3.4%), 착삭부위장(1.9%)등이 안성 지역 재배 참깨보다 더 높은 것으로 조사되었다. 통계적인 측면에서 재배 지역 간 참깨 수량의 차이를 보이지 않아 2모작 작물로 작부체계 상 유리할 것으로 판단되었다.

**Table 7.** Growth characteristics and yield of garlic (cv. Hansan) according to cultivation region from 2018 to 2019.

Cultivation region	Plant height (cm)	Average bulb weight (g)	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )				Missing hills ratio (%)
			Large <sup>2)</sup>	Middle	Small	Total	
Suwon	77.3	22.6	335 (46%)	183 (25%)	210 (29%)	728* (100%)	10.6
Anseong	65.4	38.3	377 (39%)	347 (36%)	241 (25%)	965 (100%)	15.9

\*Student's *t*-test ( $*p < 0.05$ ); ns means non-significant.

<sup>2)</sup> Garlic grade (bulb diameter, cm): large  $\geq 4.0$ , 4.0 > middle > 2.0, 2.0  $\geq$  small.

마늘은 양파와 마찬가지로 2018년에 정식(파종)하여 이듬해인 2019년도 수확한 전체 수량 성적은 재배 지역별로 안성에서 10a 당 965 kg으로 수원의 728 kg보다 32.6% 수준 더 많았다( $p < 0.05$ ). 마늘 구중별 재배 지역 간 수량 차이는 안성 지역에서 중구(89.6%), 소구(14.8%), 대구(12.5%) 순으로 수원보다 많았다(Table 7). 안성 지역 재배 마늘에서 평균구중이 수원 지역 재배 마늘보다 69.5% 더 높은 것으로 확인됐지만, 초장의 경우는 15.4% 더 낮았고 결주율은 5.3%p 더 높은 것으로 조사되었다. 안성 지역 재배 마늘에서 상대적으로 결주율이 더 높았지만 평균구중은 더 무거웠고 중구의 비율이 높았던 점 등으로 인해 전체적인 수량성에서는 안성 지역에서 더 높았던 것으로 판단된다. 따라서 중부지역의 다른 지역에서 동작물로 마늘이 소규모 재배 된다는 보고(NICS, 2020)와 같이 적절한 토양 비옥도(Table 1) 관리만 병행된다면 한지형 마늘은 중부지역에 3모작 작물로 재배 가능할 것으로 생각된다.

감자-참깨-마늘 작부모형은 2모작인 참깨의 재배시기만 조절하면 중부지역에서 식량작물-유지작물-원예작물의 2년 3기작 설정이 가능할 것으로 판단되었다.

작부모형 I의 1모작인 옥수수과 3모작인 양파 사이에 작부모형 II의 2모작으로 참깨를 도입하여 옥수수-참깨-양파(작부모형 III) 작부체계를 설정할 수 있다. 본 작부모형 III의 생육 및 수량은 앞서 서술한 바(옥수수 Table 1, 참깨 Table 5, 양파 Table 3)와 같이 옥수수는 안성에서 참깨와 양파는 수원에서 생육 및 수량이 양호한 경향이였다. 본 작부모형도 논을 밭으로 이용하여 밭작물 재배 시 적절한 배수 및 토양관리가 수행된다면 중부평야지 적용이 가능할 것으로 생각되었다. 다만 재배기간이 짧은 참깨의 작부체계 내 도입 시 전·후작물 생육기간을 고려하여 재배기간이 중복되지 않도록 작부체계를 설정할 필요가 있다.

중부지역의 논에서 2년 3모작으로 수익성을 높이기 위하여 세 가지 형태로 구성한 작부모형 간 경제성 평가를 위해 재배 지역별 수량 평균과 aT농산물유통정보에서 공시한 당

해연도의 해당 작물 평균 가격으로 조수익을 산출하였다(Table 8). 식량작물에서 동일 면적 대비 옥수수보다 감자의 수량성이 3배 이상이었으나, 조수익은 감자가 10a 당 10,496,290원으로 옥수수 2,706,753원보다 약 3.8배 이상 높았다. 유지작물에서는 들깨와 참깨 간 수량이 10a 당 5 kg 차이로 들깨가 많았지만, 산출된 조수익은 들깨가 10a 당 1,026,375원, 참깨가 1,942,800원으로 들깨보다 참깨 재배 시 약 1.8배 이상 높은 조수익을 보였다. 원예작물에서는 양파의 수량이 마늘 수량보다 약 6.3배 이상 높았지만, 조수익은 양파가 10a 당 2,620,709원, 마늘이 7,463,209원으로 마늘이 양파보다 약 2.8배 이상 높은 것으로 산출되었다.

지역별 농산물소득자료에서 공시한 경영비로 산출된 10a 당 소요되는 작물별 경영비는 마늘(7,267,000원), 감자(1,042,000원), 옥수수(764,000원), 양파(403,000원), 참깨(330,000원), 들깨(130,000원) 순이었다. 결과적으로, 본 시험의 세 가지 형태의 작부모형 중 조수익에서 경영비를 제외한 순소득이 감자-참깨-마늘을 연계한 작부체계(II)에서 가장 높았고, 옥수수-참깨-양파를 연계한 작부체계(III)가 중간 수준이었으며, 옥수수-들깨-양파를 연계한 작부체계(I)이 가장 순소득이 낮은 것으로 산출되었다.

따라서 작물학적 특성 및 소득을 고려할 경우 작부모형 II, 작부모형 III이 적절할 것으로 판단되며, 수확 및 이식 등 작기가 겹치는 1모작과 2모작은 재배기간이 중첩되지 않게 검증이 필요할 것으로 판단되었다.

### 2년 3모작 최적 작부모형 검증

중부지역의 논 이용 2년 3모작 작부체계로 선정한 작물 중 1모작 작물과 2모작 작물 간의 재배기간이 겹치는 문제를 해결하기 위해 파종기 조절과 이식재배법 등을 도입하여 작부모형을 구성하였다(Materials and methods, Fig. 2). 옥수수는 파종기를 4일 앞당기면서 수확기가 7일 빨라졌다. 참깨를 육묘하고 옥수수와 감자 수확 후에 이식재배하



**Table 8.** Comparison of average yield and profitability in the middle region according to cropping system.

	Crop	Cropping system I	Cropping system II	Cropping system III
Average yield (kg 10a <sup>-1</sup> )	Maize	1,281	-	1,281
	Potato	-	4,837	-
	Perilla	125	-	-
	Sesame	-	120	120
	Onion	6,503	-	6,503
	Garlic	-	1,027	-
	Total	7,909	5,984	7,904
Gross profit* (won/10a)		6,353,837	19,902,299	7,270,262
Managing cost** (won/10a)		1,297,000	8,639,000	1,497,000
Net income*** (won/10a)		5,056,837	11,263,299	5,773,262

\*Gross profit (won/10a) = yield (kg/10a) × average price (won/kg).

Average price (Korea Agro-Fisheries & Food Trade Information, won/kg): (2018 price) maize, 2,113; potato, 2,170; perilla, 8,211; sesame, 16,190; (2019 price) onion, 988; garlic, 5,183.

\*\*2018 Agricultural income data by region (RDA, won/10a): maize, 764,000; potato, 1,042,000; perilla, 130,000; sesame, 1,042,000; (2019 price) onion, 1,754,000; garlic, 1,647,000.

\*\*\*Net income (won/10a) = gross profit - managing cost.

**Table 9.** Growth characteristics and yield of potato (cv. Sumi) according to cultivation region in 2019.

Cultivation region	Plant height (cm)	Stem number (ea plant <sup>-1</sup> )	Marketability <sup>2)</sup> (%)	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )
Suwon	44.1	2.5	81.2	3,486 <sup>ns</sup>
Anseong	55.9	3.9	83.5	3,443

\*Student's *t*-test (\**p* < 0.05); ns means non-significant.

<sup>2)</sup> Marketability (%): ratio of marketable potatoes (> 81 g).

는 방법을 통해 앞작물과 뒷작물 간의 재배기간 중복 문제를 해소하였다. 이러한 방법은 세 가지 유형의 작부체계 중 상대적으로 순소득이 가장 높았던 작부체계(II)와 그 다음 순인 작부체계(III)에 적용하였다.

2019년도 감자의 수량구성요소는 안성 지역에서 초장 4.8%, 경수 56% 높았고, 수량은 수원 지역에서 10a 당 3,486 kg로 안성의 수량 3,443 kg 보다 1.2% 높았지만, 통계적 유의성은 없었다(Table 9). 상품률은 상대적으로 높은 수량구성요소 수준을 보인 안성 지역 재배 감자가 상품률 83.5%로 수원 지역 재배 감자의 상품률 81.2%보다 2.3%p 높았다.

옥수수 재배 지역별 수량구성요소 성적에서는 안성 지역에서 수원 지역보다 간장(2.5%), 착수고율(1.3%), 이삭길이(1%) 등이 더 높았고, 경태, 마디수, 이삭직경은 차이가 없었으며, 착립장(1%) 및 수량지수(9%)는 수원 지역 재배 옥수수가 더 높은 것으로 조사되었다(Table 10). 수량은 수원 지역에서 10a 당 1,354 kg으로 안성 지역의 1,247 kg보다 8.6% 더 많은 수량을 확보하였으나, 통계적 유의성은

없었다.

참깨는 재배 지역별로 수원에서 10a 당 수량이 85 kg으로 안성의 36 kg보다 36.1% 높은 통계적 유의성을(*p*<0.05) 보였다(Table 11). 수량구성요소 성적은 수원 지역에서 재배된 참깨에서 경장(66.7%), 삭수(295%), 착삭부위장(133%) 수준으로 안성 지역 재배 참깨보다 더 높은 것으로 조사되었다. 전년도 대비 수량성 측면에서 감소한 경향은 앞작물과의 재배기간 겹침 문제 해소를 위해 21일 된 유묘를 이식하여 참깨의 전체 재배기간이 2018년도에는 109일인데 반해, 2019년도에는 85일로 짧아 수량이 상대적으로 감소한 것으로 판단된다. 이는 감자 수확기인 7월 3일보다 16일 뒤인 7월 19일에 참깨 21일 유묘를 이식하였는데, 6월 상순에 참깨를 육묘하여 감자 수확 후 이식하는 것으로 기간을 앞당겨 참깨 전체 생육 기간을 늘릴 수 있을 것으로 사료된다.

작부모형 간 지역별 전체 수량은 작부모형 II에서 수원 지역 3,571 kg 10a<sup>-1</sup>, 안성 지역 3,479 kg 10a<sup>-1</sup>로 조사되었고, 작부모형 III에서 수원 지역 1,439 kg 10a<sup>-1</sup>, 안성 지역

**Table 10.** Growth characteristics and yield of maize (cv. Ilmichal) according to cultivation region in 2019.

Cultivation region	Stalk length (cm)	Ear height ratio <sup>2)</sup> (%)	Stalk diameter (cm)	Node number (ea)
Suwon	163	77	2.7	12
Anseong	167	78	2.7	12

Cultivation region	Ear length (cm)	Ear diameter (cm)	Kernel length (cm)	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )	Yield index (%)
Suwon	20.4	4.8	20.1	1,354 <sup>ns</sup>	109
Anseong	20.6	4.8	19.9	1,247	100

\*Student's *t*-test (\**p* < 0.05); ns means non-significant.

<sup>2)</sup> Ear height ratio = ear height / plant height × 100.

**Table 11.** Growth characteristics and yield of sesame (cv. Yangbaek) according to cultivation region in 2019.

Cultivation region	Stem length (cm)	Branch number (ea)	Capsule number (ea plant <sup>-1</sup> )	First capsule length (cm)	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )
Suwon	155	1.0	79	105	85*
Anseong	69	0.0	20	45	36

\*Student's *t*-test (\**p* < 0.05); ns means non-significant.

1,283 kg 10a<sup>-1</sup>로 조사되었다(Table 12). 옥수수, 감자, 참깨 수량을 2018년도 수량(Table 8)과 비교하면, 옥수수는 수량이 2018년 1,281 kg 10a<sup>-1</sup>, 2019년 1,300 kg 10a<sup>-1</sup>으로 연차간 큰 차이는 없었다. 감자의 수량은 2018년 재배에 비해 2019년에서 각각 수원 1,632 kg 10a<sup>-1</sup>, 안성 1,113 kg 10a<sup>-1</sup> 수준 감소했는데, 이는 2019년 감자 재배 당시 5월 중순까지(5.1.~5.20.) 강수량이 수원 18.7 mm, 안성 10.0 mm로 2018년도의 161.1 mm, 82.0 mm에 비해 급격히 감소된 강수량으로 인해 감자의 생육이 부진하였고, 근락형성과 생산성에 제한을 받아(Lahlou *et al.*, 2003) 2019년 감자 수량이 두 지역 모두에서 감소된 것으로 사료된다.

참깨 수량은 2018년에 120 kg 10a<sup>-1</sup>, 2019년에 60 kg 10a<sup>-1</sup>로 절반 가량 감소하였다. 1모작 작물과 2모작 작물간 재배 기간이 겹치지 않도록 전년 대비(직파, 5.5.~8.21.) 참깨의 재배기간을 조정(21일묘 이식, 7.19.~9.20.)하였다. 2018년도의 수확 직전 1달 동안의 강수량은 수원 13.5 mm, 안성 4.5 mm 수준인 반면, 2019년도의 강수량은 수원 212.9 mm, 안성 153.5 mm로 아주 큰 차이를 보였는데, 개화에서부터 수확에 이르는 등숙까지 수량에 중요한 영향을 미치는 시기에 많은 강수가 있었던 이유로 인해 2019년도의 참깨 수량이 2018년에 비해 감소된 것으로 판단된다. 또한, 2019년도의 참깨 전체 재배 기간 동안 총 강수량을 보면 수원은 484.9 mm, 안성은 406.0 mm로 약 80 mm가량 적은 강수에도 불구하고 참깨 수량이 안성 지역에서 수원

**Table 12.** Comparison of the total yield of each cultivar and cultivation region in 2019.

Crop	Cultivation region	Cropping system II	Cropping system III
	Average		3,464.5
Potato	Suwon	3,486	-
	Anseong	3,443	-
	Average		
Maize	Suwon	-	1,354
	Anseong	-	1,247
	Average		60.5
Sesame	Suwon	85	85
	Anseong	36	36
	Average		3,525
Total (kg 10a <sup>-1</sup> )	Suwon	3,571	1,439
	Anseong	3,479	1,283

보다 큰 폭으로 감소하였는데, 이러한 원인으로 안성은 배수가 불량한 논으로 물빠짐이 상대적으로 원활하지 못했던 것이 습해로 이어져 수량에 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서, 참깨를 포함한 2년 3모작에서 적절한 배수 관리를 통해 습해 피해를 예방하는 것이 중요하며, 참깨를 육묘 후 이식하는 방법을 통해 1모작 작물과 재배 기간이 겹치는 문제를 해결할 수 있었다.

이상으로 환경적 요인(기상, 토양), 작물학적 작부체계 설정 및 검정, 경제성을 분석한 결과 중부 평야지 논 이용 2년 3모작 작부체계 도입을 위해서는 식량작물에는 감자, 유지작물로는 참깨, 원예작물은 마늘이 적합할 것으로 판단되었다.

## 적 요

우리나라의 쌀 과잉 문제를 해소하면서 경지이용률과 식량자급률을 향상시키기 위한 논 이용 작부체계는 주로 1년 2모작으로, 특히 남부지역에 비해 낮은 경지이용률을 보이는 중부지역의 기상적 특성을 고려한 새로운 형태의 작부모형 개발이 요구된다. 농가 수익성과 노동력 효율적 배분 등 경영적 측면을 고려하면서 제한된 토지를 최대한 효율적으로 이용하기 위해 식량작물, 유지작물, 원예작물을 연계한 2년 3모작 작부체계를 도입하여 생산량과 소득을 분석하고 최적 작부체계를 검토하였다. 수량성 측면에서 10a 당 옥수수 수확량이 감자보다 3배 이상 높았고, 들깨가 참깨보다 5 kg 가량 높았고, 양파가 마늘보다 6.3배 이상 높았다. 그러나, 조수익 측면에서 감자가 옥수수보다 3.8배 이상 높았고, 참깨가 들깨보다 1.8배 높았으며, 마늘이 양파보다 2.8배 이상 높은 것으로 산출되었다. 결과적으로, 순소득 측면에서 ‘옥수수-들깨-양파’ 또는 ‘옥수수-참깨-양파’ 보다 ‘감자-참깨-마늘’을 연계한 작부체계가 동일 면적에서 상대적으로 높은 소득을 보이는 것을 확인하였다. 1모작 작물인 감자와 2모작 작물인 참깨의 재배기간이 겹치는 문제는 감자 수확기 동안 참깨를 육묘하고, 감자 수확 후 참깨 육묘를 이식하는 방법을 통해 1모작 작물과 2모작 작물 간의 재배기간 겹침 문제를 해소할 수 있었다. 따라서, 본 시험에서 확인한 ‘감자-참깨-마늘’ 연계 2년 3모작 작부모형이 중부 평야지 논 이용 발작물의 생산성 향상과 소득 작물을 연계한 농가소득 향상에 합리적인 작부체계로써 기여할 수 있는 것으로 생각된다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 작물시험연구사업(사업번호 : PJ01 388701)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

## 인용문헌(REFERENCES)

Cho, H. M., M. N. Shin, K. B. Shim, A. Han, and W. T. Jeon. 2022. Evaluation of biomass and feed value of forage wheat in central region at the paddy by cultivars. *Journal of the Korean*

- Society of Grassland and Forage Science* 42(2) : 79-88.
- Choi, J. S., S. J. Kim, S. Kang, H. P. Jeong, and W. Yang. 2017. Effect of paddy-upland conversion and cropping system on soil physical properties and organic matter. *International symposium for the Korean Society of Soil Science and Fertilizer*. pp. 134-135.
- Korea Agricultural Marketing Information Service (KAMIS). 2019. <https://www.kamis.or.kr/customer/main/main.do>
- Kim, S. H. and Lee, H. J. 1994. Growth and yield of forage crops affected by soil texture in upland diverted from paddy field. *The Korean Journal of Crop Science*. 39(6) : 577-584.
- Kim, J. G., W. H. Kim, and S. Seo. 2006. Production and utilization technology of forage crops and whole crop rice in paddy field. *Proceedings of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. pp. 59-85.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS). 2019. [http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1ET0040&conn\\_path=12](http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0040&conn_path=12)
- Lahlou, O., S. Ouattar, and J. F. Ledent. 2003. The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. *Agronomie*. 23 : 257-268.
- Lee, H. J., S. H. Kim, and H. S. Lee. 1994. Growth of maize and sorghum-sudangrass hybrid affected by soil texture and ground water levels. *The Korean Journal of Crop Science*. 39(6) : 585-593.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2017. Guidelines for the support of paddy field-use other crops cultivation. pp. 1-13.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2019. Food policy data. pp. 1-257.
- National Institute of Crop Science (NICS). 2020. Technology of Cropping system using paddy field in Korea. Rural Development Administration(RDA). ISBN: 978-89-480-6700-2 93520 pp. 1-183.
- Rural Development Administration (RDA). 2012. Agricultural science and technology research standard. RDA. ISBN 978-89-480-1649-9 93520 pp. 1-1135.
- Rural Development Administration (RDA). 2019. 2018 Agricultural products income data by region. RDA. ISBN 978-89-480-0460-1 93520 pp. 1-431.
- Rural Development Administration (RDA). 2021. Guidelines for agricultural technology 035. RDA. ISBN 978-89-480-7126-9 95520 pp. 1-176.
- Rural Development Administration (RDA). 2022. Korean Soil Information System. <http://soil.rda.go.kr/soil/sis/summary.jsp>
- Shim, K. M., S. H. Min, Y. S. Kim, M. P. Jung, and I. T. Choi. 2015. Estimation of net biome production in a barley-rice double cropping paddy field of Gimje, Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 17(2) : 173-181.
- Shim, H. K., J. S. Choi, I. J. Kang, and J. W. Roh. 2017. Occurrence of the disease and the insect pest according to the rice cropping system. *International symposium for the Korean Society of*

- Soil Science and Fertilizer. pp. 174-175.
- Um, J. B. and Yu, C. J. 2020. Analysis of efficiency of cropping system for substitute crops (focus on farms with cropping systems for soybeans + barley). Journal of the Korea Academia-Industrial. 21(2) : 145-150.
- Yu, C. J., J. B. Um, S. Y. Jang, D. H. Kim, H. S. Ko, and S. Y. Park. 2019. A study on analysis of success difficulties and profitability for cropping system in the rice field instead of rice. Journal of Agriculture & Life Sciences. 50(2) : 15-19.