

한국 고랭지 배추 작부체계에 따른 토양, 배추 생산성 및 성분 특성 비교

백계령^{1*}, 이정태²

¹국립식량과학원 고랭지농업연구소, 연구사, ²연구관

Effect of Napa Cabbage (*Brassica campestris* var. *Pekinensis*) Cropping Systems on Soil Physiochemical Properties, Yield and Quality in Alpine Area of South Korea

Gye Ryeong Bak^{1*} and Jeong Tae Lee²

¹Researcher and ²Senior Researcher, Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Pyeongchang 25342, Korea

Abstract - Napa cabbage (*Brassica campestris* var. *Pekinensis*) is the main material of Kimchi so that important crop in South Korea. There are two typical napa cabbage cropping systems in the alpine area. One is cultivating napa cabbage annually while another is cultivating napa cabbage and potato biennially. In this research, we evaluated soil physiochemical properties, yield, and mineral contents of napa cabbage depending on two cropping systems. As a result, organic matter, available P₂O₅, exchangeable K⁺ was decreased after six-years of cultivation on both cropping systems. However, soil pH was only decreased in a continuous napa cabbage cropping system. Soil porosity is also decreased in both cropping systems on topsoil while is increased in rotation with potato on subsoil. The rotation system showed a significantly higher yield with a higher value of leaf and napa cabbage size than the continuous cropping system. Total nitrogen, Ca²⁺, and Mg²⁺ were increased and total carbon and phosphate decreased in both cropping systems after six-years. Especially, total nitrogen and Mg²⁺ were significantly higher in the continuous system while Ca²⁺ was higher in the rotation system. In conclusion, the cropping system influences soil physiochemical properties and plant production in an agricultural field.

Key words – Cropping system, Highland agriculture, Napa cabbage, Plant nutrients, Soil properties

서 언

배추(*Brassica campestris* var. *pekinensis*)는 김치의 주재료로 우리나라에서 중요하게 생각되는 채소 중 하나이다. 호냉성(好冷性) 작물인 배추는 여름철에는 평지에서 재배가 어려워 기온이 낮은 고랭지를 중심으로 이루어지고 있으며, 재배지역의 한계와 돌발기후의 잦은 발생으로 생산량 변동폭이 커 공급이 불안정하다(Lee and Heo, 2018). 배추는 이어짓기 할 경우 생육이 불량하고 수량이 감소하는 연작 장애가 발생하게 된다. 고랭지농업지역은 배추 이어짓기에 따른 농업생산기반 약화와 환경오염 등의 문제가 심각하여 이를 해결하기 위한 재배관리, 작부

체계, 대체작목 등의 영농방법을 개선하기 위한 연구가 지속되고 있다(Choi *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2020). 고랭지는 서리가 내리지 않는 기간이 짧아 1년에 한 번만 농사를 짓게 되는데, 주로 무, 배추, 양배추, 결국상추, 당근, 감자 등을 재배한다. 이중 배추와 감자를 재배하는 농가가 각각 31%, 34%로 고랭지에서 가장 많이 재배되고 있는 작목으로 조사되었다(Gangwon Province, 2006). 또한 배추의 경우 한 포장에서 이어짓거나 2년에 한번씩 감자와 돌려짓는 작부형태를 많이 취하고 있다(HARI, 2007).

작부체계는 토양의 물리성 및 화학성에 영향을 주며, 토양 물리화학성의 변화는 작물 생육에도 영향을 미쳐 작물의 생산성과 품질에도 영향을 주게 된다(Hornick *et al.*, 1992). 국외에서는 양배추의 생산성과 품질 또한 작부체계나 투입 유기물의 영

*교신저자: E-mail bgl1228@korea.kr

Tel. +82-33-330-1950

© 본 학회지의 저작권은 (사)한국자원식물학회에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

향을 받는다는 보고가 있으며(Özyazici, 2013; Bajgai *et al.*, 2013), 배추재배에서도 돌려짓기가 병을 감소시키고 생산량을 증대시켰다는 보고가 있다(Kim *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2018). 경사밭이 대부분인 고랭지 농업에서는 토양유실을 저감하기 위하여 감자 및 배추 재배환경에서 풋거름작물을 이용하거나 콩을 포함한 대체작목을 도입을 위한 작부체계 연구를 수행된 바 있으나(Kim *et al.*, 2011a; Kim *et al.*, 2011b; Lee *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2012) 고랭지배추의 대표적인 작부체계인 배추 이어짓기와 배추와 감자 돌려짓기를 비교하고 분석한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 여름배추의 주산지인 고랭지에서 고랭지배추의 대표적인 작부체계인 배추 이어짓기와 배추와 감자를 돌려짓기 시험구를 조성하여 재배토양의 물리화학적 특성과 배추의 수량성 및 품질을 분석하였으며, 그 결과를 통해 장기적으로 배추 재배 시 작부체계가 토양 이화학적 및 배추 생산성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

시험포장 조성 및 재배관리

시험포장은 2015년도 4월 강원도 평창군 대관령면에 조성하여 6년간 동일 포장에서 시험을 수행하였으며, 토성은 사양토이다. 처리구는 배추 이어짓기 처리구와 배추와 감자 돌려짓기 처리구로 조성하였으며, 6 × 4 (m²) 크기로 3반복, 랜덤으로 배치

하였다. 각 년도에 투입된 작물은 Table 1에 나타내었고, 재배관리는 흑색비닐 멀칭, 재식간격 배추 75 × 35 cm, 감자 75 × 25 cm로 하여 매년 경운작업 전에 토양 검정을 수행하여 그 결과를 휴토람 사이트(sol.rda.go.kr)에서 계산된 각 처리에 해당하는 작물의 검정시비량을 요소(질소 46%), 용성인비(인산 17%), 염화칼리(칼리 60%)를 각 시비량에 맞춰서 투입하였으며, 퇴비는 일절 투입하지 않았다. 재배품종은 대관령에서 많이 재배하는 품종을 선택하였으며, 배추는 여름배추 품종 중 하나인 수호를 감자는 수미품종을 선택하였다. 감자는 국립식량과학원 고령지농업연구소에서 전년도에 생산된 씨감자를 파종 한달 전쯤에 분양받아 싹을 틔워 5월 초중순에 파종하였으며, 배추는 플러그 묘를 종묘사에서 구입하여 6월 중순에 정식하였다. 재배관리는 재배기간 중 시험구의 잡초를 제거하고, 병해충 발병에 대한 필요 농약을 처리하였다.

시험시기 및 통계처리

고랭지 배추 작부체계에 따른 토양 이화학적 특성 및 배추 생산성을 분석하기 위하여 토양분석, 식물체 조사, 그리고 식물체 분석을 수행하였다. 각 시험의 시기는 Table 2에 나타내었다. 토양 화학성과 물리성은 각 처리의 시험 전후 토양을 분석하여 비교하였으며, 화학성은 시험구 조성 전인 2015년도 4월에, 물리성은 시험구 조성 여건 상 1년 후인 2016년도에 분석을 수행하여 시험 전 토양으로 하였다. 시험 후 토양은 시험구 조성 후 6년이 지난 2020년도 작물 수확 후 1달 이상 지난 후 토양시료를 채

Table 1. A crop sequence of field experiment

Treatment	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Continuous	Cabbage	Cabbage	Cabbage	Cabbage	Cabbage	Cabbage
Rotation	Potato	Cabbage	Potato	Cabbage	Potato	Cabbage

Table 2. Experiment and sampling times of the research

Analysis	2015		2016		2018	2020		
	Before tillage	Before tillage	Harvest	After harvest	Harvest	Before tillage	Harvest	After harvest
Soil chemical properties	○					○		○
Soil physical properties		○						○
Yield index			○		○		○	
Plant mineral contents				○				○

취하였으며, 토양 화학성의 경우 조사시기를 시 환경조건을 고려하여 2020년도 4월에도 시료를 채취하여 분석하였다. 토양 화학성과 물리성 분석은 3반복씩 조사하였다. 작물 생산성은 이어짓기와 돌려짓기 처리 모두 배추를 재배하는 연차에 조사를 하여 각 시험구에서 10개체씩 총 30개체에 대한 조사자료를 토대로 비교·분석하였다. 수확기 조사한 배추 중 일부는 적절한 전처리를 한 후 각 처리에서 5반복으로 하여 식물체 분석을 수행하였다. 모든 처리에 대한 통계분석은 Excel 프로그램을 이용하여 수행하였다. 평균과 표준편차, 표준오차는 Excel의 함수를 이용하여 계산하였고, 두 처리에 따른 유의성 검정은 t-test 통해 분석하였다.

토양물리화학성 분석

토양 화학성 및 물리성 분석은 농촌진흥청의 농업연구조사 분석기준(RDA, 2012)에 준하여 수행하였다. 시험 토양의 토양 화학성은 겨울이 지나고 땅이 녹은 후 경운작업을 수행하기 전에 포스트 홀 핸드 오거를 사용하여 표토(0 - 15 cm 깊이)의 토양을 동일 시험구의 5개 지점에서 채취하여 시료봉투에 넣어 고르게 섞었다. 화학성 분석을 위한 토양 시료는 채취한 토양시료를 직사광선이 들어오지 않는 장소에서 48시간 이상 건조시킨 후 2 mm 체로 쳐서 준비하였다. 토양화학성 분석 항목은 pH, 유기물, 유효인산(P_2O_5), 치환성 양이온(K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), 전기전도도(EC, Electric conductivity)였다. pH와 전기전도도는 초자전극법, 유기물함량은 Vario Max (Hanau, Germany) 원소분석기로 탄소함량을 측정 후 환산하였고, 유효인산함량은 Lancaster 방법에 따라 UV 720 nm (UV/VIS spectrometer, Lamda 25, PerkinElmer Co., Norwalk, CT, USA)에서 측정하였으며, 치환성 양이온함량은 토양샘플을 1 M의 NH_4OAc 추출액으로 침출하여 유도결합 플라즈마 분광광도계(Inductively Coupled Plasma Spectrometer, Optima 2100DV, PerkinElmer Co.)로 분석하였다.

토양 물리성은 용적밀도, 토양 공극률, 토양 3상을 조사하였는데, 100 cm^3 코어를 이용하여 시험 토양의 표토(5 - 10 cm 깊이)와 심토(20 - 25 cm 깊이)의 토양을 시험구 별로 채취하여 105°C에서 건조 후 무게를 측정하였으며, 이 때 입자밀도는 경작지 표토의 평균인 2.65 mg/m^3 을 적용하여 용적밀도, 공극률 그리고 토양 3상(기상, 액상, 고상)의 비율을 구하였다.

배추 생산성 조사 및 식물체 분석

배추의 생산성 조사 및 식물체 분석은 농촌진흥청 농업연구

조사분석기준 (RDA, 2012)에 준하여 수행하였다. 배추의 수량 및 생산성 조사는 배추를 정식하고 약 60일이 지난 후 수확기에 수행하였다. 생산량(yield)은 겉잎을 제외하고 구의 무게를 측정하여 재식간격을 고려한 10 a 당 수량으로 환산하여 나타내었다. 배추의 생산성을 나타내는 생육지표로는 가장 큰 잎의 길이와 폭, 구의 길이와 폭, 그리고 총 엽수를 조사하였다.

배추 식물체 분석은 수확기 배추를 중이시료봉투에 넣은 후 70°C의 열풍건조기에서 충분히 건조시킨 후 분쇄하여 실험에 사용하였다. 식물체 무기성분은 총질소(T-N), 총탄소(T-C), 인산(P_2O_5), 칼륨(K^+), 칼슘(Ca^{2+}), 마그네슘(Mg^{2+})의 함량을 측정하였다. 분쇄한 시료 1 g에 35% HNO_3 10 mL를 첨가한 후 고주파분해기기(AMDS Ethos 1, Milestonesrl Co., Italy)로 200°C 에서 120분간 산분해하였다. 분해액은 여과지(No. 6, Whatman, UK)로 여과한 후 각 성분별 분석에 사용하였다. 총질소와 탄소는 Vario Max (Hanau, Germany) 원소분석기로 측정하였고, 다른 무기이온성분들은 유도결합 플라즈마 분광광도계 (Inductively Coupled Plasma Spectrometer, Optima 2100DV, PerkinElmer Co.)로 분석하였다.

결과 및 고찰

고랭지 배추 작부체계에 따른 토양 이화학적 특성

배추 이어짓기와 돌려짓기에 따른 토양 화학성의 변화는 Table 3에 나타내었다. 작부체계와 상관없이 6번의 작물 재배는 토양 내 유기물, 유효인산 그리고 치환성 Ca^{2+} 함량을 감소시켰으나 작부체계에 따른 감소폭은 표준편차를 고려하면 유의한 차이가 없었다. 그러나 토양 pH는 6년의 재배 후 이어짓기 처리구에서 0.8 감소하여 돌려짓기 처리구가 0.5가 증가한 것과 비교하여 두 작부체계가 토양 pH에 영향을 줬음을 알 수 있었다. 일반적으로 작물 재배 시 퇴비를 투입하여 유기물과 토양 내 유효인산 함량을 증진시키는데(Park *et al.*, 2009), 본 연구에서는 시험 기간인 6년 동안 퇴비를 투입하지 않고 작물을 재배한 것이 토양 내 유기물과 유효인산 함량을 감소시킨 것에 영향을 주었을 것으로 추측된다.

토양 산성화에 대해서는 아직 정확한 원인이 밝혀지지 않았으나 농경지에서 발생하는 토양 산성화는 작물을 재배하기 위해 투입되는 질소질 비료가 토양 내에서 반응하여 형성하는 수소이온이 주요 원인 중 하나이다(Cho *et al.*, 2016). 토양 pH의 감소는 토양 내 유기물 및 질산화 과정을 방해하여 토양 내 암모니아의 축적을 야기할 수 있으며, 고농도의 암모니아는 작물의

Table 3. Changes of chemical properties of soil on two cabbage cropping systems

Sampling time	Treatment	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Cations			EC (dS/m)
					K ⁺	Ca ²⁺ (cmol/kg)	Mg ²⁺	
Before tillage of 2015	Continuous	6.3 ± 0.06 ^Z	24.4 ± 0.87	302 ± 28.1	0.3 ± 0.02	8 ± 0.22	1.1 ± 0.02	0.2 ± 0.02
	Rotation	5.3 ± 1.51	23.8 ± 1.81	310 ± 32.2	0.3 ± 0.04	8.1 ± 0.34	1.1 ± 0.07	0.2 ± 0.06
Before tillage of 2020	Continuous	5.9 ± 0.05	18 ± 1.5	260 ± 16.2	0.2 ± 0.01	6.1 ± 0.08	1.1 ± 0.05	0.1 ± 0.01
	Rotation	6.3 ± 0.15	18 ± 0.9	259 ± 35.7	0.2 ± 0.01	6.9 ± 0.57	1.2 ± 0.07	0.1 ± 0.01
After harvest of 2020	Continuous	5.5 ± 0.15	19 ± 2.7	281 ± 34.67	0.4 ± 0.09	4.9 ± 0.74	1.0 ± 0.12	0.3 ± 0.04
	Rotation	5.8 ± 0.14	16 ± 1.7	274 ± 44.7	0.2 ± 0.04	5.9 ± 0.30	1.1 ± 0.06	0.2 ± 0.06

^ZMean ± Standard deviation, Three replications.

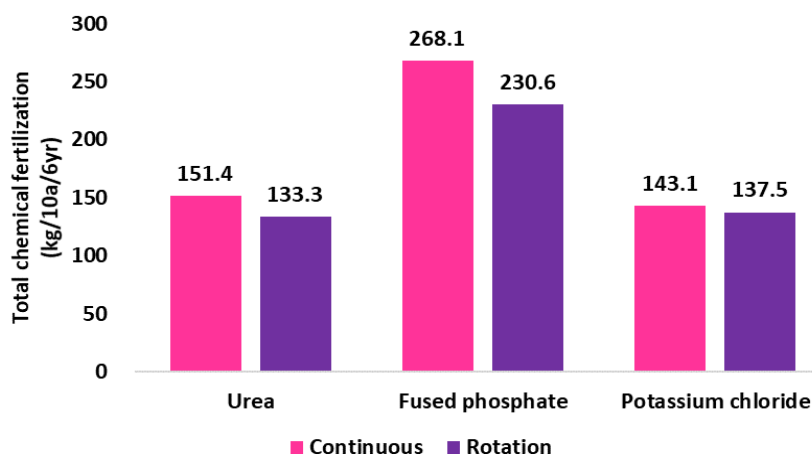


Fig. 1. Cumulative fertilization of six-years on two cropping systems.

뿌리 성장 악화 및 발아 등을 저해하여 작물 생육에 악영향을 줄 수 있다(De Graaf *et al.*, 1998). 본 시험에서는 매년 토양 검정을 통해 산출된 검정시비량을 각 시험구에 투입하였으며, 6년 동안 토양에 투입된 누적 검정시비량은 질소질 비료인 요소를 포함하여 이어짓기 시험구에서 더 많은 양이 투입이 되었다 (Fig. 1).

6년 동안 배추를 재배했을 때 배추 이어짓기 시험구에서 돌려짓기 시험구와 비교하여 토양 pH가 감소한 것은 더 많은 양의 질소질 비료 투입이 원인 중 하나라고 생각되며, Park *et al.* (2011)이 대관령지역의 작물 재배포장에 대한 토양 모니터링을 수행한 결과 배추 재배지가 감자 재배지보다 낮은 pH를 보여 본 시험과 일치하는 결과를 보여 장기적인 배추의 이어짓기가 토양 pH를 감소시킬 수 있을 것으로 추정된다. 다만 배추 재배로 인해 토양 pH가 어느 수준까지 감소하는지 화학비료 외에 다른

주요한 요인이 없는지 등에 대해서는 추가적인 연구와 장기적인 모니터링이 필요하다.

농업에서 토양의 물리성은 작물의 뿌리발달 등과 관계가 있어 작물의 생육과 밀접한 연관이 있다(Kim *et al.*, 2010). 특히 토양 공극에는 물, 용해물질, 공기가 있기 때문에 적절한 공극이 있어야 작물이 뿌리를 통해 산소, 물, 양분 등을 흡수할 수 있어 뿌리생육에 직접적인 영향을 끼쳐 공극률이 감소하면 뿌리 발달도 원활히 이루어지기 어렵다(Kim *et al.*, 2014). 고랭지 배추 작부체계에 따른 토양공극률은 5 - 10 cm 깊이의 표토의 경우 작부체계와 관계없이 5년의 재배 이후 이어짓기와 돌려짓기 처리 모두 각각 5.7%, 4.5%씩 감소하였으며, 25 - 30 cm 깊이의 심토의 경우 이어짓기 작부에서는 토양 공극률이 2.2% 감소하였으나 돌려짓기 작부에서는 3.3% 증가하여 이어짓기보다 돌려짓기에서 높은 공극률을 나타내었다(Table 4).

Table 4. Changes of soil physical properties depending on cropping systems

Depth (cm)	Sampling time	Treatment	Bulk density (g/mL)	Porosity (%)	Three phages of soil(%)		
					Solid	Liquid	Gaseous
5 - 10	Before cropping	Continuous	1.2 ± 0.05 ^Z	54.7 ± 1.68	45.4 ± 1.68	16.8 ± 0.87	38.0 ± 2.55
		Rotation	1.3 ± 0.08	52.6 ± 2.76	47.5 ± 2.76	18.4 ± 0.77	34.3 ± 3.44
	After six years	Continuous	1.4 ± 0.02	49.0 ± 0.5	51.1 ± 0.5	21.9 ± 1.02	27.2 ± 1.49
		Rotation	1.4 ± 0.02	48.1 ± 0.5	52 ± 0.5	21.9 ± 0.83	26.3 ± 1.3
25 - 30	Before cropping	Continuous	1.6 ± 0.03	40.4 ± 1.08	59.7 ± 1.08	22.1 ± 0.99	18.3 ± 2.04
		Rotation	1.7 ± 0.02	37.9 ± 0.48	62.2 ± 0.48	23.1 ± 0.99	14.9 ± 0.6
	After six years	Continuous	1.7 ± 0.03	38.2 ± 0.9	61.9 ± 0.9	28.7 ± 2.53	9.6 ± 3.28
		Rotation	1.6 ± 0.02	41.2 ± 0.59	58.9 ± 0.59	27.6 ± 0.47	13.7 ± 1.06

^ZMean ± Standard deviation, Three replications.

토양 중 공극은 토성, 입단화 정도, 미생물을 비롯한 토양 생물, 소동물 그리고 식물의 뿌리 등 다양한 요인의 영향을 받는데, 농경지에서 작물을 재배하기 전에 이루어지는 경운 작업은 토양 내 생물의 활동과 뿌리의 밀도가 감소하여 표층의 공극률을 낮춘다(Gantzer and Blake, 1978; Martínez *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2014). 본 시험에서 작부체계와 관계 없이 6년의 재배 이후 표토의 토양 공극률이 감소한 것은 매년 작물을 재배하기 전에 행해진 경운 작업의 영향이 컸을 것으로 추측된다. 심토에서 작부체계 간의 공극률의 차이는 액체의 공극률인 액상률보다는 기체의 공극률인 기상율의 차이의 기여가 큰 것으로 여겨지며, 이는 배추 재배 시 감자와의 돌려짓기는 이어짓기보다 심토의 기상율을 높임으로써 공극률을 증가시키고, 작물이 생육할 수 있는 유효토심의 깊이를 낮춰 보다 건전한 뿌리발달을 유도시킬 수 있을 것으로 판단된다. 참깨를 대상으로 수행한 연구에서도 단일 작물을 재배하는 것보다 두 작물을 재배할 때 토양의 공극률이 증가하여 여러 작물을 함께 재배하는 것이 토양 공극률을 증가시켜 작물생육에 유리하다는 것을 시사하였다(Nam *et al.*, 2004).

고랭지 배추 작부체계에 따른 배추 생산성 및 무기성분 비교

고랭지 배추의 수량은 기상에 따라 차이는 있었으나 수량에 미치는 작부체계의 영향을 명확하게 보여주었다. 이어짓기에 따른 고랭지배추의 수량은 이어짓기를 시작한 지 2년차인 2016년부터 4년차, 6년차 모두 감자와 돌려짓기 시험구에서 약 24% 증수한 수량을 보여주었다(Fig. 2).

동일 작물을 이어짓기 시 작물 생육이 부진하고 수량이 감소하는 연작장해는 토양 양분의 불균형, 타감작용, 병원성 기주

미생물의 증가 등이 원인으로 생각되고 있지만(Power and Follett, 1987) 아직 명확한 원인이 밝혀진 것은 아니다. 배추를 이어짓기 했을 경우 무사마귀병, 뿌리혹병 등의 배추를 기주로 삼고 있는 병원균의 밀도가 증가한다고 알려져 있으나(Kim *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2003) 본 시험에서는 두 처리구 모두에서 무사마귀병과 뿌리혹병의 발병이 없어 이를 비교하기는 어려웠다. 또한 배추를 이어짓기 할 경우 돌려짓기와 비교하여 배추의 무게가 감소하였을 뿐 아니라 잎의 크기와 구의 크기 또한 감소하였다(Table 5). 2년차인 2016년도와 비교하여 배추 이어짓기 기간이 길어질수록 돌려짓기와 생육 차이가 크게 발생하였다. 2년차에도 수량은 돌려짓기 시험구에서 더 높았으나 잎의 크기는 유의한 차이가 없었고, 구고(cabbage height)만 돌려짓기 시험구에서 유의하게 높았다. 그러나 4년차에는 잎의 크기와 구의 크기 모두 돌려짓기 시험구에서 유의하게 높은 값을 보이기 시작하여 6년차에는 두 처리를 비교한 t 통계량 값이 더욱 증가하여 두 처리구 간의 차이가 더욱 극명해졌다.

수확한 배추의 무기 성분을 분석한 결과는 Table 6에 나타내었다. 2년차인 2016년도에는 분석한 성분 중 작부체계에 따른 유의차를 보이는 것은 없었으나 6년차인 2020년도에는 총 질소, Ca²⁺, Mg²⁺가 처리에 따른 유의차를 보임으로써 작부체계가 배추의 품질에 영향을 줌을 추측할 수 있었다. 작부체계와 관계 없이 작물을 6년 동안 재배한 포장에서 배추 내 질소, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺은 증가하였고, 탄소와 인산은 감소하였다. 이 중 질소와 Mg²⁺은 이어짓기를 할 때 유의하게 높은 값을 나타냈으며, Ca²⁺은 돌려짓기 시험구에서 더 높은 값을 보였다.

특별한 원인을 찾을 수 없이 잘 자라지 못한 배추와 정상적으로 생육한 배추의 잎을 분석하여 비교한 Choi *et al.* (1990)의 연

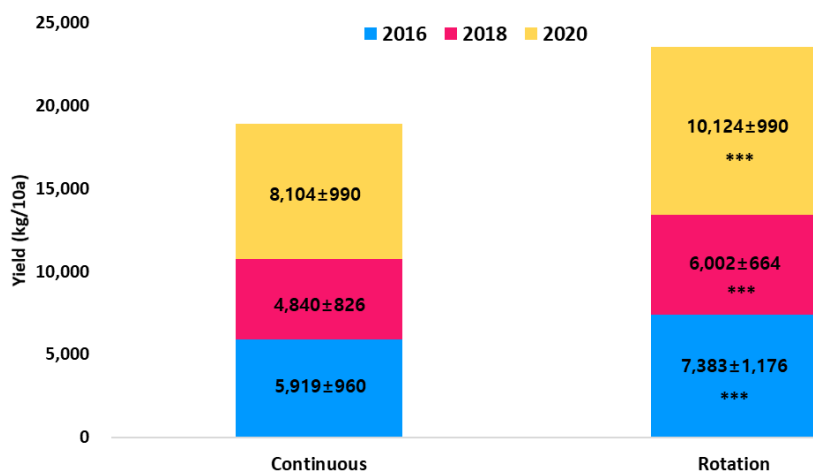


Fig. 2. Cumulative yield of three-years between two cabbage cropping systems. Mean ± standard deviation, t-test, *** p value < 0.001.

Table 5. Yield indices of cabbage on two cropping systems

Year	Treatment	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Cabbage height (cm)	Cabbage width (cm)	Number of leaves
2016	Continuous	32 ± 2.5 ^Z	19 ± 2.7	26 ± 2.0	23 ± 1.5	93 ± 4.8
	Rotation	33 ± 2.1	20 ± 1.7	31 ± 1.8	23 ± 2.8	89 ± 5.7
	t-test	NS	NS	***	NS	*
2018	Continuous	33 ± 2.0	20 ± 1.5	28 ± 2.1	23 ± 2.1	75 ± 4.4
	Rotation	34 ± 1.9	21 ± 1.4	29 ± 1.8	24 ± 1.6	79 ± 4.9
	t-test	*	**	***	*	**
2020	Continuous	31 ± 1.6	19 ± 1.6	26 ± 1.9	14 ± 1.1	94 ± 5.3
	Rotation	33 ± 1.7	21 ± 1.4	28 ± 1.1	17 ± 1.2	97 ± 5.6
	t-test	***	***	***	***	NS

^ZMean ± Standard deviation, t-test, NS: no significance, *p value < 0.05, **p value < 0.01, ***p value < 0.001.

Table 6. Mineral contents of cabbage on two cropping systems

Year	Treatment	T-N (%)	T-C (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Mineral contents (cmol/kg)			
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
2016	Continuous	2.7 ± 0.34 ^Z	40.0 ± 1.26	18517 ± 1910.8	38701 ± 5243.2	21413 ± 4789.4	2529 ± 357.5	605 ± 128.9
	Rotation	2.9 ± 0.40	40.1 ± 0.85	19038 ± 2426.1	40107 ± 5866.4	19579 ± 4196.6	2292 ± 263.7	445 ± 116.6
	t-test	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
2020	Continuous	3.9 ± 0.33	35.0 ± 1.16	15195 ± 1307.1	36093 ± 4356.9	29661 ± 3114.3	4288 ± 422.9	797 ± 157.5
	Rotation	3.6 ± 0.27	35.1 ± 1.87	16096 ± 1981.5	37950 ± 8617.8	30451 ± 3338.7	3969 ± 416.1	916 ± 233.2
	t-test	**	NS	NS	NS	**	*	NS

^ZMean ± Standard deviation, t-test, NS: no significance, *p value < 0.05, **p value < 0.01.

구에서도 잘 자라지 못한 배추의 식물체 내 질소가 유의하게 높은 편이었으며, 칼슘과 마그네슘도 약간 높은 값을 보였지만 큰

차이는 없다고 하였다. 본 연구에서 토양 pH는 재배 전과 비교하여 이어짓기 시험구에서 감소하였으나 돌려짓기 시험구와 큰

차이가 없었고, 토양 내 양분은 두 처리에서 큰 차이를 보이지 않았지만 수확기의 배추를 조사한 결과 몇몇 성분에서 유의한 차이를 확인할 수 있었다. 배추의 무기성분은 양분공급측면에서 중요한데 품종, 재배시기, 재배방법 등이 배추의 무기성분함량에 영향을 줄 수 있다(Lee *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2013). 무기영양소는 주로 토양에서 얻어지는데 식물이 무기원소를 흡수하는 과정은 뿌리의 표면적과 뿌리에 공생하고 있는 다양한 생물체들이 작용하게 되며, 뿌리 주변의 미생물 군집은 작물의 종류나 재배 관리 등에 따라 다르게 구성되고 양분 흡수, 작물 생육 등에 영향을 준다(Kumar and Dubey, 2020). 본 연구에서 작부체제로 인한 배추의 무기성분 및 생육의 차이는 토양 내 양분의 차이에서 기인하기 보다는 작부처리로 인해 야기된 토양 물리성 및 생물상의 차이가 배추의 뿌리발달, 근권 및 토양 미생물 구성에 영향을 끼침으로써 발생했을 것으로 사료된다.

적 요

김치의 재료로 우리나라에서 중요한 채소인 배추는 호냉성으로 여름에는 서늘한 고랭지에서 주로 재배된다. 고랭지에서 배추 재배 시 주로 배추를 매년 이어짓기하거나 감자와 번갈아가면서 재배하고 있는데, 본 연구에서는 두 가지 작부체계 하에서 토양 물리화학적, 배추 생산성 그리고 배추 무기성분의 차이를 분석하고 평가하였다. 결과적으로 토양 내 유기물, 유효인산, 칼륨(K^+)은 두 작부체계 모두 6년의 재배 이후 감소하였으며, 토양 pH는 배추 이어짓기 작부에서만 감소하였다. 표토의 공극률 또한 두 작부체계에서 모두 감소하였으나 감자와 돌려짓기 작부에서는 심토의 공극률이 증가하였다. 돌려짓기 작부에서는 배추와 잎의 크기가 유의하게 높아 높은 수량을 얻었다. 식물체 분석 결과 6년의 재배 이후 두 작부체계 모두 배추의 총질소, Ca^{2+} , Mg^{2+} 은 증가하고 총탄소와 인산함량은 감소하였는데, 총질소와 Mg^{2+} 은 이어짓기 작부에서 Ca^{2+} 은 돌려짓기 작부에서 감소하여 배추 재배 시 작부체계가 토양의 물리화학적과 작물의 생산성에 영향을 줄을 시사하였다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 기관 고유사업(세부과제명: 고령지 농경지 이용형태 변화에 따른 토양환경 장기 변동 특성 평가, 과제번호: PJ01346004)의 지원으로 수행되었습니다.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

- Bajgai, Y., P. Kristiansen, N. Hulugalle and M. McHenry. 2013. Comparison of organic and conventional managements on yields, nutrients and weeds in a corn-cabbage rotation. *Renew. Agr. Food. Syst.* 30:132-142.
- Chen, S., X. Zhou, H. Yu and F. Wu. 2018. Root exudates of potato onion are involved in the suppression of clubroot in a Chinese cabbage-potato onion- chinese cabbage crop rotation. *Eur. J. Plant. Pathol.* 150:765-777.
- Cho, Y.I., H.S. Kang and E.C. Jeon. 2016. The effects of reactive nitrogen (Nr) compounds on the acidification in soil and water environment ecosystems and the mitigation strategy. *KJEE.* 49:1-10 (in Korean).
- Choi, B.J., C.H. Lee and H. Park. 1990. Investigation of soil factors on physiological disorder of vegetable crops in vinyl house; (I) Tomato, Chinese cabbage and summer radish. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 23:52-58 (in Korean).
- Choi, Y.B., J.E. Lim, Y.S. Jung, S.S. Lee and Y.S. Ok. 2012. Best management practices for sloping upland erosion control: feasibility of PAM and biopolymer application. *J. Agric. Life. Environ. Sci.* 24:30-39 (in Korean).
- De Graaf, M.C.C., Bobbink, R., Roelofs, J.G.M. and P.J.M. Verbeek. 1998. Differential effects of ammonium and nitrate on three heathland species. *Plant Ecol.* 135:185-196.
- Gangwon Province. 2006. Highland Field Farmers Survey Results Report (in Korean).
- Gantzer, C.J. and G.R. Blake. 1978. Physical characteristics of Le Sueur clay loam soil following no-till and conventional tillage, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:853-857.
- Highland Agriculture Research Institute (HARI). 2007. Highland Farming Status Survey Analysis of South Korea and Cropping System Model Development. Research Report (in Korean).
- Hornick, S.B. 1992. Factors affecting the nutritional quality of crops. *Am. J. Alternative. Agr.* 7:63-68.
- Kim, C.H., W.D. Cho and H.M. Kim. 2000. Distribution of *Plasmodiophora brassicae* causing clubroot disease of Chinese cabbage in soil. *Plant Dis. Res.* 6:27-33 (in Korean).
- Kim, C.H., W.D. Cho and S.B. Lee. 2003. Review of researches

- on clubroot disease of Chinese cabbage in Korea and future tasks for its management. Res. Plant Dis. 9:57-63 (in Korean).
- Kim, C.Y., Y.J. Seo, T.Y. Kwon, J.H. Park, M.S. Heo and S.K. Ha. 2010. Correlation between the factors of soil physical property in upland soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 43:793-797 (in Korean).
- Kim, G.H., G.Y. Kim, J.H. Kim, D.M. Sa, J.S. Seo, B.G. Shon, J.I. Yang, G.C. Um, S.E. Lee, G.Y. Jung, D.Y. Jung, Y.T. Jung, J.B. Jung and H.N. Hyun. 2014. Soil Science. 2nd ed. HyangMunSa Publishing Co., Seoul, Korea. pp. 74-80 (in Korean).
- Kim, J.S., J.T. Lee and G.J. Lee. 2009. Effect of crop rotation on control of clubroot disease of Chinese cabbage caused by *Plasmodiophora brassicae*. Res. Plant Dis. 15:242-247 (in Korean).
- Kim, M.J., S.H. LEE, S.S. Chang, T.I. Kim, S.H. Choi, W.M. Cho, S.G. Hong, S.R. Lee and M.H. Kim. 2011a. Effect of the climatic condition on the growth characteristic of domestic corn hybrids in alpine region. J. Kor. Grassl. Forage Sci. 31:371-382 (in Korean).
- Kim, S.J., H.B. Sohn, S.Y. Hong, T.Y. Kim, J.T. Lee, J.H. Nam, D.C. Chang, J.T. Suh and Y.H. Kim. 2020. Effect of the landscape crop, *Chrysanthemum zawadskii* on reducing soil loss in highland sloping area. Korean J. Plant Res. 33:15-23 (in Korean).
- Kim, S.W., Y.H. Seo, Y.B. Choi, M.S. Ahn and A.S. Kang. 2011b. Effect of mixed sowing of hairy vetch and rye on green manure yield in mountainous highland. Korean J. Soil. Sci. Fert. 44:442-447 (in Korean).
- Kumar, A. and A. Dubey. 2020. Rhizosphere microbiome: Engineering bacterial competitiveness for enhancing crop production. J. Adv. Res. 24:337-352.
- Lee, J.E., P. Wang, G.Y. Kim, S.H. Kim, S.H. Park, Y.S. Hwang, Y.P. Lim, E.M. Lee, I.K. Ham, M.H. Jo and G.H. An. 2010. Effects of soil pH on nutritional and functional components of chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *campestris*). Korean J. Hort. Sci. Technol. 28:353-36 (in Korean).
- Lee, J.T., G.J. Lee, C.S. Park, S.W. Hwang and Y.R. Yeoung. 2005. Effect of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) sod culture on reducing soil loss and providing nitrogen for Chinese cabbage in highland. Korean J. Soil. Sci. Fert. 38:294-300 (in Korean).
- Lee, J.T., G.J. Lee, J.S. Ryu, J.S. Kim, K.H. Han and Y.S. Zhang. 2012. Evaluation of surface covering methods for reducing soil loss of highland slope in soybean cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:725-732 (in Korean).
- Lee, K.H., H.S. Kuack, J.W. Jung, E.J. Lee, D.M. Jeong, K.Y. Kang, K.I. Chae, S.H. Yun, M.R. Jang, S.D. Cho, G.H. Kim and J.Y. Oh. 2013. Comparison of the quality characteristics between spring cultivar of Kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis*). Korean J. Food Preserv. 20:182-190 (in Korean).
- Lee, S.H. and I.H. Heo. 2018. Impact of climate on yield of highland Chinese cabbage in Gangwon province, South Korea. J. Korean. Geogr. Soc. 53:265-282 (in Korean).
- Martínez, E., J.P. Fuentes, P. Silva, S. Valle and E. Acevedo. 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. Soil Till. Res. 99:232-244.
- Nam, S.Y., I.J. Kim, M.J. Kim, C.H. Lee, T.S. Kim and J.K. Bang. 2004. Studies on the cropping system of sesame (*Sesamum indicum* L.) of Korea. Korean J. Plant Res. 17: 117-152 (in Korean).
- Özyazici, M.A. 2013. Effects of sewage sludge on the yield of plants in the rotation system of wheat-white head cabbage-tomato. Euras. J. Soil. Sci. 2:35-44.
- Park, J.M., I.B. Lee, Y.I. Kang and K.S. Hwang. 2009. Effects of mineral and organic fertilizations on yield of hot pepper and changes in chemical properties of upland soil. Korean J. Hort. Sci. Technol. 27:24-29 (in Korean).
- Park, K.H., H.J. Yun, K.Y. Yul, J.C. Yun, J.J. Lee, H.A. Hwang, K.D. Kim and Y.I. Jin. 2011. The monitoring of agricultural environment in Daegwallyeong area. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:1027-1034 (in Korean).
- Power, J.F. and R.F. Follett. 1987. Monoculture. Sci. Am. 256: 78-87.
- Rural Development Administration (RDA). 2012. Agricultural Science and Technology Research Survey Analysis Standard (in Korean).
- Yang, S.K., Y.W. Seo, S.K. Kim, B.H. Kim, H.K. Kim, H.W. Kim, K.J. Choi, Y.S. Han and W.J. Jung. 2014. Changes in physical properties especially, three phases, bulk density, porosity and correlation under no-tillage clay loam soil with ridge cultivation of rain proof plastic house. Korean J. Soil Sci. Fert. 47:225-234 (in Korean).