

논 재배 팥 품종별 수량구성요소 및 에탄올 추출물의 항산화 성분 비교

전현정¹ · 정기열¹ · 최영대¹ · 이상훈¹ · 송석보² · 고지연² · 최지명² · 장윤우^{1,†}

Differences in Yields, Antioxidant Compounds, and Antioxidant Activity of Ethanolic Extracts among 11 Adzuki Bean Cultivars (*Vigna angularis* L.) Cultivated on a Somewhat Poorly Drained Paddy Field

Hyen Chung Chun¹, Ki Yuol Jung¹, Young Dae Choi¹, Sanghun Lee¹, Seok bo Song², Jee Yeon Ko², Ji Myung Choi², and Yun Woo Jang^{1,†}

ABSTRACT This study investigated the changes in yields, antioxidant compounds, and antioxidant activities among 11 adzuki bean cultivars cultivated in a paddy field with somewhat poorly drained soil. The adzuki bean cultivars were cultivated in the paddy field from 2015 to 2016 in Milyang, Gyeongsangnam, Korea. Average soil moisture content was 16.5% in 2015 and 31.0% in 2016 at the experimental site during adzuki bean cultivation. As the soil moisture content increased, most of the adzuki bean cultivars showed decreases in stem height, first setting pod node, number of pods, 100 seed weight, and yield. Chungju-pat produced the greatest yields among the 11 cultivars in 2015 and 2016, whereas Hongeon had the smallest yields. Adzuki bean yields after paddy field cultivation was lower for all cultivars than for adzuki bean yields from the same cultivars after upland field cultivation. Chungju-pat and Chilbo-pat showed the smallest decreases in yields after paddy field cultivation, whereas Hongeon and Kumsil showed the greatest yield reductions. There were no significant differences in proximate composition. Some mineral components (P₂O₅, Ca, and Mg) were statistically different across cultivars. Chungju-pat had the highest Ca and Mg contents, but antioxidant components (polyphenol and flavonoids) and antioxidant activities (ABTS and DPPH) were highest in Saegil and lowest in Jungbu-pat. PCA and clustering analyses, based on the growth, yield, and antioxidant component measurements, performed to identify which variables contributed the most to separating adzuki bean cultivars or to grouping cultivars with similar characteristics. These analyses showed that the antioxidant components and antioxidant activities had the most influence on grouping cultivars together. Among the 11 cultivars, Saegil was statistically different from the other cultivars, but the other 10 cultivars were not significantly different under paddy field cultivation. Soil moisture content affected adzuki bean yield and antioxidant component contents. An increase in soil moisture led to a decrease in yield, but an increase in antioxidant components. These results provide information that will improve the selection of an appropriate adzuki bean cultivar for use in paddy fields.

Keywords : adzuki bean, antioxidant activities, antioxidant components, excess soil moisture, paddy field

적절한 토양 수분관리는 작물의 최적 생육과 수량을 위해 서 매우 중요하다(Cannel *et al.*, 1980). 과습한 토양상태는 작물의 영향 부족, 뿌리에 산소 공급 등과 같은 문제를 야기 시키며(Jung *et al.*, 2011), 또한 미생물로 인한 유해 물질을

증가시키고 뿌리질병 유발 가능성을 증가 시킨다(Ashraf & Rehman, 1999). 이러한 영향들은 복합적으로 작물에 스트 레스로 작용하여 결과적으로 작물 생육을 저하시키고 수량 을 감소시킨다.

¹농촌진흥청 국립식량과학원 생산기술개발과 (Crop Production Technology Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

²농촌진흥청 국립식량과학원 밭작물재배과 (Upland crop breeding research division, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

[†]Corresponding author: Yun Woo Jang; (Phone) +82-55-350-1257; (E-mail) ywj2012@korea.kr

<Received 1 March, 2017; Revised 9 July, 2017; Accepted 9 July, 2017>

현재 한국의 논 토양은 전체 농경지의 55%를 차지하고 있으며(Korean National Statistical Office, 2015). 일반적인 논 토양은 물을 가두어 벼를 재배하는 방식으로 인하여 배수가 매우 불량하고 지하수위가 높은 특징을 가지고 있다. 이러한 논 토양들은 대부분 낮은 수분 침투율과 침투속도를 가지고 있고 이런 조건은 토양을 쉽게 과습 상태로 만든다(Jung *et al.*, 2013). 이런 과습한 상태의 논 토양은 발작물의 생육과 수량이 악영향을 주는 스트레스로 작용하게 된다(Jo *et al.*, 1996; Ji *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2010). 최근, 우리나라는 쌀 소비의 감소와 쌀의 과잉생산으로 논에서 벼 발작물의 재배하여 낮은 발작물의 자급률을 높이면서 쌀의 과잉 방지하는 대책이 요구되고 있다. 그러나 발작물은 공통적으로 과습 상태에 취약하며 특히 팔은 습해에 약한 작물로 유효기에 과습으로 인한 피해가 크고 과습으로 인한 수량감소율이 콩, 수수 같은 발작물보다 더 큰 것으로 알려져 있다(Chun *et al.*, 2016). 팔과 같이 토양 수분에 민감한 발작물을 논 에서 재배하기 위해서는 과습으로 인한 생육과 수량 등에 발생하는 변화를 분석, 평가하는 것이 매우 중요하다.

팔(Adzuki bean, *Vigna angularis* var. *nipponensis*)은 동아시아 지역 그 중에서도 특히 한국, 일본, 중국 지역에서 가장 오래된 두과작물 중에 하나이며 단백질 공급하는 주요 식량자원으로 콩 다음으로 널리 사용되고 있다(Sacks, 1977). 팔의 주성분은 단백질, 당질이며 미네랄류, 비타민 등의 영양소와 소량의 사포닌을 함유하고 있다(RDA, 2016). 팔의 연간 1인당 소비량은 0.6~0.8 kg이고 재배면적은 2011년에 3,650 ha이며, 생산량은 2015년에 5,335톤 이다(KNSO, 2015). 2010년 팔의 자급률은 15%에 미치지 못하고 있다(RDA, 2016).

팔은 다른 두과작물들과 같이 천연 항산화성분이 포함되어 있는 것으로 알려져 있고 이런 두과작물에서 성분 추출 및 특성 분석에 대한 연구가 활발히 이루어져왔다(Moran *et al.*, 1997; Randhir *et al.*, 2004). 팔은 품종별로 함유하고 있는 항산화성분과 항산화활성이 다르다고 알려져 있다(Woo *et al.*, 2010). Woo *et al.* (2010)은 총 10 품종의 팔을 분석한 결과 국내에서 개발된 팔 품종들이 높은 항산화 성분과 우수한 항산화활성을 가지고 있다고 결론지었다. 이러한 팔 항산화성분의 변화는 재배방법과 토양수분과 같은 환경의 영향을 받는다는 기존 연구발표가 있었다. Woo *et al.* (2015)은 파종시기와 재배간격에 따른 팔 성분 변화를 조사한 결과 폴리페놀(polyphenol)과 플라보노이드(flavonoid) 함량, DPPH와 ABTS radical 소거활성 등이 재배방법에 따라 유의적 차이를 보인다고 보고하였다. Woo *et al.* (2014)은 토양 수분에 따른 팔의 수량과 항산화성분에 미치는 영향

을 분석한 결과, 토양수분이 수량과 성분 변화에 명확한 방향성이 나타나지는 않았으나, 논 토양에서 암거배수로 토양 수분을 더 낮게 유지한 논 토양에서 팔 수량이 증가하였고, 폴리페놀, 플라보노이드, 타닌 함량 등은 더 낮은 값을 나타내었다. 이와 같이 팔은 재배 환경 특히 논 토양과 같은 과습한 토양 수분 상태에 따라 수량뿐만 아닌 종실 성분의 변화가 나타날 것이다.

본 연구에서는 배수가 불량한 논 토양에서 팔 재배 시 수량과 종실 성분이 품종간 차이를 보일 것으로 가정하고 이에 따라 시험품종들을 논에 재배하여 과습한 상태의 토양에서의 생육, 수량과 항산화성분 및 항산화활성에 미치는 영향을 분석하여 논 토양에 재배에 적합한 팔 품종을 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

시험 포장 및 토양 분석

본 연구는 경남 밀양시 부북면 오례리의 논 포장에서 2015년과 2016년에 이루어졌다. 시험포장의 토양통은 가곡통으로 시험연구 포장 크기와 토양조사 내용은 Fig. 1과 Table 1과 같다. 배수등급은 약간불량이고(somewhat imperfectly drained paddy soil) 2014년까지 벼 재배가 이루어졌다. 시험 포장의 침수를 피하기 위해서 넓이 30 cm, 깊이 50 cm의 명거배수를 설치하였고 시비량은 N-P₂O₅-K₂O = 4-6-6 kg/10a 전량 기비하였다. 선택된 11 품종의 팔은 다음과 같다; 연두채(Yeonduchae), 금실(Kumsil), 연금(Yungum), 아라리(Arari), 새길(Saegil), 홍연(Hongeon), 충주팔(Chungju-



Fig. 1. Soil profile at the experimental site.

Table 1. Description and physical properties of the soil profile at the experimental site.

Drainage class	Horizon	Depth (cm)	Hardness (mm)	Soil color	Soil moisture content (%)	Bulk density (g cm ⁻³)	Conductivity (cm d ⁻¹)
Somewhat Poorly Drained	Ap	~15	18.6	10YR 4/3	42.4	1.5	127.7
	B1	16~25	26.0	10YR 4/3	37.8	1.5	144.0
	B2	25~35	20.3	10YR 3/2	27.2	1.5	191.0
	C1	36~60	20.5	10YR 3/3	31.1	1.6	171.7
	C2	61~	16.5	10YR 4/1	41.8	1.5	182.5

pat), 중부팔(Jungbu-pat), 경원팔(Kyungwon-pat), 칠보팔(Chilbo-pat), 검구슬(Geomguseul). 11품종의 팔들은 2015년 7월 6일과 2016년 6월 27일에 파종되었고 기타 재배법은 농촌진흥청 표준재배법에 준하였다. 재식거리는 60 × 20 cm, 재식 본수 2본으로 파종하였고 시험배치는 단구제로 이루어졌다. 시험 재배 후 통계처리를 위하여 한 구간 안에서 3 반복으로 분석 시료들을 채취하고 분석하였다. 재배기간 동안 6곳에서 Watchdog SM 100 측정기(Spectrum Technologies, Plainfield, Illinois, USA)를 이용하여 토양 수분을 15 cm 깊이에서 한 시간마다 측정되어 데이터로거(Watchdog 1000 Data Logger, Spectrum Technologies, Plainfield, Illinois, USA)에 저장하였다.

팔은 수확 후 생육 및 수량구성요소를 조사 하였고 종자의 성분조사를 하였다. 토양 시료는 팔 파종 전 토양 층위별로 채취하여 용적밀도, 투수속도 및 화학성을 분석하였다. 토양 경도는 산중식 경도(Yamanaka, Japan)를 이용하여 측정하였다. 토양 용적밀도는 2인치 코아로 채취하여 용적밀도를 구하였고 투수속도는 3인치 코아로 채취하여 KSAT(UMS, Munich, Germany) 로 측정하였다. 토양 화학성은 농촌진흥청 토양화학성분분석법(NIAST, 2000)에 준하여 pH, EC, 유기물, 유효인산 및 치환성양이온을 측정하였다.

종자의 일반성분 및 무기성분 함량 분석

팔의 수분함량은 적외선수분함량측정기(AND MX-50 moisture analyzer, Tokyo, Japan)로 측정하였으며, 조지방 함량은 Soxhlet (Soxtec™ 2050 Analyzer Unit, Foss Tecator)으로 분석하였고 조회분 함량은 600℃ 직접회화법으로 분석하였다. 무기성분은 습식분해법으로 처리한 후 ICP (Inductively Coupled Plasma, Optima-3300DV, Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA)로 측정하였다.

추출물 제조 및 항산화성분 함량 분석

시료의 항산화성분 및 항산화활성 분석을 위하여 시료를

분쇄한 후 80% 에탄올에 넣어 상온에서 24시간동안 3회 진탕추출 후 여과하여 총 폴리페놀 함량 과 플라보노이드 함량을 분석하였다. 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu phenol reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원되어 몰리브덴이 청색으로 발색 되는 정도를 분석하였다(Dewanto *et al.*, 2002). 총 플라보노이드 함량은 추출물 250 µL에 증류수 1 mL와 5% NaNO₂ 75 µL를 혼합한 후 10% AlCl₃·6H₂O 150 µL를 가하여 6분 방치하고 1 N NaOH 500 µL를 가한 후 혼합약의 흡광도 차이에 따라 값을 계산하였다.

에탄올 추출물의 항산화활성 검정

에탄올 추출물에 대한 항산화활성 검정으로 DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich) 와 ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich) radical 소거활성을 측정하였다. DPPH radical의 소거활성은 0.8 mL에 시료 0.2 mL를 첨가한 후 520 nm의 0.2 mM DPPH용액(99.9% ethanol에 용해)에 흡광도 감소치를 30분 후 측정하였다. ABTS radical의 소거활성은 ABTS 7.4 mM 과 potassium persulphate 2.6 mM을 혼합 후 암소에 24시간 보존 후 이용액을 735 nm에서 흡광도가 1.4~1.5가 되도록 조정하였다. 희석된 ABTS용액 1 mL에 시료 추출액 50 µL를 가하여 흡광도 값을 30분 후에 측정하였다.

통계분석

조사와 분석의 품종간 차이를 분석하기 위하여 ANOVA (Analysis of Variance) 와 다변량 분석을 실행하였다. 다변량 분석 중 다차원의 변수를 정보의 손실을 최소화하면서 낮은 차원의 변수로 선형 모델링하며 다차원의 변수를 낮은 차원으로 표현하는 PCA (Principal Component Analysis)를 실시하였다(Konovalov *et al.*, 2003). 이 PCA를 통하여 변수들의 상관관계 및 분포 형태에 따른 축을 찾고 각각의 축은 하나의 주성분(principal component, factor)에 해당되고 주요 주성분들을 데이터 분포에서 추출하였다. 이 후 각

주성분을 구성하는 변수의 고유값(eigenvalue)과 고유벡터(eigenvector)값을 구한 후 시험 품종들의 군집분석을 실행하였다. 모든 통계 분석은 SAS program (SAS institute, v.9.2, Cary, NC, USA)을 사용하였다.

결 과

토양 이화학성 특성 및 토양수분

시험 연구에 이용된 포장의 토양 이화학적 특성은 Table 1과 2와 같다. 토양층은 모두 5개의 층위로 이루어져 있고 60 cm 깊이에서 지하수위가 형성되었다. 포장 토성은 미사 질식양토의 논 토양으로 곡간지 지형으로 배수등급은 약간 불량으로 분류되었다(Fig. 1). 2015년전까지 벼가 재배되어서 유효인산 함량이 낮고 투수속도가 낮은 특징을 보였다. Ap층이 다른 층보다 산성을 띠고 그에 비하여 높은 유기물과 인산함량을 보였다. 반면 물리적 측정 결과 Ap층을 비롯 대부분의 층위가 비슷한 용적밀도를 보였고 특히 투수속도가 매우 낮았다. 조사 당일 토양수분함량은 Ap층은 42.4%로 상당히 과습한 상태를 나타냈고 이후 토양수분센서 설치로 매시간 Ap층의 토양 수분을 측정하였다.

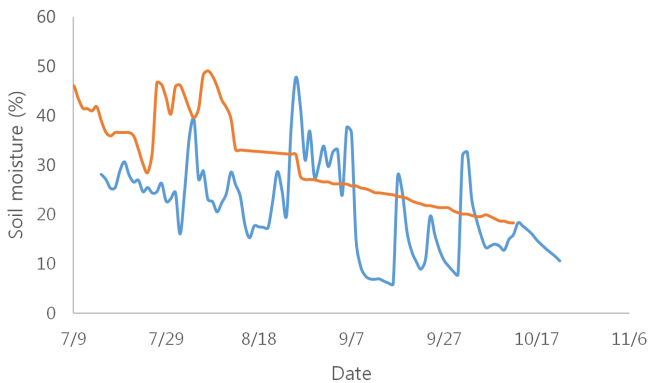


Fig. 2. Daily soil moisture values during the adzuki bean cultivation period in 2015 and 2016.

2015년 팔 생육기간 동안 평균 토양 수분 값은 $16.47 \pm 8.56\%$ 이고, 2016년은 평균값이 $31.0 \pm 9.0\%$ 이었다(Fig. 2). 2015년은 2016년과 비교하여 전국적인 강수량 부족으로 토양수분이 낮았다. 토양수분 함량이 포장용수량보다 많으면 과습상태라고 정의되고 포장용수량은 토성에 따라 20~40% 사이의 값을 보인다(McCarty *et al.*, 2016). Ley *et al.* (1994)는 토성에 따른 포장용수량을 정의하였고 그 결과에 따라 미사질식양토인 경우 유효수량은 0.3 또는 30%로 정의하였다. 따라서 토양 수분이 30%를 초과하면 과습상태로 볼 수 있다. 2015년 재배기간 동안 토양수분이 30%를 넘는 일수는 16일이었으나 재배기간 동안 별도의 관개를 적용하지 않았다. 반면 2016년도에는 파종 후 30일 후에 토양 수분 50% 가깝게 관수를 하여 인위적 과습상태 일수를 증가시켜서 총 토양수분이 30%를 넘는 일수가 49일이었다(Fig. 2). 2016년이 2015년보다 과습상태가 더 많이 일어났고 이는 팔의 생육에 영향을 주었다.

팔 생육 및 수량구성요소

2015년과 2016년 팔의 생육 및 수량구성요소는 Table 3과 4과 같다. 2015년 팔 시험품종의 경장은 36~90 cm 범위를 보였고 이 중 중부팔이 90 ± 21 cm로 가장 컸고 홍언이 36 ± 4 cm로 가장 작았다. 경태는 5.2~7.2 mm 사이의 값을 나타내고 연금이 가장 컸고 홍언이 가장 작은 경태값을 보였다. 칠보팔의 100립중이 13.6 ± 0.4 g으로 가장 컸고 새길 이 다음으로 컸다. 반면 연두채(11.6 ± 0.2 g), 연금(11.9 ± 0.2 g), 중부팔(9.2 ± 0.4 g) 순으로 100립중값이 가장 작았다. 수량 결과에서 모든 품종의 팔은 180~144 kg/10a 범위의 수량을 보였고 충주팔과 검구슬이 가장 큰 수량을 보였고 홍언이 가장 작았다. 홍언은 충주팔의 수량과 비교하여 20%의 수량 감소가 있었다. 2016년 결과에서는 중부팔의 경장이 44 ± 4 cm로 가장 컸고 홍언이 24 ± 4 cm로 가장 작았다. 경태는 4.9~4.5 mm 사이의 값을 나타냈고 충주팔이 가장 컸고 아라리, 새길 순으로 가장 작은 값을 나타냈다. 100립중 결과

Table 2. Results of analysis for chemical properties for the soil profile at the experimental site.

Drainage class	Horizon	pH (1:5)	EC (ds m ⁻¹)	Organic matter (%)	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	K Ca Mg Na			
						(cmolc kg ⁻¹)			
Somewhat Poorly Drained	Ap	5.7	0.4	2.3	57.6	0.2	4.8	0.9	0.2
	B1	7.0	0.2	1.2	16.1	0.1	5.7	1.4	0.2
	B2	7.1	0.3	1.2	12.0	0.1	5.2	1.5	0.1
	C1	7.3	0.2	0.45	5.1	0.1	4.3	1.3	0.1
	C2	7.0	0.3	0.61	5.4	0.2	4.4	1.2	0.1

Table 3. Growth and yield characteristics of the 11 adzuki bean cultivars in 2015.

Cultivar	Lodging (0-9)	Stem length (cm)	Stem diameter (mm)	Number of branches (plant ⁻¹)	First setting pod node (order)	Number of pods (plant ⁻¹)	100 seed weight (g)	Yield (kg 10a ⁻¹)
Yeonduchae	7	70±11 ^{cd}	6.7±0.8 ^b	1.9±0.9^d	9.5±2.1	34.0±9.3 ^{cd}	11.6±0.2^e	175±12 ^{ab}
Kumsil	5	60±11^f	5.9±0.6 ^{efg}	2.0±1.3 ^d	8.7±1.7	31.0±12.3^d	12.3±0.2^e	171±11^{bc}
Yungum	5	76±11^{bc}	7.2±1.2^a	3.2±1.2^c	9.1±2.3	52.0±12.7^a	11.9±0.2^e	178±9 ^{ab}
Arari	3	43±6^g	5.6±0.5 ^{fg}	3.9±0.9 ^{bc}	12.3±1.2	24.0±7.0^{ef}	16.1±0.8 ^b	168±11^{ab}
Saegil	5	83±17^b	6.3±0.7 ^{de}	4.2±1.3 ^{bc}	9.8±2.0	27.0±6.9^{ef}	17.0±0.7^{ab}	174±9 ^{ab}
Hongeon	1	36±4 ^h	5.2±0.5 ^h	1.2±1.1 ^f	10.6±2.0	22.0±4.4 ^f	14.9±0.2^c	144±10^c
Chungju-pat	5	67±9 ^e	6.0±0.7^{ef}	3.2±1.1 ^c	8.3±2.4	26.0±7.2 ^e	16.2±0.3^b	180±10 ^a
Jungbu-pat	5	90±21^a	5.6±0.6 ^g	3.1±1.0 ^c	8.7±1.9	40.0±11.7^{bc}	9.2±0.4^f	161±11 ^{ab}
Kyungwon-pat	1	48±9^g	6.3±0.7^{ede}	4.0±1.7^b	10.9±1.8	26.0±6.6 ^c	14.7±0.4^c	173±11^{ab}
Chilbo-pat	7	87±17^b	6.5±1.1^{bc}	5.7±1.5 ^a	9.5±2.0	40.0±11.2^b	17.6±0.9^a	173±6 ^{ab}
Geomguseul	7	81±17^{bc}	6.6±0.7 ^{bc}	5.5±1.5 ^a	8.1±2.2	37.0±9.0^{cd}	13.6±0.4^d	180±17 ^a

a,b,c,d,e,f: statistical difference at 95%

Bold letters: statistical differences between 2015 and 2016. Probability level = 95%

Table 4. Growth and yield characteristics of the 11 adzuki bean cultivars in 2016.

Cultivar	Lodging (0-9)	Stem length (cm)	Stem diameter (mm)	Number of branches (plant ⁻¹)	First setting pod node (order)	Number of pods (plant ⁻¹)	100 seed weight (g)	Yield (kg 10a ⁻¹)
Yeonduchae	9	42±8 ^c	4.9±0.8 ^c	3.2±2.6^{cd}	4.5±3.5	21.6±8.2 ^c	10.6±0.4^d	139±16 ^{ab}
Kumsil	0	26±4^f	4.0±0.6 ^e	2.3±1.6 ^{gh}	3.5±2.6	12.8±4.8^{de}	9.9±0.4^d	46±13^e
Yungum	7	32±5^e	4.3±0.6^e	4.1±1.8^a	3.0±2.6	21.8±8.4^c	8.5±0.5^e	103±53 ^{bc}
Arari	1	28±4^f	4.6±0.4 ^d	2.7±1.1 ^{ef}	4.0±2.3	10.2±3.6^e	14.3±0.8 ^a	59±3^{de}
Saegil	9	39±7^d	4.7±0.6 ^d	2.1±1.3 ^h	5.3±2.5	13.8±4.3^d	14.0±0.8^a	98±23 ^{bc}
Hongeon	0	24±4 ^g	4.8±0.9 ^{cd}	2.6±1.1 ^{fg}	2.6±2.5	11.0±3.6 ^{de}	13.2±0.6^{bc}	43±7^e
Chungju-pat	5	60±8 ^{bc}	4.9±0.5^a	3.6±1.4 ^{de}	2.8±2.1	29.4±9.6 ^b	12.7±0.4^c	159±22 ^a
Jungbu-pat	9	44±4^a	5.2±0.5 ^{bc}	3.0±1.0 ^{ab}	4.2±2.1	25.2±7.1^a	6.9±0.7^e	114±12 ^{bc}
Kyungwo-pat n	0	32±4^e	4.8±0.6^{cd}	3.0±1.3^{cd}	5.0±5.2	14.0±4.2 ^d	12.4±0.6^c	82±16^{cd}
Chilbo-pat	9	44±5^b	5.1±0.5^{ab}	3.4±1.0 ^{bc}	3.5±2.0	21.9±6.1^c	14.1±0.7^{ab}	136±20 ^{ab}
Geomguseul	1	38±5^d	4.8±0.6 ^{cd}	3.8±1.3 ^{ab}	5.1±2.6	21.2±7.7^c	10.6±0.7^d	105±23 ^{bc}

a,b,c,d,e,f: statistical difference at probability level of 95%

Bold letters: statistical differences between 2015 and 2016. Probability level = 95%

에서는 아라리(14.3±0.8 g)와 새길(14.0±0.8 g)이 가장 컷고 연금(8.5±0.5 g)과 중부팔(6.9±0.7 g)이 가장 작았다. 수량에서는 전체 품종들이 159~43 kg/10a 범위의 값들을 나타냈고 2015년과 같이 충주팔의 수량이 가장 컷고 흥언이 가장 작았다. 연차간 차이를 분석한 결과 연두채, 흥언, 충주팔을 제외한 다른 품종들에서는 2016년도에 경장이 줄어들었고 제1착협고도 검구슬을 제외한 모든 품종들에서 착

협마디가 줄었다. 이에 따라 금실, 연금, 아라리, 새길, 중부팔, 칠보팔, 검구슬의 주당 협수도 감소하였다. 수량구성요소로 100립중은 아라리를 제외한 모든 품종에서 감소하였고 반면 수량은 금실, 아라리, 흥언, 경원팔에서만 감소가 보였다. Woo *et al.* (2014)은 팔 품종 아라리를 다양한 배수처리를 한 논 토양에 재배하였다. 토양 수분 함량은 25.52%에서 18.55% 범위의 값을 보였고 수량은 토양 수분

이 18.55%인 토양에서 248 kg/10a로 가장 높았고 25.52%의 토양 수분을 보인 토양에서는 72 kg/10a로 낮은 값을 보였다. 팥의 생육과 수량은 토양 수분에 매우 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 기존 연구결과와 마찬가지로 토양 수분값이 증가함에 따라 팥 수량의 감소가 증가하였다. 평균 토양 수분값과 과습한 일수가 다른 2015년과 2016년 팥 수량 비교는 Table 5와 같다. 가장 작은 감소율은 충주팥, 연두채, 칠보팥 순으로 나타났고 가장 큰 수량 감소율은 금실, 흥연 아라리 순이었다. 품종마다 차이는 있었으나 모든 품

종이 공통적으로 토양 수분이 증가한 2016년에 11.8~73.3%의 수량 감소가 나타났다.

팥 성분 분석 결과

논 토양에서 재배된 팥 종실의 품종간 일반성분 및 무기 성분 함량을 분석한 결과는 Table 6과 7에 나타나있다. 팥 종실 내 수분함량은 전체적으로 7.9~8.3%, 조회분은 2.5~3.3%, 단백질은 2.2~2.7%범위에서 나타났다. 통계 분석결과 품종간의 차이는 나타나지 않았다. 무기성분 중 인산과 칼슘,

Table 5. Summary of the growth and yield characteristics of the 11 adzuki bean cultivars in 2015 and 2016.

Cultivar	2015	2016	Yield change
	Yield (kg 10a ⁻¹)		Yield index (%)
Yeonduchae	175	139	21
Kumsil	171	46	73
Yungum	178	103	42
Arari	168	59	65
Saegil	174	98	44
Hongeon	144	43	70
Chungju-pat	180	159	12
Jungbu-pat	161	114	29
Kyungwon-pat	173	82	52
Chilbo-pat	173	136	22
Geomguseul	180	105	42

Table 6. Proximate composition results for the 11 adzuki bean cultivars under paddy field cultivation in 2016.

Cultivar	Proximate composition (%)		
	Moisture	Ash	Protein
Yeonduchae	8.2±0.1	3.3±0.1	2.7±0.2
Kumsil	8.0±0.2	3.2±0.3	2.6±0.2
Yungum	8.1±0.2	3.2±0.3	2.2±0.1
Arari	8.3±0.5	3.1±0.5	2.4±0.5
Saegil	8.3±0.1	3.2±0.3	2.7±0.2
Hongeon	8.9±1.6	2.5±1.6	2.1±0.2
Chungju-pat	8.2±0.2	3.2±0.2	2.7±0.2
Jungbu-pat	8.2±0.0	3.1±0.2	2.6±0.4
Kyungwon-pat	7.9±0.2	2.8±0.2	2.3±0.2
Chilbo-pat	8.3±0.0	3.1±0.2	2.2±0.5
Geomguseul	8.2±0.3	3.2±0.2	2.5±0.2

Table 7. Mineral composition results for the 11 adzuki bean cultivars under paddy field cultivation in 2016.

Cultivar	Mineral composition				
	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
	mg 100g ⁻¹				
Yeonduchae	862±74 ^{ab}	1015±180	73±8 ^b	170±11 ^{ab}	25±1
Kumsil	965±43 ^a	1115±60	80±9 ^{ab}	161±12 ^b	22±3
Yungum	819±44 ^b	1071±211	1000±21 ^a	173±28 ^{ab}	27±7
Arari	849±91 ^{ab}	1194±24	87±20 ^{ab}	175±15 ^{ab}	26±2
Saegil	899±67 ^{ab}	1015±180	88±10 ^{ab}	167±13 ^b	22±6
Hongeon	924±79 ^{ab}	1161±103	86±7 ^{ab}	177±10 ^{ab}	26±6
Chungju-pat	921±93 ^{ab}	1141±96	99±14 ^a	198±12 ^a	29±2
Jungbu-pat	933±49 ^{ab}	1036±86	86±5 ^{ab}	156±9 ^b	23±6
Kyungwon-pat	898±57 ^{ab}	1023±148	87±4 ^{ab}	157±11 ^b	223±4
Chilbo-pat	924±58 ^{ab}	1000±175	86±3 ^{ab}	154±23 ^b	28±8
Geomguseul	907±20 ^{ab}	108±100	84±4 ^{ab}	161±11 ^b	26±2

a,b,c,d,e,f: statistical difference at probability level of 95%

마그네슘 함량이 품종간 차이를 보였으나 칼륨과 나트륨은 차이를 보이지 않았다. 인산함량은 금실이 965±43 mg/100 g으로 가장 높았고 연금이 819±44 mg/100 g으로 가장 낮았고 나머지 품종들은 비슷한 값들을 보였다. 칼슘 함량은 모든 품종이 100~73 mg/100 g 범위 내에 분포하고 이 중 연금, 충주팥이 가장 높았고 연두채가 가장 낮았다. 마그네슘에서는 충주팥이 198±12 mg/100 g으로 가장 높았고 금실, 새끼가 167±13 mg/100 g으로 가장 낮았다. 2015년 생산된 팥과 2016년 생산된 팥의 항산화성분 중 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량을 분석하였다(Fig. 3). 총 폴리페놀 함량은 품종들에서 135~351 mgGAE/100 g 범위에 분포하였다. 이 중 2015년에 재배된 팥 품종들 중 경원팥이 135 mgGAE/100 g로 가장 작은 값을 보였고 새끼가 가장 큰 값을 보였다. 이와 비슷한 경향으로 2016년 재배된 새끼가 315 mgGAE/100 g 값으로 가장 높았고 그 다음 검구슬이 314 mgGAE/100 g으로 높았다. 중부팥이 199 mgGAE/100 g으로 가장 낮았고 금실, 칠보팥, 연금, 경원팥이 다음으로 낮은 그룹을 이루었다. 플라보노이드 함량은 모든 품종들이 93~240 mgCE/100 g 사이의 값들을 보였다. 이 중 2015년에는 홍언이 가장 높았고 2016년에는 새끼가 242 mgCE/100 g 값으로 플라보노이드 함량이 가장 높았다. 팥이 논에서 재배된 두 해 모두 검구슬, 연금 등이 다음으로 높은 플라보노이드 함량을 보였다. 중부팥이 폴리페놀과 비슷하게 두 해 모두 가장 낮은 값을 나타냈다.

시험품종들에서 ABTS radical 소거활성은 550~1130 mgTE/100 g 사이의 값을 보였다(Fig. 3(c)). 2015년 재배된 팥들 중 충주팥이 758 mgTE/100 g로 가장 큰 값을 보였고 금실이 550 mgTE/100 g로 가장 낮은 값이 나타났다. 2016년에는 새끼와 검구슬이 각 1130 과 1129 mgTE/100 g로 가장 큰 값을 가진 그룹으로 나타났고 중부팥이 685 mgTE/100 g로 가장 낮은 값을 나타냈다. 새끼와 검구슬 다음으로 충주팥, 연금 등이 높은 ABTS radical 소거활성값을 보였다. 반면 중부팥 다음으로 금실이 800 mgTE/100 g, 홍언 817 mgTE/100 g, 경원팥 818 mgTE/100 g 순으로 낮은 ABTS radical 소거활성값을 가진 그룹을 이루었다. 팥에서 추출된 DPPH radical 소거활성을 표준물질인 Trolox와 비교하여 mg TE/g으로 표현한 결과가 Fig. 3(d)에 나타났다. 팥 DPPH radical 소거활성값은 244~738 mgTE/100 g 범위를 보였다. 2015년 재배된 팥들 중 홍언이 가장 높은 DPPH radical 소거활성값을 나타냈고 2016년에는 새끼가 가장 높았다. 반면 다른 2015년에는 금실이 244 mgTE/100 g, 2016년에는 중부팥이 257 mgTE/100 g으로 가장 낮았고 충주팥, 연두채가 다른 품종들보다 낮은 DPPH radical 소거활성값을 보였다. 시험품종들 중 새끼가 다른 팥들보다 확연히 높은 항산화 성분 및 항산화활성을 갖고 있는 것으로 나타났다. 일반적으로 작물에 환경 스트레스를 가하면 항산화 물질의 축적을 증가시켜 작물의 높은 활성을 유도하는 것으로 알려져 있다(Keles & Oncel, 2002; Sofu *et al.*, 2005). Woo *et*

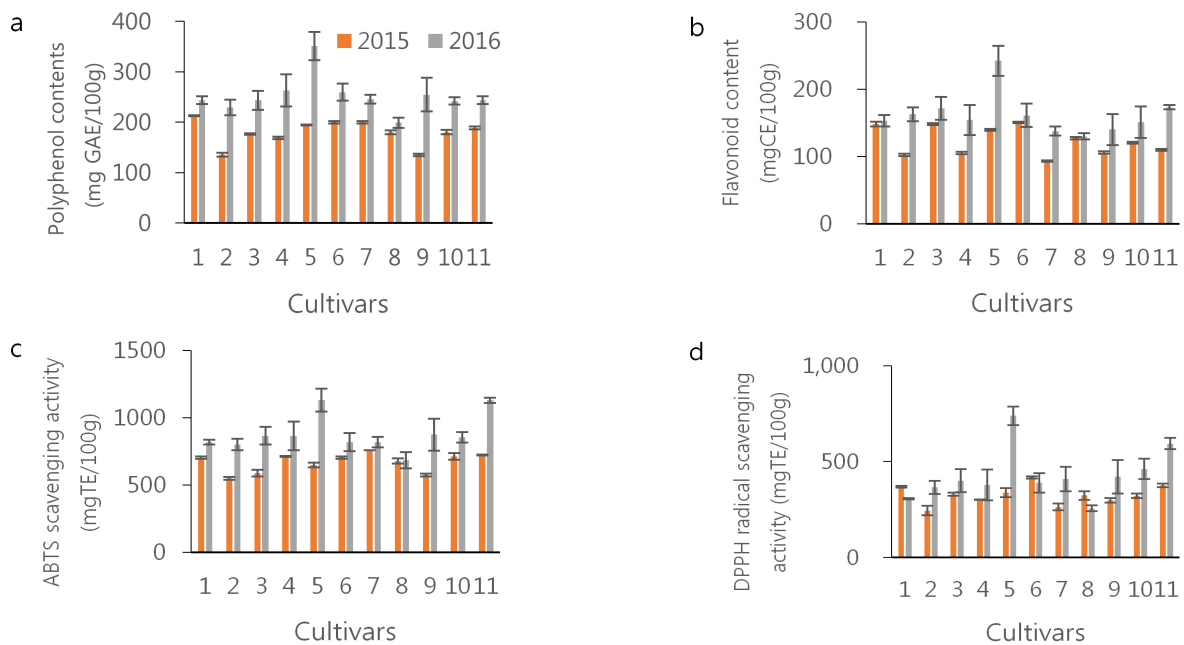


Fig. 3. Total polyphenol (a) and flavonoid (b) contents, and the ABTS (c) and DPPH (d) radical scavenging activities of the 11 adzuki bean cultivars cultivated in a paddy field in 2015 and 2016.

al. (2014)는 배수방법에 따른 토양 수분이 높은 토양에서 재배된 팥이 더 높은 항산화성분 및 항산화활성 값을 나타낸다고 보고하였다. Woo *et al.* (2014) 연구에서 재배 배수방법에 따른 팥의 수량과 항산화 성분 및 항산화활성을 분석한 결과 배수방법에 따라 수량과 항산화성분 및 항산화활성이 높은 상관관계를 보이지 않았다. 이에 따라 Woo *et al.* (2014)은 팥 재배 시 수량이 높은 재배방식의 배수관리를 하도록 결론내면서 좀 더 많은 변수를 고려하여 다각적인 분석이 필요하다는 결론을 내렸었다. 이 연구에서도 과습상태에 따라 새길 외에 다른 팥들은 항산화 성분 함량의 큰 차이를 나타나지 않았으므로 환경 스트레스에 따라 새길 외 다른 품종들의 함량 차이는 나타나지 않았다.

다변량과 군집 통계분석

팥 품종들 생육과 수량, 종자의 성분들을 조사한 결과를 PCA를 통하여 품종간 차이를 설명하는데 가장 많은 영향을 주는 변수들을 평가하였다. 생육, 수량 및 종자성분들 중 수량, 도복, 100립중, 황화도를 생육과 수량의 변수들로 선택하였고 DPPH, ABTS, 플라보노이드, 폴리페놀, 단백질, K, Ca, Mg, Na, P₂O₅를 변수로 선택하였다. 이 14개 변수들의 상관관계를 평가하는 주성분(factor)을 추출하고 각 주성분의 고유값(eigenvalue)과 변수들의 고유벡터(eigenvector)값을 구하였다(Table 8과 Table 9). 고유값이 1 이상 되고 누적값(cumulative)이 70%이상인 주성분만 선택하여 모든 주성분들 중 주성분 4까지를 14개의 변수 분포를 설명해주는 주성분들로 선택하였다. 14개 변수의 각 주성분의 고유벡터값들을 바탕으로 살펴보면 주성분 1은 DPPH, ABTS, 플라보노이드, 폴리페놀이 주요 변수들로 나타났다. 즉 DPPH, ABTS, 플라보노이드, 폴리페놀이 값들이 11개의 품종들간

Table 8. PCA eigenvalues for yield, lodging, 100 seed weight, SPAD value, mineral components (K, Ca, Mg, Na, and P₂O₅), polyphenol and flavonoid contents, and ABTS and DPPH radical scavenging activities.

Factor	Eigenvalues of the correlation matrix			
	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	4.259	0.730	0.304	0.304
2	3.527	1.169	0.252	0.556
3	2.359	1.115	0.169	0.725
4	1.244	0.297	0.087	0.814
5	0.951	0.381	0.068	0.882
6	0.569	0.125	0.032	0.954

Bold values: selected factors for the eigenvector calculation

차이를 평가하는데 가장 큰 영향을 준 변수들로 나타났다. 주성분 2의 경우 100립중, K, Ca, Mg, Na, P₂O₅ 변수들의 고유벡터값이 크고 제 2 주성분을 이루는 주요 변수들로 나타났다. 주성분 2는 무기성분들이 주요 변수로 작용하였다. 주성분 3에서 수량, 도복의 부하 값이 컸다. 주성분 4의 주요성분으로 100립중과 황화도, 단백질 함량이 그룹화를 이루었다. 4개의 주성분으로 군집분석을 한 결과 11개의 품종은 총 2개의 그룹으로 나누어질 수 있고 그 결과는 Fig. 4에 나타나있다. 새길을 제외한 다른 품종들은 통계적

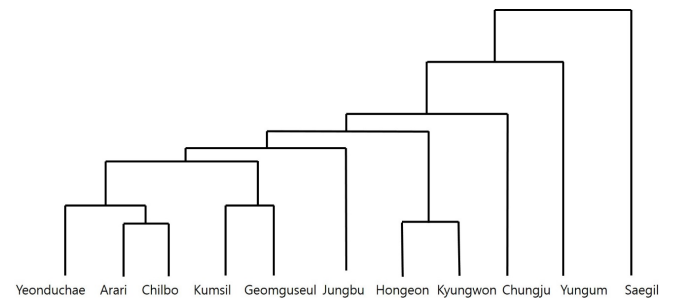


Fig. 4. The phylogenetic tree cluster analysis results for the 11 adzuki bean cultivars.

Table 9. PCA eigenvector values for yield, lodging, 100 seed weight, SPAD value, mineral components (K, Ca, Mg, Na, and P₂O₅ and protein), polyphenol and flavonoid contents, and ABTS and DPPH radical scavenging activities.

Variable	Eigenvalues			Factor 4
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	
Yield	0.101	-0.027	0.539	-0.312
Lodging	0.179	-0.140	0.450	-0.383
100 seed weight	0.220	0.333	-0.251	-0.355
SPAD	0.183	-0.196	0.345	0.393
DPPH	0.444	0.077	-0.073	-0.053
ABTS	0.433	0.077	-0.073	0.205
Flavonoid	0.442	-0.041	-0.151	0.164
Polyphenol	0.444	0.119	-0.126	-0.126
Protein	0.101	0.117	0.424	0.356
K	-0.128	0.444	-0.075	0.038
Ca	0.075	0.283	0.135	0.113
Mg	0.028	0.489	0.170	-0.128
Na	-0.072	0.450	0.201	-0.086
P ₂ O ₅	-0.247	0.267	0.073	0.479

Bold letters: selected factors for the eigenvector calculation

으로 차이를 보이지 않았으나 새길은 차이를 보이며 다른 그룹을 이루었다. 이는 주성분 1이 DPPH, ABTS, 플라보노이드, 폴리페놀이 값들에 의해 결정되면서 새길의 이 성분들 값이 다른 팔들과 확연한 차이를 보였기 때문에 이와 같은 군집결과가 나온 걸로 판단된다.

고 찰

논에서 벼 대체 작물로 팔을 재배할 경우 과습이 잘 되는 토양 배수불량 환경은 수량 감소의 주요요인으로 기존 연구에서 밝혀졌다(Hodgson *et al.*, 1989; Cho *et al.*, 2005; Kanwar *et al.*, 1988). 토양수분이 평균 16.5%였을때보다 31.01%로 과습상태가 더 많이 유지된 경우 시험품종들 모두 팔의 생육과 수량이 감소하는 경향을 보였다. 품종마다 차이는 있었으나 홍언이 과습으로 인한 생육 및 수량 감소율이 가장 컸다. 일반적으로 덩굴성과 반덩굴성 품종 팔들(충주, 칠보)이 일반 밭 토양 재배의 수량과 비교하여 약 20%의 수량 감소가 나타났다. 반면 직립형 팔들(홍언, 아라리)은 약 70%의 수량 감소나 나타났다. Noh *et al.* (2003)에서 논한 바와 같이 환경과 품종에 따라 팔은 재배시 덩굴성이 심화되어 도복이 일어나 수량감소를 일으킨다고 밝혔다. 덩굴성 팔의 경우 과습에 의하여 경장이 작아지고 초삭고와 분지수의 감소가 덩굴성 팔의 도복을 감소시키면서 수량 감소를 줄인 것으로 판단된다.

이 연구에서는 과습한 상태의 논 토양이 팔 품종별로 영향을 끼치는 측면으로 수량과 항산화성분을 분석하였다. 과습한 상태의 토양에서 팔을 재배할 경우 품종마다 생육 특성과 수량에 차이를 주는 것으로 나타났으나 이런 수량 차이가 종실의 항산화성분과 관계가 있는지 알아보았다. 팔 성분함량을 비교하였을 때 새길의 다른 품종들보다 확연히 큰 값들을 보였다. 즉 새길은 과습한 토양에서 재배되었을 때 항산화성분의 증가가 다른 품종들에 비하여 월등히 컸다. Woo *et al.* (2010)은 표준 재배된 팔 품종들간 성분비교를 한 결과 칠보팔은 항산화 성분 함량이 가장 높았고 칠보팔, 금실이 다음으로 높은 반면 중부팔이 가장 낮게 나타났다. 이번 연구에서 논 토양의 과습 스트레스로 인하여 팔 모든 품종들에서 항산화성분이 증가하는 경향을 보였으나 증가율은 새길팔이 가장 컸고 반면 다른 품종들은 일정한 경향의 증가율을 나타내지 않았다. 팔의 항산화 성분을 분석한 여러 논문들을 비교하면 어느 한 품종이 월등히 높은 항산화성분을 보이거나 환경 변화에 따른 항산화 성분 변화 또한 일정한 경향을 보이지 않았다(Woo *et al.*, 2010; Woo *et al.*, 2014; Woo *et al.*, 2015). 다만 팔의 재배

시 환경 스트레스를 증가하거나 팔차 제조를 위한 일정시간 가열에 따른 성분 증가가 나타났다(Woo *et al.*, 2014; Woo *et al.*, 2015). 이번 연구에서 습해정도(황화도), 종자의 항산화성분 및 항산화활성까지 모든 요인들을 함께 고려하였을 때는 다변량 분석 결과 항산화성분이 품종 선발시 확연한 차이를 보이는 요인으로 나타났고 100립중이 다음으로 그리고 수량이 다음 순으로 나타났다. 이번 연구에서 습해정도를 나타내는 황화도 값은 예상했던 것과는 달리 품종간 차이가 통계적으로 나타나지 않았다. 시험품종들 중 모든 변수들을 고려할 때 새길팔 > 연금> 충주팔 순으로 논 토양에서 재배 시 다른 품종들에 비하여 수량감소가 적었고 항산화성분 증가가 컸다. 다만 이들은 덩굴성 팔으로 도복이 또한 상대적으로 심한 편이었다. 현재까지 직립형으로 개량된 경원팔, 아라리와 홍언은 논토양에서 다른 품종들보다 도복에서는 더 나은 결과를 보였으나 수량과 항산화성분 및 활성화 성분 등이 더 좋다는 결과가 나타나지 않았다. 이에 따라 논토양에서는 충주팔과 새길과 같은 품종들이 수량성과 품질향상을 위해 재배에 더 적합하나 재배시 도복에 좀더 유의하는 것이 수량감소를 최소화 할 것으로 예상된다.

적 요

본 연구는 팔을 벼 대체작물로 논 토양에 재배하기 하였을 경우 팔 품종별 생육, 수량, 습해정도, 종자의 무기성분, 항산화성분 및 항산화활성 성분을 평가한 결과는 다음과 같다.

1. 토양 수분은 팔 재배기간 동안 2015년에는 과습했던 일수가 16일이었으나 2016년에는 49일이었고 평균 토양 수분도 2016년이 두 배정도 더 높았다.
2. 2015년과 2016년 팔의 수량을 비교한 결과 평균적으로 충주팔과 검구슬, 칠보팔이 높은 수량을 보였다. 즉 과습한 논 토양 환경에서도 수량 감소가 다른 품종들보다 적었다.
3. 품종간 종자의 일반성분 및 무기성분 함량은 크게 나타나지 않았다. 반면 항산화성분 중 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 새길의 다른 품종들보다 확연히 높았고 검구슬이 다음으로 높았다. 낮은 함량을 보인 품종은 중부팔이 가장 낮았고 경원팔, 칠보팔이 다음으로 낮았다. 활성화 성분 함량은 역시 새길의 가장 높았고 검구슬이 다음으로 높았다.
4. 항산화성분과 활성화 성분 함량은 더 과습한 토양에

서 재배된 팔들이 모든 품종에 걸쳐 증가하는 경향을 보였고 이 중 새길이가 가장 큰 항산화성분 증가률을 보였다.

5. 여러 가지 측정된 변수들을 바탕으로 PCA 및 군집분석을 한결과 항산화성분과 활성화 성분이 시험품종들을 그룹으로 나누는데 영향이 가장 큰 변수로 나타났고 이에 따라 새길만이 확연한 차별화를 보였다.

이상의 결과를 종합해 보면 논 토양에서 또는 과습한 토양 상태에서 수량 관점으로는 충주팔, 칠보팔, 검구슬 같은 팔 품종이 수량 감소가 적었고 중실성분 향상을 고려할 경우 새길이가 더 우수하다는 결과가 나타났다. 추후 팔이 습해에 대한 반응을 뿌리 또는 생리적 반응까지 고려하여 분석하고 이를 변수로 추가하여 토양 수분과 팔의 상관관계가 명확하게 나타날 것으로 본다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호:PJ01163802)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

- Ashraf, M. and H. Rehman. 1999. Mineral nutrient status of corn in relation to nitrate and long-term waterlogging. *Journal of Plant Nutrition*. 22 : 1253-1268.
- Cannel, R. Q., R. K. Belford, K. Gales, C. W. Dennis, and R. D. Prew. 1980. Effects of waterlogging at different stages of development on the growth and yield of winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 31 : 117-132.
- Cho, J. W., S. B. Lee, J. J. Lee, and Y. G. Oh. 2005. Yield and growth of sprout soybeans under flooding stress. *Treat. Of HARI*. 1 : 148-174.
- Chun, H. C., K. Y. Jung, Y. D. Choi, S. H. Lee, and H. W. Kang. 2016. The growth and yield changes of foxtail millet (*Setaria italic* L.), proso millet (*Panicum miliaceum* L.), sorghum (*Sorghum bicolor* L.), Adzuki bean (*Vigna angularis* L.), and sesame (*Sesamum indicum* L.) as affected by excessive soil-water. *Korean Journal of Agricultural Science* 43(4) : 547-559.
- Dewanto, V. X. Wu, K. K. Adom, and R. H. Liu. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 : 3010-3014.
- Hodgson, A. S., J. F. Holland, and P. Rayner. 1989. Effects of field slope and duration of furrow irrigation on growth and yield of six grain legumes on a waterlogging-prone vertisol. *Field Crops Research* 22 : 165-180.
- Ji, C. H., W. H. Kim, K. Y. Kim, S. H. Lee, S. H. Yoon, and Y. C. Lim. 2009. Effect of different drained conditions on growth, forage production and quality of silage corn at paddy field. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science* 29 : 329-336.
- Jo, J. S., C. S. Kim, and J. Y. Won. 1996. Crop rotation of the Korean ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer) and the rice in paddy field. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* 4 : 19-26.
- Jung, K. Y., E. S. Yun, C. Y. Park, J. B. Hwang, Y. D. Choi, and K. D. Park. 2011. Stress day index to predict soybean yield response by subsurface drainage in poorly drained sloping paddy fields. *Korea Journal of Soil Science and Fertilizer* 44 : 702-708.
- Jung, K. Y., E. S. Yun, C. Y. Park, J. B. Hwang, Y. D. Choi, and I. S. Oh. 2013. Response of millet and sorghum to water stress in converted poorly drained paddy soil. *Korea Journal of Soil Science and Fertilizer* 46 : 409-416.
- Kanwar, R. S., J. L. Baker, and S. Mukhtar. 1988. Excessive soil water effects at various stages of development on the growth and yield of corn. *American Society of Agricultural Engineers* 31(1) : 133-141.
- Keles, Y. and I. Öncel. 2002. Response of antioxidative defense system to temperature and water stress combinations in wheat seedlings. *Plant Science* 163 : 783-790.
- Konovalov, A. M., M. Kryenko, S. Musatenko, and M. G. Nakhodkin. 2003. Analysis of the principal components for REEL spectra of indium. *Journal of Electron Spectroscopy and related Phenomena* 133 : 27-37.
- Lee, J. E., H. S. Kim, Y. U. Kwon, G. H. Jung, C. K. Lee, H. T. Yun, and C. K. Kim. 2010. Responses of root growth characters to waterlogging in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Korean Journal of Crop Science* 55 : 1-7.
- Ley, T. W., R. G. Stevens, R. R. Topilec, and W. H. Neibling. 1994. Soil water monitoring and measurement. *Pacofoc Northwest Coop. Ext. Bull. No. PNW0475*.
- Mccarty, L. B., L. R. Hubbard, and V. Quisenberry. 2016. Applied soil physical properties, drainage and irrigation strategies. *Spring International Publishing AG, Switzerland*.
- Moran, J. F., R. V. Klucas, R. J. Grayer, J. Abian, and M. Becana. 1997. *Free Radical Biology and Medicine* 22(5) : 861-870.
- National Institute of Agricultural Science and Technology. 2000. Analytical methods of soil and plant. NIAST, Suwon, Korea.
- Noh, C. W., S. Y. Son, S. T. Hong, K. H. Lee, and I. M. Yoo. 2003. Agronomic characteristics of Korean Adzuki beans (*Vigna angularis* (Wild) Ohwi & Ohashi). *Korean Journal of Plant Resources* 16(2) : 147-154.
- Korean National Statistical Office (KNSO). 2015. Regional

- statistics yearbook, Seoul.
- Randhir, R., Y. T. Lin, and K. Shetty. 2004. Stimulation of phenolics, antioxidant and antimicrobial activities in dark germinated mung bean sprouts in response to peptide and phytochemical elicitor. *Process Biochemistry* 39(5) : 637-646.
- Rural Development Administration (RDA). 2016. Standard agricultural manuals for adzuki bean cultivation. Rural Development Administration, Jeonju, Korea.
- Sacks, F. M. 1997. A literature reviews of *Phaseolus angularis*-the adzuki bean. *Economic Botany* 31 : 9-15.
- Sofo, A., A. C. Tuzio, B. Dichio, and C. Xiloyannis. 2005. Influence of water deficit and rewatering on the components of the ascorbate-glutathione cycle in four interspecific *Prunus* hybrids. *Plant Science* 169 : 403-412.
- Song, S. B., J. Y. Ko, J. I. Kim, S. Lee, T. W. Jung, G. Y. Kim, D. Y. Kwak, I. S. Oh, and K. S. Woo. 2013. Changes in physicochemical characteristics and antioxidant activity of adzuki bean and adzuki bean tea depending on the variety and roasting time. *Korean Journal of Food Science and Technology* 45(3) : 317-324.
- Woo, K. S., K. Y. Jung, S. B. Song, J. Y. Ko, J. S. Lee, Y. D. Choi, Y. S. Yoon, T. W. Jung, and I. S. Oh. 2014. Effects of the drainage methods on antioxidant compounds and antioxidant activity of ethanolic extracts on adzuki bean. *Korean Journal of Crop Science* 59(3) : 3250-3258..
- Woo, K. S., S. B. Song, J. Y. Ko, M. C. Seo, J. S. Lee, J. R. Kang, B. G. Oh, M. H. Nam, H. S. Jeong, and J. Lee. 2010. Antioxidant components and antioxidant activities of methanolic extract from adzuki beans (*Vigna angularis* var. *nipponensis*). *Korean Journal of Food Science and Technology* 42(6) : 693-698.
- Woo, K. S., S. B. Song, J. Y. Ko, J. S. Lee, T. W. Jung, and H. S. Jung. 2015. Changes in antioxidant contents and activities of adzuki beans according to germination time. *Korean Journal of Food Science and Technology* 44(5) : 687-694.