

강우처리 및 수확 지연에 따른 콩 종실 특성 및 수량성 변화

이인혜¹ · 서민정² · 박명렬³ · 김남걸³ · 이기범¹ · 이유영⁴ · 김미향⁴ · 이병원⁴ · 윤홍태^{5,†}

Yield and Seed Quality Changes According to Delayed Harvest with Rainfall Treatment in Soybean (*Glycine max* L.)

Inhye Lee¹, Min-Jung Seo², Myoung Ryoul Park³, Nam-Geol Kim³, Gibum Yi¹, Yu-young Lee⁴, Mihyang Kim⁴, Byong Won Lee⁴, and Hong-Tae Yun^{5,†}

ABSTRACT Recently in Korea, soybean harvesting has been delayed due to rainfall during the harvesting season, resulting in a reduction in yield and seed quality. This study was conducted to analyze the changes in yield and seed quality during delayed harvest with rainfall treatment using different harvesting methods, including field harvesting and polyethylene film covering after cutting fully-matured soybean plants (PE covering after cutting), with two major Korean soybean cultivars (*Glycine max* L.), Pungsannamulkong and Daewonkong. The shattering rate of Pungsannamulkong, which is higher than that of Daewonkong, increased up to 41.8% when the harvest was delayed for 40 days without rainfall treatment by harvesting with PE covering after cutting. The weight of 100 seeds tended to decrease slightly as harvesting was delayed. When Daewonkong was harvested using the PE covering after cutting method with rainfall treatment, the yield decreased to the lowest level with a 0.8 kg ha⁻¹ daily reduction rate. Pungsannamulkong showed the lowest yield when harvested using PE covering after cutting without rainfall treatment with a 3.4 kg ha⁻¹ daily reduction rate. The infected seed rate increased according to the harvest delay in both cultivars, and significant differences were observed according to rainfall treatment and harvesting method. The germination rate was maintained above 95% even after 40 days of delayed harvest if there was no rainfall treatment. However, with rainfall treatment, the germination rate was significantly lowered as harvesting time was delayed. In the field harvesting with rainfall treatment, the germination rate decreased to 77.2% for Daewonkong and 76.5% for Pungsannamulkong after 40 days of harvest delay. For the 100-seed weight, effects of individual treatments and interactions between treatments were not observed. In contrast, the effect of interactions between treatments on the shattering rate was significant in both cultivars, indicating that the shattering rate had the greatest impact on the yield changes during delayed harvest.

Keywords : artificial rainfall, harvesting delay, seed quality, soybean, yield loss

¹농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 중부작물과 전문연구원 (Post-doc Research Scientist, Central Area Crop Breeding Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Republic of Korea)

²농촌진흥청 국립식량과학원 기획조정과 농업연구사 (Research Scientist, Planning and Coordination Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea)

³농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 중부작물과 농업연구사 (Research Scientist, Central Area Crop Breeding Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Republic of Korea)

⁴농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 수확후이용과 농업연구사 (Research Scientist, Crop Post-harvest Technology Research Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Republic of Korea)

⁵농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 중부작물과 농업연구관 (Senior Research Scientist, Central Area Crop Breeding Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Republic of Korea)

[†]Corresponding author: Hong-Tae Yun; (Phone) +82-31-695-4046; (E-mail) soy6887@korea.kr

<Received 15 September, 2020; Revised 14 October, 2020; Accepted 22 October, 2020>

작물은 토양, 기후, 생물 등 자연환경에 지배를 받으며, 기후 환경 변화는 작물의 생산성 및 품질의 변화에 크게 영향을 미친다. 최근 기후변화에 따른 우리나라의 기온은 1912-2017년 동안 약 1.8°C 상승한 것으로 나타났으며(환경부, 2020), 최근 기상 이변에 따라 하계작물의 수확기 이후 비가 내리는 빈도가 증가하여 수확작업을 지연시키는 경우가 발생하고 있다. 또한, 콩 수확기 강우에 따른 피해를 줄이고자 예취 후 비닐로 피복하여 장기간 포장에 방치하다가 탈곡하는 사례도 증가하고 있다. 콩 수확기 이후 강우가 지속되면 식물체 및 종실의 수분함량 증가에 따른 수확작업의 어려움을 초래하며 수량성 및 종실 품질에 영향을 미친다(Butzen, 2013). 콩의 수확 지연은 일반적으로 수량을 감소시키며, 탈립, 이물질 오염 종실, 도복 및 줄기의 손상 증가에 따른 직접적인 요인(Philbrook & Oplinger, 1989; Prine *et al.*, 1964)과 병원균 침투 등에 따라 잠재 수량을 감소시키는 간접적인 요인이 복합적으로 나타난다고 하였다(Tsukahara *et al.*, 2016). Philbrook & Oplinger (1989)은 콩 수확 지연에 따른 수량 감소 정도는 성숙군 및 연차 간에 따른 차이가 존재하며 지연 일수에 비례하여 선형적으로 증가한다고 보고하였다. 탈립의 발생은 콩 품종의 유전적 특성에 따라 차이가 있고(Philbrook & Oplinger, 1989; Tukamuhabwa *et al.*, 2002; Yue *et al.*, 2006), 고온 및 건조한 기상 환경에서 탈립률이 증가한다(Bhor *et al.*, 2014; Takehiko, 1987; Philbrook & Oplinger, 1989). 콩은 생리적 성숙기를 지난 후 포장에서 수확이 지연되면 종자의 포장 노화(field weathering)의 진전, 감염 종자의 증가 및 종실 활력 감소에 따른 종자의 생리적 변화에 따라 발아 능력의 저하가 나타난다(Dasson & Keuneman, 1984; Diniz *et al.*, 2013; TeKrony *et al.*, 1980; Vaughan *et al.*, 1989; Wilcox *et al.*, 1974). TeKrony *et al.* (1980)은 콩 수확 지연은 종자가 병원체에 의해 고도로 감염되어 종자 활력 감소에 따른 발아율의 저하를 일으키며, 콩의 성숙 후 종자 활력의 현저한 감소는 평균 기온($R^2 = 0.90$), 평균 최소 상대 습도($R^2 = 0.94$) 및 일일 강수량($R^2 = 0.75$)과 밀접한 관련성이 있다고 하였다. 콩의 재배 환경 변화 및 수확기에 따른 함유 성분 변화에 대하여 여러 보고가 있으며(Jaureguy *et al.*, 2013; Krober & Collins, 1948; Wilcox *et al.*, 1974; Yaklich, 1985), 일반적으로 수확 지연에 따라 단백질 및 지방의 함량 변화 크지 않으나, 당 함량은 감소한다고 하였다. 최근 콩 재배시 이상 기상에 따라 수확이 지연되어 종실의 수량 및 품질의 저하가 발생하고 있다. 이에 대한 대응 마련을 위하여 국내 주요 재배 품종을 대상으로 수확 지연 시 강우에 따른 피해 양상 및 수확 조건에 따른 종실 및 수량성 특성을 분석하고자 본시험을 수행하였다.

재료 및 방법

시험 재료 및 재배법

시험 품종은 국내 주요 재배 장류·두부용 대원콩(Kim *et al.*, 1998)과 나물용 풍산나물콩(Suh *et al.*, 1997)을 공시하였다. 국립식량과학원 시험포장(수원)에서 재식밀도는 70×15 cm, 1주 2본으로 2019년 6월 8일 파종하였고, 시비량은 N-P₂O₅-K₂O : 3-3-3.4(kg 10a⁻¹)을 전량 기비로 사용하였으며, 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하였다.

처리 및 방법

본시험은 비가림하우스에서 수행되었으며, 강우처리는 무처리 및 처리구로 각각 나누어 실시하였다. 강우처리는 수확기(R8 stage; Fehr & Caviness, 1977)부터 40일 이후까지 지상 2 m에서 4시간/3회/1주, 강수량은 20 mm hr⁻¹로 살수하여 처리하였다. 수확방법은 ① 콩을 수확기 이후 10일 간격으로 포장에서 지연 수확(이하 ‘포장 수확’, ‘field harvest’로 표기)하였고, ② 수확 적기에 콩 식물체를 예취 및 결속하여 세운 후 상부를 비닐로 피복(‘예취 후 비닐피복’, ‘PE film covering after cutting’)하여 10일 간격으로 시료를 채취하는 방법으로 구분하여 실시하였다. 시료 채취는 품종별 수확기(R8)를 기준으로 10일 지연(R8+10d : 10 days after R8), 20일 지연(R8+20d : 20 days after R8), 30일 지연(R8+30d : 30 days after R8), 40일 지연(R8+40d : 40 days after R8)로 하였으며, 품종별 수확기(R8)는 대원콩은 10월 21일, 풍산나물콩은 10월 23일이었다. 시험구 배치는 강우 무처리 및 처리구별로 각각 수확 방법 및 시기에 따라 완전임의배치 2반복으로 수행하였다.

탈립률, 100립중 및 수량 산정

수량 관련 형질 중 100립중, 탈립률 및 수량을 조사하였으며, 시료는 탈곡 후 상온 건조 후 조사하였다. 100립중 및 수량 성적은 수분 함량 9.1%로 환산하여 산출하였으며, 수량은 이병립률(감염립), 이립을 제외한 정곡 수량으로 환산하였다. 탈립률은 각 수확시기별 시험구당 10개체 채취한 후 전체 종실 및 탈립 종실을 계수하여 산출하였고, 종실 특성 중 이병립률은 미이라병, 자주무늬병, 갈반병 및 노균병의 감염립을 조사 후 합산하여 비율을 산정하였다. 발아율은 2020년 3월 상온 25°C±2 조건의 온실에서 발아가 용이한 사토질 토양에서 직파하여 검정하였다. 기타 조사기준은 농촌진흥청 작물시험연구조사기준에 준하였다.

일반성분 분석

조단백질(Crude protein, CP) 함량은 Micro-Kjeldahl법을 참고하여 측정하였다(Ma *et al.*, 1942). 분쇄 시료 0.5 g을 단백질 분해관에 넣고 황산 10 mL과 촉매제를 넣어 분해기(Tecator™ Digestor auto, Foss, Denmark)를 이용해 420 °C에서 1시간 동안 분해하였다. 상온에서 충분히 냉각시킨 후 단백질 분석기(Vapodest 50s, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Germany)를 이용하여 조단백질 함량을 측정하였다. 조지방 함량은 Soxtherm automatic system (Soxtherm sox 416, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Germany)을 이용하여 정량하였다(Zarpelon *et al.*, 2016). 분쇄 시료 2 g을 extraction thimble에 담아 탈지면으로 막고 비등석, n-hexane 140 mL을 첨가하여 187°C에서 30분간 가열하고, 1시간 동안 추출하였다. 지방 추출 후 수기를 105°C에서 1시간 동안 건조 후 방냉하여 무게를 측정한 후 함량을 구하였다.

통계 분석

실험 결과는 평균±표준편차로 표시하였다. 통계분석은 SAS프로그램(SAS Institute, Version 9.4, 2015)을 이용하였고, 처리 평균간 비교를 위해 분산분석(ANOVA)을 수행하였다. 분산분석은 시험품종의 종자의 크기 및 탈립률 등의 품종 특성이 상이하여 품종별로 각각 실시하였다. 또한 각 처리내에 유의성이 있을 경우 5% 유의수준에서 Duncan의 다중검정을 실시하였다. 조사항목 중 적기수확(R8) 성적은 처리간 측정치 값을 평균하여 비교하였다.

결과 및 고찰

탈립률의 변화

강우처리, 수확방법 및 수확시기에 따른 품종별 탈립률의 변화는 Fig. 1과 같다. 시험품종에 따라 탈립률의 변화는 차이가 크게 나타났으며, 풍산나물콩에서 탈립의 발생률이 매우 높았다(Tables 1, 2). 대원콩에서 강우처리에 따른 탈립률의 차이점은 크게 없었으나, 수확방법에서는 포장 수확이 예취 후 비닐피복에 비해 다소 높았다. 또한 모든 처리에서 수확이 지연될수록 탈립률은 증가하였다. 강우처리 및 예취 후 비닐피복 시험구에서 탈립률이 가장 높았으며 40일 지연할 경우 5.3%로 증가하였다. 풍산나물콩은 강우처리에 따른 탈립률은 무처리에서 높게 나타났으며, 수확방법에서는 예취 후 비닐피복에서 포장 수확에 비해 높게 나타났으며, 강우 무처리 및 예취 후 피복이 모든 처리 중 탈립률의 증가가 가장 크게 나타났으며 40일 지연 수확할 경우 41.8%로 증가하여, 수확을 지연할 경우 약 1일당

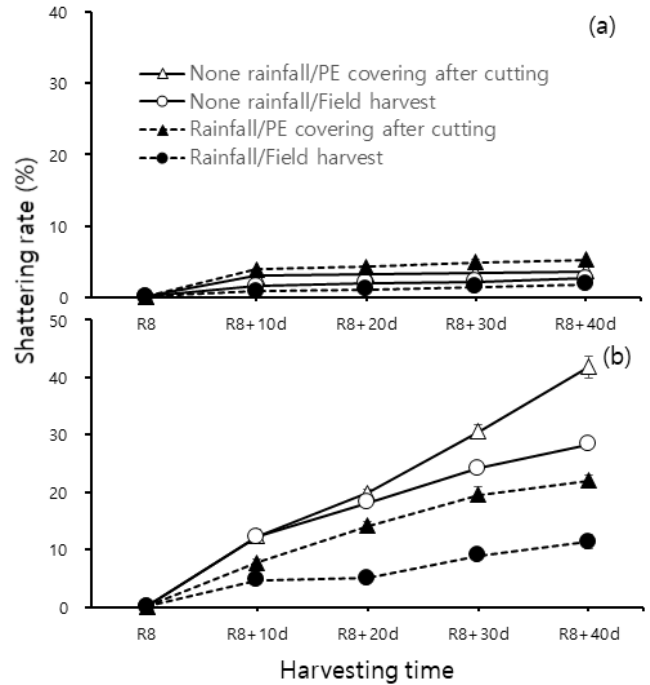


Fig 1. Comparison of shattering rates according to rainfall treatment, harvest methods, and harvesting time. (a) Daewonkong, (b) Pungsannamulkong.

* R8 : Full maturity stage, R8+10d : 10 days after R8, R8+20d : 20 days after R8, R8+30d : 30 days after R8, R8+40d : 40 days after R8, PE : polyethylene film

약 1%씩 탈립률이 증가하였다. 품종별 수확 지연에 따른 탈립률의 증가는 대원콩의 경우 수확 지연 10일까지 증가 후 완만한 추세를 보였으나, 풍산나물콩은 수확 지연에 따라 선형적으로 증가하였다. 이와 같은 결과의 원인은 대원콩의 경우 대립종이며 탈립성에 매우 강한 특성을 보유하여(Kim *et al.*, 1998), 풍산나물콩(Suh *et al.*, 1997) 대비 탈립의 증가가 낮고, 대립종의 특성 상 꼬투리 및 수분 흡수 후 건조 속도가 늦으며, 처리기간 중 상대습도 보다 온도에 더욱 반응한 것으로 사료된다. Tukamuhabwa *et al.* (2002)은 콩의 수확기 이후 탈립의 발생은 품종의 유전자형, 재배환경에 따라 반응이 상이하며 탈립에 강한 품종은 수확 적기 27일 지연 수확하여도 탈립이 발생하지 않았다고 하였다. 작물의 탈립 현상은 낮은 상대습도, 고온, 급격한 온도의 변화에 따라 발생하며(Prine *et al.*, 1964; Philbrook & Oplinger, 1989; Zhang *et al.*, 2018), 수확기에 수분을 흡수하여 꼬투리의 상대습도가 높은 상태에서 꼬투리 조직이 급격히 건조될 때 증가한다(Philbrook & Oplinger, 1989; Takehiko, 1987). 풍산나물콩의 경우 강우 처리구에 비하여 무처리구가 탈립률이 높았는데(Fig. 1b), 무처리시 온도와 습도의 큰 변화없이 상

Table 1. *F*-values from analysis of variance for the effects of rainfall treatment, harvest methods, and harvesting time on yield and seed quality for Daewonkong.

| Treatment | SR | SW | Yield | IR | GR | CP | CF |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|-----------|-------------------|----------|
| Rainfall (R) | 8.4* | 15.6** | 23.9*** | 245.5*** | 3432.8*** | 26.0*** | 85.8*** |
| Harvest methods (M) | 919.4*** | 2.4 ^{ns} | 13.8** | 106.9*** | 32.7*** | 113.0*** | 111.0*** |
| Harvesting time (T) | 399.5*** | 6.8** | 43.0*** | 41.7*** | 411.9*** | 1.0 ^{ns} | 2.8* |
| R*M | 186.8*** | 1.6 ^{ns} | 0.0 ^{ns} | 86.3*** | 35.2*** | 24.8*** | 89.7*** |
| R*T | 2.5 ^{ns} | 2.5 ^{ns} | 2.3 ^{ns} | 26.7*** | 375.5*** | 3.7* | 9.3*** |
| M*T | 86.3*** | 0.8 ^{ns} | 1.5 ^{ns} | 20.4*** | 10.0*** | 12.2*** | 14.7*** |
| R*M*T | 18.5*** | 2.2 ^{ns} | 1.5 ^{ns} | 14.3*** | 12.0*** | 4.0* | 9.4*** |

SR: Shattering rate, SW: 100 seeds weight, IR: Infected seed rate, GR: Germination rate, CP; Crude protein, CF: Crude fat. *, **, ***, and ns : Significant at the 5%, 1%, 0.1% level of probability, and non-significant, respectively.

Table 2. *F*-values from analysis of variance for the effects of rainfall treatment, harvest methods, and harvesting time on yield and seed quality for Pungsannamulkong.

| Treatment | SR | SW | Yield | IR | GR | CP | CF |
|---------------------|-----------|-------------------|----------|----------|-----------|-------------------|-------------------|
| Rainfall (R) | 4351.7*** | 15.6** | 147.9*** | 347.7*** | 3363.5*** | 111.9*** | 110.7*** |
| Harvest methods (M) | 1324.4*** | 2.4 ^{ns} | 337.0*** | 203.0*** | 84.7*** | 88.5*** | 48.3*** |
| Harvesting time (T) | 3387.6*** | 6.8** | 356.1*** | 167.3*** | 419.4*** | 8.6** | 7.7** |
| R*M | 91.6*** | 1.6 ^{ns} | 5.1* | 30.9*** | 120.5*** | 18.0** | 9.8* |
| R*T | 562.1*** | 2.5 ^{ns} | 23.0*** | 66.4*** | 427.0*** | 11.7*** | 10.9*** |
| M*T | 275.7*** | 0.8 ^{ns} | 63.0*** | 44.6*** | 22.0*** | 9.6*** | 7.4** |
| R*M*T | 40.0*** | 2.2 ^{ns} | 8.4** | 7.1** | 26.4*** | 1.9 ^{ns} | 2.5 ^{ns} |

SR: Shattering rate, SW: 100 seeds weight, IR: Infected seed rate, GR: Germination rate, CP; Crude protein, CF: Crude fat. *, **, ***, and ns : Significant at the 5%, 1%, 0.1% level of probability, and non-significant, respectively.

대적으로 높은 온도와 낮은 상대습도를 유지한 것이 그 원인으로 추정된다.

100립중 및 수량성의 변화

강우처리, 수확방법 및 수확시기에 따른 품종별 100립중은 Table 3과 같다. 각 처리간 100립중은 강우처리 및 수확방법에 따라 수확이 지연될수록 입중이 미세하게 낮아지는 경향이있지만 강우처리 후 포장 수확의 시험구를 제외하고 유의성이 인정되지 않았다(Tables 1, 2). 강우처리 및 수확방법에 따른 콩 입중이 수확 지연에 따라 크게 영향을 받지 않은 원인은 콩의 생리적 성숙기(R7 stage) 현상 단계에 도달한 최대 건조 물질 축적(Gbikpi & Crookston, 1981) 이후에 처리하여 수행되었기 때문으로 설명할 수 있으며, 수확 지연에 따른 입중의 변화는 크지 않았다는 기존 보고(Zuffo *et al.*, 2016; Pelúzio *et al.*, 2008)와 유사한 경향이 있었다. 그러나 대원콩은 강우처리 중 포장 상태에 계속 식물체를 노출시키어 수확을 지연할 경우 입중이 다소 감소하

였고, 이에 반하여 풍산나물콩은 다소 입중이 감소한 경향은 있었지만 통계적으로 유의하지 않았다. 100립중이 다소 감소한 원인은 시험과정 중 지속되는 강우에 종실의 팽창 및 수축이 반복적으로 진행되어 수용성 성분인 총당의 분해에 영양을 준 것으로 추정된다. Krober & Collins (1948)는 수확이 지연된 콩과 양질의 콩을 비교할 때 총당 함량이 감소하였고, Yaklich (1985)는 통계적으로 유의하지 않지만 성숙기에 수확한 콩과 6 주 후에 수확한 콩의 총당 함량 차이를 분석한 결과 함량은 감소한다고 보고하였다.

강우처리, 수확방법 및 수확시기에 따른 품종별 수량성은 Table 4와 같다. 강우처리 및 수확방법에 따른 수량성은 대원콩과 풍산나물콩에서 다르게 나타났으며, 처리에 따른 수량성의 변화는 대원콩에 비하여 풍산나물콩에서 수량이 감소하는 것으로 나타났다. 대원콩의 경우 강우처리 및 예취 후 비닐피복 할 경우 수량 감소가 가장 크게 나타났으며 적기 수확기 이후 40일 지연 수확할 경우 31 kg ha⁻¹의 수량 감소가 발생되어 일당 평균 감수율은 0.8 kg ha⁻¹로 나타

Table 3. 100-seeds weights of soybean cultivars according to rainfall treatment, harvest methods, and delayed harvest.

| Rainfall treatment | Harvest methods | Harvesting time | 100 seeds weight (g) | |
|--------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|------------------|
| | | | Daewonkong | Pungsannamulkong |
| None rainfall | Field harvest | R8 | 31.7±0.2ns [†] | 12.0±0.2ns |
| | | R8+10d | 31.5±0.5ns | 11.9±0.5ns |
| | | R8+20d | 31.5±0.5ns | 11.8±0.3ns |
| | | R8+30d | 31.2±0.2ns | 11.7±0.3ns |
| | | R8+40d | 31.1±0.5ns | 11.5±0.2ns |
| | PE covering after cutting | R8 | 31.8±0.4ns | 12.0±0.2ns |
| | | R8+10d | 31.6±0.3ns | 11.9±0.2ns |
| | | R8+20d | 31.5±0.3ns | 11.8±0.3ns |
| | | R8+30d | 31.5±0.2ns | 11.8±0.5ns |
| | | R8+40d | 31.4±0.3ns | 11.7±0.3ns |
| Rainfall | Field harvest | R8 | 31.8±0.4a | 12.0±0.2ns |
| | | R8+10d | 31.4±0.6ab | 11.9±0.3ns |
| | | R8+20d | 30.9±0.4bc | 11.8±0.3ns |
| | | R8+30d | 30.7±0.6c | 11.7±0.3ns |
| | | R8+40d | 30.4±0.3c | 11.5±0.3ns |
| | PE covering after cutting | R8 | 31.8±0.4a | 12.0±0.2ns |
| | | R8+10d | 31.4±0.5ns | 12.2±0.2ns |
| | | R8+20d | 31.1±0.5ns | 12.1±0.1ns |
| | | R8+30d | 31.0±0.4ns | 11.9±0.2ns |
| | | R8+40d | 30.9±0.3ns | 11.8±0.3ns |

[†] Means in a column with different superscript letters are significantly different according to Duncan's multiple-range test at $p < 0.05$.

* R8 : full maturity stage, R8+10d : 10 days after R8, R8+20d : 20 days after R8, R8+30d : 30 days after R8, R8+40d : 40 days after R8, PE : polyethylene film

났으며, 강우 무처리 및 포장 수확에서 수확 지연에 따른 수량 감소폭이 가장 적었고, 적기 수확기 이후 40일 지연 수확할 경우 16 kg ha⁻¹의 수량감수가 발생되어 일당 평균 감수율은 0.4 kg ha⁻¹이었다. 반면에 풍산나물콩은 강우 무처리 및 예취 후 비닐피복에서 수량 감소가 가장 크게 나타났고, 적기 수확기 이후 40일 지연 수확할 경우 134 kg ha⁻¹의 수량이 감소되어 일당 평균 3.4 kg ha⁻¹ 감수하였으며, 강우처리 및 예취 후 비닐피복에서 수량 감소폭이 가장 적었고, 적기 수확기 이후 40일 지연 수확할 경우 43 kg ha⁻¹의 수량감수가 발생되어 일당 평균 감수율은 1.1 kg ha⁻¹이었다. Tukamuhabwa *et al.* (2002)은 탈립에 대한 품종의 저항성 및 감수성에 따른 유전적형에 따라 수량에 영향을 미친다고 하여, 탈립에 강한 대원콩에 비하여 풍산나물콩은 탈립에 매우 약한 품종 특성 때문에 수량의 감수가 더욱 증가한 것으로 추정된다. 콩은 수확 지연에 따른 수량의 감소는 기계

수확 시 작업 중 손실을 제외하고 탈립의 증가가 주요인으로 보고되었고(Philbrook & Oplinger, 1989), 탈립은 상대습도가 낮고 기온이 높은 환경에서 높아지는데(Takehiko, 1987; Philbrook & Oplinger, 1989), 특히 풍산나물콩은 강우 무처리 및 예취 후 비닐피복하여 경과할 경우 상대적으로 고온 및 낮은 상대 습도가 유지되어 탈립이 증가하여 수량성이 낮아진 것으로 판단된다. Philbrook & Oplinger (1989)는 콩 수확기(R8)를 기준으로 42일까지 지연 수확할 경우 평균 약 10% 잠재 수확손실이 나타난다고 보고하여, 본시험의 지연 수확할 경우 수량이 감소하는 결과와 유사한 경향이었다.

종실 이병립률 및 발아율의 변화

강우처리, 수확방법 및 수확시기에 따른 미이라병, 자주무늬병, 갈반병 및 노균병의 감염립을 합산한 이병립률의

Table 4. Average yields of soybean cultivars according to rainfall treatment, harvest methods, and grain harvesting time.

| Rainfall treatment | Harvest methods | Harvesting time | Yield (kg ha ⁻¹) | |
|--------------------|---------------------------|-----------------|------------------------------|------------------|
| | | | Daewonkong | Pungsannamulkong |
| None rainfall | Field harvest | R8 | 296±4.6a [†] | 316±4.2a |
| | | R8+10d | 291±7.3ab | 282±4.7b |
| | | R8+20d | 287±1.1ab | 275±1.8bc |
| | | R8+30d | 285±1.2b | 268±4.1cd |
| | | R8+40d | 280±5.1b | 251±10.1d |
| | PE covering after cutting | R8 | 296±6.2a | 316±4.2a |
| | | R8+10d | 289±9.6ab | 281±4.8b |
| | | R8+20d | 282±3.1bc | 253±4.9c |
| | | R8+30d | 276±4.3c | 217±5.3d |
| | | R8+40d | 272±0.6c | 182±4.2e |
| Rainfall | Field harvest | R8 | 296±4.6a | 316±4.2a |
| | | R8+10d | 290±3.8a | 297±8.5b |
| | | R8+20d | 279±3.4b | 295±1.7b |
| | | R8+30d | 274±4.8bc | 280±3.1c |
| | | R8+40d | 268±1.8c | 273±6.7c |
| | PE covering after cutting | R8 | 296±4.6a | 316±4.2a |
| | | R8+10d | 275±2.1b | 291±4.1b |
| | | R8+20d | 272±1.1bc | 259±1.5c |
| | | R8+30d | 272±3.6bc | 249±2.0c |
| | | R8+40d | 265±3.4c | 235±7.1d |

[†] Means in a column with different superscript letters are significantly different according to Duncan's multiple-range test at $p < 0.05$.

* R8 : Full maturity stage, R8+10d : 10 days after R8, R8+20d : 20 days after R8, R8+30d : 30 days after R8, R8+40d : 40 days after R8, PE : polyethylene film

변화는 Fig. 2와 같다. 시험품종 모두 강우처리 및 수확방법에 따른 이병률들은 유의한 차이가 나타났으며, 수확 지연에 따라 이병률도 증가하였다(Tables 1, 2). 그러나 강우 무처리 시 이병률의 발생 비율은 적은 수치를 보여 수확 지연에 따른 차이는 나타나지 않았다. 품종별 이병률들은 풍산나물콩에 비하여 대원콩에서 낮게 나타났으며, 시험품종 모두 강우처리 및 포장 수확에서 이병률들의 증가가 크게 나타났는데, 대원콩은 수확기에 따라 적기수확(R8)의 1.3%에서 40일 지연수확할 경우 7.0%, 풍산나물콩은 0.6%에서 4.0%로 증가하였다. 콩의 수확기 이후 감염되는 종실 이병은 상대습도가 높고 적정 발병 온도의 조건에서 발병률이 증가한다. 미이라병은 고온 다습한 환경 조건에 의해 감염이 심하고(Vaughan *et al.*, 1989), 자주무늬병은 수확기에 25°C 정도의 기온 및 꼬투리의 상대 습도가 높을 때(Schuh, 1992.), 노균병도 다습하고 20-24°C의 온도조건에서 발병이 증가

하며(McKenzie & Wyllie, 1971), 본시험의 시험품종 모두에서 이병률의 발생에 유리한 조건인 강우처리 및 포장 수확에서 이병률의 발생이 가장 높았다. Diniz *et al.* (2013)는 콩의 수확이 지연되면 *Fusarium spp.*, *Phomopsis spp.* 및 *Epicoccum spp.*에 의한 감염이 유의하게 증가한다 하였는데, 본시험의 수확이 지연될 경우 이병률이 증가하는 경향과 같았다. Wilcox *et al.* (1974)는 콩 품종의 생태형에 따라서도 미이라병 등에서 병원균인 발병 정도가 차이가 있음의 보고 하였는데, 대원콩 및 풍산나물콩의 진균성 병에 대한 이병성이 차이가 나타난 것은 대상 병원균에 대한 발병 양상에서 품종 특성에 따라 차이가 난 것으로 사료된다.

강우처리, 수확방법 및 수확시기에 따른 품종별 종자 발아율의 변화는 Tables 1, 2 및 Fig. 3과 같다. 처리에 따른 시험품종에 발아율의 변화 양상은 유사하였으며, 강우처리에 따른 발아율은 무처리에서 높게 나타났다. 강우 무처리

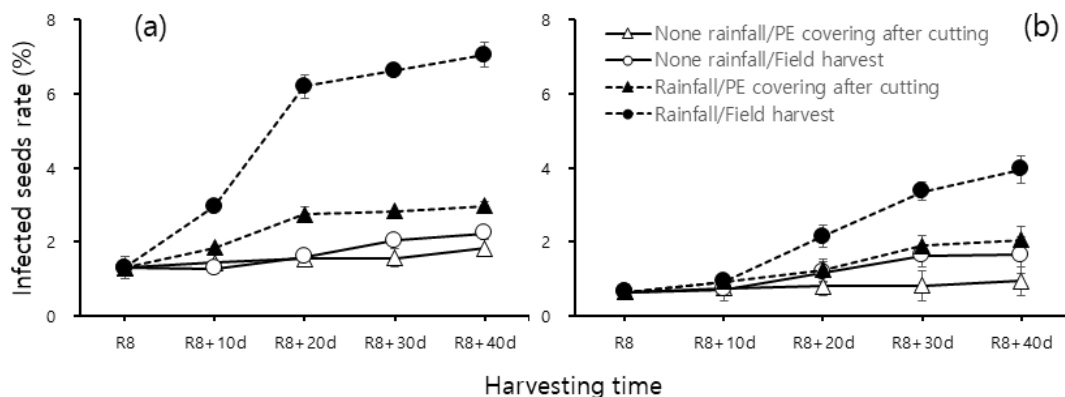


Fig. 2. Comparison of infected seed rates according to rainfall treatment, harvest methods, and harvesting time. (a) Daewonkong, (b) Pungsannamulkong.

* R8 : Full maturity stage, R8+10d : 10 days after R8, R8+20d: 20 days after R8, R8+30d : 30 days after R8, R8+40d : 40 days after R8, PE : polyethylene film

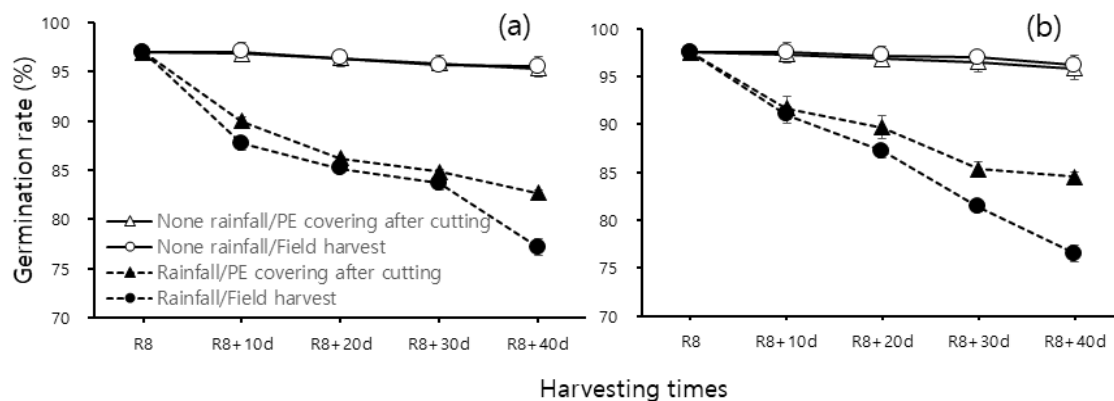


Fig. 3. Comparison of seed germination rates according to rainfall treatment, harvest methods, and harvesting time. (a) Daewonkong, (b) Pungsannamulkong.

* R8 : Full maturity stage, R8+10d : 10 days after R8, R8+20d : 20 days after R8, R8+30d : 30 days after R8, R8+40d : 40 days after R8, PE : polyethylene film

시 포장 수확 및 예취 후 비닐피복의 수확방법에 따른 차이는 적었으며, 수확이 지연되어도 95%이상의 발아율을 유지하였다. 강우처리 시 수확 지연에 따라 발아율은 현저하게 낮아졌으며, 예취 후 비닐피복에 비하여 포장 수확에서 발아의 감소 정도가 심하였다. 대원콩을 강우처리 및 40일 수확 지연 후 포장 수확 및 예취 후 비닐피복의 시료의 발아율은 각각 77.2%, 82.7%까지 감소하였으며, 풍산나물콩도 76.5%, 84.5%까지 발아율이 감소하였다. Vergara *et al.* (2019)는 콩의 수확을 28일 지연 시킬 경우 95%에서 70% 이하로 감소하여 약 20%의 발아율이 낮아졌으며, 또한 Diniz *et al.* (2013)도 R8, R8+15일 및 R8+30일에서 콩을 수확한 후 발아율을 검정한 결과 수확이 지연될수록 발아율이 저하되는 결과를 보고하였는데 본시험에서 수확이 지연될수록 발아능력이 떨어지는 시험 결과는 같은 경향을

나타냈다. 콩은 고온, 다습한 생육환경에서 종자의 포장 노화 및 활력 감소가 발생하며(Dasson & Keuneman, 1984; Mondragon & Potts, 1974; TeKrony *et al.*, 1980), 특히 반복적인 탈수와 흡습에 의한 배세포의 물리적 상처에 의한 종자 활력 감소(Moore, 1974)가 주된 요인으로 작용한다. 본시험의 강우처리 및 포장 수확에서 발아력의 더욱 저하된 원인은 위의 보고 내용 중 강우처리에 따른 다습한 환경 조건이 종실에 영향을 주어 포장노화가 진행되어 발생한 것으로 사료된다. 강우처리 및 수확방법에 따른 발아율은 차이가 나타났으며, 강우 무처리시 포장 수확과 예취 후 비닐 피복 처리에 큰 차이는 나타나지 않았는데 이러한 원인은 비가림을 하여 처리 기간 동안 수분의 접촉이 없었고 비닐피복에 의하여 다소 고온은 유지되었으나, 콩꼬투리 및 종실이 수분에 직접적 노출이 적어 종자의 활력이 유지된

Table 5. Protein contents of soybean cultivars according to rainfall treatment, harvest methods, and harvesting time.

| Rainfall treatment | Harvest methods | Harvesting time | (%) | |
|--------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|------------------|
| | | | Daewonkong | Pungsannamulkong |
| None rainfall | Field harvest | R8 | 41.4±0.3a [†] | 44.3±0.1bc |
| | | R8+10d | 41.7±0.2ab | 44.7±0.3a |
| | | R8+20d | 42.2±0.3a | 44.2±0.4c |
| | | R8+30d | 42.2±0.2a | 44.9±0.1a |
| | | R8+40d | 42.1±0.1a | 44.6±0.2ab |
| | PE covering after cutting | R8 | 41.4±0.3ns | 44.3±0.1ns |
| | | R8+10d | 41.0±0.6ns | 44.2±0.2ns |
| | | R8+20d | 41.6±0.3ns | 43.9±0.3hs |
| | | R8+30d | 41.0±0.2ns | 43.9±0.2ns |
| | | R8+40d | 41.5±0.9ns | 43.7±0.7ns |
| Rainfall | Field harvest | R8 | 41.4±0.3b | 44.3±0.1ns |
| | | R8+10d | 42.4±0.3a | 43.8±1.0ns |
| | | R8+20d | 42.0±0.3ab | 43.8±1.1ns |
| | | R8+30d | 42.0±0.2ab | 43.7±0.7ns |
| | | R8+40d | 41.8±0.6ab | 43.8±0.3ns |
| | PE covering after cutting | R8 | 41.4±0.3a | 44.3±0.1a |
| | | R8+10d | 39.6±0.6bc | 42.1±0.5bc |
| | | R8+20d | 39.4±0.8c | 42.4±0.2b |
| | | R8+30d | 39.8±0.2bc | 41.9±0.2bc |
| | | R8+40d | 40.7±1.1ab | 41.6±0.4c |

[†] Means in a column with different superscript letters are significantly different according to Duncan's multiple-range test at p < 0.05.

* R8 : Full maturity stage, R8+10d : 10 days after R8, R8+20d : 20 days after R8, R8+30d : 30 days after R8, R8+40d : 40 days after R8, PE : polyethylene film

것으로 사료 된다. 강우처리의 경우, 포장 수확이 예취 후 비닐피복에 비하여 밭아울의 저하가 심하였는데, 이는 빈번한 강우 노출에 따른 수분 함량 변화 때문으로 추정된다. McDonald (1999)는 기상 환경 중 종실의 온도 조건이 유사한 상태라면 종자 활력은 수분의 함량이 증가할수록 급속히 감소한다고 보고하였다.

성분 함량 변화

강우처리, 수확방법 및 수확시기에 따른 종실 조단백질 함량은 Table 5와 같다. 대원콩의 경우 강우처리에 따른 조단백질 함량은 무처리구에서 다소 높은 것으로 나타났으며, 수확방법에서도 예취 후 비닐피복에 비하여 포장 수확에서 높은 함량이 나타났으나, 수확 지연에 따른 함량의 변화는 확인할 수 없었다(Table 1). 강우처리 및 예취 후 비닐피복에서 수확시기에 따라 39.6-40.7% 범위로 전체 처리별 시

험구에 가장 낮았으며, 다른 처리별 함량 차이는 크지 않았다. 풍산나물콩의 경우 강우처리 및 수확방법에 따른 조단백질 함량의 변화는 대원콩과 같은 경향이었으나, 수확 지연에 따른 함량의 변화는 다소 낮아지는 경향이었으며 (Table 2), 강우처리 및 예취 후 비닐피복에서 수확시기에 따라 31.6-44.8% 범위로 가장 낮았다. 강우처리, 수확방법 및 수확시기에 따른 종실 조지방 함량의 변화는 Table 6과 같다. 대원콩의 경우 강우처리에 따른 함량은 무처리에 비하여 처리에서 다소 높게 나타났으며, 수확방법에서도 예취 후 비닐피복 시험구에서 포장 수확한 시험구 대비 높은 함량을 나타냈다(Table 1). 또한 수확 지연에 따른 함량의 변화는 예취하여 결속 후 비닐피복한 시험구에서 수확 지연에 따라 함량이 증가하는 경향이 나타났다. 풍산나물콩도 대원콩과 같은 경향을 나타냈다. 시험품종 모두 강우처리 및 예취 후 비닐피복에서 수확시기에 따라 함량이 증가하였

Table 6. Crude fat contents of soybean cultivars according to rainfall treatment, harvest methods, and harvesting time.

| Rainfall treatment | Harvest methods | Harvest times | Crude fat content(%) | |
|--------------------|---------------------------|---------------|----------------------|------------------|
| | | | Daewonkong | Pungsannamulkong |
| None rainfall | Field harvest | R8 | 19.1±0.2a† | 17.7±0.1a |
| | | R8+10d | 18.7±0.1c | 17.5±0.1ab |
| | | R8+20d | 18.8±0.1bc | 17.4±0.2ab |
| | | R8+30d | 19.0±0.1ab | 17.3±0.1d |
| | | R8+40d | 19.0±0.0ab | 17.5±0.1a |
| | PE covering after cutting | R8 | 19.1±0.2ns | 17.7±0.1ab |
| | | R8+10d | 19.2±0.2ns | 17.2±0.2c |
| | | R8+20d | 18.9±0.1ns | 17.6±0.3d |
| | | R8+30d | 19.0±0.1ns | 17.9±0.1ab |
| | | R8+40d | 18.8±0.4ns | 18.1±0.4a |
| Rainfall | Field harvest | R8 | 19.1±0.2ns | 17.7±0.1ns |
| | | R8+10d | 18.9±0.2ns | 17.8±0.1ns |
| | | R8+20d | 18.8±0.1ns | 17.8±0.3ns |
| | | R8+30d | 18.9±0.1ns | 18.0±0.3ns |
| | | R8+40d | 18.9±0.1ns | 18.0±0.1ns |
| | PE covering after cutting | R8 | 19.1±0.2b | 17.7±0.1b |
| | | R8+10d | 20.2±0.1a | 18.4±0.4a |
| | | R8+20d | 20.3±0.4a | 18.5±0.3a |
| | | R8+30d | 20.2±0.2a | 18.6±0.4a |
| | | R8+40d | 20.7±0.5a | 18.9±0.3a |

† Means in a column with different superscript letters are significantly different according to Duncan's multiple-range test at $p < 0.05$.

* R8 : Full maturity stage, R8+10d : 10 days after R8, R8+20d : 20 days after R8, R8+30d : 30 days after R8, R8+40d : 40 days after R8, PE : polyethylene film

으며, 대원콩은 수확 적기(R8)의 19.1%에서 40일 지연 수확할 경우 20.7%, 풍산나물콩에서는 수확 적기(R8)의 17.7%에서 40일 지연 수확할 경우 18.9%로 함량이 증가하였다. Wolf *et al.* (1982)은 콩의 생육후기 밤낮의 온도가 13/19-25/30°C의 범위에서는 조단백질은 낮아지는 경향을 나타내고 지방 함량은 증가한다고 보고하였는데, 본시험의 강우처리에 따른 무처리(비가림) 및 예취 후 비닐피복 처리구의 경우 상대적으로 고온의 조건을 유지하여 조단백질 함량이 다소 낮아지고, 조지방 함량은 높게 나타난 것으로 사료된다. 또한 콩의 수확 지연 종실과 양질의 콩을 비교 분석한 경우 단백질이 증가한다고 하였으나 콩 수확을 지연할 경우 함유성분 중 단백질 함량 변화의 유의성은 나타나지 않으나, 지방 함량은 증가하는 차이가 있다고 보고하여 (Krober & Collins, 1948; Wilcox *et al.*, 1974) 본시험의 조단백질 및 조지방 함량 변화와 같은 경향이였다.

처리별 상호작용 효과

강우처리, 수확방법, 수확시기가 농업형질 및 종실 특성에 미치는 영향을 분석한 결과는 Tables 1, 2와 같다. 강우처리는 대원콩과 풍산나물콩에서 수량 및 관련 형질(탈립, 100립중), 종자건전성(이병립률, 발아율), 성분함량(조단백질, 조지방)에 유의적인 영향을 주었다. 상대적으로 영향을 덜 받는 특성은 100립중이었으며, 탈립은 품종간 차이가 뚜렷하여 탈립이 잘되는 풍산나물콩이 강우처리에 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

수확방법에 따른 차이는 수량, 탈립, 종자건전성(병원균 감염율, 발아율), 성분함량(조단백질, 조지방)에 유의적인 영향을 나타내었으나, 두 품종 모두 100립중에는 유의적인 영향이 없었다.

품종에 따른 처리요인별 상호작용 효과 중 대원콩의 경우 100립중과 수량특성은 강우처리와 수확방법, 강우처리

와 수확 지연, 수확방법과 수확시기, 3처리 간 상호작용 모두 유의적 효과가 없었다. 이러한 결과는 100립중은 다른 형질에 비해 개별 처리에 대한 상관성이 상대적으로 낮았기 때문으로 사료된다. 수량은 개별 처리에 대해서는 유의적 효과가 나타났음에도 처리간 상호작용 효과는 유의적인 차이가 없는 것으로 보아 탈립에 의한 수량 감소가 가장 큰 요인임을 알 수 있었다. 특히, 탈립은 강우처리와 수확시기 간 상호작용에서는 유의적 영향이 없는 것으로 나타났다.

풍산나물콩의 경우는 100립중에서만 처리 요인간 상호작용이 유의적인 차이가 나타나지 않았고 수량성에서는 처리 요인간 상호작용에 유의적 영향을 보였는데, 이러한 차이는 탈립이 잘 일어나는 풍산나물콩의 품종적 특성으로 강우처리, 수확방법, 수확시기 간 상호작용 효과가 수량성에 미치는 영향이 상대적으로 더 컸기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 풍산나물콩의 경우 3가지 처리 간 상호작용이 단백질과 지방의 함량에서 유의적인 효과가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 풍산나물콩의 특성상 개별 처리 요인이 주는 영향은 대원콩에 비해 크게 받지만 상대적으로 상호작용 효과는 낮게 나타나는 것임을 보여주었다.

본 실험은 콩의 생리적 성숙기(R7) 단계에 도달한 최대 건물 축적(Gbikpi & Crookston, 1981) 이후에 처리가 수행되어, 100립중 및 함유성분(단백질, 조지방)의 개별 처리에 대한 효과가 적고, 처리간 상호작용 효과도 없거나 적은 것으로 판단된다.

탈립률은 품종간의 차이가 있었으며, 탈립에 약한 풍산나물콩은 처리간 상호작용 효과가 크게 나타났다. 품종별 탈립률은 수량성에도 같은 경향을 나타내어, 탈립이 수량에 높은 영향을 주는 것을 보여준다. 이러한 결과는 품종에 따른 탈립률 차이와 탈립률에 따른 수량 감소를 보고한 결과들(Philbrook & Oplinger, 1989; Tukamuhabwa *et al.*, 2002)과 비슷한 경향을 보였다. 시험 품종 모두 이병립률 및 발아율은 강우처리, 수확방법, 수확 지연에 따른 상호 작용의 영향을 받았다. 이러한 원인은 강우처리, 포장 수확 및 수확의 지연 시, 콩 꼬투리가 수분에 직접 노출되고 종실에 영향을 주어 병의 감염이 증가하며(Diniz *et al.*, 2013, Vaughan *et al.*, 1989), 포장 노화가 진전되어(TeKrony *et al.*, 1980; Dason & Keuneman, 1984) 발아율이 저하된 결과로 추정된다. TeKrony *et al.* (1980)은 수확 지연 시 종자가 병원체에 감염되어 종자 활력 감소와 발아율의 저하를 보인다고 보고하였다. 본 실험에 나타난 이병립률의 증가 또한 발아율에 영향을 준 것으로 판단된다.

따라서 콩의 수확이 지연될 경우 수량성 확보를 위해서는 내탈립성 품종을 선택하고 탈립의 발생을 적게 할 수 있

는 재배 조건을 유지하는 것이 중요하다. 특히 채종용 건전 종자 생산을 위해 재배할 경우 적기 수확이 유리할 것으로 판단된다.

적 요

국내 주요 재배 콩 품종을 대상으로 수확 지연 시 강우에 따른 피해 양상 및 수확방법에 따른 종실 및 수량 특성을 분석하고자 본 실험을 수행하였으며, 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 품종별 탈립률의 차이가 나타났으며, 대원콩에서는 강우처리 및 예취 후 비닐피복 에서 40일 수확 지연 시 탈립률이 5.3% 증가하였으나, 풍산나물콩은 강우 무처리 및 예취 후 비닐피복에서 40일 수확 지연 시 41.8%까지 증가하였다.
2. 100립중은 강우처리 및 수확방법에 따라 수확이 지연될 수록 입중이 미세하게 낮아지는 경향을 보였으나 강우처리 후 포장 수확한 경우를 제외하고 유의성이 인정되지 않았다.
3. 수량은 대원콩의 경우 강우처리 및 예취 후 비닐피복 할 경우 수량 감소가 가장 크게 나타났으며 적기 수확기 이후 40일 지연 수확할 경우 일당 평균 감수율은 0.8 kg ha⁻¹, 풍산나물콩은 강우 무처리 및 예취 후 비닐피복에서 적기 수확기 이후 40일 지연 수확할 경우 일당 평균 감수율은 3.4 kg ha⁻¹로 나타났다.
4. 강우처리 및 수확방법에 따른 이병립률은 유의한 차이가 나타났으며, 수확 지연에 따라 이병률도 증가하였으며, 강우처리 및 포장 수확에서 이병률이 가장 높았고, 40일 지연 수확 시 대원콩은 7.0%, 풍산나물콩은 4.0%로 증가하였다.
5. 강우 무처리시 포장 수확 및 예취 후 비닐피복의 수확방법에 따른 차이는 적었으며, 수확이 지연되어도 95%이상의 발아율을 유지하였다. 강우처리 시 수확 지연에 따라 발아율은 현저하게 낮아졌으며, 포장 수확의 경우 40일 수확을 지연하면 대원콩은 77.2%, 풍산나물콩은 76.5%까지 발아율이 감소하였다.
6. 조단백질 함량은 시험 품종 모두 강우처리에 따라 무처리구에서 다소 높은 것으로 나타났으며, 수확방법에서도 예취 후 비닐피복에 비하여 포장 수확에서 높은 함량을 나타냈다. 조지방 함량은 강우를 처리할 경우 다소 높게 나타났으며, 수확방법에서는 예취 후 비닐피복에서 높은 함량을 보였다.

7. 100립중은 개별 처리에 대한 효과가 적어 처리간 상호작용 효과가 적었으나, 이병립률 및 발아율은 처리간 상호작용 효과가 높았다.
8. 품종별 탈립률의 처리간 상호작용 효과는 수량의 상호작용 효과와 같은 양상을 나타내어, 탈립률이 수량에 가장 영향을 준 것으로 나타났다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명 : 콩 수확기 지속강우 피해의 품종간 차이 구명 및 피해경감 수확방법 설정, 세부과제번호 : PJ013374042020)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

- Bhor, T. J., V. P. Chimote, and M. P. Deshmukh. 2014. Inheritance of pod shattering in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill], Electron. J. Plant Breed 5 : 671-676.
- Butzen, S. 2013. Reducing harvest losses in soybeans. Field Facts. 9(18) : 1-2.
- Dasson, S. and E. A. Kueneman. 1984. Screening methodology for resistance to field weathering of soybean seed. Crop Sci. 24 : 774-779.
- Diniz, F. O., M. S. Reis, E. F. Araújo, L. A. Dias, T. Sediya, and C. A. Bhering. 2013. Incidence of pathogens and field emergence of soybean seeds subjected to harvest delay. J. Seed Sci. 35(4) : 478-484.
- Fehr, W. R. and C. E. Caviness. Stages of soybean development. 1977. IWSRBC. Special Report 80 : 1-12.
- Gbikpi, P. J. and R. K. Crookston. 1981. Effect of flowering date on accumulation of dry matter and protein in soybean seeds. Crop Sci. 21 : 652-655.
- Jauregui, L. M., F. L. Rodriguez, L. Zhang, P. Chen, K. Brye, D. Oosterhuis, A. Mauromoustakos, and J. R. Clark. 2013. Planting date and delayed harvest effects on soybean seed composition. Crop Sci. 53 : 2162-2175.
- Kim, S. D., K. Y. Park, H. T. Yun, Y. H. Lee, S. H. Lee, Y. K. Seung, E. H. Park, Y. H. Hwang, and C. J. Ryu. 1998. A new soybean variety for soy paste with large seed and disease resistant "Daewonkong". RDA J. Crop Sci. 40 : 107-111.
- Krober, O. A. and F. I. Collins. 1948. Effect of weather damage on the chemical composition of soybeans. J. Am. Oil Chem. Soc. 25 : 296-298.
- Ma, T. and G. Zuazaga. 1942. Micro-Kjeldahl determination of nitrogen. A new indicator and an improved rapid method. Ind. Eng. Chem. Anal. 14(3) : 280-282.
- McDonald, M. B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. Seed Science Technology 27: 177-237.
- McKenzie, J. R. and T. D. Wyllie. 1971. The effect of temperature and lesion size on the sporulation of *Peronospora manshurica*. Phytopathol. Z. 71 : 321-326.
- Mondragon, R. L. and H. C. Potts. 1974. Field deterioration of soybeans as affected by environment. Proc. Assoc. Official. Seed Anal. 64 : 63-71.
- Ministry of Environment. 2020. Korean Climate Change Assessment Report 2020.
- Moore, R. P. 1974. Mechanism of water damage in mature soybean seed. Proc. Assoc. Off. Seed. Anal. 61 : 112-118.
- Pelúzio, J. M., L. N. Ramo, R. R. Fidelis, and F. S. Afférrri. 2008. Influence of the chemistry desiccation and harvest delaying of the quality physiological of seed in soybean in south of the Tocantins state. Biosci. J. 24(2) : 77-82.
- Philbrook, B. D. and E. S. Oplinger. 1989. Soybean Field losses as influenced by harvest delays. Agronomy Journal. 81(2) : 251-258.
- Prine, G. M., S. H. West, and K. Hinson. 1964. Shattering, moisture content and seed temperature of soybeans as influenced by row direction. Agronomy Journal. 56(6) : 594-595.
- Schuh, W. 1992. Effect of pod development stage, temperature, and pod wetness duration on the incidence of purple seed stain of soybeans. Phytopathology. 82(4) : 446-451.
- Suh, S. K., H. S. Kim, Y. J. Oh, K. H. Kim, S. K. Cho, Y. K. Kim, S. D. Kim, H. K. Park, M. S. Park, and S. Y. Cho. 1997. A new soybean variety for sprout with small seed and high yielding Pungsannamulkong. Korea Journal of Breeding Science 29(4) : 503.
- TeKrony, D. M., D. B. Egli, and A. D. Phillips. 1980. Effect of weathering on viability and vigor of soybean seed. Agron. J. 72 : 749-753.
- Takehiko, T. 1987. Physiological and genetic analysis of pod shattering in soybeans. J.A.R.Q. 21(3) : 166-175.
- Tsukahara, R. Y., I. C. B. Fonseca, M. A. A. Silva, E. G. Kochinski, J. Prestes-Neto, and J. T. Suyama. 2016. Soybean yield as a consequence of harvest delay and environmental conditions. Pesq. Agropec. Bras. 51(8) : 905-915.
- Tukamuhabwa, D., K. E. Dashiell, P. Rubaihayo, and M. Nabasirye. 2002. Determination of field yield loss and effect of environment on pod shattering in soybean. African Crop Sci. J. 10(3) : 203-209.
- Vaughan, D. A., R. L. Bernard, and J. B. Sinclair. 1989. Soybean seed quality in relation to days between development stage. Agron. J. 81 : 215-219.
- Vergara, R., R. N. O. Silva, A. P. Nadal, G. I. Gadotti, T. Z. Amonde, and F. A. Villel. 2019. Harvest delay, storage and physiological quality of soybean seeds. Journal of Seed Sci. 41(4) : 506-513.
- Wilcox, J. R., F. A. Laviolette, and K. L. Athow. 1974. Deterioration of soybean seed quality associated with delayed harvest. Plant Disease 58(2) : 130-133 .

- Wolf, R. B., J. F. Cavins, R. Kleiman, and L. T. Black. 1982. Effect of temperature on soybean seed constituents: oil, protein, moisture, fatty Acids, amino acids and sugars. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 59(5) : 230-232.
- Yaklich, R. W. 1985. Effect of aging on soluble oligosaccharide content in soybean seeds. *Crop Sci.* 25 : 701-704.
- Yue, J., Y. F. Ma, and Q. Y. Gao. 2006. Pod shattering character in main soybean cultivars of Huang-Huai-Hai soybean region of China. *Henan Agric. Sci.* 35(6) : 56-59.
- Zhang, Q., B. Tu, C. Liu, and X. Liu. 2018. Pod anatomy, morphology and dehiscing forces in pod dehiscence of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Flora.* 248 : 48-53.
- Zarpelon, J., L. Molognoni, A. C. Valesse, D. H. Ribeiro, and H. Daguer. 2016. Validation of an automated method for the analysis of fat content of dulce de leche. *J. Food Com. Anal.* 48 : 1-7.
- Zuffo, A. M., J. A. M. Zuffo-júnior, E. R. Carvalho, F. Steiner, and E.V. Zambiazzi. 2017. Physiological and enzymatic changes in soybean seeds submitted to harvest delay. *Pesqui. Agropecu. Trop.* 47(4) : 488-496.