

팥 포장출현력 예측을 위한 종자세 검사

정관석* · 나영왕** · 심상인* · 김석현*[†]

*경상대학교 생명과학연구원, **농촌진흥청 연구정책국

Application of Seed Vigor Test for Predicting Field Emergence in Azuki Bean (*Vigna angularis* Wight)

Gwan-Seok Jeong*, Young-Wang Na**, Sang-In Shim*, and Seok-Hyeon Kim*[†]

*Research Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea

**Research Policy Bureau, Rural Development Administration, Jeonju 560-500, Korea

ABSTRACT Field emergence of Azuki bean is poor due to hard seed coat as compared to other legumes. In this study, an attempt was made to develop prediction method with regression analysis based on various seed vigor tests in laboratory for field emergence of azuki bean. Azuki bean seeds artificially aged to provide various levels of seed quality were evaluated by the standard germination test (SGT), cold germination test (CT), cool germination test (CGT), complex stressing vigor test (CSVT), tetrazolium(TZ) vigor test and electroconductivity test. The SGT was suitable for predicting the field emergence in the unaged high vigor seeds. The abnormal seedling percentage and shoot length in the CGT were highly correlated with field emergence of moderate vigor seeds artificially aged for 2 days. Electroconductivity, seed viability in the CSVT, and vigor and predicted germinability in the tetrazolium vigor test were also useful for predicting field emergence. Percent of ungerminated seed in the CSVT was correlated with field emergence in the low vigor seeds artificially aged for 4 days. In a stepwise multiple regression analysis, seed viability in the SGT, normal seedling percentage and dry matter weight in the CGT accounted for 86.9% of the predicted value of field emergence in azuki bean.

Keywords : germination test, seed vigor, field performance, stepwise multiple regression, azuki bean

팥은 쌀밥을 주식으로 하는 한국인에게 부족하기 쉬운 비타민 B₁ 함량(0.54 mg/100 g)이 가장 많은 곡류이다. 특히, 팥

은 식이섬유와 칼륨 성분이 풍부해 나트륨과 노폐물 제거에 효과적이다. 최근 들어 웰빙디저트 간식으로 소비가 증가되고 있으며 수량과 품질이 우수한 새로운 품종이 속속 개발되고 있음에도 값싼 외국에 밀려 재배면적은 1984년 25,690 ha에서 2012년 4,585 ha 수준으로 크게 감소하였다.

팥은 종피에 광택을 띠고 있는데, 이는 mannose와 galactose와 같은 물질 때문으로 경실종자로 분류되며 이것 때문에 발아시 물 흡수가 느리고, 일반저장의 경우에도 3~4년간 발아력을 유지하는 장명종자이다. 또한 팥의 전분은 세포섬유로 싸여 있기 때문에 혀에 닿으면 독특한 감촉을 주고 삶아도 전분이 잘 풀리지 않는 특성이 있다.

포장에서 출아에는 평균기온이 15~16°C 이상이지만, 발아의 최적온도는 32~34°C로 높으며 완두, 잠두와 함께 지하 발아하는 특성을 가지고 있다.

팥은 콩보다 토양수분이 적어도 발아할 수 있지만 과습에 대한 저항성은 콩보다 약하다. 팥은 콩에 비하여 늦심기에 더욱 잘 적응하여 밀의 뒷그루로 적응성이 높다. 산간지의 논두렁에도 재배가 유리하며 개간지에도 잘 적응한다. 경남의 산청 함양 거창 등지의 기후가 결실기에 약간 서늘하고 건조하며 일조가 좋은 곳에서 재배가 많이 되고 있다.

종자의 발아특성을 잘 이해하여 포장에서 정상모로 자랄 수 있는 정보를 파종 전에 알 수 있다면 파종량을 조절하거나 종자처리를 하거나 하여 포장생육을 원만하게 하는 일은 재배농가의 바램이다.

포장출현력은 종자의 충실도, 성숙정도, 종자세 등에 영향을 받는다고 알려져 있는데, 파종 전에 포장출현력을 예

[†]Corresponding author: (Phone) +82-55-772-1871 (E-mail) seedvigor@hotmail.com

<Received 14 June, 2014; Accepted 13 August, 2014>

측할 수 있는 종자세 검사를 콩에서는 많은 연구가 이루어졌다(Egli & TeKrony, 1979; Miles & Copeland, 1980). 강낭콩(Copeland & Miles, 1980; Matthews & Bradnock, 1968; Suryatmana *et al.*, 1980), 완두(Matthews & Bradnock, 1968), 녹두(Hampton *et al.*, 1992), 잠두(Hegarty, 1977)에도 일부 있으나 팔에 대한 연구는 국내·외적으로 전무한 실정이다.

종자세 검사방법으로 표준발아검사(standard germination test, SGT), 인위노화검사(accelerated aging test, AA), 저온검사(cold germination test, CT), 저온발아검사(cool germination test, CGT), Complex stressing vigor test(CSVT), 테트라졸리움(tetrazolium, TZ) 검사, 전기전도도검사(electroconductivity test)등이 알려져 있다.

인위노화(AA) 검사는 미시시피주립대학의 Delouch교수가 저장력을 평가하기 위하여 고안하였는데, 오하이오주립대학의 McDonald & Phaneendranath (1978)가 이를 개량하여 노화정도가 다른 종자를 인위적으로 만들어 실내에서 평가한 종자세 정도를 포장생육(field performance)과 비교하였으며, AOSA나 ISTA에서는 작물별로 적정 처리온도와 처리시간을 권고하고 있다. 최근에 와서 Powell & Matthews (2005)는 aging시 종자의 수분함량을 조절하여 인위노화 처리하는 controlled deterioration test를 개발하여 시도하고 있다.

저온검사(CT)는 저온과 다습의 종자발아에 나쁜 조건을 실험실에서 주어 포장출현력을 미리 파종전에 검정하는 가장 오래 된 검사법으로 특히, 소립 화본과작물 종자들에서 가장 효과적인 방법으로 알려져 있다.

저온검사법과는 달리 저온발아검사(CGT)는 온도만 발아 적온보다 낮게(18℃) 할 뿐 그 밖의 조건은 모두 표준발아 검사에 준하여 한다. 목화와 같은 작물은 종자세가 낮은 경우 이러한 조건에서 묘의 성장정도가 감소되고 발아가 불량해진다.

Complex stressing vigor검사(CSVT)는 종자를 20~25℃의 물에 48시간 침지하였다가 이어서 2~5℃의 차가운 물에 48시간 추가로 침지한다. 침지 중 종자내의 생화학적 활성이 침지 초기 단계에는 증대하지만 계속되는 산소의 부족으로 인하여 활성이 저하되다가 결국 활성이 멈추게 된다. 생리적으로 활력이 저하된 종자의 세포막은 생화학적 제어 기능을 점차 잃게 되고 나아가 세포 내용물이 밖으로 침출된다. 저온은 종자의 생리적 손상을 일으키고 산소 결핍을 초래한다. 2~5℃의 저온처리는 종자휴면을 타파시키기도 한다. 종자의 발아율과 종자세가 동시에 높을 경우(정상묘율이 80% 이상) CSV 검사결과는 포장출현과 잘 일치하지만, 발아율은 높지만 종자세가 낮을 경우(정상묘율이 48% 이

하) 포장출현력은 대단히 가변적이라고 한다(ISTA, 1995).

테트라졸리움검사는 독일의 Georg Lakon교수가 개발하여, North Carolina State University의 R.P. Moore교수(1976)가 발전시켰으며, 오늘날에는 ISTA (2003)에서 작물별로 착색전 처리 방법과 착색온도와 처리농도를 제시하여 권고하고 있으나, 아직도 결과의 해석이 난해하다는 점이 해결해야 할 과제로 남아있다.

종자내 세포내용물이 물에 용출되어 나오는 정도를 전기전도도계로 측정하여 종자세를 비교하는 전기전도도검사는 오래된 종자나 죽은 종자에서는 종자세포막이 덜 딱딱하여 용출되는 양이 많아 전기전도도 값이 높게 나타난다는 것이다. 측정방법이 간단하고 신속히 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있으며 대립두과작물 종자에서 많이 이용하고 있는 종자세 검사법이다(Hampton *et al.*, 1992; Matthews & Bradnock, 1968). Hampton *et al.* (1992)이 콩, 강낭콩과 녹두에서 적용 가능한 방법임을 시사한 바 있는데, 기계적인 상처를 받은 종자에서는 적용이 어렵다고 하였으며 처리전 종자수분 함량에 따라 결과가 다르므로 처리전 종자수분을 10~14%로 조절할 필요가 있다고 하였다.

이러한 종자세 검사를 몇 가지 병행하여 실시함으로써 광범위한 포장환경 조건에서 포장출현력의 예측효율을 높일 수 있었다고 한다. 콩(Abdul-Baki & Anderson, 1973; Edje & Burris, 1971; Johnson & Wax, 1978; Kim *et al.*, 1987a; TeKrony & Egli, 1977)과 보리와 밀(Ching *et al.*, 1977; DasGupta & Austenson, 1973b; Kim *et al.*, 1987b; Kim *et al.*, 1994) 및 옥수수(Clark, 1953; Hoppe, 1956; Khajeh-Hosseini *et al.*, 2009), 목화(Bishnoi & Delouche, 1980) 와 수수(Kim *et al.*, 2013) 등에서 보고한바 있다.

실험실의 최적조건에서 실시하는 표준발아검사 결과는 포장출현력이 과대평가되는 경향이 있어(Yaklich *et al.*, 1979), 이에 대한 보완이 필요하다. Scott (1978)는 종자세 검사는 표준발아검사 기술의 확장으로 비정상묘와 약세묘 같은 묘 소질도 포장출현력에 영향을 줄 수 있기 때문에 표준발아검사 결과보다 더 정확한 방법이라고 하였다. 특히 파종 후 부적합한 포장상태에서는 실내에서 실시한 표준발아검사 결과만으로는 종자의 품질을 충분히 나타내기에는 미흡하다고하여 종자세 검사의 필요성을 강조하였다(ISTA, 1995).

본 연구에서는 실험실에서 실시한 몇 가지 종자세 검정치와 포장출현력과의 관계에 근거한 다중회귀방정식을 이용하여 팔의 포장출현력 예측에 가장 적합한 종자세 검사방법을 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

종자시료와 인위노화처리

종자시료

실험에 이용된 종자는 2012년 10월에 수확한 딸(cv. 충주팔) 종자로서 수확 후 이용시까지 4°C의 종자저장고에 보관하였으며, 검정 전 종자를 인위노화 처리를 통해 종자세를 조절하여 사용하였다.

인위노화처리

노화처리는 McDonald & Phaneendranath (1978)의 방법에 따라 plastic accelerated aging (AA) box에 상대습도가 100% 정도 유지되도록 증류수 40 ml을 부어 넣고, Plastic AA box 내에 종자를 겹치지 않게 단층으로 퍼 놓은 wire-mesh tray (10×10cm)를 놓은 후 뚜껑을 닫는다. Plastic AA box를 항온기내에 넣어 41°C, 상대습도 100%로 조절하여 2일, 4일, 그리고 6일간 인위노화처리 정도를 달리하였다. 노화처리가 끝나면 항온기에서 AA 박스를 꺼내 종자를 신문지 위에 펴고 수분함량이 10~14%될 때까지 건조시킨 후 처리 시간이 다른 각각의 종자를 종자세 검사와 포장출현력 검사 재료로 사용하였다.

종자세 검사

노화처리 정도가 다른(무처리, 2일, 4일, 그리고 6일간) 종자를 표준발아검사, 저온발아검사, 저온검사, complex stressing vigor 검사, 테트라졸리움검사, 전기전도도검사와 포장출현력 검사 재료로 사용하였다.

표준발아검사

표준발아검사(SGT)는 ISTA (2007)의 ‘International Rules for Seed Testing’에 따라 100립 4반복으로 25°C에서 10일간 rolled towel paper에서 발아시켰다.

발아묘의 판별은 발아조사 마감일에 정상묘, 비정상묘, 경실종자, 죽은 종자로 구분하여 조사하였다. 종자세(seed vigor)는 발아율 x 배축의 길이로 표시하였다. 배축의 길이는 각 반복별 10개씩 조사한 평균값으로 나타내었다. 활력이 있는 종자(seed viability; 정상묘 + 비정상묘 + 경실종자)와 활력이 없는 종자(죽은종자)로 구분하여 나타내었다. 배축 전체의 건물중도 조사하였다.

저온검사

저온검사(CT)는 ISTA(2007)의 ‘International Rules for Seed Testing’에 따라 100립 4반복으로 하였다. 저온검사는

팔을 재배하던 포장에서 채취한 토양을 채로 친 후 수분 상태를 포장용수량 정도로 조절한 후 사용하였다. 플라스틱박스(9.7 cm x 8.4 cm x 9.4 cm)의 바닥에 3 cm 두께로 흙을 깔고 종자 100립을 같은 간격으로 파종한 후 같은 토양으로 1 cm 두께로 복토하였다. 플라스틱 통의 뚜껑을 닫고 5°C에서 3일간 처리 후 이어서 25°C에서 7일간 발아시켰다. 파종 7일째 플라스틱 통의 뚜껑을 열어 배축이 통 위로 신장할 수 있게 하였다. 파종 10일째에 정상묘, 비정상묘, 경실종자, 불발아종자(ungerminated seed; 경실종자 + 흡수미발아종자 + 죽은종자)로 구분하였다. 종자세(cold vigor)는 발아율 x 배축의 길이로 표시하였다. 배축의 길이는 각 반복별 10개씩 조사한 평균값으로 나타내었다. 배축의 길이와 배축 전체의 건물중도 조사하였다.

저온발아검사

저온발아검사(CGT)는 ISTA (2007)의 ‘International Rules for Seed Testing’에 따라 100립 4반복으로 18°C에서 10일간 rolled towel paper 방법을 이용하여 발아시켰다. 발아묘의 판별은 발아조사 마감일에 정상묘, 비정상묘, 경실종자, 불발아종자(ungerminated seed; 경실종자 + 흡수미발아종자 + 죽은종자)로 구분하였다. 종자세(cool vigor)는 발아율 x 배축의 길이로 표시하였다. 배축의 길이는 각 반복별 10개씩 조사한 평균값으로 나타내었다. 배축 전체의 건물중도 조사하였다.

Complex stressing vigor test

이 시험은 ISTA (1995)의 방법에 따랐다. 종자를 25°C의 물에 48시간 침지 한 후 4°C의 차가운 물에 48시간 추가로 침지하였다. 위의 처리를 한 후 종자를 100립 4반복으로 발아 시험을 실시하였다. 그 밖의 발아시험 방법은 앞서 실시한 표준발아시험의 방법과 동일하게 실시하였다. 치상 10일째 정상묘, 비정상묘, 경실종자, 불발아종자(ungerminated seed; 경실종자 + 흡수미발아종자 + 죽은종자)로 구분하였다. 활력이 있는 종자(seed viability; 정상묘 + 비정상묘 + 경실종자)와 활력이 없는 종자(죽은종자)로 구분하였다.

테트라졸리움 종자세 검사

테트라졸리움 종자세 검사(TZ)는 ISTA (2003)와 Moore (1976)의 방법에 따라 실시하였다. 종자를 25°C에서 36시간 흡수시킨 후 껍질을 벗겨 35°C에서 2시간 30분 착색시켰다(경실종자가 50% 이상 포함되어 있어 흡수시간을 ISTA에서 규정한 18시간보다 길게 하였음). 착색 후 테트라졸리움 예측발아율과 테트라졸리움 종자세를 구하였다. 예측발

아울(predicted germinability; 착색정도가 높은 것 + 중간 정도인 것 + 경실종자)과 종자활력도(seed viability; 착색정도가 높은 것 + 중간 정도인 것 + 낮은 것 + 경실종자)으로 구분하였고, 테트라졸리움 종자세(TZ vigor)는 착색의 정도가 높은 것의 개수 × 6, 중간인 것의 개수 × 4, 낮은 것의 개수 × 2, 죽은 상태인 것의 개수 × 0으로 한 전체 합으로 표시하였다.

전기전도도 검사

전기전도도는 ISTA (1995)의 방법에 따라 전기전도도계 (Consort C231)를 사용하여 측정하였다. 측정 전 표준용액으로 전기전도도계를 보정하였다. 이때 용액의 온도는 25°C로 맞추었다. 침지 전 종자 수분의 함량은 10~14%로 조절하였다. 이때 플라스크에 이물질이 남아있지 않도록 깨끗이 씻은 다음 증류수로 헹구어 건조시켰다. 각 시료 당 4개의 플라스크를 준비하였으며 2차 증류수 250 ml를 넣고 알루미늄 호일을 씌워 오염을 방지한 다음 수온을 25°C로 맞추기 위하여 25°C로 설정된 항온기내에 넣어 하룻밤을 경과시켰다. 플라스크에 종자를 넣기 전 종자의 무게를 소수점 이하 두 자리(0.01 g)까지 측정하였다. 준비된 플라스크에 10.00 g 정도의 종자시료(시료 중에는 50% 정도의 경실종자가 포함되어 있어 측정시료를 10 g 정도로 하여 전기전도도를 측정한 후 경실종자만을 들어내어 건조한 후 무게를 달아 빼고 계산하였다. ISTA에서는 5.00 g 정도의 시료를 사용하기로 권장함)를 넣고 알루미늄 호일을 씌워 밀봉한 다음 25°C에서 24시간 방치하였다(경실종자가 다수 포함되어 있기는 하지만 침지시간이 지나치게 길면 퇴화 정도가 다른 종자의 막의 손상 정도를 비교하기 어렵다고 판단됨). 측정은 침출용액의 균일한 혼합을 위하여 10~15초간 플라스크를 가볍게 흔든 후 전기전도도 전극(dip cell)을 용액에 담가 시료마다 10분 간격으로 실시하였다. 하나의 플라스크는 24시간 침중으로 기준할 때 ±15분 이내에 측정을 끝내었다. 두 개 플라스크에 각각 증류수 400~600 ml 정도를 담아 시료마다 측정이 끝날 때 전극을 세척하였다. 이 때 증류수를 사용한 플라스크의 전기전도도 값이 5 μ S cm⁻¹을 넘지 않도록 하였다. 종자 g당 전기전도도 값은 다음 식에 의하여 구하였다.

$$\text{전기전도도 } (\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}) = \frac{\text{측정된 전기전도도}(\mu\text{S}) - \text{증류수의 전기전도도}(\mu\text{S})}{\text{시료종자의 무게}(g)}$$

포장출현력 검정

팔 종자는 6월 20일 경상대학교 실험농장 식양토의 전작

포장에 관행 농가재배법에 따라 이랑나비 60 cm, 포기사이 15 cm로 1주당 3립씩 점파하였다. 더 이상의 출현묘가 발생하지 않은 파종 21일째에 10 m² 면적에 출현한 묘수를 난괴법 4반복으로 조사하였으며, 정상묘 10개 배측의 평균 길이와 배측 전체의 건물중을 조사하였다. 유묘세(seedling vigor)는 배측의 길이(shoot length)와 포장출현율(field emergence rate)의 곱으로 하였다.

수분흡수속도 측정

팔의 수분흡수속도를 콩, 완두와 비교하기 위하여 콩(태광콩), 완두(스마일완두, 농우바이오), 팥(충주팥) 종자를 침윤시간별로 수분함량을 조사하였다. 각 30립의 종자를 4반복으로 200 ml의 비이커에 넣고 증류수 150 ml을 가하였다. 이때 침윤수의 온도는 25°C로 조절하여 사용하였다.

침윤시간별(0.00, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 16.0, 24.0, 36.0, 48.0시간)로 종자를 건져내어 물을 따라 버리고 종자를 여과지에 놓고 표면수를 제거하여 종자의 무게를 측정하였다. 먼저 침윤 전 종자무게와 수분함량을 구한 후 침윤 시간대별 무게를 측정하여 중량비로 수분함량을 계산하였다. 계산식은 다음과 같다.

$$\text{종자수분함량}(\%) = 100 - \{(\text{침윤 전 종자무게} / \text{침윤 후 종자무게}) \times (100 - \text{침윤 전 종자수분함량})\}$$

그리고 시험 전 분쇄한 종자의 수분함량 측정은 다음 식에 의하였다.

$$\text{종자수분함량}(\%) = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100$$

M_1 : 수분측정 캔의 무게, M_2 : 건조 전 총무게, M_3 : 건조 후 총무게

침윤이 마감된 48시간째에 수분흡수속도 측정에 사용한 시료 종자 중 팔의 시료 반복 3과 4에서 각각 1립씩의 경실종자가 있어 시험 전 종자수분 함량의 상태가 될 때 까지 재 건조 시킨 후 무게를 측정 하여 당초 수분 측정용 시료 중에서 가감하여 재계산하였다.

통계분석

통계분석은 MSTATC package (1993)를 사용하였으며, stepwise multiple regression 분석은 Steel and Torrie (1980)의 방법에 의해 실시하였다.

결과 및 고찰

포장시험에서 조사된 배축의 길이와 포장출현율을 곱한 유묘세(seedling vigor)는 팔 재배에서 성공의 관건이 되므로 실내에서 실시한 6가지 종자세 검사에서의 조사항목들과 비교하는 기준으로 설정하였다.

표준발아검사(SGT)에서 본 연구에 사용한 팔 종자는 Table 1에서 보는 바와 같이 노화 정도가 심해짐에 따라 종자세, 정상묘수, 종자 활력과 배축의 건물중이 감소하였으며, 배축의 길이도 짧았다. 이는 노화과정에서 불량한 종자는 비정상묘로 발아하지 못하고 죽어버리기 때문이다. 종자의 활력은 배축의 길이와 함께 종자세에 영향을 주는 것으로 포

장출현력의 경우 발아한 유묘가 포장을 뚫고 나오는 활력과 밀접한 관련이 있으므로, 이 시험에서 수행된 노화처리 방법은 포장출현력을 비교할 때 유용할 것으로 생각된다.

Table 2에서 보는 바와 같이 저온발아검사(CGT)에서는 정상묘율이 30% 이하로 표준발아검사의 결과에서보다 40% 정도 낮게 나타났는데, 이는 팔 종자의 딱딱한 종피특성과 함께 저온 때문에 수분흡수가 덜되고, 저온 스트레스로 인한 비정상묘의 비율이 증가하였기 때문으로 생각된다. 표준발아검사에서 보다 배축의 길이도 짧고 건물중도 적게 나타났다.

저온검사(CT)에서도 저온발아검사(CGT)에서와 같은 경향으로 저온으로 인해 물 흡수가 덜되어 정상묘수는 적고

Table 1. Changes in germinability, hardness and viability of seeds artificially aged for different periods in standard germination test.

Aging days	Seed vigor [†]	Normal seedling (%)	Abnormal seedling (%)	Hard seed (%)	Dead seed (%)	Seed viability (%) [‡]	Shoot length (cm)	Dry matter wt. (mg of total seedling)
Control	1,778a*	73a	10a	11a	6c	94a	24.3a	1,698a
2	932b	56b	12a	13a	20b	80b	16.7b	930b
4	586c	39c	16a	13a	33a	68c	15.0bc	643c
6	433d	33c	19a	16a	33a	68c	13.2c	614c

[†]Seed vigor = percent normal seedling × shoot length(cm).

[‡]Seed viability = percent viable seed (normal + abnormal seedling) + hard seed.

*Column means followed by the same letter were not significantly different at the 5% level according to DMRT.

Table 2. Changes in germinability of seeds artificially aged for different periods in cool germination test.

Aging days	Cool vigor [†]	Normal seedling (%)	Abnormal seedling (%)	Hard seed (%)	Ungerminated seed (%) [‡]	Shoot length (cm)	Dry matter wt. (mg of total seedling)
Control	265a*	31a	23a	30a	46c	8.6a	447a
2	192b	23b	23a	31a	54bc	8.4a	369b
4	129c	19b	18a	31a	64ab	6.8b	305c
6	105c	17b	16a	35a	69a	6.0b	290c

[†] Cool vigor = percent normal seedling × shoot length(cm).

[‡] Ungerminated seed = hard seed + fresh ungerminated seed + dead seed.

* Column means followed by the same letter were not significantly different at the 5% level according to DMRT.

Table 3. Changes in germinability, hardness and viability of seeds artificially aged for different periods in cold germination test.

Aging days	Cold vigor [†]	Normal seedling (%)	Abnormal seedling (%)	Hard seed (%)	Ungerminated seed (%) [‡]	Shoot length (cm)	Dry matter wt. (mg of total seedling)
Control	650a*	49a	25a	8b	27d	13.3a	320a
2	465b	42a	23a	14ab	36c	11.2ab	268a
4	290c	28b	13b	14ab	60b	10.5b	195b
6	205c	20b	15b	18a	66a	10.0b	152b

[†] Cold vigor = percent normal seedling × shoot length(cm).

[‡] Ungerminated seed = hard seed + fresh ungerminated seed + dead seed.

* Column means followed by the same letter were not significantly different at the 5% level according to DMRT.

Table 4. Changes in germinability of seeds artificially aged for different periods in complex stressing vigor test and tetrazolium vigor test.

Aging days	Complex stressing vigor test					Tetrazolium vigor test			
	Normal seedling (%)	Abnormal seedling (%)	Hard seed (%)	Un-germinated seed (%) [†]	Seed viability (%) [‡]	Vigor in TZ test	Seed viability (%) [‡]	Hard seed (%)	Predicted germinability (%)
Control	71a*	6a	7a	23b	84a	388a	92a	17b	84a
2	68a	7a	9a	25b	84a	345b	87b	14b	74b
4	52b	6a	6a	42a	63b	273c	73c	15b	60c
6	44b	7a	10a	50a	60b	158d	68d	26a	51d

[†] Ungerminated seed = hard seed + fresh ungerminated seed + dead seed.

[‡] Seed viability = percent viable seed (normal + abnormal seedling) + hard seed.

* Column means followed by the same letter were not significantly different at the 5% level according to DMRT.

Table 5. Changes in conductivity, field emergence and seedling vigor of seeds artificially aged for different periods.

Aging days	Electroconductivity test	Field emergence test			
	Conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$)	Field emergence (%)	Shoot length (cm)	Dry matter wt. (mg of total seedling)	Seedling vigor [†]
Control	36d*	69a	12.1a	383a	830a
2	43c	67a	10.7ab	365a	714b
4	74b	58b	11.0ab	334b	637c
6	78a	56b	10.4b	330b	577c

[†] Seedling vigor = percent field emergence \times shoot length(cm).

* Column means followed by the same letter were not significantly different at the 5% level according to DMRT.

불발아종자(ungerminated seed)수는 늘어났다(Table 3). 경실종자수는 저온발아검사 때 보다는 적었으나, 표준발아검사에서 보다는 여전히 많이 남아있었다.

Complex stressing vigor test (CSVT)의 결과는 Table 4에 보는 바와 같다. 정상묘수는 표준발아검사의 73%와 매우 유사한 71%로 나타났다. 비정상묘와 경실종자수도 적었는데, 이는 고온과 저온의 반복으로 종자의 휴면이 타파되어 종자 내부로의 물 흡수가 용이했던 것으로 생각되는데, 이러한 결과는 2~5°C의 저온처리는 종자의 휴면을 타파시키기도 한다는 연구(ISTA, 1995)와 일치하는 결과이다. 2~4일 정도 노화된 팥 종자에 있어서 종자세 평가에 유용한 검사방법으로 생각된다(Table 6).

테트라졸리움(TZ) 종자세 검사에서의 종자세(vigor) 지수는 팥 종자의 퇴화정도를 잘 반영해 주고 있는데, 공시된 재료의 활력은 92% 정도로 매우 높지만 퇴화가 진전되면서 68% 까지 활력이 저하되었다(Table 4). 2일 노화된 종자(87% 정도의 활력 수준)는 테트라졸리움 검사로 예측효율을 높일 수 있을 것으로 사료된다(Table 6). 테트라졸리움 염료에 종자를 착색하기 전에 실시하는 흡수시간을 36시간

으로 하는 것이 흡수가 더딘 팥 종자의 테트라졸리움 검사에 적합하다고 사료된다(Fig. 1).

전기전도도 검사는 여러 결과에서 보는 것처럼 노화 정도를 잘 반영하는 결과를 보였다(Table 5). 특히 2일 정도 노화된 팥의 경우 종자의 포장출현력 예측에 효과적인 방법으로 생각된다($R^2 = 0.978$, $p < 0.05$) (Table 6). Matthews & Bradnock (1968)는 완두에서 $43\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ 이상이면 파종이 어렵다고 하였다. 본 연구에서 수행한 팥의 수치와는 다소 상이하지만 매우 비슷한 경향을 보이며 검사방법이 간단함으로 앞으로 팥 종자세 검정에 있어 유용한 검사방법으로 이용될 전망이 있어 보인다. 팥(red bean, azuki bean)에 대한 종자세 검사결과는 국내·외적으로 보고된 바는 없지만, 녹두와 콩 그리고 경실인 강낭콩에 대해서 Hampton *et al.* (1992)은 침윤온도를 20~25°C 범위에서 24시간 침윤하였을 때 전기전도도 검사결과는 포장성적과 잘 일치한다고 하였다.

테트라졸리움 검사 결과 종자활력이 92%이고 예측발아율이 84%로 나타났다. 이는 표준발아검사에서 종자활력 94%이고 정상묘율이 73%로 나타난 것과 CSVT에서 종자활력

Table 6. Correlation coefficients between indices of several laboratory tests and field emergence with differently aged seeds.

Variable	Aging level			
	Control	2-day	4-day	6-day
Seed vigor (SGT)	0.785	-0.306	-0.353	0.576
% normal seedling (SGT)	0.885	-0.231	-0.541	0.910
% seed viability (SGT)	0.970*	0.580	0.292	-0.165
Shoot length (cm, SGT)	-0.872	-0.369	-0.172	-0.509
Dry matter wt. (SGT)	0.631	0.068	-0.378	-0.520
Cool vigor (CGT)	0.259	0.825	-0.446	0.458
% normal seedling (CGT)	0.072	0.883	-0.501	0.526
% abnormal seedling (CGT)	-0.958*	-0.977*	0.245	0.858
% hard seed (CGT)	0.701	-0.957*	0.628	-0.915
% ungerminated seed (CGT)	0.830	-0.315	0.205	-0.737
Shoot length (cm, CGT)	0.701	-0.972*	-0.257	0.399
Dry matter wt. (CGT)	0.284	0.653	-0.015	0.116
Cold vigor (cold test)	0.757	0.076	-0.342	0.109
% normal seedling (cold test)	0.485	-0.042	0.101	-0.149
% ungerminated seed (cold test)	-0.375	-0.147	-0.526	0.422
Dry matter wt. (cold test)	0.179	0.590	-0.562	-0.789
% normal seedling (CSVT)	-0.603	-0.798	-0.392	0.658
% ungerminated seed (CSVT)	0.226	0.779	0.958*	-0.747
% seed viability (CSVT)	-0.856	-0.969*	-0.372	0.819
Vigor (TZ)	0.312	0.964*	0.613	-0.283
% seed viability (TZ)	0.070	0.857	0.121	-0.682
% predicted germinability (TZ)	-0.135	0.969*	-0.015	0.463
Electroconductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$)	0.606	0.978*	0.554	-0.802

*, Significant at P<0.05.

SGT, standard germination test; CGT, cool germination test; CSVT, complex stressing vigor test; TZ, tetrazolium vigor test.

Table 7. Stepwise multiple regression analysis for predicting field emergence with seedling vigor and seed vigor indices of differently aged seeds.

Entered variable ^{a)}	R ²	Residual mean squares
% predicted germinability (TZ)	0.820	2093
% seed viability (SGT)	0.821	2084
% normal seedling (CGT)	0.864	1576
Dry matter wt. (CGT)	0.869	1576

^{a)}Order of variables entered in addition to previous variables. TZ, tetrazolium vigor test; SGT, standard germination test; CGT, cool germination test.

84%이고 정상묘율이 71%로 나타난 결과와 매우 유사하다. 그러나 저온에 처한 저온발아검사(CGT)와 저온검사(CT)에서는 예측발아율은 각각 84%와 82%로 높지만 정상묘율은 각각 31%와 49%로 매우 낮는데 이러한 결과는 더딘 물 흡수에 따른 경실중자 비율의 증가와 저온에 의한 비정상묘수의 증가에 기인된 것으로 사료된다. 그런데 저온발아검사(CGT)에서의 정상묘율과 건물중은 포장시험에서의 유효세

(seedling vigor)와 5% 수준에서 상관을 보였다(Table 7).

기존 연구자들에 의하면 콩 같은 대립두과작물(Egli & TeKrony, 1979; Kim *et al.*, 1987a)의 경우에는 전기전도도 검사가 포장출현력 예측에 가장 효과가 컸으며, 보리 같은 소립 화분과작물(Ching *et al.*, 1977; Kim *et al.*, 1987b)에서는 저온검사(cold test)가 효과적이었다고 하였다. 그러나 팔은 경실이 많아서 수분흡수가 더디기 때문에 저온검사에서는 무처리에서 정상묘율이 49%로 낮았다(Table 3, Fig. 1).

팔에는 mannose와 galactose와 같은 물질이 많이 함유되어 있기 때문이다. 18°C에서 10일간 발아시킨 저온발아검사(CGT)나 5°C에서 3일간 처리하고 25°C에서 7일간 발아시킨 저온검사(CT)는 물흡수 속도가 느려 발아조사 마감일까지도 물 흡수가 안 되는 종자가 많았다. 테트라졸리움 검사시 25°C에서 17시간 흡수시킨 후 염료에 착색하는 ISTA (2003)의 방법으로는 경실이 많이 남아 있어서 흡수시간을 36시간 하였더니 무처리의 경우 예측발아율이 84%로 높았고 활력 또한 92%로 나타났다(Table 4, Fig. 1).

인위노화정도에 따른 경실율의 변화는 크지 않았으며 종자세 검사방법에 따른 차이는 컸다. 노화처리 되지 않은 무

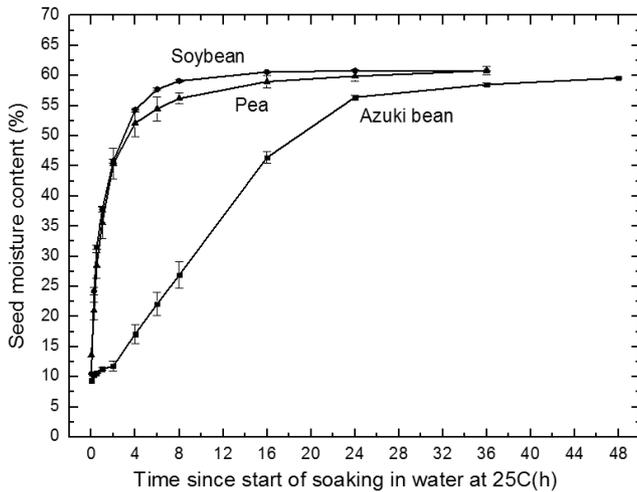


Fig. 1. Changes of seed moisture content during imbibition at 25°C in soybean, pea and azuki bean. Vertical bars represent standard errors of the means.

처리를 기준으로 하여 보면 발아조사 마감일까지도 남아있는 경실종자의 비율은 저온발아검사에서 30%, 테트라졸리움 검사 17%, 표준발아검사 11%, 저온검사 8%, CSVT 7%의 순으로 나타났다(Table 1-4).

실내에서 실시하는 표준발아검사의 발아율은 포장출현율보다 높게 나타났는데, 이는 실내발아검사는 발아지, 수분, 온도 등이 최적조건으로 주어지지만, 이러한 조건을 실제 포장상태에서는 기대하기 어려울 뿐만 아니라 발아검사는 종자의 노화과정 중의 변화를 나타내기에 미흡하고 단지 발아 가능 또는 발아 불가능을 판정하는데 그치기 때문이다 (TeKrony and Egli, 1977). 종자세 검사는 노화과정 중 일어나는 측정 가능요소를 정량적으로 도출하여 검사하는데, 어느 정도 노화된 종자의 품질을 비교하기 위하여 실험실상에서 종자세 검사를 실시하기 전에 어느 정도 인위적으로 종자를 노화시켜 재료로 사용하는 경우들이 있다.

포장시험 성적은 Table 5와 같다. 포장출현율은 무처리에서 69%로 2일 노화처리 67%와 비슷하게 나타났으나, 인위 노화 4일은 58%, 그리고 6일 인위노화는 56%로 나타나 2일과 4일 사이의 노화에서 활력 손실이 급격히 일어남을 알 수 있다.

인위노화 처리를 0, 2, 4, 6일간 달리하여 실험실에서 실시한 6가지 종자세 검사에서 얻어진 종자세 지수들과 포장출현력과의 상호관계를 상관계수로 비교한 결과는 Table 6에 나와 있다. 노화처리 되지 않은 무처리 종자의 경우 표준발아검사(SGT)에서의 종자활력률($r = 0.970$)과 저온발아검사(CGT)에서의 비정상묘율($r = -0.958$)은 포장출현력과 5% 수준에서 상관관계가 인정되었다. 2일간 노화처리된 종

자에서는 저온발아검사(CGT)에서의 비정상묘율, 배축의 길이와 포장출현력과 5% 수준에서 상관관계가 인정되었고, Complex stressing vigor (CSV) 검사에서의 활력률과 테트라졸리움(TZ) 검사에서 종자세와 예측발아율 그리고 전기전도도도 검사는 팔 종자의 포장출현력과 5% 수준에서 상관관계가 있어 포장출현력 예측에 효과적인 지표로 생각된다. 4일 노화 처리된 종자의 경우 CSVT에서의 불발아종자율이 포장출현력과 상관관계가 인정되었다($r = 0.958$, $p < 0.05$)

포장출현력 예측에 효과적인 몇 가지 종자세지수를 이용하여 stepwise multiple regression 분석을 실시한 결과는 Table 7과 같다. 테트라졸리움(TZ) 검사에서 조사된 예측발아율은 결정계수(R^2)가 0.820으로 높은 포장출현력 예측 수준을 나타내었다. 표준발아검사(SGT)에서의 종자활력률, 저온발아검사(CGT)에서의 정상묘율과 건물중을 회귀방정식에 추가함에 따라 포장출현력 예측효율을 증가시킬 수 있었다.

적 요

경실로 인해 다른 두과작물에 비해 포장 입묘가 불량한 팔의 포장출현율의 효과적인 예측 방법을 개발하기 위해 인위 노화 정도를 조절한 종자에 대해 실험실에서 몇 가지 종자세 검사를 실시하여 포장출현력과 비교하였다. 얻어진 종자세 지표들에 대해 포장출현력과의 상관분석을 통해 예측을 위한 효율적인 지표들을 도출하였다. 팔에서 종자세가 높을 경우에는 표준발아검사에서의 종자활력률이 포장출현력 예측에 효과적이며, 약간 노화된 종자의 경우에는 저온발아검사(CGT)에서의 비정상묘율과 배축의 길이는 포장출현력과 높은 상관관계를 보였으며, 전기전도도와 CSVT에서의 활력률과 테트라졸리움 검사에서 종자세와 예측발아율은 포장출현력과 5% 수준에서 상관관계가 인정되었다. 종자세가 낮은 종자에서는 CSVT에서 불발아종자율이 포장출현력과 5% 수준에서 상관을 보였다. 포장출현력 예측에 효과적인 몇 가지 종자세지수를 이용하여 stepwise multiple regression 분석을 실시한 결과 테트라졸리움(TZ) 검사에서의 예측발아율은 결정계수(R^2)가 0.820으로 포장출현력 예측에 가장 효과적인 검사방법임을 알 수 있었다. 표준발아검사(SGT)에서의 종자활력률, 저온발아검사(CGT)에서의 정상묘율과 건물중을 회귀방정식에 추가함에 따라 86.9% 까지 포장출현력 예측효율을 증가시킬 수 있었다.

인용문헌(REFERENCES)

Abdul-Baki, A. A. and J. D. Anderson. 1973. Vigor determination

- in soybean seed by multiple criteria. *Crop Sci.* 13 : 630-633.
- Bishnoi, U. R. and J. C. Delouche. 1980. Relationship of vigor tests and seed lots to cotton seedling establishment. *Seed Sci. & Technol.* 8 : 341-346.
- Ching, T. M., S. Hedtke, M. C. Boulger, and W. E. Kronstad. 1977. Correlation of field emergence rate and seed vigor criteria in barley cultivars. *Crop Sci.* 17 : 312-314.
- Clark, B. E. 1953. Relationship between certain laboratory tests and the field germination of sweet corn. *Proc. Assoc. Off. Seed Anal.* 42-44.
- Copeland, L. O. and D. F. Miles. 1980. Comparison of laboratory indices of seed vigor with field performance of navy bean. *Agron. Abstr.* 113.
- DasGupta, P. R. and H. M. Austenson. 1973b. Analyses of interrelationships among seedling vigor, field emergence and yield in wheat. *Agron. J.* 65 : 417-422.
- Edje, O. T. and J. S. Burris. 1971. Effects of soybean seed vigor on field performance. *Agron. J.* 63 : 536-538.
- Egli, D. B. and D. M. TeKrony. 1979. Relationship between soybean seed vigor and yield. *Agron. J.* 71 : 755-758.
- Hampton, J. G., K. A. Johnstone, and V. Eua-Umpon. 1992. Bulk conductivity test variables for mungbean, soybean and French bean seed lots. *Seed Sci. & Technol.* 20 : 677-686.
- Hegarty, T. W. 1977. Seed vigour in field bean (*Vicia faba* L.) and its influence on plant stand. *J. Agri. Sci., Cambridge*, 88 : 169-173.
- Hoppe, P. E. 1956. Correlation between corn germination in laboratory cold tests and stands in the field. *Plant Dis. Repr.* 40 : 887-889.
- ISTA. 1995. Handbook of Vigour Test Methods. 3rd edition. International Seed Testing Association.
- ISTA. 2003. ISTA Working Sheets on Tetrazolium Testing. International Seed Testing Association.
- ISTA. 2007. International Rules for Seed Testing. Edition 2007. International Seed Testing Association.
- Johnson, R. R. and L. M. Wax. 1978. Relationship of soybean germination and vigor tests to field performance. *Agron. J.* 70 : 273-278.
- Khajeh-Hosseini, M., A. Lomholt, and S. Matthews. 2009. Mean germination time in the laboratory estimates the relative vigour and field performance of commercial seed lots of maize (*Zea mays* L.). *Seed Sci. & Technol.* 37 : 446-456.
- Kim, S. H., L. O. Copeland, and R. Baalbaki. 1987a. The use of multiple tests in predicting the vigor of soybean seeds. *Korean J. Crop Sci.* 32 : 268-276.
- Kim, S. H., Z. R. Choe, and J. H. Kang. 1987b. Vigor determination in barley seeds by the multiple criteria. *Korean J. Crop Sci.* 32 : 417-424.
- Kim, S. H., Z. R. Choe, J. H. Kang, L. O. Copeland, and S. G. Elias. 1994. Multiple seed vigour indices to predict field emergence and performance of barley. *Seed Sci. & Technol.* 22 : 59-68.
- Kim, S. H., M. H. Lee, K. H. Kang, M. W. Park, S. I. Shim, J. S. Chung, and Y. W. Na. 2013. Verification of several seed vigor test methods to predict field emergence of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Korean J. Intl. Agri.* 25(1) : 56-61.
- Matthews, S. and W. T. Bradnock. 1968. Relationship between seed exudation and field emergence in peas and French beans. *Hort. Res.* 8 : 89-93.
- McDonald, M. B., Jr. and B. R. Phaneendranath. 1978. A modified accelerated aging seed vigor test for soybeans. *J. Seed Technol.* 3 : 27-37.
- Miles, D. F., Jr. and L. O. Copeland. 1980. The relationship of vigor tests and field performance in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) *Agron. Abstr.* 111.
- Moore, R. P. 1976. Tetrazolium seed testing developments in North American. *J. Seed Technol.* 1(1) : 17-30.
- MSTATC. 1993. Michigan State University MSTAT Development Team. MSTAT User's Guide. Michigan State University, MI, USA.
- Powell, A. A. and S. Matthews. 2005. Towards the validation of the controlled deterioration vigour test for small seeded vegetables. *Seed Testing International.* 129. 21-24.
- Scott, D. J. 1978. Seed vigour. *Seed Sci. & Technol.* 6 : 905-906.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics. 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., NY. p. 633.
- Suryatmana, G., L. O. Copeland, and D. F. Miles. 1980. Comparison of laboratory indices of seed vigor with field performance of navy bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agron. Abstr.* 113.
- TeKrony, D. M. and D. B. Egli. 1977. Relationship between laboratory indices of soybean seed vigour and field emergence. *Crop Sci.* 17 : 573-577.
- Yaklich, R. W. and M. M. Kulik. 1979. Evaluation of vigor tests in soybean seeds : Relationship of the standard germination test, seedling vigor classification, seedling length, and tetrazolium staining to field performance. *Crop Sci.* 19 : 247-252.