

종자의 수분흡수속도가 찰벼 품종별 발아특성과 침윤초기 Guaiacol Peroxidase활성에 미치는 영향

손지영* · 김준환* · 이충근* · 양운호* · 윤영환* · 정남진** · 김정곤*** · 김보경* · 최경진†

*농촌진흥청 국립식량과학원, **전북대학교, ***전라북도농업기술원

Effect of Water Uptake Rate on Germination Characteristics of Waxy Rice Seeds and Guaiacol Peroxidase Activity during Early Imbibition

Jiyoung Shon*, Junhwan Kim*, Chung-Kuen Lee*, Woonho Yang*, Young-Hwan Yoon*, Nam-Jin Chung**, Chung-Kon Kim***, Bo-Kyung Kim*, and Kyung-Jin Choi*†

*National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

**Department of Crop Science and Biotechnology, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

***Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Services, Iksan 570-704, Korea

ABSTRACT Germination is controlled by internal factors of seeds and external factors such as water, temperature and light. We investigated the relationship between germination characteristics of four waxy rice cultivars and patterns of water uptake, antioxidant enzymes and free soluble sugars during early imbibition. Seed viabilities by tetrazolium test of four different rice cultivars were higher than 95% and germination rates of the hulled rice seeds were on 95% average. However, germination rate of intact rice among four cultivars showed a big difference depending on temperature. Water uptake of hulled and intact rice seeds during imbibition reached a stationary phase at around 30% moisture content. Although rates of water uptake were faster in hulled rice and high temperature than intact rice and low temperature condition, difference of those among cultivars was greater under low temperature than high temperature. The time required for rice seeds to uptake 30% water was negatively correlated with percentage of germination, germination energy, germination speed and mean germination time. Guaiacol peroxidase activity at 24h of imbibition was correlated with germination energy and germination speed but not percentage of germination. Catalase activity, soluble protein and maltose concentration at 24h of imbibition were not correlated with characteristics of germination. These results suggest that a time required for rice seeds to uptake 30% of water significantly correlated with germination and guaiacol peroxidase activity during early imbibition plays an

important role in initiation of germination.

Keywords : rice, seed germination, early imbibition, peroxidase, water uptake, seed vigour, waxy

벼 종자의 발아율은 품종 또는 생태형에 따라서도 차이가 있으며(Kim *et al.*, 2007), 종자의 충실도(Yun *et al.*, 2008)에 의해서도 달라진다. 발아율과 발아 균일성은 종자의 활력, 건전성, 생리적·유전적 특성 등의 내적요인과 수분, 온도, 산소, 광의 유무 등 발아 환경에 의해 달라진다. 종자활력은 수확 후 선종 및 저장조건에 따라서도 달라진다. 이와 같이 종자 발아는 내·외적 요인이 복합적으로 작용하기 때문에 많은 연구에도 불구하고 아직 밝혀지지 않은 부분이 많다(He & Yang, 2013).

종자 발아는 마른종자가 수분을 흡수하면서 시작되고 유근의 출현과 함께 종료한다고 정의된다(Bewley, 1997). 종자 발아는 마른종자가 수분을 급격하게 흡수하는 흡수기와, 수분흡수는 정체되고 생리적인 대사활동이 시작되는 활성화기로 진행되다가, 유아나 유근이 출현하면서 다시 수분흡수가 증가하는 발아 후 생장기의 3단계로 구분한다(Bewley, 1997). 수분흡수는 종자의 발아에 필요한 첫 번째 필수조건으로서, 벼 종자의 수분흡수량은 25~30%에서 정체기에 도달한다(Cho, 1995; Alam, 2003). 침윤은 에너지를 소비

†Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6715 (E-mail) choichoi@korea.kr

<Received 5 September, 2013; Revised 22 October, 2013; Accepted 23 October, 2013>

하지 않는 물리적인 과정으로 종자의 콜로이드성분과 온도에 의한 반응(Q₁₀ 값)에 따라 달라지므로 종자의 초기 수분 흡수는 온도에 의한 영향이 크다(Mayer & Poljakoff-Mayer, 1975). 수분을 흡수하면서 벼 종자는 복잡한 내적물질들의 상호작용으로 발아가 시작된다. 활성산소종(ROS; reactive oxygen species)은 superoxide radical(O₂⁻), singlet oxygen(O₂¹), hydroxyl radical(OH[•]), hydrogen peroxide(H₂O₂)로서 산화력이 강해 고농도에서는 세포 산화와 PCD(programmed cell death)를 유도하지만 낮은 농도에서는 여러 가지 생리반응을 매개하는 신호물질로서 작용하며(Apel and Hirt, 2004; Foyer and Noctor, 2005), 항산화효소(SOD, catalase, peroxidase 등)와 항산화물질들(ascorbate, α-tocopherol, glutathione, carotenoids, flavonoids 등)에 의해 세포내 농도가 조절된다(Apel and Hirt, 2004). 종자발아시 ROS농도의 변화는 항산화효소활성변화와도 밀접한 관계가 있는데, 벼는 발아시 peroxidase(pyrogallol peroxidase, ascorbate peroxidase)와 catalase(Palmiano & Juliano, 1973; Ye *et al.*, 2011)가 증가하고, SOD는 감소한다(Ye *et al.*, 2011). Peroxidase는 많은 isozyme들이 있는데 ascorbate peroxidase(APX)와 glutathione peroxidase(GPX)는 주로 H₂O₂를 분해하는 역할을 하지만(Mittler, 2002), class III peroxidase(guaiacol peroxidase)는 ROS를 제거할 뿐만 아니라 lignin과 suberin 형성, auxin분해, 종자발아와 노화과정에 관여하는 것으로 알려져 있다(Passardi *et al.*, 2004; Almagro *et al.*, 2009).

벼 종자발아에 관여하는 많은 생화학적 정보가 알려졌지만 이들의 상호관계나 환경과의 영향에 대해 아직 밝혀지지 않은 부분이 많다. 특히 최근 국내 육성 품종은 대부분 자포니카종으로서 인디카에 비해 휴면성이 약하고 발아율이 높은 편으로 발아생리에 관한 연구가 미흡했다. 그러나 다양한 품종이 육성되면서 품종 간 발아율의 변이도 차이가 있어 농가에서 육묘를 시작할 때 문제가 되는 경우가 있다. 또한 특수미 품종도 배아 배아의 구성이 일반벼와 차이가 있어 발아에 영향을 미치는데 품종 간 발아특성에 대한 보고가 거의 없었다. 발아초기의 종자활력을 신속하게 평가하는 것은 발아율을 예측하고 성공적인 육묘를 할 수 있는 지표로서 매우 중요하다. 따라서 본 연구는 국내육성 쌀품종간의 종자활력과 발아특성을 비교하고, 수분흡수와 함께 초기 대사과정에서 발아율에 미치는 영향이 큰 요인을 찾고자 하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 TTC종자활력검사

시험에 사용한 재료는 2012년도에 생산된 종자로 동진찰,

설향찰, 보석흑찰, 적진주찰 4품종이다. 시험에 사용하기 전 비중 1.04의 소금물을 사용하여 충실종자를 선종하였고 그늘에서 수분 14%내외로 말린 후 실온보관하며 시험에 사용하였다.

종자활력은 품종별로 정조 50립씩을 20℃에서 18시간 물을 흡수시킨 다음, 배가 노출되도록 종단면으로 절단한 다음 1% 2, 3, 5-triphenyl tetrazolium chloride(ph 7.0) 용액에서 30℃, 1시간 염색한 후 증류수로 2~3번 행구어 내고 배단면의 착색정도로 판단하였다. 종자활력조사기준은 AOSA(2007)의 종자활력검사기준을 참고하였다.

발아특성

발아시험은 품종별로 정조와 현미로 나누어 페트리디쉬(10×4 cm)에 여과지 2장을 깔고 각각 100립씩 4반복으로 균일하게 종자를 치상하고 여과지를 덮은 후 증류수 10 ml을 분주한 다음 15℃와 25℃에서 항온처리하였다. 온도처리 및 발아조사는 모두 인공기상동 인공조명실에서 수행하였다. 최종발아율(PG; percent of germination)은 치상 후 15℃ 처리는 21일 후, 25℃는 15일 후에 조사하였다. 발아세(GE; germination energy)는 치상 후 5일의 발아율을, 발아속도(GS; germination speed, $\sum(n_i/t_i)$)는 치상 후 일별 발아립수의 총 합계이며, 평균발아일수(MGT; mean germination time, $\sum(t_i \cdot n_i)/N$)는 치상 후 일수에 발아립을 곱한 전체합을 총발아립수로 나눈 값으로 정의하였다(Choi, 1993). 종자 수분흡수량은 정조와 현미 100립씩을 4반복으로 마른종자의 무게를 잰 다음, 15℃와 25℃의 증류수에 침종하여 1, 5, 8, 24, 48, 72, 96, 120, 144시간에 종이타월로 물기를 제거한 후 무게를 재어 환산하였다. 모든 처리에서 수분 흡수량이 약 30%에서 증가속도가 정체기에 도달하였으므로 수분흡수가 일직선으로 증가하기 시작하여 30%에 도달하는 시간(IT; imbibition time required for rice seeds to uptake 30% water)을 구했다.

효소활성 및 유리당 함량

효소활성 및 유리당 분석에 사용한 종자는 정조와 현미로 15℃ 및 25℃에서 24시간동안 침종시킨 후 종이타월로 물기를 제거하고 액체질소로 마쇄한 후 -80℃에서 보관하며 분석에 사용하였다. Guaiacol peroxidase와 catalase(CAT) 활성분석을 위한 효소추출 및 방법은 Shon *et al.*(2008)의 방법과 같이 수행하였다. 유리당 함량은 동결마쇄시료 0.2 g에 증류수 2 ml을 가하여 교반한 후 4℃에서 10시간 동안 두었다가 교반하고 10,000 xg, 4℃에서 원심분리하여 상등

액을 취하였다. 상등액에 포함된 각종효소를 불활성화시키고 단백질을 제거하기 위하여 75°C에서 10분간 처리한 후 10,000 xg에서 원심분리한 후 상등액을 취하였다. 이 상등액을 0.2 μ m syringe filter(GHP, Acrodisc, Waters co.)로 여과하여 고속액체크로마토그래피(UPLC, ELS detector, Waters)로 각 성분을 분리하여 정량한 값으로 각 유리당 농도를 구하였다. 사용한 컬럼은 Aquity UPLC BEH amide 1.7 μ m 컬럼이며, 표준시료는 Sigma사의 D-glucose, D-fructose, sucrose, maltose를, 용매는 triethylamine(Sigma-Aldrich, HPLC grade)과 acetonitrile(J.T Baker co.)를 사용하였다.

데이터의 통계분석은 IBM SPSS statistics(Ver. 19)를 사용하였으며, 던컨 다중범위검정(Duncan's multiple range test)으로 5% 유의수준에서 처리평균간 유의성 검정을 수행하였다.

결과 및 고찰

종자활력과 발아율

TTC종자활력검사에 의한 찰벼품종의 종자활력은 동진찰이 97.5%로 가장 높았고 설향찰, 보석흑찰, 적진주찰은

Table 1. Seed viability by triphenyl tetrazolium chloride(TTC) test and percentage of germination at 25°C of waxy rice cultivars.

Cultivar	Seed viability (%)	Germination at 25°C (%)	
		Intact	Hulled
Dongjinchal	97.5 a	97.8 a	93.8 b
Sulhyangchal	94.5 b	67.6 d	93.5 b
Bosukheukchal	95.0 ab	95.5 a	95.6 b
Jeogjinjuchal	95.3 ab	78.9 b	98.0 a
Mean	95.6	84.9	95.2

The same letters in a column are not significant at P<0.05 by Duncan's multiple range test.

Table 2. Percentage of germination, germination energy, germination speed, mean germination time and time required for rice seeds to uptake 30% of water in different rice cultivars.

Cultivar		Temp. (°C)	PG ^a (%)	GE ^b (%)	GS ^c	MGT ^d	IT ^e (hr)
Dongjinchal	Intact	15	97.3ab	0.0c	9.3d	10.2a	38.5a
		25	97.8a	97.0a	27.2c	3.7b	22.4b
	Hulled	15	95.4bc	55.5b	18.5b	5.8c	18.8c
		25	93.8c	93.8a	39.1a	2.5d	8.6d
Sulhyangchal	Intact	15	22.4c	0.0d	1.5d	15.1a	73.4a
		25	67.6b	33.0c	12.4c	6.0b	35.6b
	Hulled	15	98.3a	67.5b	19.6b	5.3c	13.8c
		25	93.5a	92.5a	30.1a	3.2d	8.7d
Bosukheukchal	Intact	15	50.4b	0.0d	3.6d	14.7a	27.4a
		25	95.5a	49.3b	17.7b	5.5c	18.2b
	Hulled	15	96.3a	5.3c	11.9c	7.9b	14.6c
		25	95.6a	89.5a	28.0a	3.7d	8.9d
Jeogjinjuchal	Intact	15	48.4c	0.0d	4.5d	12.0a	49.3a
		25	78.9b	69.5b	20.4b	4.1c	27.4b
	Hulled	15	98.3a	26.3c	15.4c	7.6b	23.5c
		25	98.0a	97.8a	30.5a	3.3d	12.2d

^aPG : percentage of germination, ^bGE : germination energy defined the germination percentage of seeds in 5 days, ^cGS : germination speed, ^dMGT : mean germination time, ^eIT: time required for rice seeds to uptake 30% of water. The same letters in a column are not significant at P<0.05 by Duncan's multiple range test.

95%로, 4품종 모두 배의 활력은 높은 편으로 나타났다 (Table 1). 표준조건인 25°C에서 발아율은 동진찰은 정조가 98%로 현미보다 4% 높았고, 보석흑찰은 정조와 현미 모두 96%의 발아율을 나타냈다. 그러나 설향찰과 적진주찰의 정조 발아율은 현미 발아율보다 각각 26%, 19% 낮았다 (Table 1). 즉, TTC검정에 의한 종자 활력율과 현미 발아율은 4품종 모두 높았지만 정조 발아율은 설향찰과 적진주찰이 동진찰과 보석흑찰에 비해 낮은 것으로 나타났다. TTC 활력검사는 종자의 배가 호흡을 하는지 유무를 탈수소효소와 tetrazolium의 정색반응으로 판정하는 원리로 종자가 살아있는지를 빠른 시간에 판단할 수 있는 장점이 있다(Patil & Dadlani, 2009). 그러나 이 결과로 보아 배의 활력이 있더라도 정조에서 유아 또는 유근이 출현하는 조건은 다른 요인이 관여할 수 있으며 품종간 변이가 크다는 것을 알 수 있었다.

발아특성과 초기수분흡수시간

온도와 왕겨의 유무가 발아율과 발아특성 및 침윤초기의 수분흡수시간에 미치는 영향을 알아보았다(Table 2). 현미의 발아율은 온도처리에 따른 유의한 차이가 없었으나, 정조발아율은 동진찰을 제외한 설향찰, 보석흑찰, 적진주찰은 25°C(대조)처리에 비해 15°C(저온)에서 각각 67%, 47%,

39% 저하되었다. 발아세와 발아속도는 저온처리-정조가 가장 낮고, 대조처리-현미가 가장 높았다. 평균발아일수는 저온처리-정조가 가장 길었고 그 다음은 저온처리-현미, 대조처리-정조, 대조처리-현미 순으로 짧았다. 정조와 현미를 각각 15°C와 25°C의 증류수에 침윤시키면 종자무게는 직선적으로 증가하다 종자무게의 약 30%에 도달하면서 정체되었다. 수분정체에 도달하는 시간은 정조보다 현미가 빠르고 온도가 높을수록 빨랐지만 품종에 따라 차이가 컸다. 수분흡수속도의 온도에 따른 차이는 비슷하나 왕겨의 유무에 따른 품종간차이는 컸는데, 이는 왕겨와 종피의 특성에 따라 수분흡수속도의 차이가 발생하기 때문으로 생각된다.

벼 종자의 발아는 침윤 후 20시간 동안 급격히 수분이 증가하고, 정체기동안 호흡과 해당, 전분가수분해 등이 일어나고 50시간 뒤부터 유아나 유근이 출현하면서 다시 생체중이 증가하는 3단계로 진행된다고 한다(He & Yang, 2013). 그러나 1단계 수분흡수기는 에너지를 소비하지 않는 물리적인 과정이므로 수분증가 속도는 온도에 의해 가변적이다(Mayer & Poljakoff-Mayer, 1975). 본 결과에서도 초기수분흡수시간은 온도와 왕겨의 유무에 따라 달라졌으며 발아율, 발아세, 발아속도, 평균발아일수와 모두 높은 부의 상관을 보여 초기수분흡수시간이 발아특성과 높은 관련이 있음을 알 수 있었다(Fig 1, Table 5). 수분흡수시간은 25°C에서는

Table 3. Activities of peroxidase and catalase, and soluble protein content at 24 hours after imbibition in rice seeds.

Cultivar		Temp. (°C)	Peroxidase (mU/seed)	Catalase (U/seed)	Soluble protein (µg/seed)
Dongjinchal	Intact	15	56.5 b	5.32 a	163 a
		25	61.5 b	4.51 b	168 ab
	Hulled	15	53.3 b	2.01 c	162 a
		25	154.0 a	4.80 ab	184 b
Sulhyangchal	Intact	15	36.5 b	1.08 a	167 b
		25	31.5 b	0.93 ab	159 b
	Hulled	15	33.5 b	0.75 b	174 b
		25	59.8 a	0.97 a	194 a
Bosukheukchal	Intact	15	40.5 c	7.14 ab	81 b
		25	70.5 b	6.45 b	99 ab
	Hulled	15	43.0 c	8.06 a	109 a
		25	180.8 a	5.72 c	110 a
Jeogjinjuchal	Intact	15	16.3 c	2.77 a	132 a
		25	31.5 b	3.11 a	148 a
	Hulled	15	22.8 bc	3.05 a	132 a
		25	79.0 a	3.58 a	131 a

The same letters in a column are not significant at P<0.05 by Duncan's multiple range test.

품종간 1.4~1.9배 차이를 보였으나 15°C에서는 2.7배 차이를 보여 저온일수록 품종 간 수분흡수시간의 변이가 커짐을 알 수 있었다. 저온에서는 발아속도가 낮으므로 평균발아일수가 길어지는데, 정조는 현미보다 온도에 따른 평균발아일수의 변이가 더 컸고 평균발아일수가 10을 초과한 품종은 발아율이 크게 저하되었다(Table 2). 수분흡수정체기부터 종자의 대사활동이 활발해지므로 온도가 높으면 이에 도달하는 시간이 빠르고 대사활동이 빨리 시작되므로 발아속도가 빨라지나, 온도가 낮으면 Q_{10} 값이 감소하므로 발아속도의 품종간 차이는 더 크게 발생한 것으로 생각된다. 따라서 발아율의 변이가 큰 품종은 적정 온도범위 내에서 침종 온도를 높이면 발아율과 발아속도를 증가시킬 수 있으므로 균일한 발아를 유도할 수 있을 것이다.

침윤초기 guaiacol peroxidase활성 및 유리당 변화

침윤 24시간 후 종자의 guaiacol peroxidase활성은 모든 품종에서 25°C 처리 현미에서 가장 높았고 15°C 처리 정조에서 가장 낮았다(Table 3). 그러나 CAT활성은 품종간의 차이는 컸으나 온도처리 및 정조 또는 현미상태에 따라 일정한 경향을 나타내지 않았다. Peroxidase활성은 발아세와 발아속도와 정의 상관성이 있었으나 최종발아율과는 상관성이 낮았고 CAT활성은 모든 발아특성과 상관성이 매우 낮았다(Fig

1, Table 5).

용해성 단백질은 고온처리 현미가 가장 높았으나 적진주찰은 처리간의 차이가 없었다(Table 3). 침윤 24시간 후 종자의 유리당 농도는 maltose 1.5~2.5%, sucrose 0.5~1.2%, glucose 0.7~1.0%, fructose 0.6~0.7%로, maltose가 가장 높았다(Table 4). 보석흑찰과 적진주찰은 정조보다 현미의 maltose농도가 높았으나 동진찰은 차이가 없었고 설향찰은 25°C 처리의 현미만 낮아 일정한 경향을 나타내지 않았다. 수분흡수정체기에는 호흡이 증가하면서 대사과정이 활발해지는데, 이때 전분가수분해가 가장 먼저 일어나고 단백질분해와 아미노산합성, 해당작용이 일어나면서 유아나 유근이 출현하는 것으로 알려져 있다(He & Yang, 2013). 본 결과는 Maltose농도가 다른 유리당에 비해 2배 이상 높고 고온 현미에서 높은 경향이 있었지만, 왕겨유무와 온도간 차이가 없었는데 이는 침윤 24시간은 처리에 따라 수분정체에 도달하지 않았거나 정체기가 시작되는 시기이므로 아직 전분 가수분해 활성이 미약해 처리 간 차이가 없었던 것으로 생각된다. 용해성 단백질양도 처리 간 큰 차이가 없는 것으로 보아 이 시기에는 단백질대사도 크게 증가하지 않은 것으로 생각된다.

발아상의 1단계인 침윤초기부터 활성산소(Superoxide anion)가 증가하고(Chen *et al.*, 2003) 뒤이어 항산화효소들

Table 4. Concentrations of free soluble sugars at 24 hours after imbibition in rice seeds.

Cultivar		Temp. (°C)	Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose
Dongjinchal	Intact	15	0.65 a	0.80 ab	0.71 a	2.48 a
		25	0.66 a	0.88 a	1.19 a	2.36 a
	Hulled	15	0.63 b	0.76 b	0.70 a	1.97 a
		25	-	0.83 ab	0.60 a	2.17 a
Sulhyangchal	Intact	15	0.67 a	0.84 a	0.77 a	1.76 a
		25	0.66 a	0.86 a	0.66 b	1.78 a
	Hulled	15	0.63 b	0.75 b	0.75 a	1.67 a
		25	-	0.72 b	0.61 c	1.12 b
Bosukheukchal	Intact	15	0.63 a	0.93 b	0.48 c	1.54 c
		25	0.71 a	0.91 b	0.57 bc	0.69 b
	Hulled	15	0.66 a	0.88 b	0.84 ab	1.91 ab
		25	0.65 a	1.01 a	0.74 a	2.37 a
Jeogjinjuchal	Intact	15	0.68 a	0.86 a	0.74 b	1.71 bc
		25	0.67 a	0.87 a	0.63 c	1.56 c
	Hulled	15	0.68 a	0.76 b	0.89 a	2.11 ab
		25	0.63 a	0.85 a	0.74 b	2.38 a

The same letters in a column are not significant at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 5. Correlation coefficients of germination characteristics and IT, and enzyme activities, protein, maltose content at 24 hours after imbibition in rice seeds.

	PG ^a	GE ^b	GS ^c	MGT ^d	IT ^e	POX	CAT	Protein	Maltose
PG	1.00	0.58*	0.69**	-0.78**	-0.84**	0.36	0.22	0.11	0.23
GE		1.00	0.94**	-0.90**	-0.69**	0.58*	-0.17	0.37	0.12
GS			1.00	-0.91**	-0.77**	0.68**	-0.02	0.37	0.20
MGT				1.00	0.78**	-0.49	0.09	-0.33	-0.10
IT					1.00	-0.50*	-0.29	0.06	-0.02
POX						1.00	0.34	-0.01	0.33
CAT							1.00	-0.71**	0.10
protein								1.00	0.16
maltose									1.00

^aPG : percentage of germination, ^bGE : germination energy defined the germination percentage of seeds in 5 days, ^cGS : germination speed, ^dMGT : mean germination time, ^eIT: time required for rice seeds to uptake 30% of water. Activities of POX and CAT, and protein and maltose were assayed at 24 hours after imbibition of rice seeds.

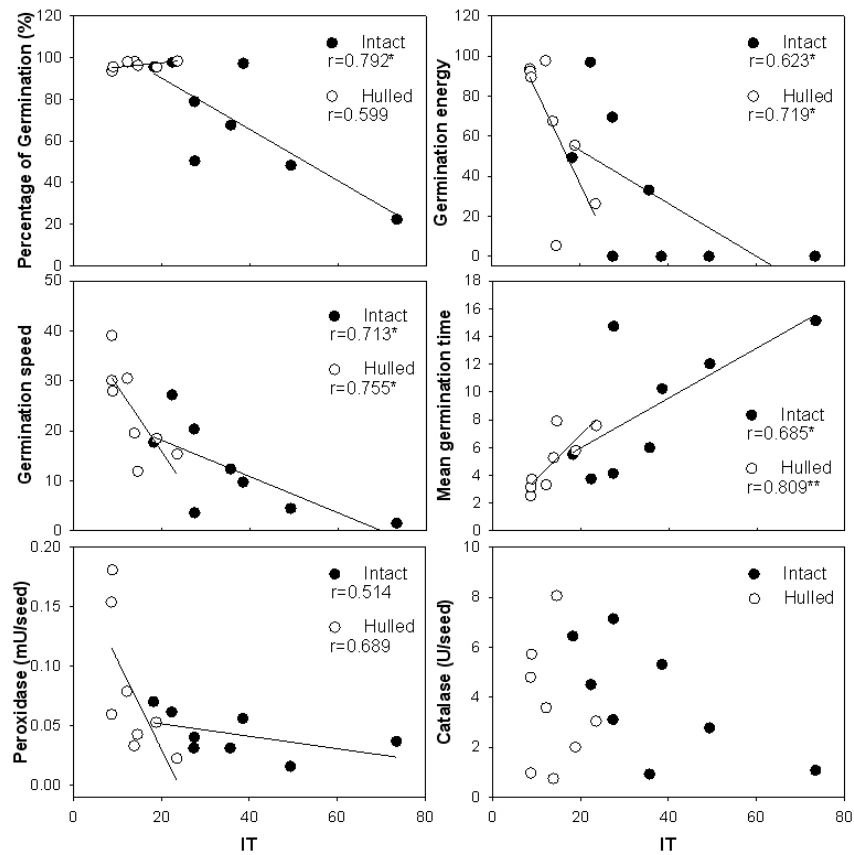


Fig 1. Relationship between characteristics of germination, antioxidant enzymes and the time required for rice seeds to uptake 30% of water (IT). *: significant correlations at 5% level.

도 증가하는데 특히 peroxidase와 catalase가 증가한다고 한다(Palmiano & Juliano, 1973; Ye *et al.*, 2011). 특히 class III peroxidase는 ROS를 제거하는 역할 외에도 다양한 생리

대사과정에 관여하는 것으로 알려져 있으며 특히 종자발아와 노화에도 관여한다고 알려졌다(Passardi *et al.*, 2004; Almagro *et al.*, 2009). Lariquet *et al.*(2013)에 의하면

Arabidopsis 종자 발아 초기에 ROS는 세포벽을 느슨하게 해 종피나 배유가 파열되기 쉽도록 해 유아나 유근이 출현하도록 도와주는 역할을 하고, 이때 class III peroxidase에 의해 ROS 수준이 조절된다고 한다. 본 결과에서 침윤 24시간 뒤 peroxidase활성은 발아특성과 상관이 높았지만 CAT활성은 상관이 낮았던 것은 Lariquet *et al.*(2013) 등의 보고와 같이 guaiacol peroxidase(class III peroxidase)가 발아 초기에 대사과정을 유도하는 신호역할을 하기 때문으로 생각된다. 따라서 벼 종자에서도 guaiacol peroxidase는 발아 초기에 발아과정을 촉진 또는 유도하는 작용을 하는 것으로 생각되며, 이 효소활성정도를 종자활력차이검정의 초기 지표로 참고할 수 있을 것으로 생각된다.

벼 재배에서 종자발아는 육묘의 핵심이다. 특히 품종 또는 온도에 따른 발아율의 변이가 심하면 육묘에 실패할 우려가 많다. TTC종자활력검사는 배의 호흡유무를 탈수소효소의 정도로 판단하는 원리인데, 본 결과에서는 배의 활력이 높아도 품종과 조건에 따라 발아율 변이가 커 TTC활력검사만으로 발아율의 변이를 설명하기 힘들었다. 따라서 종자 활력을 신속하고 보다 정확하게 예측하기 위해서 TTC종자활력 검정과 침윤 24시간 후 guaiacol peroxidase활성을 확인하면 품종간 발아특성 차이를 예측하는데 보다 정확한 정보가 될 것으로 생각된다.

적 요

찰벼 4품종을 두 온도조건(저온; 15°C, 대조; 25°C)에서 왕겨의 유무에 따라(정조 및 현미) 발아특성을 조사한 결과, 현미 발아율은 품종간 차이가 없었으나 정조 발아율은 저온에서 품종간 차이가 컸다. 종자를 침윤시키면 온도나 왕겨의 유무에 관계없이 수분이 급격히 증가하다가 30%에서 더 이상 증가하지 않고 정체하는데 이때 정체기에 도달하는 시간은 온도가 높을수록, 정조보다 현미가 빨랐다. 그러나 수분정체기에 도달하는 시간은 품종간 차이가 있고 저온에서 차이가 컸다. 수분흡수시간은 발아율, 발아세, 발아속도, 평균발아일수와 모두 높은 부의 상관을 보여 초기 수분흡수시간이 빠를수록 발아를 촉진하는 것으로 나타났다. 침윤 24시간 뒤 guaiacol peroxidase활성은 처리 및 품종간에 큰 차이를 나타냈으며 발아세와 발아속도와 정의 상관이 있었으나 최종발아율과는 상관이 낮았다. Catalase활성은 발아율, 발아속도 등과 상관이 매우 낮았으며, 용해성 단백질함량 및 maltose농도도 발아특성과 상관이 낮았다. 종자활력검사(TTC활력검사)와 표준발아율검사(25°C)에서 발아율이 높더라도 정조는 저온에서 품종간 발아율의 변이가 커 종자활

력검사만으로 발아율을 예측하기 힘들었다. 따라서 초기의 종자활력은 TTC검사와 guaiacol peroxidase활성을 함께 고려하는 것이 더 정확한 것으로 생각된다. 또 품종간 발아율의 변이를 줄이고 발아속도를 높혀 균일한 발아를 유도하기 위해서는 적정범위에서 가능한 온도를 높혀 수분흡수를 촉진시켜야 한다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 시험연구사업(ATIS 주관과제번호 : PJ008750)의 지원에 의해 이루어진 연구결과의 일부입니다.

인용문헌

- Alam, M. Z., T. Stuchbury, R. E. L. Naylor, and M. A. Rashid. 2003. Water uptake and germination pattern of rice seeds under iso-osmotic solutions of NaCl and Peg, different concentration of CaCl₂ and combination of NaCl and CaCl₂. *Pakistan Journal of Biological Science* 6(12) : 1059-1066.
- Almagro, L., L. V. Gomes Ros, S. Belchi-Navarro, R. Bru, A. Ros Barcelo, and M. A. Pedreno. 2009 Class III peroxidases in plant defence reactions. *J. Experimental Botany* 60: 377-390.
- Apel, K. and H. Hirt. 2004 Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology* 55 : 373-399
- Bewley, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. *The plant cell*. 9:1055-1066.
- Chen, W., D. Xing, J. Wang, and Y. He. 2003. Rapid determination of rice seed vigour by spontaneous chemiluminescence and singlet oxygen generation during early imbibition. *Luminescence* 18 : 19-24.
- Cho, D. S. 1995. Physiology and Ecology of Rice. Hyangmunsa. pp. 12.
- Choi, B. H. Seed biology. 1993. Seoul. Hyangmunsa. pp. 152.
- Foyer, C. H. and G. Noctor. 2005. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant Cell & Environment* 28 : 1056-1071.
- He, D. and P. Yang. 2013. Proteomics of rice seed germination. *Frontiers in Plant Science* 4(246) : 1-9.
- Kim, H. Y., C. I. Yang, Y. H. Choi, Y. J. Won, and Y. T. Lee. 2007. Changes of seed viability and physico-chemical properties of milled rice with different ecotypes and storage duration. *Korean J. Crop Science* 52(4) : 375-379.
- Lariquet, P., R. Ranocha, M. De Meyer, O. Barbier, C. Penel, and C. Dunand. 2013. Identification of a hydrogen peroxide signalling pathway in the control of light-dependent

- germination in Arabidopsis. *Planta* 238 : 381-395.
- Mayer, A. M. and A. Poljakoff-Mayer. 1975. The germination of Seeds. 2 ed. London, Pergamon Press. pp. 192
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7 : 405-410.
- Palmiano, E. P. and B. O. Juliano. 1973. Changes in the activity of some hydrolases, peroxidase, and catalase in the rice seed during germination. *Plant Physiology* 52 : 274-277.
- Passardi, F., C. Penel, C. Dun. 2004. Performing the paradoxical: how plant peroxidases modify the cell wall. *Trends in Plant Science* 9 : 534-540.
- Patil, V. N. and M. Dadlani. 2009. Tetrazolium test for seed viability and vigour. Handbook of seed testing. Forest Ecology and Management, vol. 255, 2009, pp. 3351-3359.
- Shon, J., J. C. Ko, W. J. Kim, B. K. Kim, C. K. Kim, and N. J. Jung. 2008. Changes of antioxidative enzymes and alcohol dehydrogenase in young rice seedlings submerged in water. *Korean J. Crop Science* 53(4) : 440-446.
- The tetrazolium subcommittee of the association of official seed analysts(AOSA) 2007. Tetrazolium Testing handbook contribution No. 29 to the Handbook on seed testing.
- Ye, N., G. Zhu, Y. Liu, A. Zhang, Y. Li, R. Liu, L. Shi, L. Jia, and J. Zhang. 2011. Ascorbic acid and reactive oxygen species are involved in the inhibition of seed germination by abscisic acid in rice seeds. *J. Experimental Botany* 1093 : 1-14
- Yun, M. H., J. C. Shin, W. Yang, J. Shon, J. Kim, and G. S. Park. 2008. Germination and seedling growth affected by seed specific gravity. *Korean J. Crop Science* 53(4) : 434-439.