

Sinapine 누출정도에 따른 무(*Raphanus sativus* L.) 종자의 발아율과 종자 및 유묘의 외형적 차이

민태기 · 김복진^{1*} · 백준호¹

대구대학교 농학과, ¹영남대학교 농학과

초록 : 5개 무 품종의 종자를 3시간 물에 침지한 후 cellulose 분말을 코팅하여 UV 광하에서 sinapine 누출정도에 따른 형광색의 분포정도에 따라 무형광(NF)종자, 일부형광(PF)종자, 완전형광(FF)종자로 구분하고, 또 이들 종자와 발아한 유묘의 외부형태를 주사전자현미경(SEM), 광학현미경 및 육안으로 관찰하였다. 종자의 발아율은 무형광(NF)종자>일부형광(PF)종자>완전형광(FF)종자 순으로 낮았으며, 무형광(NF)종자는 종피조직이 치밀하고 둥근 모양이었으나, 일부형광(PF) 및 완전형광(FF)종자는 종피가 주름지거나 상처가 있는 것이 대부분이었다. 또 무형광(NF)종자에서 나온 유묘의 떡잎과 배축은 정상이었으나, 일부형광(PF) 및 완전형광(FF)종자에서 나온 유묘의 떡잎에는 조직이 괴사한 흔적이 많았으며 떡잎과 배축의 크기가 작고 비정상적이었다.(1997년 4월 17일 접수, 1997년 5월 12일 수리)

서 론

퇴화종자와 건전종자를 구별하는 종자검사법으로서 효소의 활성여부를 검사하는 Tetrazolium test(TZ test)가 지금까지 많이 응용되어 왔다. TZ test는 죽은 종자와 산 종자를 비교적 빠르게 구별하는 방법이지만 종자를 파괴해야 된다는 점과 색을 구별하는 전문적인 훈련이 필요하며 단지 두 그룹의 종자를 비교하는 방법으로 이용되는데 불과하였다.^{1,2)} 그런데 최근에는 종자의 활성이 떨어지는 생리적인 지표의 하나로서 종자 세포막의 건전여부를 직접 평가하는 방법이 Priestley³⁾에 의해 보고되었다. 즉 종자가 물을 흡수할 때 받는 강한 압력에 의하여 세포막이 상처를 받는다. 그런데 활력이 높은 건전 종자는 곧 상처를 회복하지만 활력이 낮은 퇴화종자는 이 상처를 회복하지 못하여 세포내 가용성 물질이 종자 밖으로 누출되어 종자활력을 구분하는 지표로 이용된다. 이러한 누출물질 가운데는 당, 아미노산, 페놀물질, 무기물질, 전해물질 등이 보고되고 있다.^{4,5)} 그러나 이들 누출물질의 측정으로서는 개개 단위의 종자로 측정하기가 어렵고, 퇴화된 종자를 선별해 내어 종자품질을 높이는데 응용하기가 어려운 단점이 있다. 그러나 Taylor^{6,7)} 등과 민^{8,9)}은 십자화과 채소종자의 퇴화종자에서 페놀물질의 일종인 형광물질인 sinapine이 누출하는 것을 이용하여 종자를 cellulose로 코팅하므로써 형광물질을 내는 종자를 개개 단위로 구별할 수 있는 방법을 개발하였다. 이로서 TZ test 및 전기전도도 측정으로서는 할 수 없는 불량종자를 개개 단위로 대량 선별할 수 있는 기틀을 마련하였다.

본 연구는 무종자에서 활력이 낮은 퇴화종자를 선별해

내기 위하여 cellulose 분말을 코팅한 후 UV 광하에서 sinapine 누출정도에 따른 형광색의 분포정도에 따라 종자를 구분하여 건전종자와 퇴화종자의 외부 형태, 발아율 및 유묘생장과의 관계를 알아 비파괴적으로 종자를 선별하는 방법을 확립하고자 실시하였다.

재료 및 방법

실험종자

본 시험의 재료로 사용된 무(*Raphanus sativus* L.) 종자는 납품무(농우종묘), 진주무(서울종묘), 백추미농무(서울종묘), 백광(홍농종묘), 용현무(홍농종묘) 등 5 품종이었다.

무 종자의 형광종자 비율

무 종자를 품종당 100 g씩 25°C 물에 3시간 침지한 후 민⁸⁾의 방법으로 cellulose로 코팅하여 UV 광하에서 형광이 전혀 나오지 않는 종자를 무형광(non-fluorescent; NF) 종자, 일부분에서 형광을 발하는 종자를 일부형광(partly fluorescent; PF) 종자, 코팅한 종자의 전면적에서 형광을 발하는 것을 완전형광(fully fluorescent; FF) 종자로 구분하여 분리된 형광종자의 비율을 조사하였다.

무 종자의 외형적 특성

분리된 종자는 코팅된 cellulose층을 수도에서 흐르는 물로 씻어 완전히 제거하고 광학 현미경 하에서 종자표피가 주름지거나 상처가 있는 것을 비정상(abnormal)종자, 종자표피가 주름이 없고 매끈한 것을 정상(normal)종자로 구분하였다. 그리고 대표적인 정상종자와 비정상종자를 주사전

찾는말 : radish seed, fluorescent color, sinapine leakage, morphological difference.

*연락처자

자현미경(scanning electron microscope, Hitachi S-4100, Japan)으로 검경하여 형광종자와 무형광종자의 외형적인 차이를 관찰하였다.

무 종자의 발아 및 유묘의 특성

UV 광하에서 sinapine 누출정도에 따른 형광색의 분포정도에 따라 분리한 종자를 원예용 상토에 파종하여 25°C의 항온실에 1주일간 두면서 형광정도에 따른 무 종자의 발아율과 유묘의 모양을 육안으로 관찰하였다.

결과 및 고찰

무 종자의 형광종자 비율

우리 나라에서 재배되는 십자화과 채소 종자 중에서 배추 종자는 대체적으로 발아율이 우수한 편이나 무 종자는 발아율이 대체적으로 낮기 때문에 발아율을 높일 필요가 있다. 특히 무 종자에서는 형광물질인 sinapine이 존재하여 퇴화종자에 cellulose를 코팅하여 형광종자로 만들어 형광을 발하지 않은 건전종자와 구별하는 방법이 이미 소개된 바 있다.^{8,9)} 본 시험에서 이용된 무 종자에 대하여 형광종자의 비율을 조사한 결과는 Table 1과 같다.

종자에 얇게 코팅된 cellulose층을 UV 광하에서 형광유무를 관찰해 보면 형광이 없는 것(NF), 형광이 종자 표면에 전체적으로 나타나는 것(FF)도 있지만 종자의 일부분 또는 종자 표면의 반정도만 나타나는 것(PF)도 있어서 형광이 종자 표면에 분포하는 정도별로 분류하여 나타낼 수 있었다(Table 1). 이들 형광 종자의 비율은 품종간에 서로 다르게 나타났는데 이는 품종마다 종자의 퇴화정도가 다르기 때문으로 판단된다. 종자 표면에서 cellulose 코팅층에 나타나는 형광의 정도는 종자의 퇴화정도에 따라 종피의 세포막의 파괴정도에 의하여 형광물질이 많이 누출되거나

적게 누출되기 때문으로 생각된다. 그러므로 형광이 많고 적음에 따라 종자의 퇴화정도 또는 종자세의 강약을 나타내는 지표가 될 수 있을 것으로 생각된다. Table 1에서 무형광(NF)종자는 84~92%, 일부형광(PF)종자는 6~12%, 완전형광(FF)종자는 1~3%이었다.

Sinapine 누출정도와 무 종자의 외형적 특성

형광물질이 많이 누출하거나 적게 누출하는 종자는 외형적으로도 어떤 차이점이 있을 것으로 생각되어 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하여 보았다(Photo. 1). 형광(PF, FF)

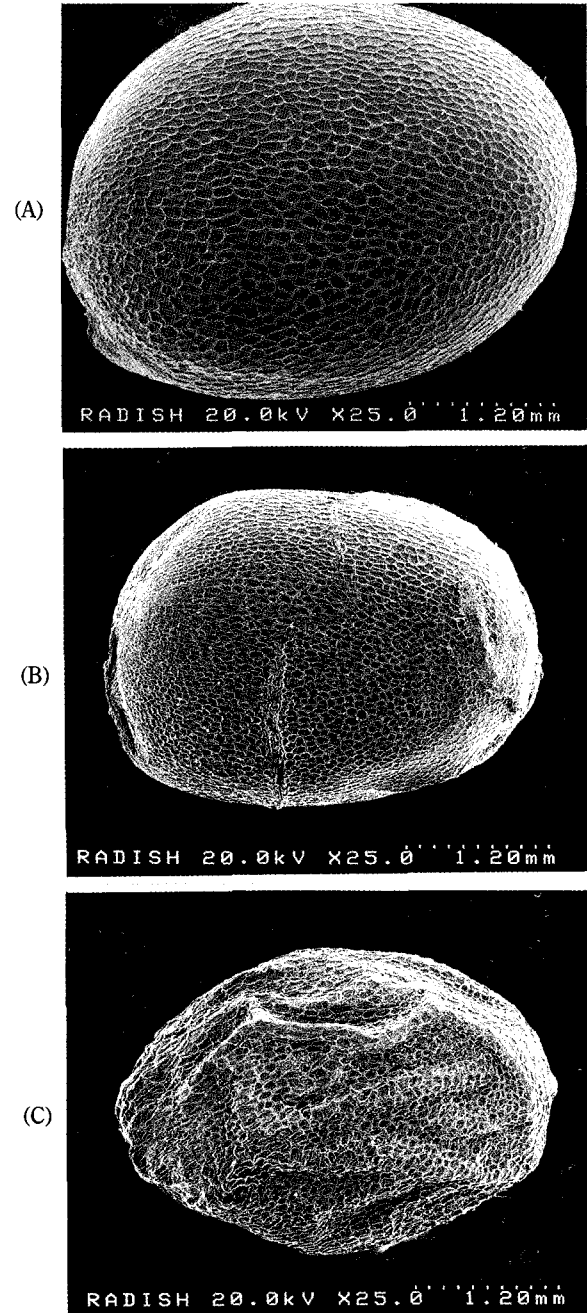


Photo 1. The morphological differences between NF seed (A) and PF seed (B,C). (×25) (A, round and smooth seed coat; B, ruptured seed coat; C, wrinkled seed coat).

Table 1. Percentage of non-fluorescent, partly fluorescent, and fully fluorescent cellulose coated seeds of 5 radish varieties.

Variety	Fluorescent degree	Percentage (%)	Year of production
Nabpoom	NF*	84.3	1992
	PF**	12.5	
	FF***	3.2	
Jinjoo	NF	90.3	1994
	PF	8.2	
	FF	1.5	
Baekchoominong	NF	86.6	1994
	PF	12.7	
	FF	0.7	
Baekgwang	NF	92.4	1995
	PF	6.2	
	FF	1.4	
Yonghyun	NF	88.8	1992
	PF	9.4	
	FF	1.8	

*NF, non-fluorescent seeds; **PF, partly fluorescent seeds; ***FF, fully fluorescent seeds.

Table 2. Percentage of normal and abnormal seedcoats of non-fluorescent(NF), partly fluorescent(PF), and fully fluorescent(FF) cellulose coated seeds of 5 radish varieties.

Variety	Seed shape	Fluorescent degree		
		NF	PF	FF
		%		
Nabpoom	Normal*	97.0	23.0	1.0
	Abnormal**	3.0	77.0	99.0
Jinjoo	Normal	96.0	33.0	10.0
	Abnormal	4.0	67.0	90.0
Baekchoominong	Normal	94.0	50.0	10.0
	Abnormal	6.0	50.0	90.0
Baekgwang	Normal	95.0	37.0	15.0
	Abnormal	5.0	63.0	85.0
Yonghyun	Normal	92.0	33.0	10.0
	Abnormal	8.0	67.0	90.0

*Normal, smooth and healthy seedcoat(Photo 1-A); **Abnormal, wrinkled and ruptured seedcoat(Photo 1-B or C).

종자는 주로 종자 표피가 주름지거나 상처가 있는 것들이 많았고, 반면 무형광(NF)종자는 종자 표피에 주름이 없고 매끈하였으며 아무런 상처도 발견할 수 없었다. 따라서 무종자의 경우 퇴화종자나 죽은 종자는 종피의 세포막이 건전하지 못하여 상처가 있거나(Photo. 1-B), 주름이 있어(Photo. 1-C) 종피로서의 제거능을 하지 못하였을 경우에 형광물질이 다량으로 누출되는 것으로 판단된다. 반면 건전종자인 무형광(NF)종자는 Photo. 1-A에서 보듯이 종피에 주름이 없으며 종피조직이 치밀하고 아무런 상처가 없어 종자의 내용물이 밖으로 나올 수 없는 것으로 생각되었다. Table 2에서 무형광(NF)종자는 품종간에 정상적인 외형을 가진 종자(Photo. 1-A)가 92~97%로 분포하였고, 비정상적

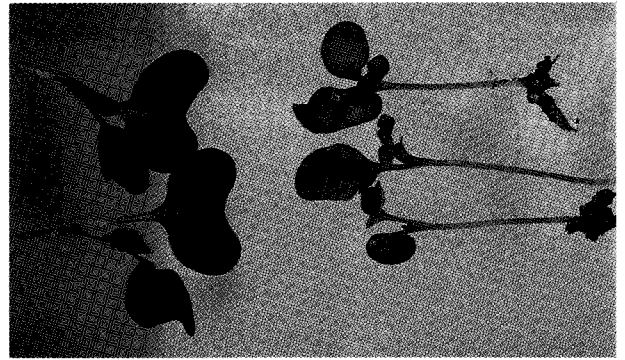


Photo 2. The cotyledons of radish seedlings from NF seeds(left) and PF seeds(right) (left, normal shaped; right, necrosis spots on the cotyledon and twisted tissue).

인 외형을 가진 종자(Photo. 1-B, C)가 3~8%이었다. 무형광(NF) 종자로서 비정상적인 외형을 가진 종자는 거의가 주름진 종자(Photo. 1-C)였다. 또 일부형광(PF)종자에서는 비정상적 외형을 가진 종자가 50~77%, 정상적인 외형이 23~50%로 분포하였고, 완전형광(FF)종자에서는 비정상적인 외형이 85% 이상이었고 정상적인 외형이 15% 이하이었다. 여기서 형광물질이 누출되는 종자(PF, FF)라고 해서 100%가 비정상적인 외형의 종자는 아니며, 또 무형광(NF)종자라고 해서 모두가 정상적인 외형을 가진 종자는 아니었다. 그러나 정상적인 외형을 가진 종자(Photo. 1-A)는 무형광(NF)종자>일부형광(PF)종자>완전형광(FF)종자 순으로 월등히 적었고, 반면에 비정상적인 외형을 가진 종자(Photo. 1-B, C)는 무형광(NF)종자<일부형광(PF)종자<완전형광(FF)종자 순으로 월등히 많았다. 따라서 형광물질이

Table 3. Percentage of normal and abnormal cotyledons and hypocotyls of seedlings germinated from non-fluorescent(NF), partly fluorescent(PF), and fully fluorescent(FF) cellulose coated seeds of 5 radish varieties.

Variety	Fluorescent degree	Germination (%)	Cotyledon (%)		Hypocotyl (%)	
			Normal	Abnormal*	Normal	Abnormal**
Nabpoom	Control***	38.3	-	-	-	-
	NF	76.0	94.7	5.3	94.7	5.3
	PF	27.3	57.1	42.9	64.3	35.7
	FF	0.0	-	-	-	-
Jinjoo	Control	61.7	-	-	-	-
	NF	88.0	95.6	4.4	89.4	10.6
	PF	32.0	44.4	55.6	50.0	50.0
	FF	2.0	0.0	100.0	0.0	100.0
Baekchoominong	Control	62.5	-	-	-	-
	NF	92.5	90.6	9.4	94.7	5.3
	PF	30.8	58.2	41.8	60.5	39.5
	FF	0.8	0.0	100.0	0.0	100.0
Baekgwang	Control	73.3	-	-	-	-
	NF	90.0	91.9	8.1	94.6	5.4
	PF	24.7	48.2	51.8	47.5	52.5
	FF	0.0	-	-	-	-
Yonghyun	Control	51.7	-	-	-	-
	NF	92.0	97.8	2.2	91.3	8.7
	PF	33.3	57.9	42.1	61.1	38.9
	FF	0.0	-	-	-	-

*Abnormal(cotyledon), small size or necrosis; **Abnormal(hypocotyl), dwarf or short; ***Control, non-separated seeds.

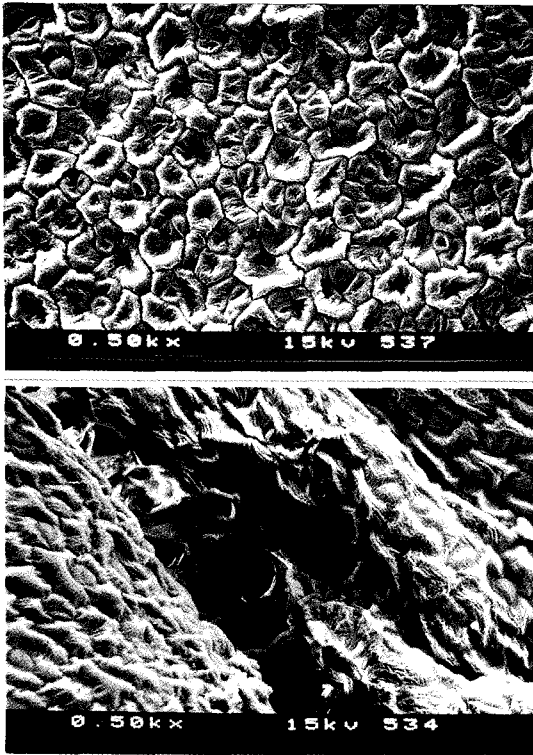


Photo 3. The cotyledonary cell structure of the radish seed from NF seeds(above) and FF seeds(below). ($\times 500$) (above, regular and thick cells; below, irregular and fissured cells).

누출되는 정도와 종자의 외형은 밀접한 관계를 가진다고 생각된다.

Sinapine 누출정도와 무 종자의 발아 및 유묘의 특성

종자를 형광물질 누출정도에 따라 무형광(NF)종자, 일부형광(PF)종자, 완전형광(FF)종자로 분류하고, 이를 과중하였을 때 발아와 유묘의 외형을 관찰하였다.

발아율에서 형광색의 정도별로 뚜렷한 차이를 나타내었다. 즉 무형광(NF)종자는 발아율이 가장 우수하여 무처리보다 월등하게 발아율이 향상되었다. 또 일부형광(PF)종자는 중간 정도의 발아율, 그리고 완전형광(FF)종자는 거의 발아하지 않았다. 그러므로 형광물질의 누출량이 많아짐에 따라 퇴화정도도 거의 비례하여 커진다는 것을 알 수 있었다. 따라서 형광(PF, FF)종자와 무형광(NF)종자는 퇴화종자와 건전종자를 구별하는 아주 민감한 지표로서 이용될 수 있다고 판단된다.

무형광(NF)종자와 형광(PF, FF)종자에서 발아된 유묘를 관찰해 본 결과는 Photo. 2와 같다. 즉, 떡잎에서 정상적인 모양(A)과 괴사(necrosis)되거나, 떡잎이 작은 모양(B)의 비정상적인 모양으로 뚜렷이 구별할 수 있었다. 또 배축도 정상적으로 성장된 것과 성장억제 현상이 심하게 보이는 것 등으로 구별할 수 있었다. 품종간에 떡잎과 배축의 성장을 무형광(NF)종자, 일부형광(PF)종자, 완전형광(FF)

종자로 구분하여 조사한 결과는 Table 3과 같다. 무형광(NF)종자에서 발아된 유묘는 대체적으로 정상적인 떡잎이 90% 이상이었고 정상적인 성장을 보인 배축도 약 90% 이상이었다. 일부형광(PF)종자에서 발아된 유묘에서는 떡잎이 작거나 괴사된 흔적이 많은 비정상적인 떡잎이 40% 이상었고, 완전형광(FF)종자에서는 100%가 비정상적이었다. 그리고 일부형광(PF)종자에서는 거의 대부분이 떡잎에서나 배축에서 동일하게 비정상적이었다.

종자의 떡잎을 관찰하기 위하여 무형광(NF)종자와 형광(PF, FF)종자의 종피를 조심스럽게 벗기고 떡잎 표피부분을 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. Photo. 3에서 보는 바와같이 무형광(NF)종자(Photo. 3-A)는 세포구조가 치밀하고 세포가 규칙적으로 분포하여 있으나, 형광(PF, FF)종자(Photo. 3-B)에서는 세포구조가 불규칙하였으며 세포와 세포사이의 윤곽도 분명하지 않았고, 주름져 있었다. 또 상처난 곳에는 큰 동공이 존재하는 것을 볼 수 있었다. 따라서 종자의 떡잎에 난 동공을 통하여 종자 내부의 함유물질이 밖으로 쉽게 누출되는 것으로 간주되며, 이러한 종자에서 발아된 유묘의 떡잎에서 일부가 괴사된 형태로 나타나는 것은 Photo. 3에서 보는 것과 같은 종자의 상처에서 유래된 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. A.O.S.A., (1983) Seed Vigor Testing Handbook. Association of Official Seed Analysis, Contribution No. 32.
2. Moore, R. P. (1976) Tetrazolium seed testing developments in North America. *J. Seed. Technol.* **1**, 17-30.
3. Priestley, D. A. (1986) Seed aging implications for seed storage and persistence in the soil. p.304, Comstock Publishing Associates, Ithaca, N. Y.
4. Bewley, J. D. and M. Black. (1982) Physiology and biochemistry of seeds in relation of germination. Springer-Verlag, Berlin.
5. Simon, E. W. and L. K. Mills. (1983) Imbibition, leakage and membranes. *Recent Advances in Phytochemistry.* **17**, 9-27.
6. Taylor, A. G., D. B. Churchill, S. S. Lee, D. M. Bilsland and T. M. Cooper. (1993) Color sorting of coated Brassica seeds by fluorescent sinapine leakage to improve germination. *J. Amer. Hort. Sci.* **118**, 551-556.
7. Taylor, A. G., T. G. Min and C. A. Mallaber. (1991) Seed coating system to upgrade Brassicaceae seed quality by exploiting sinapine leakage. *Seed Science & Technol.* **19**, 423-434.
8. 민태기 (1994) Sinapine 누출을 이용한 십자화과 채소의 퇴화종자 선별법. 한국작물학회지. **39**, 473-479.
9. 민태기 (1995) 채소 퇴화종자와 건전종자 침지용액의 전기전도도, 유기 및 무기성분의 차이. 한국작물학회지. **40**, 533-541.

Relationship Between Sinapine Leakage Degrees of Radish Seeds and Germination and Morphological Differences of the Seeds and Seedlings

Tai-Gi Min, Bok-Jin Kim^{1*} and Jun-Ho Back¹ (*Department of Agronomy, Taegu University, Kyungsan 712-714, Korea; ^{1*}Department of Agronomy, Yeungnam University, Kyungsan 712-749, Korea*)

Abstract : Seeds of five radish varieties were soaked in water for three hours and cellulose was coated. The seeds were classified as three groups in UV light; non-fluorescent(NF), partly fluorescent(PF), and fully fluorescent(FF) seeds. Germination rate was less in the order of NF>PF>FF seeds. The seed coat structure of NF seeds was dense and showed round shape, while those of PF and FF seeds were wrinkled or ruptured. The cotyledon and hypocotyl of NF seeds were normal, while those of PF and FF seeds were dwarf and showed some scars in the cotyledons.

Key words : radish seed, fluorescent color, sinapine leakage, morphological difference.

*Corresponding author