

Matriconditioning에 의한 옥수수 종자 활력증진과 생리적 특성변화

서정문* · 윤상희* · 이문정* · 이석순*†

*영남대학교 자연자원대학 생물자원학부

Germinability and Physiological Properties of Maize Seeds Affected by Matriconditioning

Jung Moon Seo*, Sang Hee Yun*, Moon Jung Lee* and Suk Soon Lee*†

*School of Biological Sciences, College of Natural Resources, Yeungnam Univ. Gyeongsan 712-749, Korea

ABSTRACT : To observe the effects of seed matriconditioning on the emergence, plumule growth, and seed physiological properties of normal and aged seeds of three corn (*Zea mays* L.) genotypes (dent, sugary, and shrunken-2), normal and artificially aged seeds were matriconditioned at 50, 75, 100, and 125% moisture contents of vermiculite at 25°C for 24 hours and the germinability was examined at 25°C and in cold test (7 days at 10°C followed by 25°C). Emergence rate, emergence speed, and plumule growth were smaller in the order of dent > sugary > shrunken-2. Matriconditioning did not affect the emergence rate of normal dent and sugary seeds, while it enhanced emergence speed and plumule growth. In contrast, the emergence rate, emergence speed, and plumule growth of normal shrunken-2 and aged seeds of all genotypes were enhanced as the moisture content of vermiculite increased up to 125% both at 25°C and in cold test. Matriconditioning promoted α -amylase activity and DNA and soluble protein contents, while it reduced the leakage of total sugars and electrolytes from the seeds when soaked in water.

Keywords: dent, sugary, shrunken-2, matriconditioning, emergence rate, emergence speed, plumule growth, leakage of sugars and electrolytes, α -amylase activity, DNA.

옥수수 재배면적은 사일리지용 약 10만 ha, 풋옥수수용 약 1만 5천 ha, 종실용은 약 2천 ha이다. 그 중 풋옥수수(찰옥수수, 단옥수수, 초당옥수수)는 1980년 중반 이전에는 재배면적이 적었지만 그 후 식생활이 다양화되면서 풋옥수수가 간식용으로 많이 이용되었기 때문에 1990년대에는 재배면적이 크게 증가하였다. 현재 풋옥수수 재배면적은 찰옥수수 약 1만 3천 ha, 단옥수수와 초당옥수수가 약 2천 ha로서 대부분 찰옥수수를 재배하고 있다(Corn Experiment Station, Gangwon Agricultural Research & Extension Services, 2002, personal communication).

풋옥수수 중에 단옥수수와 초당옥수수는 품종에 따라 종자 활력이 많이 다르다. 포장에서 출아율이 높은 품종도 많이 육성되었지만(Seo *et al.*, 2002), 일반적으로 이들 종자의 활력은 마치종보다 낮고, 고온, 과습 등 부적당한 저장조건에서는 퇴화되기 쉽다(Chang & Sung, 1998). 이들 종자는 주로 미국에서 생산되어 우리나라 농민에게 공급되기까지 부적당한 조건에서 장기간 수송 및 저장하게 되므로 활력저하가 문제되기도 한다. 특히 초당옥수수는 단옥수수보다 종자의 저장양분이 적고, 퇴화속도가 빠르며, 과피가 부스러지기 쉽고, 발아할 때 당, 아미노산 등을 많이 분비하여 병원균의 침입이 많기 때문에 저온, 과습 등 불량환경에서는 출아율이 낮고, 초기생육이 불량하다(Carlos & Cantliffe, 1992). 한 구덩이에 3~4립을 파종하면 입묘율을 높일 수 있지만 종자 값이 비싸고, 쉼는 작업에 노동력이 많이 필요하다.

우리나라에는 단옥수수가 많이 재배되고 있지만 1999년부터 단옥수수보다 당 함량이 높고, 수확 후에도 당도가 장기간 유지되어 품질이 우수한 초당옥수수가 상업적으로 재배되기 시작하여 단옥수수 재배면적은 점차 감소되고 대신 초당옥수수의 재배면적이 증가하고 있다(National Seed Management Office, 2002, Personal communication). 풋옥수수가 많이 재배되고 있는 미국, 일본 등에서는 가공용으로 단옥수수가 재배되고, 풋옥수수용은 주로 초당옥수수가 재배되고 있으므로(Juvik *et al.*, 1993) 앞으로 우리나라에서도 초당옥수수의 재배가 일반화될 것으로 전망되며, 따라서 초당옥수수의 종자활력을 높일 수 있는 연구가 필요하다. 저하된 종자의 활력을 증진시키는 방법은 matriconditioning, priming, humidification, presoaking, hardening 등 파종하기 전에 일정기간 종자의 수분함량을 조절하면서 종자 내의 생리적 변화를 발아에 유리하도록 유도하는 방법(Khan *et al.*, 1990), 성장조절제를 처리하여 발아할 때 종자의 활력을 증진시키는 방법, 살균제를 처리하여 파종 후 토양 병원균의 침입을 막아 출아율을 높이는 방법 등이 있다. 그 중 matriconditioning은 vermiculite, perlite, micro-gel 등 고흡수성 물과 종자를 일정비율로 혼합하여 생리적 활성이 증가하도록 제

†Corresponding author: (Phone) +82-53-810-2914 (E-mail) sslee@yumail.ac.kr

<Received April 21, 2003>

한적으로 수분을 흡수시키는 방법이다. Matriconditioning의 장점은 priming과는 달리 처리 중에 산소를 인위적으로 공급할 필요가 없고, 처리 후 종자에 붙은 priming 용액을 씻어내야 하는 어려움을 피할 수 있다. Matriconditioning 처리는 토마토, 양파, 당근(Taylor *et al.*, 1988), 강낭콩, 옥수수(Bennett & Waters, Jr., 1987) 등에서 활력이 낮은 종자의 발아율 향상, 발아 촉진, 균일한 발아 등의 효과가 있으며, 특히 단옥수수 및 초당옥수수에서는 priming 처리보다 효과가 더 큰 것으로 알려져 있다(Sung & Chang, 1993; Bennett & Waters, 1987).

본 연구는 마치종 옥수수, 단옥수수, 초당옥수수의 건전종자와 인위적으로 활력을 저하시킨 노화종자를 matriconditioning 할 때 알맞은 vermiculite의 수분함량을 구명하고, matriconditioning이 genotype과 활력이 다른 옥수수 종자의 α -amylase 활성, 당과 전해질의 누출, DNA 및 가용성 단백질 함량에 미치는 영향을 조사하여 matriconditioning이 genotype과 활력이 다른 옥수수 종자의 활력증가에 영향을 미치는 기작을 구명하기 위하여 실시되었다.

재료 및 방법

옥수수 genotype과 종자 노화처리

시험재료로 사용된 옥수수는 종실용이나 사일리지용으로 재배하는 마치종 옥수수(dent corn), 풋옥수수로 이용되는 단옥수수(sugary)와 초당옥수수(shrunken-2) 이었다. 마치종 옥수수는 2001년 강원도농업기술원 옥수수시험장에서 생산된 'KS5' 'KS6'의 교잡종인 '수원19호'이었고, 단옥수수는 2001년 영남대학교 실험포장에서 생산된 'Early Sunglow' 'Golden Cross Bantam(GCB) 70'의 교잡종, 초당옥수수는 'Fortune' 'Xtrasweet 82'의 교잡종을 사용하였다.

노화종자는 건전종자를 Forney & Bandle(1992)의 방법에 따라 상대습도 95%, 온도 45°C에서 인위적으로 노화처리하여 발아율이 건전종자의 약 50%가 되도록 만들었다.

Matriconditioning

Matriconditioning 처리할 때 수분함량을 조절하기 위하여 사용한 재료는 원예용 vermiculite를 분쇄하여 20 mesh 체를 통과한 재료를 사용하였다. Plastic bag에 vermiculite 125 g을 넣고, 물을 각각 62.5, 93.8, 125, 156.3 g을 첨가하여 vermiculite의 수분함량이 50, 75, 100, 125%가 되도록 하였다. 여기에 종자 25 g을 넣어 고르게 섞은 후 밀폐하여 25°C에서 24시간 처리하였다. 처리한 종자는 vermiculite를 제거하고 실험실에서 풍건한 후 시험에 이용할 때까지 -20°C 냉동실에 보관하였다.

출아율 및 출아속도

종자의 출아율을 조사하기 위하여 가로×세로×높이가 각각

33×24×7 cm인 플라스틱 상자에 수분함량이 포장용수량의 70%인 전년에 옥수수를 재배한 토양을 2 cm 깊이로 넣고, 건전종자와 노화종자를 각각 30립 파종한 다음 다시 같은 토양을 2 cm 높이로 복토하였다. 출아율과 유묘생육은 AOSA(1983) 방법에 따라 발아적온인 25°C에 7일째 및 cold test는 10°C에서 7일 저온처리하고 다시 25°C에 옮긴 후 7일째에 조사하였다.

출아속도(T_{50})는 Taylor(Cornell University, 2000; personal communication)의 방법에 따라 최종출아개체수의 50%가 출아하는데 소요되는 시간을 파종일로부터 계산하였는데 그 방법은 다음과 같다. $T_{50} = t_i + [(N/2 - n_i) / (n_j - n_i)] \times (t_j - t_i)$ (단 N은 최종 출아개체수, n_i 와 n_j 은 N/2 전후의 인접한 조사 날짜, t_i 및 t_j 일까지 출아한 누적개체수).

당 및 전해질 누출

종자에서 누출되는 全糖(total sugars) 함량을 조사하기 위하여 종자 20립과 증류수 20 mL를 50-mL 원심분리기 튜브에 넣고, 25°C에서 24시간 침지한 후 Whatman #42 여지로 여과하였다. 여액 5 mL을 15-mL 시험관에 넣고, 98% 황산에 녹인 0.2% Anthrone 시약 10 mL을 가하여 잘 섞은 후 끓는 물 속에서 7.5분간 반응시킨 다음 즉시 얼음물에서 냉각시켰다(Yoshida *et al.*, 1972). 다시 15분간 실온에 방치한 후 분광광도계(UVIKON Spectrophotometer, Kontron, Italy)를 이용하여 630 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 전당 함량은 포도당 상당량으로 계산하였다.

종자의 전해질 누출량을 조사하기 위하여 종자 25립과 3차 증류수 75 mL를 100 mL 플라스틱 병에 넣고, 20°C에서 24시간 침지한 후 EC meter(MC126 conductivitymeter, Mettler Toledo, Switzerland)로 전기전도도(electrical conductivity, EC)를 측정하였다(AOSA, 1983).

α -amylase 활성

옥수수 종자 3립에 증류수 50 mL을 가하여 25°C에서 7일간 침지한 후 종자를 유발에 넣고 액체질소를 부으면서 막자로 마쇄한 다음 25 mL의 냉각된 10 mM sodium citrate-citric acid buffer를 넣고 고르게 섞었다. 그 용액을 원심분리기(ESV 120-C, Vision, Korea)에서 20,000×g로 20분간 원심분리한 후 상층액을 α -amylase 효소액으로 사용하였다. 그 효소액 1 mL를 2 mL의 가용성 전분용액(0.05% starch in 0.05 M citric acid-sodium citrate buffer solution)에 넣고, 10분간 반응시킨 후 1 N HCl을 7 mL 가하여 효소반응을 중지시켰다. 다시 1 mL의 요오드용액(5 g KI, 0.36 g KIO₃ in 1 liter 2 mM NaOH)을 넣어 발색시킨 후 분광광도계를 이용하여 파장 580 nm에서 흡광도를 측정하였다(Reiss, 1994).

DNA 및 단백질 함량

옥수수 종자를 Sample Mill(1093 Cyclotec Sample Mill,

FOSS, Sweden)로 분쇄한 시료 0.05 g을 1.5 mL e-tube에 넣은 다음 65°C로 중탕한 2% CTAB buffer(100 mM Tris-HCl, 1.4 M NaCl, 20 mM EDTA, 2% CTAB in 1000 mL water) 600 μ l를 넣고 65°C에서 20분간 가끔 흔들어주면서 중탕하였다. 그리고 chloroform : iso-amyl alcohol을 24 : 1로 혼합한 용액을 600 μ l 넣고, 진탕기(Orbital shaker, Finemould Precision IND. CO., Korea)에서 130~150 rpm으로 15분간 진탕하였다. 상층액 200 μ l와 RNase (M610A, Promega, USA) 2 μ l를 다른 1.5-mL e-tube에 넣어 잘 섞고, 37°C에서 30분간 반응시킨 후 99% 및 70% ethanol로 차례로 1회씩 세척하였다. e-tube에 남은 고형물을 TE buffer(10 mM Tris-HCl, 1 mM EDTA in 1000 mL water) 200 μ l에 녹여 260 nm에서 흡광도를 측정하여 DNA 함량을 계산하였고, 280 nm에서 흡광도를 측정하여 단백질 함량을 계산하였다(남 & 안, 1999).

25°C와 cold test 조건에서 출아시험할 때 출아율, 발아속도, 유묘생장 등을 조사하여 옥수수 종자의 활력을 증진시키는데 알맞은 matriconditioning 조건을 구명하였다. 또 종자로부터 당과 전해질의 누출과 DNA 및 가용성 단백질 함량의 변화를 조사하여 matriconditioning에 의하여 종자의 활력이 증가하는 원인을 분석하였다.

출아율

Matriconditioning 처리한 종자를 토양에 파종하여 발아적인 25°C와 cold test에서 출아율을 조사한 결과는 Fig. 1과 같다.

1) 발아적인(25°C)에서 출아율

Matriconditioning 처리하지 않은 건전종자의 출아율은 마치종 옥수수 98.3%, 단옥수수 89.2%, 초당옥수수 83.3%로서 마치종이 가장 높았고, 초당옥수수가 가장 낮았다. Young *et al.*(1997)은 단옥수수와 초당옥수수 자식계통의 발아율은 단옥수수 76~98%, 초당옥수수 11~68%로 초당옥수수가 단옥수수보다 발아율이 낮다고 보고하여 본 실험과 비슷한 경향이였다. 그러나 이 실험에서 초당옥수수의 발아율이 83.3%로 높았

결과 및 고찰

Genotype과 활력이 다른 종자를 matriconditioning 하여

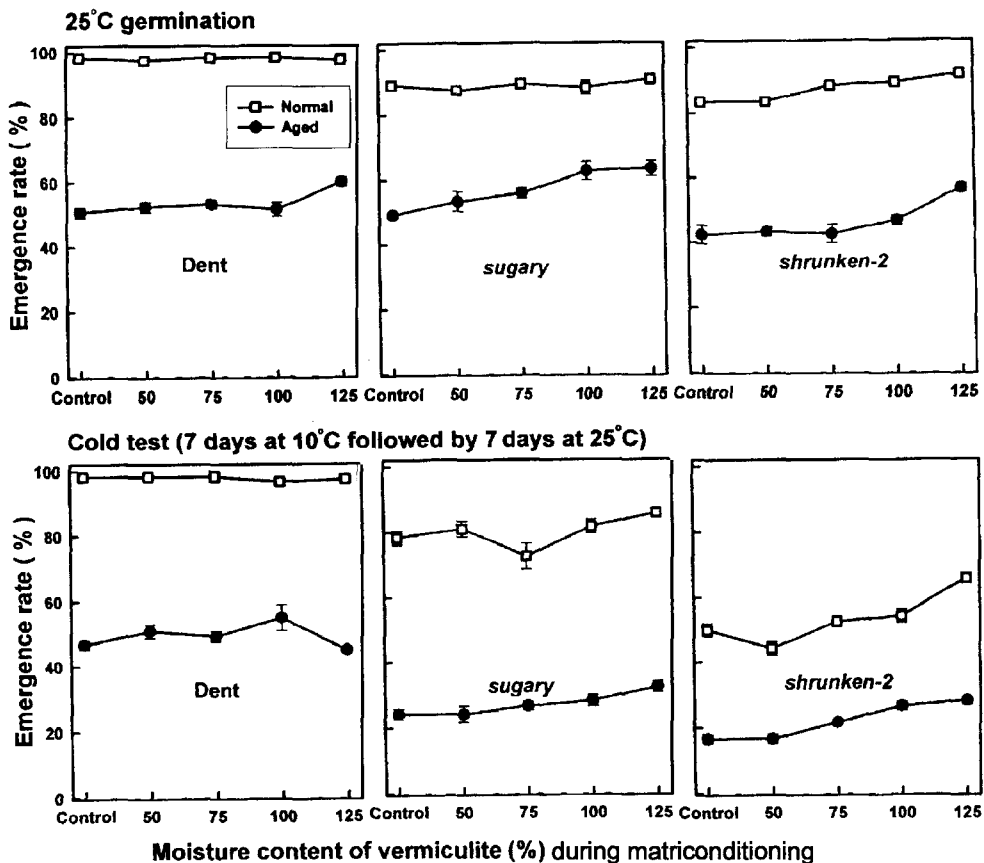


Fig. 1. Emergence rate of normal and aged dent, sugary, and *shrunken-2* corn seeds matriconditioned at different moisture contents and germinated at 25°C and in cold test (for 7 days at 10°C followed by for 7 days at 25°C). Control seeds were not matriconditioned. Vertical line bars indicate standard error.

던 것은 상업용으로 재배되는 우수한 F₁간의 교잡종이었기 때문이라 생각되며, Seo *et al.*(2002)도 미국에서 상업적으로 재배되는 F₁ 종자에서 비슷한 결과를 보고하였다.

Matriconditioning의 효과를 보면 발아율이 높았던 마치종과 단옥수수의 건전종자는 vermiculite의 어느 수분함량에서나 matriconditioning은 출아율에 영향을 미치지 않았고, 높게 유지되었다. 그러나 발아율이 상대적으로 낮았던 초당옥수수의 건전종자와 모든 genotype의 노화종자는 matriconditioning 처리할 때 vermiculite의 수분함량이 125%까지 증가할수록 출아율이 향상되었다. Vermiculite의 수분함량이 125%일 때 초당옥수수의 건전종자는 출아율이 8.4% 증가하였고, 마치종, 단옥수수, 초당옥수수 노화종자는 무처리보다 각각 9.2, 14.1, 14.2% 증가하였다. 따라서 옥수수 종자의 출아율에 미치는 matriconditioning의 효과는 genotype에 관계없이 종자활력이 낮은 종자일수록 컸다.

이 등(1998)도 perlite를 이용한 matriconditioning은 활력이 높은 마치종 옥수수 종자에서는 발아율에 영향을 미치지 않았음을 보고하였다. 그러나 Sung of Chang(1993)은 발아율이 낮은 초당옥수수 종자를 수분함량이 125%인 vermiculite에서 24시간 matriconditioning하면 특히 저온(10~15°C)에서 발아할 때 matriconditioning의 효과가 크다고 하여 이 실험 결과와 비슷하였다.

2) Cold test 출아율

Cold test할 때 마치종 옥수수의 출아율은 matriconditioning할 때 수분함량의 영향을 받지 않았고, 25°C에서와 같이 모두 높게 유지되었다. 그러나 단옥수수와 초당옥수수의 건전종자와 모든 genotype의 노화종자는 matriconditioning할 때 100~125%까지는 수분함량이 높을수록 발아율이 증가하였다. Matriconditioning에 가장 알맞은 수분함량에서 단옥수수와 초당옥수수의 건전종자는 무처리에 비하여 출아율이 각각 7.5 및 15.8% 증가하였고, 마치종, 단옥수수, 초당옥수수 노화종자는 각각 8.3, 8.3, 11.6% 증가하였다.

Parera & Cantliffe(1992)는 초당옥수수를 matriconditioning하여 종자활력을 cold test 조건에서 검정한 결과 출아율이 8% 향상되었고, matriconditioning과 NaOCl의 복합처리는 출아율을 최고 27%까지 향상시켰다고 보고하였다. 그러나 다른 연구에서 Parera & Cantliffe(1994)은 matriconditioning한 어떤 계통의 초당옥수수 종자는 cold test에서 출아율이 오히려 감소하였지만 포장 실험에서는 파종기에 따라 출아율이 10~26% 향상되었다고 하여 실험에 따라 경향이 다소 다르지만 불량한 종자의 활력을 증진시키는데는 효과가 있는 것으로 생각된다.

출아속도(T₅₀)

Matriconditioning한 건전종자와 노화종자를 토양에 파종하여 25°C와 cold test 조건에서 시험한 결과 최종출아개체수의 50%가 출아한 기간인 T₅₀을 보면 Table 1과 같다. 발아적온인

Table 1. The number of days to emergence (T₅₀) of normal and aged dent, sugary, and shrunken-2 corn seeds matriconditioned at different moisture contents and germinated at 25 and in cold test. (Unit; day)

Genotype	Moisture of vermiculite (%)	25		Cold test	
		Normal	Aged	Normal	Aged
Dent	Control	3.4 a ¹⁾	3.6 a	9.0 a	9.4 a
	50	2.9 bc	3.5 b	8.7 b	9.3 a
	75	2.8 c	3.5 b	8.6 b	9.0 b
	100	2.9 bc	3.5 b	8.3 c	9.1 b
	125	3.0 b	3.4 c	8.4 c	8.8 c
sugary	Control	3.9 ns	4.9 a	9.4 ns	10.1 a
	50	3.7	4.7 ab	9.1	10.1 a
	75	3.8	4.6 b	9.1	9.8 b
	100	3.7	4.4 c	9.1	9.8 b
	125	3.6	4.4 c	9.2	9.4 c
shrunken-2	Control	3.1 a	4.4 a	9.5 ns	10.4 a
	50	2.7 b	3.8 b	9.3	10.2 a
	75	2.7 b	3.9 b	9.2	9.8 b
	100	2.8 b	4.2 a	9.3	9.8 b
	125	2.6 b	3.9 b	9.3	9.8 b

¹⁾Means within a column in each genotype followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DNMR.

25°C와 cold test에서 건전종자와 노화종자 모두 matriconditioning 할 때 vermiculite의 수분함량이 증가할수록 T₅₀이 감소하여 출아가 촉진되는 경향을 보였다. 그러나 25°C에서 단옥수수의 건전종자, cold test에서 단옥수수와 초당옥수수의 건전종자의 경우에는 matriconditioning의 효과가 없었다. Matriconditioning에 의한 종자의 발아촉진은 마치종 옥수수(이 등, 1998)와 토마토, 당근, 양파 종자에서도 보고되었다(Taylor *et al.*, 1988).

출아속도(T₅₀)는 파종한 종자의 50%가 출아하는데 소요되는 일수(Coolbear *et al.*, 1980)와 파종한 종자 수 대신 최종출아개체수의 50%가 출아하는데 소요되는 일수(Taylor, 2000)를 계산하는 방법이 있다. 본 시험에서 파종한 종자수를 기준으로 계산하면 단옥수수와 초당옥수수 건전종자의 출아율은 50% 이상이어서 T₅₀을 계산할 수 있지만 노화종자의 출아율은 50% 이하여서 T₅₀을 나타낼 수 없기 때문에 출아속도를 비교하기 위하여 최종발아개체수를 기준으로 하여 T₅₀을 계산하였다.

유묘생육

Matriconditioning한 건전종자와 노화종자를 파종하여 발아적온인 25°C와 cold test에서 조사한 유아장과 유아건물중을 보면 Table 2와 같다.

출아온도와 matriconditioning할 때 vermiculite의 수분함량에 관계없이 유아장과 유아건물중은 마치종 > 단옥수수 > 초당옥수수의 순서로 작았으며, 각 genotype에서 노화된 종자는 건

Table 2. Plumule height and dry weight of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunkn-2* corn seeds matriconditioned at different moisture contents and germinated at 25°C and in cold test.

Geno -type	Moisture of vermiculite (%)	Plumule height (cm)				Plumule dry weight (mg/plant)			
		25°C		Cold test		25°C		Cold test	
		Normal	Aged	Normal	Aged	Normal	Aged	Normal	Aged
Dent	Control	21.6 c ¹⁾	13.6 b	21.6 b	16.6 ns	54.3 b	32.0 b	54.7 c	34.1 c
	50	21.8 bc	15.1 a	22.7 ab	18.0	55.3 b	31.9 b	56.4 bc	33.1 c
	75	22.2 bc	14.8 a	22.4 ab	18.0	54.6 b	34.3 b	59.1 b	34.1 c
	100	22.4 b	14.5 a	23.4 a	18.3	55.2 b	40.0 a	66.4 a	41.4 a
	125	23.7 a	15.0 a	23.5 a	18.3	57.7 a	37.4 a	59.3 b	37.9 b
<i>sugary</i>	Control	15.2 b	8.7 b	16.6 c	10.7 d	34.5 b	21.2 c	38.0 c	25.7 c
	50	16.6 a	9.1 b	17.6 bc	10.9 cd	32.9 b	22.4 c	38.3 c	26.3 bc
	75	16.3 a	10.2 a	18.3 b	11.5 bc	38.1 a	24.1 b	40.5 c	27.3 b
	100	14.1 c	10.7 a	17.5 bc	12.1 ab	38.3 a	27.8 a	44.9 b	30.0 a
	125	16.4 a	10.5 a	19.7 a	12.3 a	40.3 a	24.2 b	49.5 a	30.8 a
<i>shrunkn-2</i>	Control	12.0 c	11.3 b	18.9 ns	12.6 c	22.1 d	11.9 bc	23.5 ns	15.4 ns
	50	12.7 bc	11.1 b	18.9	12.4 c	23.2 d	11.4 c	25.9	16.3
	75	12.3 bc	9.9 c	19.0	13.4 b	25.9 b	12.8 b	27.2	16.1
	100	13.4 b	12.1 ab	19.7	13.0 bc	24.7 c	13.1 b	24.4	16.2
	125	15.2 a	12.6 a	20.5	14.6 a	27.3 a	15.2 a	26.2	17.2

¹⁾Means within a column in each genotype followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DNMR.

전종자보다 유아장이 현저히 작았다. 옥수수 노화종자의 유아장과 유아건물중이 건전종자보다 작은 것은 노화과정에서 호흡량의 증가로 탄수화물, 당, 가용성 단백질, 유리 아미노산 등 저장양분이 감소하였기 때문으로 생각된다(Basavarajappa *et al.*, 1991).

또 유아장과 유아건물중은 출아온도, genotype, 종자활력에 관계없이 대부분의 처리는 matriconditioning할 때 수분함량이 많을수록 증가하였으며, 통계적으로 유의차가 없는 몇 개 처리에서도 증가하는 경향은 뚜렷하였다. Matriconditioning은 토마토, 오이, 당근, 양파, 상추(Taylor *et al.*, 1988), 콩(Park *et al.*, 1999) 등에서도 유묘의 생육에 효과적이었다. Matriconditioning은 발아율이 높은 종자에서는 발아율을 더 이상 향상시키지는 않지만 발아속도가 촉진되고, 초기생육이 더 좋아지는 것으로 생각된다. 반면 활력이 낮은 종자에서는 출아율의 향

상 뿐 아니라 출아속도를 빠르게 하고, 유묘의 생육도 촉진시키는 효과가 있는 것으로 생각된다.

침종 시 당 누출

Matriconditioning한 종자를 물에 침지하였을 때 누출되는 당 함량을 보면 Fig. 2와 같다. 누출되는 당은 초당옥수수 > 단옥수수 > 마치종 옥수수의 순으로 낮았다. Matriconditioning 하지 않은 마치종 옥수수의 건전종자와 노화종자로부터 누출된 전당의 양은 0.05 mg/g으로 극히 적었고, matriconditioning한 종자는 vermiculite의 수분함량에 관계없이 모두 당을 거의 누출하지 않았다.

단옥수수 종자는 마치종보다는 다소 많은 양의 당을 누출하였지만 그 양은 많지 않았고, 노화종자가 건전종자보다 다소 많은 당을 누출하였다. 그러나 건전종자와 노화종자 모두

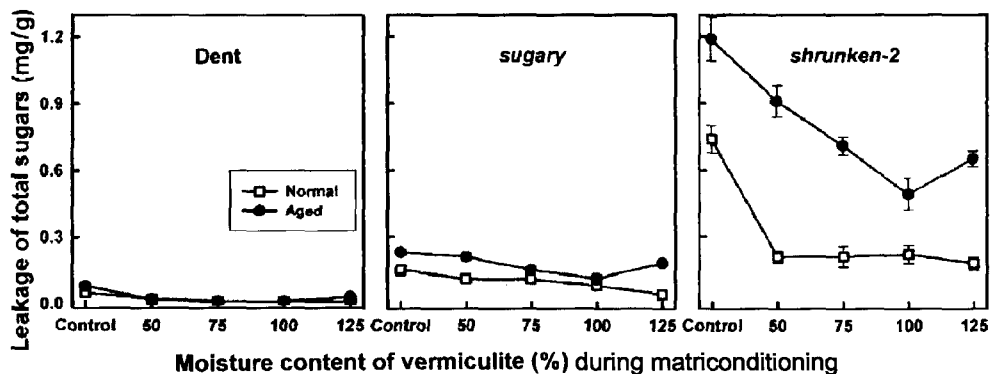


Fig. 2. Leakage of total sugars of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunkn-2* corn seeds matriconditioned at different moisture contents. Control seeds were not matriconditioned. Vertical line bars indicate standard error.

matricconditioning하면 vermiculite의 수분함량이 많을수록 당 누출량이 다소 감소하는 경향이였다.

Matricconditioning이 초당옥수수 of 건전종자와 노화종자에 미치는 영향에는 차이가 있었다. 즉 matricconditioning하지 않은 건전종자는 0.75 mg/g의 비교적 많은 양의 당을 누출하였으나 matricconditioning한 종자는 수분함량에 관계없이 당 누출량이 0.2 mg/g 이하로 현저히 감소되었다. 그러나 matricconditioning하지 않은 노화종자는 1.2 mg/g의 많은 당을 누출하였으며, matricconditioning하면 vermiculite의 수분함량이 100%까지는 수분함량이 많을수록 당 누출이 현저하게 감소되었다.

Wann *et al.*(1980)은 특히 초당옥수수 종자를 물에 침지하였을 때 당이 많이 누출되고 전기전도도가 높은 것은 과피와 호분층 사이 공간이 다른 genotype보다 커서 과피가 쉽게 부서지고, 종자 안쪽으로 물의 이동이 용이하기 때문이라고 하였다. 또한 Basavarajappa *et al.*(1991)은 종자가 노화되면 세포막의 인지질과 ascorbate 함량의 감소로 막의 기능이 저하되어 물을 흡수할 때 발생한 상처를 회복시키지 못하여 종자 내의 가용성 물질이 많이 누출되고, 전기전도도가 높다고 보고하였다. 그러나 활력이 낮은 종자를 matricconditioning할 때 당 누출이 감소되는 것은 matricconditioning 과정에서 phosphatase와 esterase와 같은 효소를 활성화시킴으로써 흡수할 때 생긴 종자의 세포막을 수선(repair)하고, 세포막의 배열을 재 정돈하여 가용성 당의 누출을 감소시키기 때문으로 생각된다(Khan, 1978).

침종시 전해질 누출

Matricconditioning한 건전종자와 노화종자를 물에 침지하였을 때 종자에서 누출되는 전해질의 양을 알기 위하여 측정 한 침지액의 EC를 보면 Fig. 3과 같다. EC는 초당옥수수 > 단옥수수 > 마치종 옥수수의 순으로 낮았다. 모든 genotype에서 노화종자의 침지액의 EC가 건전종자보다 높았는데 그 차이는 마치종과 단옥수수에서는 크지 않았으나 초

당옥수수에서는 차이가 컸으며, Juvik *et al.*(1988)도 비슷한 결과를 보고하였다.

모든 genotype에서 건전종자와 노화종자 모두 matricconditioning할 때 vermiculite의 수분함량이 높을수록 침지액의 EC가 낮아지는 경향이였다. Matricconditioning할 때 수분함량이 증가함에 따라 마치종과 단옥수수에서는 EC가 약간 감소되었지만 초당옥수수에서는 EC가 현저히 감소되었다. Lentil, bean, chickpea 등의 종자 활력은 주로 세포막과 관련이 있으며, hydration과 같은 종자처리는 세포막을 회복시켜 발아율을 향상시키고 EC를 감소시킨다고 보고하였는데(Fernandez & Johnston, 1995), 이 실험에서도 mtriconditioning한 종자 침지액의 EC가 낮았던 원인은 세포막의 재구성, 기능회복 및 종자 내 생화학적인 변화로 생각된다(Sung & Chang, 1993). Wann(1986)은 genotype이 다른 옥수수를 25°C에서 48시간 침종하였을 때 초당옥수수 침지액의 EC가 단옥수수보다 높고, 수용성 단백질의 누출도 많다고 하여 본 시험의 결과와 유사 하였다.

α-amylase 활성

Genotype간 α-amylase 활성은 초당옥수수 > 마치종 옥수수 > 단옥수수의 순으로 낮아졌으며, 어느 genotype에서나 건전종자가 노화종자보다 α-amylase 활성이 더 높았다. α-amylase는 발아할 때 합성되는 전분분해효소인데 옥수수의 genotype에 따라 활성이 다르다(Young *et al.*, 1997). 종자가 물을 흡수하고, 배(胚)에서 GA를 배반(scutellum)과 호분층(aleurone layer)에 분비하면 α-amylase가 합성되고, 배유로 확산되어 전분을 분해한다. 그런데 마치종 옥수수와 단옥수수에서는 초기에는 배반에서 α-amylase가 생성되지만 후기에는 주로 호분층에서 합성된 α-amylase에 의하여 전분이 분해된다. 그러나 초당옥수수는 α-amylase가 scutellum에서만 생성되므로 본 시험에서와 같이 발아초기단계에서는 초당옥수수의 α-amylase 활성이 다른 옥수수보다 더 컸던 것으로 생각된다(Young *et al.*, 1997).

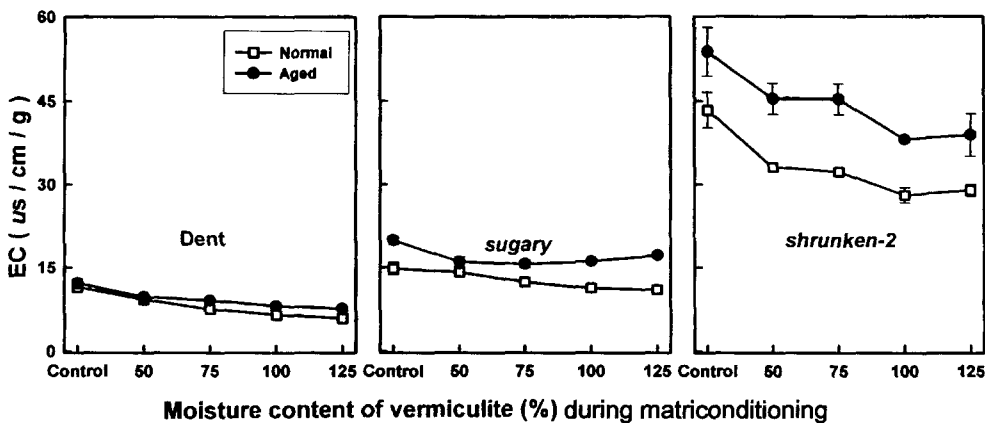


Fig. 3. Electrical conductivity (EC) of normal and aged dent, sugary, and shrunken-2 corn seeds matricconditioned at different moisture contents. Control seeds were not matricconditioned. Vertical line bars indicate standard error.

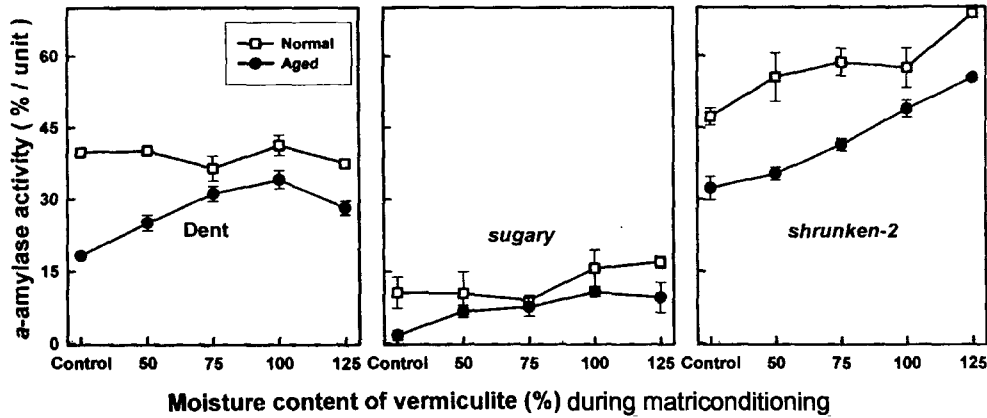


Fig. 4. The α -amylase activity of normal and aged dent, sugary, and *shrunken-2* corn seeds matriconditioned at different moisture contents. Control seeds were not matriconditioned. Vertical line bars indicate standard error.

마치종 옥수수의 건전종자에서는 matriconditioning이 α -amylase 활성에 영향을 미치지 않았다. 그러나 종자활력이 낮은 마치종 옥수수의 노화종자, 단옥수수와 초당옥수수의 건전종자와 노화종자 모두 matriconditioning할 때 vermiculite의 수분함량이 증가할수록 α -amylase 활성이 증가하였다. Sung & Chang(1993)도 vermiculite를 이용하여 초당옥수수를 25°C에서 24시간 matriconditioning하면 무처리 종자에 비하여 α -amylase와 β -amylase 활성이 모두 증가한다고 하였다.

DNA 및 단백질 함량

Matriconditioning할 때 수분함량에 따른 건전종자와 노화종자의 DNA와 가용성 단백질 함량의 변화를 보면 Table 3과

Table 3. DNA and soluble protein content of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunken-2* corn seeds matriconditioned at different moisture contents.

Genotype	Moisture of vermiculite (%)	DNA (μ g/g)		Soluble protein (mg/g)	
		Normal	Aged	Normal	Aged
Dent	Control	38.0 d ¹⁾	23.0 c	2.2 ns	1.7 b
	50	43.9 c	25.5 b	2.6	1.7 b
	75	46.3 c	26.7 b	2.3	1.8 b
	100	51.8 b	28.9 a	2.4	1.9 a
	125	59.0 a	29.9 a	2.6	2.1 a
sugary	Control	164.0 c	95.9 c	9.4 b	8.4 b
	50	168.1 bc	95.1 c	9.2 b	8.3 b
	75	170.9 b	101.0 b	9.3 b	8.9 a
	100	179.9 a	104.3 b	10.2 a	8.9 a
	125	181.1 a	108.1 a	10.6 a	9.1 a
shrunken-2	Control	28.0 b	17.0 b	1.8 b	0.9 b
	50	28.4 a	17.0 b	2.0 a	0.9 b
	75	29.1 a	19.3 a	2.0 a	1.0 ab
	100	29.8 a	19.1 a	2.1 a	1.0 a
	125	29.7 a	19.5 a	2.1 a	1.0 a

¹⁾Means within a column in each genotype followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DNMRT.

같다. DNA와 가용성 단백질 모두 단옥수수 > 마치종 옥수수 > 초당옥수수의 순으로 낮았으며, 또, 건전종자가 노화종자보다 높았다.

Matriconditioning 처리된 종자의 DNA와 가용성 단백질 함량은 마치종 건전종자를 제외하면 genotype과 종자활력에 관계없이 모두 matriconditioning된 종자에서 무처리 종자보다 현저히 높았다. 그러나 matriconditioning할 때 수분함량은 영향을 미치지 않거나 수분함량이 증가할수록 DNA와 가용성 단백질 함량을 약간 증가하는 경향이였다.

Sung & Chang(1993)은 초당옥수수를 vermiculite를 이용하여 25°C에서 24시간 matriconditioning하면 DNA, RNA, 수용성 단백질 함량이 무처리 종자보다 증가한다고 보고하여 본 시험과 같은 경향을 보였다. Lanteri *et al.*(1996)은 고추 종자를 priming 처리하면 DNA 함량이 증가한다고 하였는데, DNA 양이 증가하는 원인으로 종자 내 배의 발육을 진전시켜 염색체를 복제하기 때문이라고 하였다.

종합고찰

옥수수 종자의 matriconditioning 효과는 genotype과 종자의 활력에 따라 달랐다. 출아율이 25°C와 cold test에서 거의 100%이었던 마치종 옥수수의 건전종자는 matriconditioning에 의하여 출아율이 영향을 받지 않았지만(Fig. 1) 출아속도는 다소 빨라졌고(Table 1), 유아장과 유아 건물중은 matriconditioning할 때 vermiculite의 수분함량이 높을수록 증가하였다(Table 2). 이러한 결과는 마치종이 원래 종자활력이 높았고, 당과 전해질의 누출도 적었기 때문에(Fig. 2 및 3) matriconditioning에 의하여 더 향상될 여지가 없었으나 α -amylase 활성과(Fig. 4) DNA 함량이 증가하였고(Table 3), 유의차는 없었지만 수용성 단백질도 다소 증가하는 경향으로 보아(Table 3) matriconditioning하는 동안 종자의 대사활동이 시작되어 발아와 유아생장이 촉진되는 것으로 생각된다. 그러나 종자활력이

낮았던 마치종의 노화종자는 vermiculite의 수분 함량이 125%까지는 유아장, 건물중은(Table 2) 물론 출아율도 높아지고(Fig. 1), 출아속도도 빨라져(Table 1) matricconditioning은 종자활력을 크게 향상시켰다. 그 원인은 matricconditioning이 종자의 당과 전해질의 누출에는 크게 영향을 미치지 않았지만 α -amylase 활성과(Fig. 4), DNA 및 수용성 단백질 함량을 모두 증가시키는 등(Table 3) 대사활동을 촉진시켰기 때문으로 생각된다.

단옥수수는 발아적인인 25°C에서는 무처리 종자의 출아율이 약 90%로서 활력이 높아 matricconditioning이 출아율에 영향을 미치지 않았던 것으로 생각되지만 불량환경인 cold test에서는 matricconditioning할 때 수분함량이 높을수록 출아율이 높아졌으며(Fig. 1), 유아장과 유아건물중도 현저히 증가하였다(Table 2). 노화종자는 vermiculite의 수분함량이 125%까지는 수분함량이 증가할수록 출아율이 증가하였고(Fig. 1), 출아도 촉진되었으며(Table 1), 유아장, 유아건물중도 현저히 증가하였다(Table 2). 종자의 당과 전해질 누출량은 많지 않았으며, matricconditioning에 의하여 당과 전해질의 누출량은 다소 감소하거나 차이가 없었다(Fig. 2 및 3). 따라서 단옥수수의 경우 matricconditioning이 종자활력 증가에 미치는 긍정적 효과는 당과 전해질의 누출량의 감소라기보다는 α -amylase 활성(Fig. 4), DNA 및 수용성 단백질 함량의 증가(Table 3) 등 대사작용이 촉진되었기 때문으로 생각된다.

초당옥수수는 건전종자도 25°C에서 출아율이 약 83%로서 낮았는데 건전종자와 노화종자 모두 matricconditioning할 때 vermiculite의 수분함량이 125%까지는 출아율(Fig. 1), 유아장, 유아건물중이 현저히 증가하였고(Table 2), 출아도 촉진되었다(Table 1). 그리고 matricconditioning에 의하여 종자의 당과 전해질의 누출량도 감소하였을 뿐 아니라(Fig. 2 및 3) α -amylase 활성(Fig. 4), DNA와 수용성 단백질 함량을 모두 증가시켜(Table 3) matricconditioning은 특히 초당옥수수에서 효과적이었다.

종자가 노화되면 α -amylase 활성이 떨어지고, 발아시 DNA 및 수용성 단백질 함량이 낮고, 당과 전해질의 누출량이 증가하여 출아율과 유아생장이 떨어져 출아가 지연된다. 현재 단옥수수와 초당옥수수는 종자를 주로 미국에서 수입하고, 장기간 불량조건에서 수송, 저장되므로 노화되기 쉽다. 그러나 이들 종자를 matricconditioning하면 종자활력이 증진되며, 그 효과는 25°C에서보다 cold test에서 발아할 때 더 크기 때문에 종자활력이 다소 낮은 단옥수수나 초당옥수수를 조기수확하기 위하여 저온기에 파종할 때 더 효과적인 방법이라고 생각된다.

적 요

옥수수 종자의 활력을 향상시키는 방법을 모색하기 위하여

마치종 옥수수, 단옥수수, 초당옥수수의 건전종자와 인위적으로 노화처리하여 활력이 낮은 종자를 수분함량이 50, 75, 100, 125%인 vermiculite와 섞어 25°C에서 24시간 matricconditioning하였다. 처리된 종자를 토양에 파종하여 25°C와 cold test(10°C에서 7일 처리 후 25°C에서 7일 처리) 조건에서 종자활력을 조사하여 matricconditioning에 알맞은 vermiculite의 수분함량을 구명하였고, 또 침종시 종자의 당과 전해질의 누출량, α -amylase 활성, DNA 및 수용성 단백질 함량을 조사하여 matricconditioning할 때 종자의 생리적인 변화를 조사하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 옥수수의 출아율, 출아속도, 유묘생장은 마치종 > 단옥수수 > 초당옥수수의 순으로 작았다. 건전종자가 노화종자보다 출아율, 출아속도, 유묘생장이 좋았고, α -amylase 활성, DNA 및 수용성 단백질 함량은 높았으나 당과 전해질의 누출은 적었다.
2. Matricconditioning은 25°C에서 발아할 때 마치종과 단옥수수의 건전종자의 출아율에는 영향을 미치지 않았으나 활력이 낮았던 초당옥수수 건전종자와 모든 genotype의 노화종자는 matricconditioning할 때 수분함량이 높을수록 출아율이 증가하였다. Cold test에서는 25°C와 같은 경향이었으나 출아율이 더 낮았다.
3. 출아속도는 단옥수수 건전종자는 25°C와 cold test에서 모두 matricconditioning의 영향을 받지 않았지만 다른 종자는 25°C와 cold test에서 모두 matricconditioning 할 때 수분 함량이 높을수록 출아속도가 빨랐다.
4. 유아장과 유아중은 cold test에서 matricconditioning의 영향이 없었던 초당옥수수의 건전종자와 노화종자를 제외한 다른 종자는 모두 25°C와 cold test에서 수분함량이 높을수록 유아장과 유아중이 증가하였다.
5. 종자의 당 누출량은 마치종 < 단옥수수 < 초당옥수수의 순으로 많았다. 마치종은 건전종자와 노화종자 모두 당 누출량이 적었다. 단옥수수는 노화종자의 당 누출량이 건전종자보다 다소 많았고, matricconditioning할 때 수분함량이 증가할수록 당누출량은 다소 감소하였다. 초당옥수수는 노화종자가 건전종자보다 당 누출량이 현저히 많았으며, 건전종자는 50%, 노화종자는 100%까지 matricconditioning 처리할 때 수분 함량이 높을수록 당 누출량은 감소하였다.
6. 종자의 전해질 누출량(침지액의 전기전도도)은 마치종 < 단옥수수 < 초당옥수수의 순으로 높았고, matricconditioning할 때 수분함량이 높을수록 전해질의 누출량은 감소하였다.
7. α -amylase 활성은 단옥수수 < 마치종 < 초당옥수수의 순으로 높았다. 모든 옥수수 genotype에서 matricconditioning할 때 수분 함량이 높을수록 α -amylase 활성이 증가하였다.
8. DNA와 수용성 단백질 함량은 초당옥수수 < 마치종 < 단옥수수의 순으로 높았다. 모든 genotype의 건전종자와 노화종자는 matricconditioning할 때 수분함량이 높을수록 DNA와 수용성 단백질 함량이 증가하는 경향이였다.

인용문헌

- Association of Official Seed Analysis(AOSA). 1983. Seed vigor testing handbook. *Proc. Assoc. Off. Seed Anal.* Part II. pp. 56-62.
- Basavarajappa, B. S., H. S. Shetty, and H. S. Prakash. 1991. Membrane deterioration and other biochemical changes, associated with accelerated ageing of maize seeds. *Seed Sci. & Technol.* 19:279-286.
- Bennett, M. A. and L. Waters, Jr. 1987. Seed hydration treatments for improved sweet corn germination and stand establishment. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112:45-49.
- Carlos, A. and D. J. Cantliffe. 1992. Enhanced emergence and plumule vigor in *shrunk-2* sweet corn via seed disinfection and solid matrix priming. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(3):400-403.
- Chang, S. M. and J. M. Sung. 1998. Deteriorative changes in primed sweet corn seeds during storage. *Seed Sci. & Technol.* 26:613-626.
- Coolbear, P., D. Grierson, and W. Heydecker. 1980. Osmotic pre-sowing treatments and nucleic acid accumulation in tomato seeds (*Lycopersicon lycopersicum*). *Seed Sci. & Technol.* 8:289-303.
- Fernandez, G. and M. Johnston. 1995. Seed vigour testing in lentil, bean, and chickpea. *Seed Sci. & Technol.* 23:617-627.
- Forney, C. F. and D. G. Bandle. 1992. Control of humidity in small controlled-environment chambers using glycol-water solutions. *HortTechnology*. 2:52-54.
- Juvik, J. A., M. C. Jangulo, J. H. Headrich, J. K. Pataky, and W. F. Tracy. 1993. Kernel changes in a *shrunk-2* maize population associated with selection for increased field emergence. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118(1):135-140.
- Khan, A. A., K. L. Tao, J. S. Knypl, B. Borkowska, and L. E. Powel. 1978. Osmotic conditioning of seeds: Physiological and Biochemical changes. *Acta Hort.* 83:267-278.
- Khan, A. A., H. Miura, J. Prusinski, and S. Ilyas. 1990. Matricconditioning of seeds to improve plumule emergence. *Proc. Natl. Symp. Stand Estab. Hort. Crops.* Minneapolis, MN., USA. pp. 19-40.
- Lanteri, S., E. Nanda, P. Belletti, L. Quagliotti, and R. J. Bino. 1996. Effects of controlled deterioration and osmoconditioning on germination and nuclear repulsion in seeds of pepper (*Capsicum annum* L.). *Annals of Botany.* 77:591-597.
- Parera, C. A. and D. J. Cantliffe. 1992. Enhanced emergence and plumule vigor in *shrunk-2* sweet corn via seed disinfection and solid matrix priming. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117:400-403.
- Parera C. A. and D. J. Cantliffe. 1994. Dehydration rate after solid matrix priming alters seed performance of *shrunk-2* corn. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(3):629-635.
- Reiss, C. 1994. Amylase: Enzyme assay. pp. 9-13, 261-262. *In Experiment in Plant Physiology.* Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Seo, J. M., S. H. Yun, and S. S. Lee. 2002 Performance of imported sweet corn hybrids in Korea. *Kor. J. Crop Sci.* 47(4):305-310.
- Sung, F. J. M. and Y. H. Chang. 1993. Biological activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. *Seed Sci. & Technol.* 21:97-105.
- Taylor, A. G., D. E. Klein, and T. H. Whitlow. 1988. SMP : Solid matrix priming of seeds. *Scientia Horticultureae.* 37:1-11.
- Wann, E. V. 1980. Seed vigor and respiration of maize kernels with different endosperm genotypes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105:31-34.
- Wann, E. V. 1986. Leaching of metabolites during imbibition of sweet corn seed of different endosperm genotypes. *Crop Sci.* 26:731-733.
- Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock, and K. A. Gomez. 1972. *Laboratory Manual for Physiological Studies of rice.* IRRRI. pp. 38-41.
- Young, T. E., J. A. Juvik, and D. A. Demason. 1997. Changes in carbohydrate composition and α -amylase expression during germination and plumule growth of starch-deficient endosperm mutants of maize. *Plant Science.* 129:175-189.
- 남홍길, 안진홍. 1999. 식물분자생물학 연구법. 아카데미서적. pp. 20-21.
- 이석순, 박의호, 정병룡, 민태기. 1998. 종자 priming 처리기술 개발에 의한 불량 환경에서의 주요작물 임묘율 향상. 농림기술개발연구과제 보고서. pp. 103-133.