

옥수수 1대잡종 종자의 활력저하 원인구명과  
종자활력 증진기술 개발

Factors Causing Low Seed Quality of *sugary* and  
*shrunk-2* Corn Hybrids and Their Improvement

단옥수수와 초당옥수수의 종자활력저하  
원인구명과 활력증진 기술

Factors Causing Low Seed Quality of *sugary*  
and *shrunk-2* Corn Hybrids and Their Improvement

사일리지 옥수수 종자의 수확적기 및 생산성  
Optimum Harvest Time and Productivity of Silage Corn

연구기관  
영남대학교

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “옥수수 1대잡종 종자의 활력저하 원인구명과 종자활력 증진기술 개발”  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003 년 12 월 27 일

주관연구기관명 : 영남대학교

총괄연구책임자 : 이석순

연 구 원 : 윤상희

연 구 원 : 서정문

연 구 원 : 이문정

연 구 원 : 양승규

협동연구기관명 : 강원도농업기술원  
옥수수시험장

협동연구책임자 : 민황기

연 구 원 : 류시환

연 구 원 : 박종열

# 요 약 문

## I. 제 목

옥수수 잡종종자의 활력저하 원인구명과 종자활력 증진기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구개발 필요성

최근 국민소득의 증가로 식생활이 다양해지면서 식용으로 단옥수수, 초당옥수수, 찰옥수수 등의 수요가 증가하고 있다. 그리고 쇠고기와 우유 소비의 증가로 사일리지 옥수수의 재배면적도 약 10만 ha까지 증가하였다.

상업적으로 생산하고 있는 단옥수수와 초당옥수수 종자는 전량을 수입하고 있어 2002년 현재 단옥수수 종자 13.7톤, 초당옥수수 0.8톤을 수입하고 있다. 그러나 1999년에는 단옥수수 33.3톤, 2000년에는 초당옥수수를 0.9톤을 수입하여 해에 따른 변화는 있지만 전체적으로 수입량이 증가하는 추세에 있다 (국립종자관리소).

단옥수수와 초당옥수수 종자는 국내에서 생산되지 않지만 가격이 비싸므로 품종이 개 단옥수수와 초당옥수수는 유전적으로 종자의 활력이 낮은 경우가 많고, 수확시기, 건조, 탈곡, 저장조건에 따라 활력이 더욱 낮을 수 있다. 특히 수익성을 높이기 위하여 조기재배하여 저온, 다습 등 불량환경 처하면 출아율이 낮으며, 해에 따라서는 수입된 종자의 활력이 낮아 공급하지 않기도 한다. 따라서 단옥수수와 초당옥수수 종자의 활력저하의 원인과 활력을 증진시키는 기술의 개발이 필요하다.

또한 단옥수수는 단옥1호, 단옥2호, 초당옥수수는 초단옥1호 등 품종이 국내에서 개발되어 있지만 품질이 수입종보다 떨어져 농민들은 재배하지 않고 있다. 그러나 작물시험장과 경북대, 동국대 등에서 품종을 육성 중에 있고, 우수한 품종이 개발될 때는 단옥수수와 초당옥수수 종자를 국내에서 생산할 때는 채종에 관한 기술개발이 필요하다.

한편 사일리지용 옥수수 종자는 2002년 현재 국내에서 81톤을 생산하지만 수요가

많아 연간 264톤을 수입하고 있다 (국립종자관리소). 사일리지용 옥수수 품종에 따라 수입종자가 국내산보다 2.0-2.5 배싸지만, 반대로 사료나 가공용으로 수입되는 옥수수 곡물의 가격은 국내산의 1/5에 불과하다. 그러므로 옥수수 종자를 생산할 경우 국제 경쟁력이 있고, 강원도에는 1대잡종 종자를 생산할 수 있는 기술이 확립되어 있어 채종사업이 유망하다.

사일리지용 마치종은 국내 품종의 수량성과 품질은 대부분의 수입종에 떨어지지 않지만 국내 육성품종의 홍보부족과 채종체계와 종자 보급체계의 미비로 국내 육성품종의 종자의 보급이 저조하여 국내 품종의 선호도가 낮아 이를 개선할 연구가 필요하다.

## 2. 연구개발 목적

마치종, 단옥수수, 초당옥수수 종자 발육 도중 ethylene 발생과 종자의 내부 형태의 변화, 종자 수확기, 건조, 탈곡, 저장방법에 따른 종자의 당과 전해질 누출,  $\alpha$ -amylase 활성, 25°C에서 발아율, cold soil test에서 출아율과 유아생장 등 종자의 특성을 조사하여 생리적으로 옥수수 종자의 활력이 낮은 원인을 구명하고 종자활력을 높일 수 있는 종자 관리방법을 개발한다. 그리고, 종자활력을 높일 수 있는 osmoconditioning, matricconditioning, 침종, GA 및 살균제 처리 방법을 개발한다. 그래서 앞으로 우수한 단옥수수와 초당옥수수 품종이 개발될 때 활용할 수 있는 채종 및 종자관리 기술을 개발한다.

한편 사일리지용 마치종에서는 수확기별 종자특성을 조사하여 1대잡종 생산에 알맞은 종자 수확적기를 구명한다. 또 국내종과 미국 수입종의 생육특성, 사일리지 수량, 사일리지 품질 등을 조사하여 국내 품종의 수량 및 품질을 평가하고, 국내 품종을 개발할 때 보완점을 찾아 육종가에게 필요한 정보를 제공하는데 연구목적이 있다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

#### 1. 세부과제: 단옥수수와 초당옥수수의 종자활력 저하원인 구명과 활력증진 방안

##### 가. 종자활력 저하원인 구명

- 1) Ethylene 발생과 종자 발육
- 2) Ethylene 발생조절과 종자발육
- 3) 종자활력을 높일 수 있는 수확적기
- 4) 종자활력을 높일 수 있는 건조방법
- 5) 종자활력을 높일 수 있는 탈곡방법
- 6) 종자활력을 높일 수 있는 저장방법

##### 나. 종자활력 증진 방안 탐구

- 1) Osmoconditioning에 의한 종자활력 증진
- 2) Matricconditioning에 의한 종자활력 증진
- 3) 살균제 처리시기와 처리방법에 따른 종자활력 증진
- 4) Matricconditioning과 침중에 의한 종자활력 증진
- 5) GA 처리에 의한 종자활력 증진

#### 2. 협동과제: 사일리지 옥수수 종자의 수확적기 및 생산성

- 1) 사일리지 옥수수의 종자생산을 위한 수확적기
- 2) 국내 육성품종과 수입종 사일리지 옥수수의 생산성

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 제1세부과제 : 단옥수수과 초당옥수수의 종자활력 저하원인 구명과 활력증진 방안

#### 가. 종자활력 저하원인 구명

단옥수수와 초당옥수수의 종자활력이 낮은 것은 종자발육을 저해하는 유전적인 요인, 생리적으로 미숙된 종자의 수확, 부패병균의 침입, 탈곡 시 기계적인 상처, 저장 중 종자의 노화 등을 들 수 있다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

#### 1) Ethylene 발생과 종자 발육

초당옥수수는 단옥수수보다 유전적으로 ethylene 발생량이 많고 성숙기까지 계속되어 배유조직이 괴사로 생기는 洞空(cavity)이 더 빨리, 더 크게 생기며, ethylene 발생시기와 배유조직의 괴사가 일치한다. 그 결과 저장양분이 적어 종자의 발아와 유묘의 생육이 늦은 한가지 요인 것으로 생각된다.

#### 2) Ethylene 발생 조절과 종자발육

aminoethoxyvinylglycine (AVG)와 silver thiosulfate (STS)와 같은 ethylene 발생 억제제의 처리는 ethylene 발생을 효과적으로 감소시키고, 성숙기에 엽록소 함량의 감소를 지연시키며, 100립중을 증가시켰다. 한편 ethylene 발생을 조장하는 CEPA 처리는 종자의 ethylene 발생량을 증가시키고, 배유조직의 괴사를 촉진한다. AVG, STS 등 ethylene 발생 억제제의 처리시기, 처리부위, 처리량 등을 더 연구하면 단옥수수와 초당옥수수의 1대잡종 종자를 생산할 때 활용이 가능할 것으로 생각된다.

#### 3) 종자 수확기

2년간 시험에서 단옥수수의 종자활력을 증진시키는 최적 수확기는 출사 후 42일, 초당옥수수는 49일이었다. 수확적기에 수확된 종자는 특히 cold soil test에서 출아율이 높고, 발아속도가 빠르며, 유아의 생육이 촉진되는데 그 원인은  $\alpha$ -amylase 활성이 높고, 입중이 무겁고, 침중 시 당과 전해질의 누출이 적어 종자가 생리적으로 성숙기에 도달하기 때문으로 생각된다. 수확적기보다 수확이 빠르면 종자가 미숙되어 활력이 낮으며, 더 늦게 수확하면 포장에서 종자가 건조되기보다는 장마기에 종자가 수

말아하거나 부패하여 활력이 낮아지기 쉽다. 우리나라에서는 단옥수수과 초당옥수수의 종자생산에 필요한 수확기가 연구되지 않았으므로 채종에 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 4) 건조방법

단옥수수와 초당옥수수 종자를 32°C 송풍식 건조기에서 건조하면 단옥수수와 초당옥수수 모두 온실이나 비가림한 야외에서 건조한 것과 cold soil test에서 출아율, 출아속도 및 유아생육,  $\alpha$ -amylase 활성 등 종자화력은 차이가 나지 않았다. 그러나 종자 수분함량을 10%까지 건조시키는 속도는 송풍식 건조기에서는 4일, 온실과 야외에서는 20일 이상 소요된다. 우리나라에서 단옥수수와 초당옥수수를 채종할 경우 수확기에 장마가 예상되므로 종자활력을 유지하고, 건조노력을 줄이기 위하여 저온에서 화력건조가 필요할 것으로 생각된다. 화력건조할 경우 알맞은 건조온도, 건조속도 등에 관한 연구는 보완되어야 할 것이다.

#### 5) 탈곡방법

손탈곡은 종자수분 함량에 관계없이 기계적 상처가 없지만 기계탈곡할 때는 상처를 받는다. 기계탈곡에 알맞은 종자수분 함량은 단옥수수는 15%, 초당옥수수 12%이었다. 이 때 피해립과 당 및 전해질의 누출량이 가장 적었고,  $\alpha$ -amylase 활성, 25°C에서 발아율 및 cold soil test에서 출아율이 가장 높았다.

현재 종자를 손으로 탈곡하면 cold soil test에서 출아율이 단옥수수는 5-15%, 초당옥수수는 15-20% 향상되므로 종자 값과 인건비를 고려하여 손으로 탈곡하든지, 탈곡기를 이용할 경우 알맞은 종자수분으로 건조하고, 회전속도를 조절할 수 있고 피해립을 줄일 수 있는 탈곡기의 개발이 필요하다.

#### 6) 저장방법

단옥수수는 초당옥수수보다 종자활력이 높았고, 10개월간 종자활력이 비슷한 비율로 서서히 감소되었다. 저장 10개월 후 25°C에서 발아율은 저장조건에 따라 5-10% 감소하였지만 cold soil test에서는 5-20% 낮았다. 그러나 초당옥수수에서는 저장 10개월 후 25°C에서 발아율은 저장조건에 따라 5-40% 감소하였지만 cold soil test에서는 모든 종자의 출아율이 20%이하로 극히 낮았다.

저장조건간에는 RH 70%에서는 5와 15°C 간에 종자활력의 차이가 없었지만 저장조

건 중 종자활력이 가장 높게 유지되었고, 5°C RH 85%에서는 특히 초당옥수수에서 활력이 현저히 감소하였다. 일반창고에서 저장한 종자는 저장 7개월까지는 종자활력이 떨어지지 않았던 것은 겨울을 지나는 동안 기온과 상대습도가 낮게 유지되었기 때문이었다.

단옥수수와 초당옥수수를 국내 채종할 경우 수확·건조한 후 다음 해 파종할 때까지 8-9개월 저장한다. 이 때 저장조건이 5°C RH 70%이면 단옥수수 종자는 완전하게 저장할 수 있으나 초당옥수수는 활력이 현저히 저하되므로 더욱 완전한 저장조건을 연구하여야 할 것이다. 단옥수수 종자도 1년이상 저장할 때는 새로운 연구가 필요하다.

저장기간이 길어질수록 초당옥수수의 발아력이 현저히 감소되는 것은  $\alpha$ -amylase 활성이 급격히 감소하기 때문이었으며, 세포막의 기능이 약화되어 침종시 당과 전해질의 누출량도 많았다.

#### **나. 종자활력 증진방안**

##### **1) Osmoconditioning**

Polyethylene glycol (PEG)를 이용하여 종자처리할 때 알맞은 water potential (WP)은 옥수수 종류에 따라 다르다. 마치종은 0~-0.3 MPa, 단옥수수와 초당옥수수는 -0.3~-0.6 MPa이다. 적정 WP에서 osmoconditioning하면 출아율, 출아속도, 유묘생장을 향상시키는데, 그 원인은  $\alpha$ -amylase 활성, DNA 및 가용성 단백질 함량의 증가와 발아할 때 당과 전해질의 누출의 감소와 관계되는 것으로 생각된다.

##### **2) Matricconditioning**

Vermiculite를 이용하여 matricconditioning할 때 알맞은 수분함량은 옥수수 종류와 종자의 활력에 관계없이 125%이었다. Matricconditioning의 효과는 출아율, 출아속도, 유묘생장,  $\alpha$ -amylase 활성을 향상시키고, DNA 및 가용성 단백질 함량의 증가와 발아할 때 당과 전해질의 누출의 감소와 관계되는 것으로 생각된다. Matricconditioning으로 출아율을 최고 20%까지 향상시킬 수 있어 불량한 종자의 활력증진에 이용할 수 있다.

##### **3) 살균제 처리와 침종**

살균제 (Benlate-T) 처리는 포장 출아율을 약 10%, 침종은 약 6% 증가시켰다. 살



균제를 침종 전이나 후에 처리하여도 효과는 비슷하였다. 살균제 처리는 특히 발아적 온보다 cold soil test에서 효과가 더 크고, 단옥수수보다는 종자 활력이 낮은 초당옥수수에서 더 현저함으로 초당옥수수를 포장에 조기파종할 때는 필수적인 것으로 생각된다.

#### 4) Matricconditioning과 침종

Matricconditioning한 종자는 침종시 수분흡수가 다소 지연되었고, 당과 전해질의 누출량이 적었으며, 반면  $\alpha$ -amylase 활성은 증가되어 25°C에서 발아율과 cold soil test에서 출아율을 현저히 증가시켰다. Matricconditioning 처리와 관계없이 종자활력을 증진시키는 최소 침종시간은 단옥수수는 6시간 초당옥수수는 3시간이었다.

#### 5) GA 처리

단옥수수는  $\alpha$ -amylase 활성이 낮았지만 GA 농도가  $10^{-4}$ M까지는 GA 농도가 높을수록  $\alpha$ -amylase 활성이 증가하였다. 그러나 초당옥수수는 원래 단옥수수보다  $\alpha$ -amylase 활성이 높았고, GA 처리는  $\alpha$ -amylase 활성에 영향을 미치지 않았다. 본 시험에서는 미국에서 수입한 1대잡종 종자를 사용하여 단옥수수와 초당옥수수 종자활력이 97%이상으로 높아 GA처리 효과가 없었다. 그러나 GA처리는  $\alpha$ -amylase 활성이 낮은 노화종자에는 효과가 있으므로 활력이 낮은 종자에 대한 보완시험이 필요하다.

## 2. 협동과제 : 사일리지 옥수수 종자의 수확적기 및 생산성

### 1) 사일리지 옥수수의 종자생산을 위한 수확적기

사일리지 옥수수 1대잡종의 종자생산을 위한 수확적기는 cold soil test에서 출아율과 유아장을 고려하면 수원19호는 출사 후 49일, 광안옥은 70일이었다. 조기수확된 종자는 100립중과  $\alpha$ -amylase 활성이 낮았고, 당과 전해질의 누출량은 많아 종자활력이 낮았다. 그러나 포장에서 입묘수를 같게 하였을 때 (2립 파종하여 3엽기에 1주만 두고 수확)는 3품종 모두 출사 후 56-70일에 수확한 종자의 사일리지 수량이 가장 높았다. 따라서 점파식 파종기를 이용하여 종자를 1개씩 파종할 경우에는 출아율,  $\alpha$ -amylase 활성, 유아생장, 사일리지 수량 등을 함께 고려한 사일리지 옥수수의 수확적기는 출사 후 56일이라고 생각된다.

## 2) 국내 육성품종과 수입종 사일리지 옥수수 생산성

초기생육은 국내 육성품종이 미국 수입종보다 우수하였으며, 초기생육과 사일리지 수량과는 상관이 없었다. 사일리지 수량은 NC+5514와 P-3323은 국내 육성품종보다 많았지만 다른 4개 품종은 수량이 비슷하거나 국내 육성품종보다 더 낮았다. 그래서 사일리지 옥수수 품종을 다양하게 할 경우에는 국내 품종도 적극 보급되어야 할 것으로 생각된다. 국내 육성품종은 종자 값이 수입종의 1/2이하로 싸지만 모두 후기 녹체성이 수입품종보다 불량하여 국내 육성품종을 선호하지 않은 이유의 하나가 된다. 그래서 사일리지 옥수수 품종을 육성할 때는 반드시 후기 녹체성을 개선되어야 할 것으로 생각된다.

# SUMMARY

## Factors Causing Low Seed Quality of Corn Hybrids and Their Improvement

### 1. Factors causing Low Seed Quality of *sugary* and *shrunkened-2* Corn Hybrids and their Improvement

#### A. Factors Causing Low Seed Quality of *sugary* and *shrunkened-2*

Seed quality of *sugary* and *shrunkened-2* corn hybrids is much lower than that of dent corn hybrids, especially under the sub-optimal temperatures and high soil moisture conditions. The lower seed quality of *sugary* and *shrunkened-2* hybrids may come from genetic factors, improper seed maturity, infection of fungi, mechanical damages, and deterioration of seeds during the storage.

#### 1) Ethylene production and seed development

Ethylene production of *shrunkened-2* seeds was much higher and started earlier compared to that of *sugary*. The ethylene production seemed to be related to the death of endosperm tissue to form a cavity above the embryo and might cause reduced starch accumulation in seed.

#### 2) Control of ethylene production and seed development

Application of anti-ethylene chemicals such as aminoethoxyvinylglycine (AVG) and silver thiosulfate (STS) at 9 and 21 days after silking (DAS) reduced ethylene production and increased chlorophyll content and 100-seed weight. Therefore, the anti-ethylene chemical may be utilized in seed production of *sugary* and *shrunkened-2* hybrids if more detailed researches are conducted.

### 3) Optimum harvest time

The optimum harvest time for hybrid seed production of *sugary* and *shrunk-2* was 42 and 49 DAS, respectively according to the results of two years experiments. Hybrid seeds harvested at the optimum time showed higher emergence rate in cold soil test, faster emergence time, and better plumule growth due to a higher  $\alpha$ -amylase activity, higher 100-seed weight, and reduced leakage of sugars and electrolytes.

Immature seeds showed lower seed quality and late harvested seeds may be decayed or germinated in the field in rainy season. This results could be utilized in hybrid seed production of *sugary* and *shrunk-2* in the future.

### 4) Drying of seeds

Drying of seeds in a 32°C air-forced drier showed similar results as drying in a greenhouse or in out door in terms of emergence rate, emergence time, plumule growth, and  $\alpha$ -amylase activity. However, the time to get 10% seed moisture content in a 32°C air-forced drier was four days, while it took more than 20 days in a greenhouse and out door.

Under the Korean environmental conditions *sugary* and *shrunk-2* hybrids may mature in rainy season, so air-forced drying may be better choice to improve seed quality and to save labors to dry seeds.

### 5) Shelling of seeds

Hand shelling did not give any mechanical damages to seeds regardless seed moisture content, while an electrical corn thresher gave some mechanical damages. The optimum seed moisture content to reduce mechanical damages and to improve seed quality by a corn thresher was 15% for *sugary* and 12% for *shrunk-2* seeds. At the optimum seed moisture contents, the number of damaged seeds and leakage of total sugars and electrolytes were minimized and  $\alpha$ -amylase activity, germination rate at 25°C, and emergence rate in cold soil test were highest.

Hand shelling improved emergence rate by 5-15% for *sugary* and 15-20% for *shrunk-2* in cold soil test, but requires more labor. The way of shelling should

be decided by considering seed quality, seed price, and labor cost. For mechanical shelling an appropriate corn thresher should be introduced to reduce seed damages.

### **6) Seed storage**

Seed quality of *sugary* was higher than that of *shrunkened-2* and it decreased steadily a little for 10 months storage period. After 10 months storage, germination rate decreased by 5-10% at 25°C depending on storage conditions, while emergence rate decreased by 5-20% in cold soil test. In contrast, during the same period, germination rate of *shrunkened-2* decreased by 5-40% at 25°C, while emergence rate was extremely low in cold soil test (less than 20%).

Seed quality was maintained highest at RH 70% regardless temperatures and at 5°C and RH 85% *shrunkened-2* seeds deteriorate severely. Seed quality was not reduced in ware house during the first seven months because of low temperature and low relative humidity over winter time.

When hybrid seeds of *sugary* and *shrunkened-2* are produced commercially in Korea, they should be stored more than eight months before planing in the next season. Hybrid seeds of *sugary* may be stored at RH 70% at temperatures between 5 and 15°C, while other suitable seeds storage conditions should be studied for *shrunkened-2* seeds.

Seed deterioration of *shrunkened-2* seeds during storage was largely due to a rapid decrease in  $\alpha$ -amylase activity.

## **B. Improvement of Low Seed Quality of *sugary* and *shrunkened-2***

### **1) Osmoconditioning**

The optimum water potential (WP) of polyethylene glycol for osmoconditioning of corn seeds differed depending on genotype; 0~-0.3 MPa for dent corn and -0.3~-0.6 MPa for *sugary* and *shrunkened-2* seeds. The higher emergence rate, faster emergence speed, and better plumule growth of seeds osmoconditioned at the optimum WP were due to an increased  $\alpha$ -amylase activity, and DNA and soluble protein contents, while reduced leakage of total sugars and electrolytes.

## 2) Matriconditioning

The optimum moisture content of vermiculite for matriconditioning of corn seeds was 125% regardless genotype. Matriconditioning increased emergence rate, emergence speed, plumule growth,  $\alpha$ -amylase activity, and DNA and soluble protein contents, while reduced leakage of total sugars and electrolytes. At the optimum WP of matriconditioning, the emergence rate can be improved by 20%. Thus, matriconditioning could be utilized to improve quality of poor seeds.

## 3) Fungicide treatment and seed soaking

Treatment of a fungicide (Benlate-T) increased field emergence rate by 10% and seed soaking increased it by 6%. The field emergence rate of *sugary* and *shrunkened-2* seeds was not affected by the time of fungicide, either before or after seed soaking.

The effect of the fungicide on the emergence rate of *sugary* and *shrunkened-2* seeds in cold soil test was greater than at 25°C and it was greater in *shrunkened-2* compared to *sugary*. Thus, seed treatment of fungicide is essential for *shrunkened-2* production especially in early planting.

## 4) Matriconditioning and seed soaking

Matriconditioning of seeds delayed water uptake a little, reduced leakage of total sugars and electrolytes, while increased  $\alpha$ -amylase activity, germination rate at 25°C, and emergence rate in cold soil test. The optimum duration of seed soaking was three hours for *sugary* and six hours for *shrunkened-2* seeds regardless seed matriconditioning.

## 5) GA treatment

The  $\alpha$ -amylase activity of *sugary* was low, but it increased as concentration of GA increased up to  $10^{-4}$ M. However, the  $\alpha$ -amylase activity of *shrunkened-2* seeds was high and GA did not affect on  $\alpha$ -amylase activity.

In this experiment commercial F1 hybrids of *sugary* and *shrunkened-2* were imported from the United States and seed quality was extremely high (germination

rate at 25°C and emergence rate in cold soil test was higher than 97%). Thus, GA treatment was not effective to improve seed quality. However, GA treatment could be effective to low quality seeds.

## **2. Optimum Harvest Time for Seed Production and Productivity of Silage Corn Hybrids**

### **1) Optimum harvest time for the seed production of silage corn hybrids**

The optimum harvest time for F1 hybrid seed production of Suwon19 and Suwonok was 49 DAS and for that of Kwanganok was 70 DAS considering emergence rate and plumule height in cold soil test. Early harvest caused a lower 100-seed weight and  $\alpha$ -amylase activity, while higher leakage of total sugars and electrolytes.

In contrast, silage yield of seeds harvested 56-70 DAS was highest when percent stand was maintained high by planting two seeds in a hill and removed to leave one plant at 3-leaf stage in all hybrids. Therefore, the optimum harvest time could be 56 DAS considering field emergence rate,  $\alpha$ -amylase activity, plumule growth, and silage yield when a single seed planter is used.

### **2) Silage productivity of Korean improved and imported corn hybrids**

Early growth of Korean hybrids was better than that of all imported hybrids, but early growth was not correlated to the silage yield. Silage yield of NC+5514 and P-3323 was higher compared to Korean hybrids, while silage yield of the rest four imported hybrids was similar or less than Korean hybrids. Seed price of Korean hybrids was less than half of the imported hybrids. Therefore, Korean hybrids should be recommended to silage corn growers when they want to grow many different hybrids. However, leaf senescence of Korean hybrids at harvest time should be improved through a breeding program.

# CONTENTS

<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	18
Sec. 1. Subject of research .....	18
Sec. 2. Necessity of research .....	19
Sec. 3. Forward system of research development .....	22
<b>Chapter 2. Situation of International Technology Development</b> .....	23
Sec. 1. Situation of international technology development .....	23
Sec. 2. ....	25
Sec. 3. Future vision .....	25
Sec. 4. Reasonability of technology introduction .....	26
<b>Chapter 3. Contents and Results</b> .....	27
Sec. 1. Factors causing low seed quality of <i>sugary</i> and <i>shrunk-2</i> Corn .....	27
1. Ethylene production and seed development .....	27
2. Control of ethylene production and seed development .....	34
3. Optimum harvest time .....	43
4. Drying of seeds .....	55
5. Shelling of seeds .....	61
6. Seed storage .....	68
Sec. 2. Improving of low seed quality of <i>sugary</i> and <i>shrunk-2</i> .....	81
1. Osmoconditioning .....	81
2. Matricconditioning .....	92
3. Fungicide treatment and seed soaking .....	105
4. Matricconditioning and seed soaking .....	110
5. GA treatment .....	118
Sec. 3. Optimum harvest time and productivity of silage corn .....	122
1. Optimum harvest time and productivity of silage corn hybrids .....	122
2. Silage productivity of Korean improved and imported corn hybrids .....	130
<b>Chapter 4. Achievement and Contribution for the Results</b> .....	140
<b>Chapter 5. Application Plans for the Results</b> .....	144
<b>Chapter 6. References</b> .....	145



# 목 차

<b>제 1 장 연구개발과제의 개요</b> .....	18
제 1 절 연구개발의 목적 .....	18
제 2 절 연구개발의 필요성 .....	19
제 3 절 연구개발 추진체계 .....	22
<b>제 2 장 국내외 기술개발 현황</b> .....	23
제 1 절 국내·외 관련분야에 대한 기술개발현황 .....	23
제 2 절 현기술상태의 취약성 .....	25
제 3 절 앞으로의 전망 .....	25
제 4 절 기술도입의 타당성 .....	26
<b>제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과</b> .....	27
제 1 절 단옥수수과 초당옥수수의 종자활력 저하 원인구명 .....	27
1. 옥수수 종자의 ethylene 발생과 종자발육 .....	27
2. 초당옥수수의 ethylene 발생 조절제 처리와 종자발육 .....	34
3. 단옥수수와 초당옥수수의 종자생산을 위한 수확적기 .....	43
4. 단옥수수와 초당옥수수의 건조방법에 따른 종자 특성과 활력검정 .....	55
5. 단옥수수와 초당옥수수의 탈곡방법에 따른 종자 특성과 활력검정 .....	61
6. 단옥수수와 초당옥수수의 저장방법에 따른 종자특성과 활력검정 .....	68
제 2 절 단옥수수와 초당옥수수의 종자활력 증진방법 탐구 .....	81
1. Osmoconditioning 처리에 의한 단옥수수와 초당옥수수의 종자활력 증진과 생리적 변화 .....	81
2. Matricconditioning에 의한 종자 활력증진과 생리적 특성변화 .....	92
3. 단옥수수와 초당옥수수의 살균제 처리와 침중에 따른 종자활력 증진 .....	105
4. 단옥수수와 초당옥수수의 Matricconditioning 처리와 무처리 종자의 침중방법에 의한 종자특성과 활력 검정 .....	110
5. 단옥수수와 초당옥수수의 GA 처리에 의한 종자 활력 증진방법 연구 .....	118
제 3 절 사일리지용 옥수수의 성숙기별 종자활력 및 특성 .....	122
1. 사일리지용 옥수수 장려품종의 종자생산을 위한 수확적기 구명 .....	122
2. 국내 육성품종과 수입종 사일리지용 옥수수의 생산성 .....	130
<b>제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도</b> .....	140
<b>제 5 장 연구개발결과의 활용계획</b> .....	144
<b>제 6 장 참고문헌</b> .....	145

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

### 제 1 절 연구개발의 목적

- 1) 옥수수 종자의 내적 발육 저해원인 구명
- 2) 단옥수수, 초당옥수수, 사일리지 옥수수의 종자생산을 위한 수확적기 구명
- 3) 단옥수수와 초당옥수수의 priming 처리에 의한 종자활력 증진 방법 개발
- 4) 단옥수수와 초당옥수수의 종자활력을 높이는 건조, 탈곡, 저장방법
- 5) 단옥수수와 초당옥수수의 종자활력을 높이는 살균제, 침종, GA 처리방법
- 6) 사일리지 옥수수의 국내 육성품종과 수입종의 생육특성, 수량성 및 품질 검정

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 단·초당옥수수, 사일리지 옥수수의 종자생산을 위한 수확적기</li> <li>○ Priming 처리에 의한 종자 활력 증진 방법 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 모본, 부분 교배로 생산된 1대잡종 종자의 성숙기별 당과 전해질 누출 등 종자특성 및 발아율과 출아율 검정</li> <li>○ Osmoconditioning, matricconditioning 처리 종자의 종자활력 검정</li> </ul>
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 종자의 내적 발육저해 원인 구명</li> <li>○ 건조방법, 탈곡방법에 따른 종자 특성과 활력검정</li> <li>○ 사일리지 옥수수의 성숙기별 포장에서 초기생육 및 생산성 검정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 종자 발육과정 중 종자 내 ethylene 발생, 배와 배유 발육 등 조사</li> <li>○ 자연, 온실, 건조기 등 건조방법과 탈곡방법에 따른 당과, 전해질 누출, 발아율, 출아율 등 종자특성 조사</li> <li>○ 사일리지 옥수수 1년차에 생산된 성숙기별 종자와 도입종의 생산성 비교</li> </ul>
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저장방법</li> <li>○ 살균제 처리 방법</li> <li>○ 침종방법</li> <li>○ GA 처리에 의한 종자활력</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 저장조건과 저장기간에 따른 종자활력</li> <li>- Matricconditioning과 침종시간별 종자활력</li> <li>- Benlate-T처리와 침종에 따른 종자활력</li> <li>- GA 처리에 따른 종자활력</li> </ul>

## 제 2 절 연구개발의 필요성

### 1. 기술적 측면

#### 가. 단옥수수과 초당옥수수

1) 단옥수수와 초당옥수수는 국내에서 종자의 생산기반이 전혀 없어 값비싼 종자를 전량 외국에서 수입하고 있음. 작물시험장과 경북대, 동국대 등 일부 대학교수에 의하여 새로운 품종의 육성에 노력하고 있으나 출아율이 낮아 어려움이 큼. 특히 초당옥수수는 최악의 종자를 파종하더라도 출아율이 극히 낮아 일정량의 입묘율을 확보하기 위하여 3-4개의 종자를 파종하고 2-3엽기에 1포기만 두고 솟아주므로 종자비와 노력비가 많이 소요될 뿐 아니라 때로는 종자활력이 극히 낮아 수량이 크게 감소됨. 초당옥수수는 당도가 높고, 수확적기와 유통기간이 길어 선진국에서 생식용은 모두 단옥수수에서 초당옥수수로 대체되었으며, 우리나라에서는 단옥수수와 초당옥수수가 비슷한 면적에서 재배되지만 점차 초당옥수수의 선호도가 높아가므로 초당옥수수의 종자의 활력이 떨어지는 원인 구명과 그 대책이 시급함 (김, 1997, 1998, 1999; 서 등, 2002).

2) 초당옥수수의 유전적으로 종자활력이 낮고, 수확기, 건조방법, 탈곡방법, 저장방법, 파종시 온도와 토양수분 등에 따라 발아율 및 출아율이 단옥수수나 사일리지 옥수수 품종에 비하여 현저히 낮을 수 있음. 그리고 표준발아시험 (25℃ 발아상)에서 발아율이 높은 종자도 포장 또는 저온발아시험 (토양에서 2.5cm 복토한 후 10℃에서 7일 그 후 25℃ 10일)에서는 출아율이 낮은 경우가 많아 (Bennett 등, 1988), 초당옥수수 종자활력의 평가는 cold soil test가 필요하지만 표준발아시험의 결과로 평가하는 경우가 많음.

#### 나. 사일리지 옥수수

1) 우리나라에서 옥수수 사일리지용으로 이용되는 마치종의 경우 미국 수입종은 국내 육성종보다 초기생육이 왕성하고, 후기 녹체성이 좋으며, 사일리지 수량이 많을 것이라고 생각하여 축산농가는 종자 값이 비싼 수입종을 선호하고 있음. 한편으로는 국내의 종자 생산량이 부족하여 대부분 수입종을 재배하고 있어 (이, 1998a) 국내산 종자의 자급률을 높이기 위하여 보통옥수수의 초기생육을 높일 수 있고, 후기 녹체성을 높이며, 수량을 높일 수 있는 품종과 수확적기 구명 등 채종기술 및 우수한 국내

장려품종과 수입종의 사일리지 수량성, 품질 및 기타 재배적 특성의 비교가 필요함.

2) 국내산 옥수수 품종과 수입종의 생육특성과 수량성이 다른 것은 유전적인 배경은 물론 채종한 종자의 품질과 관계도 있을 것으로 생각됨. 즉, 국내산 보통옥수수는 종실용 옥수수와 같이 출사 후 45-50일에 수확하고 있음 (홍천옥수수시험장). 그러나, 미국에서는 출사 후 35-98일 사이에서는 수확기간에 발아율은 큰 차이가 없지만 포장에서 출아율과 초기생육이 좋은 출사 후 65일경에 수확하며, 수확적기는 품종과 재배지역에 따라 다름 (Knittle & Burris, 1976).

우리나라의 환경조건에서 보통옥수수 1대 잡종 종자의 활력을 높일 수 있는 수확적기에 관한 연구가 필요하며, 알맞은 성숙기에 종자를 수확하면 국내산 보통옥수수도 미국산 수입종과 같이 초기생육이 촉진되고, 수량성도 향상되어 경쟁력을 높일 수 있을 것으로 생각됨.

## 2. 경제·산업적 측면

### 가. 단옥수수와 초당옥수수

1) 단옥수수와 초당옥수수는 국내에서 종자생산 기반이 구축되지 않아 전량을 미국에서 수입하고 (단옥수수 73,000  $\ell$  x 10,000원 = 7억 3천만원, 초당옥수수 37,000  $\ell$  x 25,000 = 9억 3천만원), 종자 값이 비싸서 종자 수입에 연간 약 16억 5천만원이 소요됨 (이, 1998).

단옥수수와 초당옥수수는 작물시험장과 일부 대학교에서 품종을 개발하고 있지만 종자의 발아율, 출아율이 낮아 우수계통의 평가가 어려움. 그러나, 과학적인 근거에 의하여 알맞은 수확기, 건조방법, 탈곡방법, 저장방법 등이 결정되고, 종자활력 증진방법이 개발되면 우리나라에서 단옥수수 및 초당옥수수의 육종 및 채종체계를 확립할 수 있음. 사실, 수입종과 경쟁할 수 있는 우수계통이 육성되고 있으므로 (김, 1997, 1998, 1999) 종자활력 문제가 해결되고, 정책적인 배려나 관심있는 종자회사가 있으면, 단옥수수와 초당옥수수의 국내 채종도 가능할 것으로 보임. 단옥수수와 초당옥수수의 종자는 미국에서 생산된 종자를 일본 대리점을 통하여 수입하고 있어 값이 비싸고, 저장 및 수송 중 종자활력이 쉽게 떨어져 해에 따라서는 수입 후 전량을 보급하지 않기도 하여 안정된 종자공급을 위하여 국내 채종이 필요함.

2) 수입한 단옥수수와 초당옥수수 종자를 농민이 재배할 때는 침종 후 최아하였을

때 발아율과 최아된 종자를 포장에 파종하였을 때 출아율을 함께 고려하면 입묘수의 2-4배의 종자가 필요함. 그러나, priming 원리를 이용한 침종방법과 종자 농약처리방법을 개선하여 종자의 발아율과 출아율을 향상시키면 종자 소요량을 현저히 줄일 수 있고, 안정적인 재배가 가능함.

#### 나. 사일리지 옥수수

1) 우리나라에서 최근 옥수수 재배면적은 사일리지용 보통옥수수 약 10만 ha (종실용 보통옥수수는 약 3천 ha), 단옥수수, 초당옥수수, 찰옥수수 등 풋옥수수가 1만 3천-1만 5천ha임 (홍천옥수수시험장, 2001).

2) 종자공급 현황(1998년)을 보면 보통옥수수는 연간 국내 생산 179톤, 미국 수입 1,263톤으로 모두 1,442톤임. 종자가격은 수원 19호와 광안옥은 3,397원/kg, 횡성옥은 1,667원/kg, 수입종인 Pioneer 3352은 11,000원/kg으로서 수입종자 가격은 국내산보다 3.2-6.6배 비싸고, 수입 금액은 약 139억 원임 (이, 1998).

국가 정책적으로 강원도와 같이 이미 옥수수 1대잡종 종자생산의 경험이 있고, 기후, 토양 등이 옥수수 재배에 알맞은 곳에서 옥수수 재종을 하면 수입하는 종자 값이 비싸므로 곡실용 옥수수나 다른 곡물을 생산하는 것보다 경쟁에 훨씬 유리하여, 국내 종자의 자급은 물론 수출의 전망도 밝음.

### 3. 사회·문화적 측면

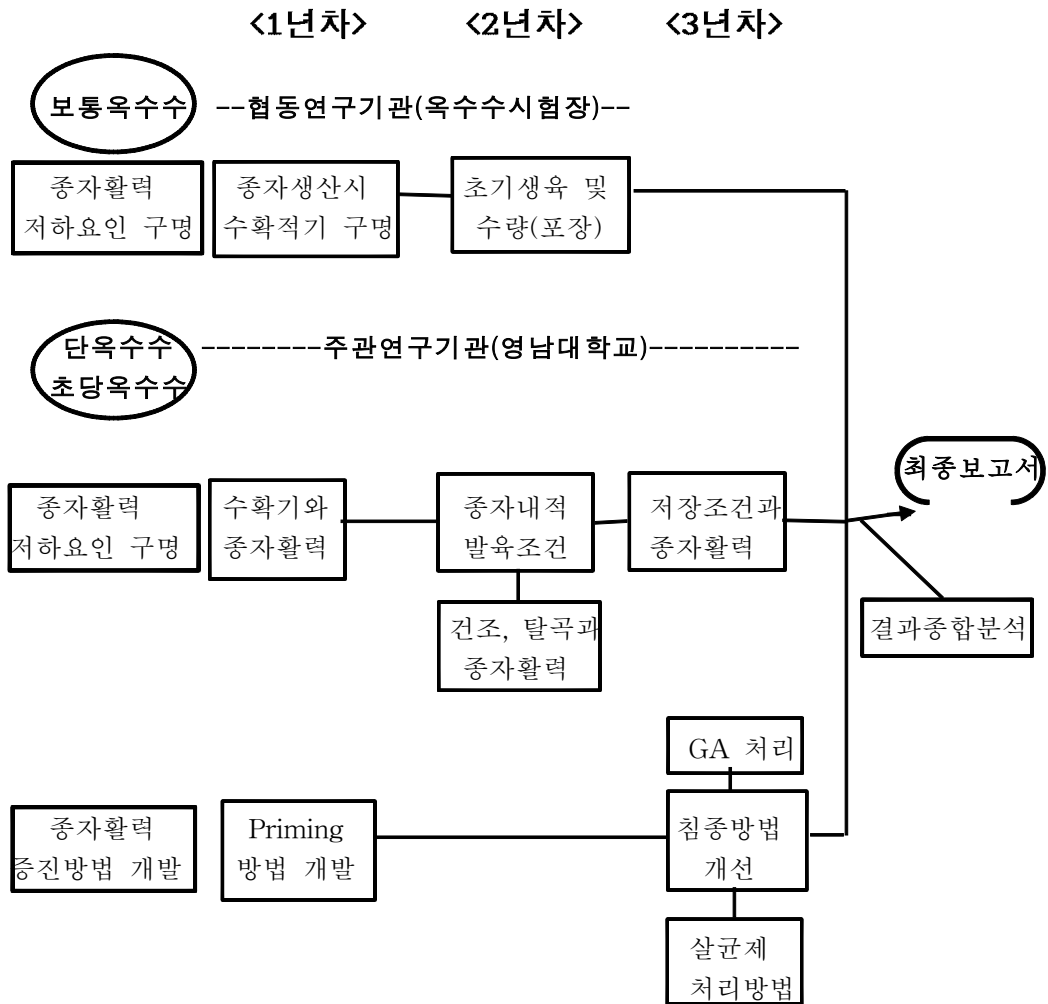
가. 국민소득의 증가로 식생활이 다양해지면서 생식용으로 찰옥수수, 단옥수수, 초당옥수수 등 풋옥수수의 수요가 증가함.

나. 우리나라 국민 중 장·노년층은 찰옥수수를 선호하지만 청소년층은 단옥수수와 초당옥수수를 선호함.

다. 단옥수수는 단맛이 적고, 수확 후 단맛이 빨리 없어지나 초당옥수수는 단맛이 장기간 유지됨.

라. 미국에서는 풋옥수수가 주년 공급되며, 우리나라에서도 장기간 공급하는 생사간 및 유통체계가 요구됨.

### 제 3 절 연구개발 추진체계



## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 국내·외 관련분야에 대한 기술개발현황

#### 1. 국내에서의 연구개발 실적

가. 국내에서는 옥수수 채종시 수확기 결정에 관한 시험 없음.

나. 발아율을 높이기 위하여 단옥수수는 10-30℃에서 3-6시간, 초당옥수수는 3 시간 침종 시킨 후 25-30℃에서 싹이 1-2mm되도록 최아시켜 파종하나 (정 등, 1996) 포장에서 출아율이 낮아 알맞은 재식밀도 유지가 어려움.

다. 종자에 Captan, Thiram 등 살균제를 분의 처리함.

라. 우리나라에서 Seo 등 (2002)는 미국에서 시판되는 1대잡종의 포장 출아율은 경우 단옥수수는 74-100%, 초당옥수수는 79.9-98.2% 이었다.

#### 2. 국외에서의 연구개발 실적

가. 단옥수수는 *sugary1 (su1)* 유전자에 지배되며, 종자의 당 함량이 보통옥수수 보다 높지만 전분축적이 적어 발아율이 다소 낮음. 그러나 초당옥수수는 *shrunkn-2 (sh2)*, *brittle2 (bt2)*, *sugary enhancer1 (sulse1)*에 지배되는 돌연변이체로 종자의 당 함량은 단옥수수보다 2-3배 높고, 전분축적이 현저히 적고, 발아율이 낮음. 자식계통의 경우 단옥수수의 발아율은 42.0-96.0%, 초당옥수수 11.0-68.0% (Young et al, 1997)

나. 단옥수수와 초당옥수수는 종자 발육과정에서 ethylene 발생하여 배유세포가 죽어 전분축적이 억제되고, DNA fragmentation이 증가함. 외부에서 처리한 ethylene은 세포괴사를 촉진하고, 전구물질인 CCC의 생산을 억제하는 aminoethoxyvinyl glycine (AVG)은 DNA fragmentation 감소함 (Young 등, 1997)

다. 마치종 모본의 발아율은 출수 후 20일까지는 아주 급격히 증가하였고, 20-42일까지는 발아율이 100%이었으나 유묘의 건물중은 출사 후 42일까지 등숙기간이 길수록 증가 (Styer 등, 1980).

라. 마치종의 1대잡종 생산 시 발아율은 출사 후 35-95일까지 차이가 없었으나 유근과 유아의 생장은 재배지역과 모본에 따라 46-65일까지 증가 (Knittle & Burris, 1976).

마. 단옥수수과 초당옥수수는 출사 후 18-30일까지는 입중과 발아율이 증가하나 포장과 저온발아 시험에서 출아율과 유묘생장은 출사 후 75일까지 증가 (Bennett 등, 1988; Churchill & Andrew, 1984; Sprague, 1936; Styer & Cantliffe, 1983; Styer 등, 1980; Willson & Trawatha, 1991).

바. 단옥수수와 초당옥수수 종자는 당 함량이 많아 건조속도가 늦고, 병원균이 번식하기 쉬워 등숙기에 강우가 있으면 종자활력이 오히려 저하되는 경우도 많음 (Styer & Cantliffe, 1983).

사. 탈곡이나 기계파종 할 때 받은 상처로 활력이 저하함 (Peterson 등, 1995).

아. 저장 중 상대습도와 온도가 높은 조건에서 저장하면 종자활력이 크게 떨어짐 (Moreno- Martinez 등, 1998; Chang & Sung, 1998).

자. 단옥수수와 초당옥수수는 배유에 전분축적이 많지 않아 종자가 발아할 때 필요한 저장양분이 적어 발아율이 낮음 (He & Burris, 1992).

차. 단옥수수와 초당옥수수는 수분흡수 속도가 빨라 그 압력으로 세포막이 상처를 받으므로 종자활력이 떨어짐 (Tracy & Juvik, 1988).

카. 탈곡, 파종 등 작업시 종자에 금이 가면 그 상처를 통하여 전해질과 당이 누출됨 (Styer & Cantliffe, 1983).

타. 온도가 낮을 때 파종하면 옥수수는 스트레스를 받아 생육이 억제되거나 저온에서 자라는 *Fusarium*, *Phythium*, *Penicillium* 등 토양전염 병원균은 왕성하게 번식하여 종자가 발아한 후 어린묘의 입고병 발생으로 출아율이 낮아짐 (Perera & Cantliffe, 1991; Mohan & Wilson, 1990).

파. 활력이 낮아진 단옥수수와 초당옥수수 종자는 osmoconditioning (Murray, 1990), solid matrix priming (Parera & Cantliffe, 1991, 1994), presowing hydration (Bennett & Waters, 1987; Gerber & Caplan, 1989) 등 종자처리를 하면 물을 흡수할 때 받는 상처를 회복시켜 당과 전해질의 누출을 감소시켜 출아율을 높이고, 발아일수를 단축시키며, 유묘생장을 향상시킴

하. 단옥수수 종자는 물에 침중하는 것보다 Tera-Sorb 이란 물 흡수를 조절하는 처리를 하면 발아가 빠르고, 발아율이 현저히 높음 (Sabata 등, 1987)

거. 토양전염병원균을 억제하는 *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum*과 같은 길항미생물이나 (Callan 등, 1990; Harman & Taylor, 1989) Captan, Thiram과 같은 살균제 처리는 포장이나 저온발아시험에서 출아율 높임.



## 제 2 절 현기술상태의 취약성

가. 채종 종자의 수확기는 시험성적 없이 보통옥수수는 출사 후 50일, 단옥수수와 초당옥수수는 30일에 수확함 (작물시험장 및 옥수수시험장 문의). 그러나, 외국의 연구에서 본 바와 같이 발아율, 출아율, 유효생장을 함께 고려하여 현재 수확기보다 더 늦게 수확해야 함.

나. 우리나라에서 발아율을 높이기 위하여 단옥수수는 10-30℃에서 3-6시간, 초당옥수수는 3시간 침종시킨 후 25-30℃에서 싹이 1-2mm되도록 최하시켜 파종함 (정 등, 1996). 이 때 단옥수수는 발아에 큰 문제가 없으나 초당옥수수는 발아율이 67-73%이고, 또, 최아된 종자만 포장에 발아하였을 때도 단옥수수와 초당옥수수 모두 입묘율이 극히 낮으므로 (김, 1997, 1998, 1999) 종자 priming 기술을 응용하여 포장에서 출아율을 높일 수 있는 방법이 연구되어야 함. 종자를 물에 침종하면 imbibition injury가 생기고, 활력이 낮은 단옥수수나 초당옥수수 종자는 상처를 회복 못하여 피해를 받을 가능성이 크므로 priming하여 수분흡수 속도를 조절하고, 생리적 활성을 증가시키면 발아율과 출아율을 향상시킬 가능성이 있음.

다. 살균제를 처리한 종자를 물에 3-6시간 침종하였을 때 농약이 종자에서 씻겨 나가고, 포장에 파종하면 토양 병균이 침입하여 출아율이 낮을 가능성이 큼. 그래서, 살균제를 침종 후 혹은 최아 후에 처리하면 포장에서 출아율을 현저히 증가시킬 수 있는 가능성이 있음.

## 제 3 절 앞으로의 전망

가. 단옥수수와 초당옥수수의 육성계통의 합리적인 평가와 국내 채종기술을 개발할 수 있음.

다. 단옥수수와 초당옥수수 종자활력을 높일 수 있는 priming 기술 개발

라. 단옥수수와 초당옥수수의 알맞은 침종방법 개발

마. 저온에서도 출아율을 높일 수 있는 입고병 방제방법 개발

바. 종자활력과 종자의 생리현상과의 관계 이해

사. 마치종, 단옥수수, 초당옥수수의 채종, 종자관리 기술이 개발되어, 옥수수 종자의 국내 자급율 향상과 수출 가능

자. 마치종 장려품종의 1대잡종 종자 생산 시 수확적기가 결정되면 초기생육과 수량은 증가되고, 농민은 값싼 국내산 선택하게 될 것임. 그러면, 농민은 경쟁력이 있는 체종사업을 할 수 있고, 축산농가는 종자 값을 줄일 수 있음.

#### 제 4 절 기술도입의 타당성

가. 옥수수 1대잡종 종자의 생산에 알맞은 수확적기는 품종, 기후, 토양, 지역 등에 따라 다르므로 선진기술을 직접 적용할 수 없고, 현장에서 실증해야 함.

나. 미국에서는 모든 옥수수를 직파함. 한편, 우리나라에서는 노동집약적이지만 조기수확하기 위하여 단옥수수와 초당옥수수는 최아하여 직파하거나 포트에 육묘하여 이식하므로 우리 실정에 알맞은 기술을 자체 개발하여야 함.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 단옥수수과 초당옥수수의 종자활력 저하 원인구명

#### 1. 옥수수 종자의 ethylene 발생과 종자발육

##### 가. 연구목적

단옥수수와 초당옥수수는 보통옥수수와는 달리 배유에 전분이 충분히 축적되지 않아 종자활력이 낮은 원인의 하나가 되고 있다. 전분축적이 많이 되지 않은 것은 종자 발달과정에 ethylene 생성으로 배유세포가 괴사하기 때문으로 알려져 있다. 본 시험에서는 옥수수 종류별 ethylene 발생시기와 발생량을 알아보고 종자의 발육과의 관계를 구명코자 함.

##### 나. 재료 및 방법

###### 1) 공시품종

가) 보통옥수수: NC 7117

나) 단옥수수: Early Sunglow (♀) x GCB 70 (♂)의 교잡종

다) 초당옥수수: Extrasweet 82 (♀) x Fortune (♂)의 교잡종

※ 1대잡종 종자를 생산할 자식계통을 얻지 못하여 출사기가 비슷한 미국에서 시판되는 1대잡종 종자를 이용하여 복교잡종을 만들었음.

2) 종자 수확기: 출사 후 21, 28, 35, 42, 49, 56일

###### 3) 배와 배유의 발달

생육시기별로 종자 30립의 과피를 제거한 후 배와 배유를 분리하여 80℃ 송풍식 건조기에서 3일간 건조시킨 후 배와 배유의 무게를 측정.

###### 4) 종자의 발달 과정

종자 30립을 폭이 좁은 쪽을 길이로 2 mm 두께로 잘라 0.02 % Brilliant blue R

250으로 30초간 염색한 후 증류수로 세척하여 사진 촬영.

### 5) Ethylene 측정

암이삭을 수확하여 종자가 상처를 입지 않도록 조심하여 분리하였다. 그 종자를 젖은 paper towel 위에 놓고 wound respiration을 없애기 위하여 27°C incubator에서 1시간 동안 놓아둔 종자 15립을 50-mL 주사기에 넣고 50 mL로 volume을 맞춘 후 고무 septum으로 막아 27°C에서 3시간 ethylene을 발생시켰다. 주사기 내의 공기 1 mL을 뽑아 gas chromatography (GC)(DS 6200, Donam Instruments, Inc, Korea)로 분석하였다. GC의 조건은 Porapak-Q column, FID detector, injector 온도 110°C, oven 온도 70°C, detector 온도 170°C 이었으며, flow rate는 N<sub>2</sub> 30 mL/sec, H<sub>2</sub> 30 mL/sec, air 300 mL/sec 이었다.

### 나. 결과 및 고찰

#### 1) 배, 배유 및 종자 무게의 변화

출사 후 21일부터 56일까지 마치종, 단옥수수 및 초당옥수수의 배와 배유의 발달을 보면 표 1-1-1 및 그림 1-1-1과 같다.

Table 1-1-1. Changes in dry weight of embryo and endosperm of dent, *sugary*, and *shrunken-2* seeds. (g/100 seeds)

Days after silking	Dent			<i>sugary</i>			<i>shrunken-2</i>		
	Embryo	Endosp.	Total	Embryo	Endosp.	Total	Embryo	Endosp.	Total
21	0.5 f <sup>1)</sup>	10.3 e	10.8 f	1.8 e	14.6 c	16.4 d	0.6 e	6.8 c	7.4 d
28	0.9 e	12.8 d	13.7 e	1.9 e	14.6 c	16.5 d	1.2 d	8.6 ab	9.9 c
35	1.6 d	17.5 c	19.1 d	3.4 d	17.3 ab	20.7 c	2.9 c	8.7 ab	11.7 ab
42	2.3 c	19.7 b	22.0 c	3.7 c	17.6 a	21.3 b	3.4 b	9.2 a	12.6 a
49	2.6 b	21.1 b	23.7 b	4.4 b	17.6 a	22.0 a	3.9 a	8.1 b	12.0 ab
56	2.9 a	23.7 a	26.7 a	4.6 a	17.2 b	21.8 a	3.9 a	8.0 b	11.6 b

<sup>1)</sup> Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan Multiple Range Test (DMRT).

가) 배의 무게; 마치종과 단옥수수에는 출사 후 56일까지, 초당옥수수는 49일까지 배의 무게가 증가하여 초당옥수수의 마치종과 단옥수수보다 배가 빨리 성숙되었다. 출사 후 56일에 배의 무게는 마치종 < 초당옥수수 < 단옥수수의 순으로 컸다.

나) 배유의 무게; 마치종은 출사 후 21일에 배유무게는 단옥수수보다 적었으나 출사 후 56일까지 계속 증가하여 출사 후 56일에는 가장 많았다. 단옥수수는 출사 후 21일에는 마치종보다 배유 무게가 많았으나 35일 이후에는 더 증가하지 않아 단옥수수는 종자발달 초기에는 배유 무게가 마치종보다 빨리 증가되었다. 초당옥수수는 출사 21일에 배유 무게가 가장 적었으며, 배유 무게가 출사 후 28일까지만 증가하였다. 출사 후 56일에 배유의 무게는 초당옥수수 < 단옥수수 < 마치종의 순으로 컸다.

다) 배와 배유의 무게; 과피를 제외한 배와 배유의 무게는 마치종은 출사 후 56일, 단옥수수는 49일, 초당옥수수는 35일까지 증가하였다. 출사 후 56일에 후 배와 배유를 합한 무게는 초당옥수수 < 단옥수수 < 마치종의 순으로 컸다.

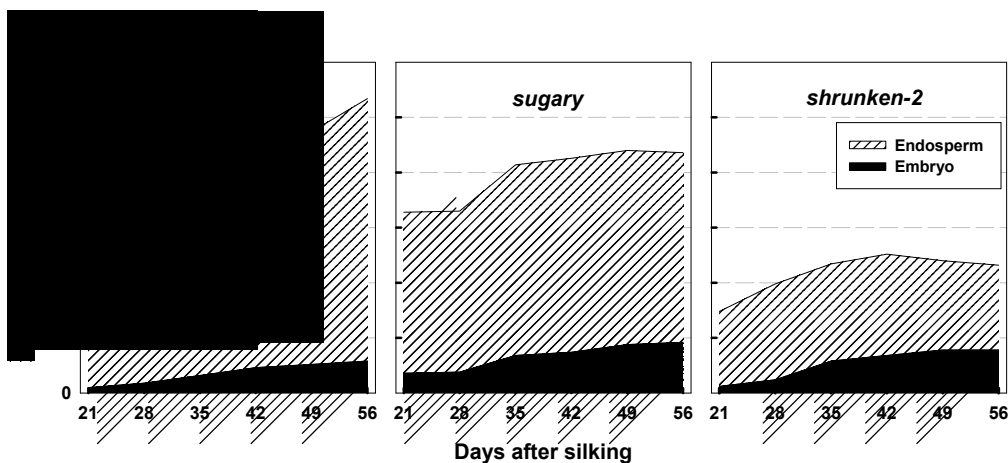


Fig. 1-1-1. Changes in embryo and endosperm dry weight of dent, *sugary*, and *shrunken-2* seeds.

#### 라) 배 비율

배와 배유를 합한 무게 중에서 (과피는 제외하였음) 배가 차지하는 비율을 보면 그림 1-1-2와 같다.

(1) 마치종은 출사 후 21일부터 42일까지는 배의 비율이 직선적으로 증가 하였

지만 그 이후에는 크게 변하지 않았다. 이것은 출사 후 21일부터 42일까지는 배의 성장속도가 배유의 성장속도보다 더 빨랐지만 그 이후에는 배와 배유가 같은 속도로 증가하였기 때문으로 생각된다.

(2) 단옥수수(Shrunken-2)는 출사 후 21일에 배의 비율이 약 11%로서 다른 옥수수보다 높았고 그 후 출사 후 56일까지 배의 비율이 증가하였다. 이것은 배는 출사 후 56일까지 계속 증가하였지만 배유는 출사 후 35일까지 증가하였기 때문이었다.

(3) 초당옥수수(Dent)는 출사 후 21일부터 49일까지 배의 비율이 급격히 증가하였는데 이것은 배는 계속 증가하지만 배유는 출사 후 28일 이후에는 증가하지 않았기 때문이었다.

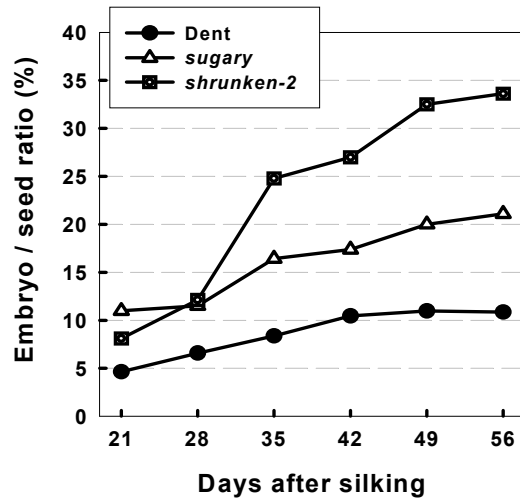


Fig. 1-1-2. Changes in embryo/seed ratio of dent, sugary, and shrunken-2 seeds.

## 2) 배 및 배유의 내부형태 변화

출사 후 종자 발달과정에 따른 종자 내부의 형태적 특성을 보면 사진 1-1-1과 같다. 종자를 수확한 직후에 수분이 많을 때 표본을 만들었기 때문에 옥수수 종류별 크기는 비슷하였다.

가) 마치종은 출사 후 21일에 이미 종자 頂部로부터 1/3되는 곳에 동공 (cavity)이 생겼고, 출사 후 35일에는 정부쪽이 denting 되었다. 출사 후 42일에는 배 끝에서 정부까지 조직이 괴사하였고, 49일 이후에는 배 주위에도 조직이 괴사되었다.



















DAS <sup>1)</sup>	Dent	<i>sugary</i>	<i>shrunk-2</i>
21			
28			
35			
42			
49			
56			

Photo. 1-1-1. Seed development of dent, *sugary*, and *shrunk-2* seeds.  
DAS<sup>1)</sup>; Days after silking

나) 단옥수수에는 마치종과 같은 위치에 동공이 생성되지만 출사 후 42일 이후에는

배 끝 동공이 더 확대되지는 않고 정부쪽의 배유가 축소되었다. 단옥수수는 마치종 옥수수와 달리 배유에 전분 함량이 낮아 동공이 생성되었다가 수분이 감소하면서 붕괴되어 정부쪽에서 胚쪽으로 배유가 주저앉아 동공이 없어진 것 같다.

다) 초당옥수수는 출사 후 21-28일에는 보통옥수수와 단옥수수와 같이 동공이 형성되며, 35일에는 동공이 胚 주위로 더욱 확대되었다. 출사 후 42-56일에는 배 위 끝 부분에 동공이 붕괴되어 없어지면서 과피가 胚를 바로 덮고 있었다. 초당옥수수도 배유에 전분 함량이 극히 적어 수분 감소로 인한 축소현상이 나타난 것 같다

### 3) 종자의 ethylene 발생

종자 발육에 따라 발생하는 ethylene 발생을 보면 그림 1-1-3과 같다.

가) 출사 후 21일에는 ethylene 발생량이 단옥수수 < 보통옥수수 < 초당옥수수의 순으로 많았으나 그 차이는 크지 않았다.

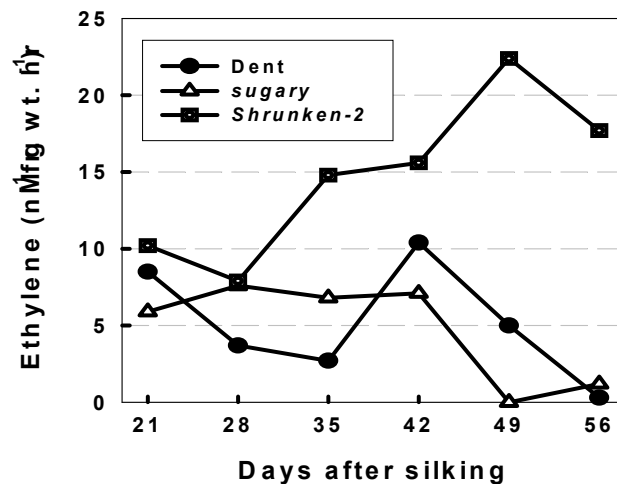


Fig. 1-1-3. Changes in ethylene production of dent, *sugary*, and *shrunken-2* seeds.

나) 마치종은 출사 후 21일에서 35일까지는 ethylene 발생량이 감소하였다가 42일에는 급격히 증가하였고, 49일 이후에는 급격히 감소하여 56일에는 거의 발생하지 않았다.

다) 단옥수수는 출사 후 21일에서 42일까지 ethylene 발생량이 비슷하게 유지되었



지만 49일 이후에는 거의 발생하지 않았다.

라) 초당옥수수는 출사 후 49일까지 ethylene 발생량이 계속 증가하였으나 56일 에는 다소 감소하였다.

#### 라. 고찰

배의 무게는 마치종과 단옥수수는 출사 후 56일까지 계속 증가하였으나 초당옥수수는 49일까지 증가하였다. 배유는 마치종의 경우 종자발육 초기에는 단옥수수보다 발육이 늦어 출사 후 21일에는 배유 무게가 단옥수수보다 적었고, 초당옥수수는 가장 적었다. 그러나 출사 후 21일 이후에는 마치종은 출사 후 56일까지 배유 무게가 계속 증가하였지만 단옥수수는 출사 후 35일, 초당옥수수는 28일까지 증가하고 그 이후에는 크게 증가하지 않았다.

종자 중 배가 차지하는 비율은 마치종은 약 11%, 단옥수수는 약 21%, 초당옥수수는 약 32%이므로 대부분은 배유의 무게에 의하여 종자 무게가 결정된다. 그래서 배유의 생장이 일찍 정지되는 초당옥수수의 무게가 가장 적고, 배유의 생장이 늦게까지 계속되는 마치종의 종자 무게가 가장 높다.

배유의 생장이 정지되는 원인을 알기 위하여 세포의 괴사를 초래하는 ethylene의 발생량을 보면 그 양상이 옥수수 종류에 따라 현저히 달랐다. 마치종에서는 출사 후 21일에는 ethylene 발생량이 단옥수수와 초당옥수수의 중간이었지만 출사 후 35일까지는 감소하였는데 (그림 1-1-3) 이것은 사진 1-1-1에서 35일까지 공동이 크게 증가하지 않은 것과 일치한다. 그러나 출사 후 42일에 ethylene 발생량이 급격히 증가한 것과 (그림 1-1-3) 사진 1-1-1에서 출사 후 42일에 배 상단에 조직 괴사가 많이 일어난 것과 일치하는 듯하다.

단옥수수는 출사 후 21-42일의 비교적 적은 ethylene 발생량 (그림 1-1-3)과 사진 1-1-1의 비교적 경미한 조직괴사와 일치하였으며, 그 이후에는 ethylene이 발생하지 않았고, 조직 괴사도 더 많이 진행되지 않았다.

초당옥수수는 어느 조사시기에서나 ethylene 발생량이 가장 많았으며 (그림 1-1-3) 조사시기가 늦을수록 조직의 괴사가 심하였다. 그리고 35일 이후에는 배 주위의 조직이 괴사되고 배유조직이 파괴되고 종자가 쭈그러져서 ethylene 발생과 조직의 괴사와 관계가 깊은 것 같다.

## 2. 초당옥수수의 ethylene 발생 조절제 처리와 종자발육

### 가. 연구목적

초당옥수수의 배유조직의 피사가 ethylene의 영향이라면 ethylene 발생을 억제하는 물질을 처리하면 배유의 발육을 촉진할 수 있고, 반면 ethylene 발생을 조장하는 물질을 처리하면 배의 발육을 더욱 억제시킬 수 있을 것이다. 그래서 ethylene 발생을 억제하는 aminoethoxyvinylglycine (AVG)와 silver thiosulfate (STS), 그리고 ethylene 발생을 조장하는 ethepone (CEPA)을 처리하여 이들 물질이 초당옥수수의 ethylene 발생량과 종자발육 관계를 알고자 한다. 또 이들 약제를 살포할 때 알맞은 처리부위를 알고자 한다.

만약 ethylene 발생을 억제시켜 종자의 무게를 증가시킬 수 있다면 초당옥수수의 채종에 이용할 수 있을 것이다.

### 나. 재료 및 방법

1) 공시품종 : Xtrasweet 82

#### 2) 처리약제 및 농도

- 가) Aminoethoxyvinylglycine (AVG): 10  $\mu$ M - ethylene 발생 억제제
- 나) Silver thiosulfate (STS): 10 mM - ethylene 발생 억제제
- 다) Ethepone (CEPA): 10 mM - ethylene 발생 촉진제

#### 3) Ethylene 발생 억제제 및 촉진제 처리

- 가) 처리시기; 출사 후 9일과 21일에 각각 15 mL씩 2회 처리
- 나) 처리부위; 포엽을 벗긴 암이삭, 포엽과 ear leaf, 식물체 전체

#### 4) 조사항목

가) Ethylene 발생량; 출사 후 12, 18, 24, 30, 36, 42일에 종자를 수확하여 암이삭 중앙부위의 종자 15립을 FID를 장착한 gas chromatography로 분석하였다. Ethylene 분석방법은 제1절 1. 옥수수 종자의 ethylene 발생과 종자발육과 같다.

나) 종자발육 조사; 암이삭의 중간 부위에 위치한 종자 20립을 두께가 약 2 mm되

는 절편을 만든 후 0.2% Brilliant blue R 250 용액에 30초간 염색한 후 세척하여 사진 촬영하였다.

다) 100입중; 수확한 종자 30g을 80°C dry oven에서 48시간 건조 후 무게를 측정

라) 전당; 시료를 채취한 즉시 옥수수 종자를 80°C 송풍식 건조기에서 48시간 건조한 후 Wiley mill로 분쇄하여 80 mesh의 체를 통과시킨 후 분석에 이용하였다. 분쇄한 시료 0.5 g을 15-mL 원심분리기 튜브에 넣고 80% ethanol 10 mL를 가하여 85°C의 항온수조에서 30분간 끓인 후 원심분리기에서 5,000 rpm으로 30분간 추출하여 상정액을 취하였으며, 이 과정을 3번 반복하였다. 추출된 용액들을 모아 50 mL 원심분리기 튜브에 넣어 85°C 항온수조에서 ethanol을 제거하고, 농축시킨 후 다시 증류수를 가하여 25 mL가 되도록 희석하여 공시액으로 하였다.

마) 엽록소 함량; 수확시기별로 잎을 채취 후 DMF(N, N-dimethylformamide) 용액에 잎을 넣고 4°C 냉장실에서 2일간 추출 후 흡광도 측정

## 다. 결과 및 고찰

### 1) Ethylene 발생량

초당옥수수에 출사 후 9일과 21일에 ethylene 발생 억제제인 AVG와 STS, 촉진제인 CEPA를 전 식물체, 포엽, 포엽을 벗긴 암이삭에 처리하였을 때 종자에 ethylene 발생량의 변화를 보면 그림 1-2-1과 같다.

가) 무처리에서 암이삭 발육 중 ethylene 생성량은 출사 후 18까지 증가한 후 30일까지 감소하였다가 36일에 다시 증가하는 2개의 peak가 있었다.

나) Ethylene 발생 억제제 (AVG, STS) 처리는 어느 부위에 처리하거나 ethylene 발생량을 현저히 감소시켰으며, AVG가 STS보다 ethylene 발생 억제효과가 더 컸다.

다) Ethylene 발생 촉진제 CEPA 처리는 첫 번째 peak를 중심으로 출사 후 24일까지는 어느 부위에 처리하였거나 무처리보다 ethylene 발생량이 많았다. 그러나 출사 후 36일에 온 2번째 peak에서는 전 식물체 처리와 포엽에 처리한 것은 무처리보다 ethylene 발생량이 오히려 적었으나 포엽을 벗긴 암이삭에 처리한 것은 ethylene 발생량이 무처리보다 많았다.

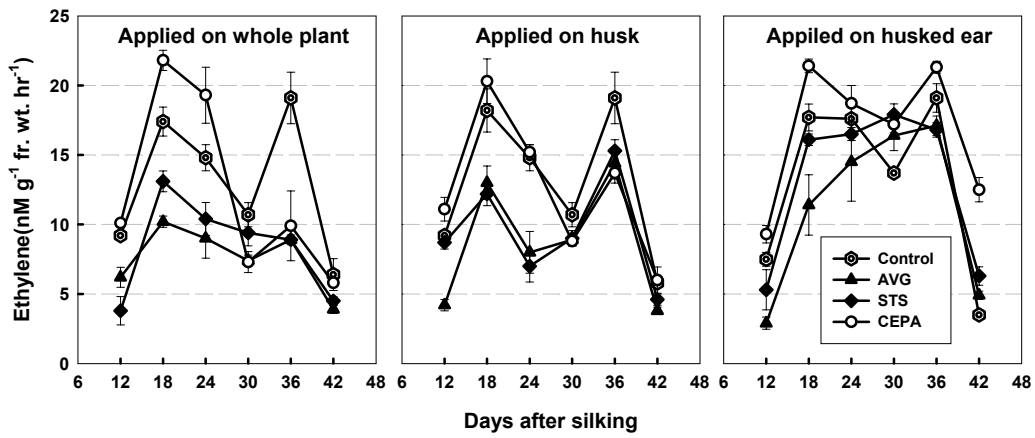


Fig. 1-2-1. Changes in ethylene production affected by the position of AVG, STS, and CEPA application.

## 2) 100립중

Ethylene 발생 억제제와 촉진제를 처리하였을 때 100립중의 변화를 보면 그림 1-2-2와 같다.

가) 100립중은 출사후 42일까지 증가하였다.

나) Ethylene 발생 억제제인 AVG와 STS는 100립중을 증가시켰으며, 억제제인 CEPA는 감소시켰다.

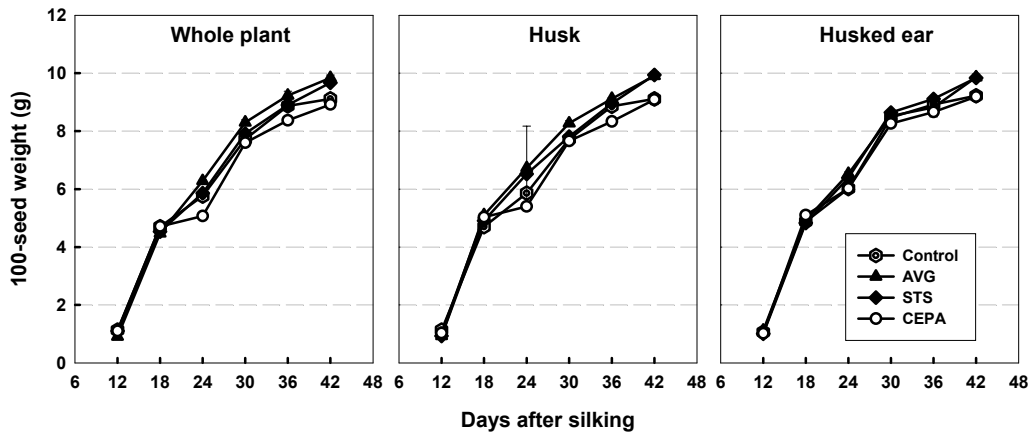


Fig. 1-2-2. Changes in 100-seed weight affected by affected by the position of AVG, STS, and CEPA application.

### 3) 종자의 전당 함량 변화

Ethylene 발생 억제제와 촉진제를 전 식물체, 포엽, 포엽을 벗긴 암이삭에 처리하였을 종자의 전당함량의 변화를 보면 그림 1-2-2와 같다.

가) 이삭발육 중 전당함량의 변화는 출사 후 24일까지 계속 증가하여 27%까지 도달한 후 급격히 감소하여 42일에는 약 5%로 감소되었다.

나) 출사 후 24일까지는 ethylene 억제제와 촉진제가 종자의 전당 함량에 크게 영향을 미치지 않았으나 출사 후 36일에는 전당 함량의 감소를 지연시켰다.

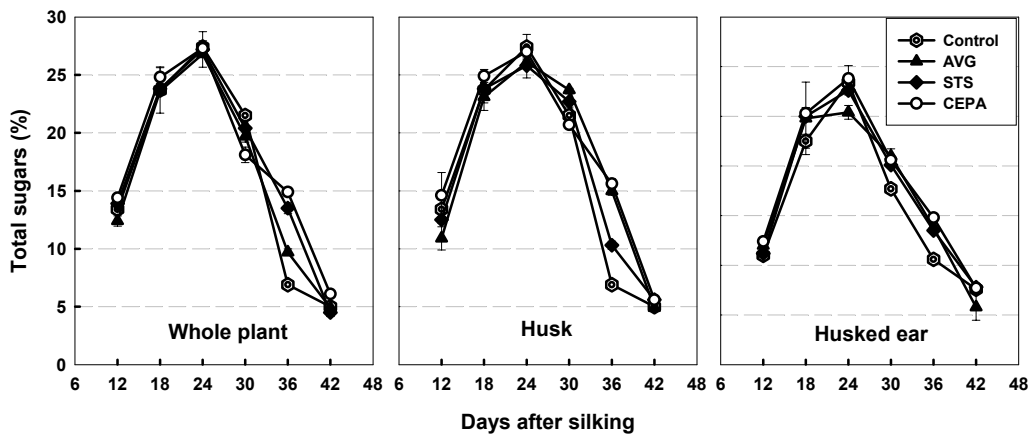


Fig. 1-2-3. Changes in total sugars affected by the position of AVG, STS, and CEPA application.

### 4) 엽록소 함량 변화

Ethylene 발생 억제제와 촉진제를 전 식물체에 처리하였을 때 ear leaf의 엽록소 함량의 변화를 보면 그림 1-2-4와 같다.

가) 이삭발육 기간 중 ear leaf의 엽록소 함량은 출사 후 18일에 가장 높으며, 그 이후에는 점차 감소하였다. 출사 후 18일에 엽록소 함량이 가장 높았던 것은 출사 후 12일에 질소비료를 추비로 사용한 효과로 생각된다.

나) Ethylene 발생 억제제인 AVG와 STS의 처리는 엽록소 함량의 감소를 억제하였으며, STS보다는 AVG처리가 더욱 효과적이었다.

다) Ethylene 발생 촉진제인 CEPA의 처리는 엽록소 함량을 감소시켰다.

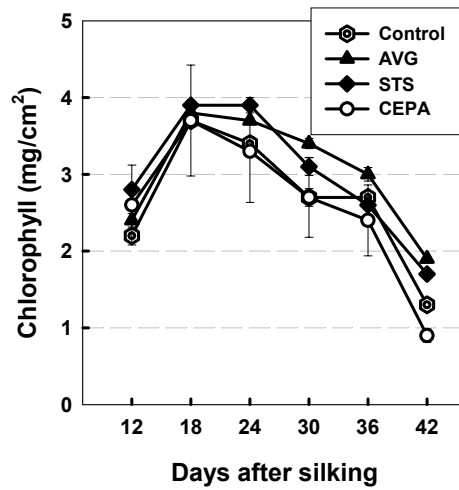


Fig. 1-2-4. Changes in chlorophyll content of ear leaves affected by the position of AVG, STS, and CEPA application.

#### 5) 배와 배유의 내부 형태

출사 후 9일과 21일에 ethylene 발생억제제인 AVG와 STS, 발생촉진제인 CEPA를 포엽 벗긴 암이삭, 포엽과 ear leaf, 식물체 전체에 처리한 후 종자 내부 형태의 변화를 보면 사진 1-2-1과 같다.

##### 가) 포엽 벗긴 암이삭에 처리

(1) 출사 후 12일; 모든 처리에서 형태 변화가 없었다.

(2) 출사 후 18일 및 그 이후; CEPA 처리에서만 종자의 중앙에 가로로 동공이 발생하였고 그 이후 일자가 경과할수록 동공이 확대되었고, 42일에는 胚 주위의 배유가 수축되었다.

(3) 출사 후 24일; 무처리, AVG 및 STS 처리에서도 약간의 동공이 생기기 시작하였는데 무처리가 약간 더 심한 경향이였다.

(4) 출사 후 30일; 24일과 같은 경향이나 정도가 더 심하였고, 무처리는 배 윗분의 배유에 가로로 동공이 더 발달

(5) 출사 후 30일; 모든 처리에서 동공이 배 주위의 배유가 수축되었으며, CEPA 처리가 가장 심하였다.

Application on husked ear

























Days after silking	Control	AVG	STS	CEPA
12				
18				
24				
30				
36				
42				

Photo. 1-2-1. Seed development of dent, *sugary*, and *shrunked-2* affected by AVG, STS, and CEPA application on the husked ear.

나) 포엽에 처리

포엽에 ethylene 발생 억제제와 촉진제를 처리하였을 때 종자의 내부 형태에 미치는 영향은 포엽을 제거한 암이삭에 처리한 것과 결과가 비슷하였다 (사진 1-2-2).

Application on the husks







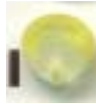

















Days after silking	Control	AVG	STS	CEPA
12				
18				
24				
30				
36				
42				

Photo. 1-2-2. Seed development of dent, *sugary*, and *shrunk-2* affected by AVG, STS, and CEPA application on the husks.



나) 지상부 식물체 전체에 처리

지상부 식물체 전체에 ethylene 발생 억제제와 촉진제를 처리하였을 때 종자의 내부 형태에 미치는 영향은 포엽을 제거한 암이삭이나 포엽에 처리한 것과 결과가 비슷하였다 (사진 1-2-3).

Application on whole plants

























Days after silking	Control	AVG	STS	CEPA
12				
18				
24				
30				
36				
42				

Photo. 1-2-3. Seed development of dent, *sugary*, and *shrunked-2* affected by AVG, STS, and CEPA application on the husked ear.

## 라. 고찰

Ethylene 발생 억제제인 AVG와 STS 처리는 ethylene 발생을 현저히 억제시켰고 (그림 1-2-1), 엽록소 함량을 높게 유지하였으며 (그림 1-2-4), 종자의 발육 중 배유에 동공 발생을 지연시켜 (사진 1-2-1, 1-2-2, 1-2-3) 100립중도 증가하는 듯하다 (그림 1-2-2).

한편 ethylene 발생 촉진제인 CEPA는 ethylene 발생량을 증가시켰고 (그림 1-2-1), 엽록소 함량을 감소시키며 (그림 1-3-4), 종자의 발육 중 배유의 동공 발생을 촉진시켜 100립중도 무처리보다 다소 감소하거나 비슷하였다 (사진 1-2-1, 1-2-2, 1-2-3).

따라서 초당옥수수의 발육 중 ethylene 발생은 종자 발육을 억제하는 하나의 원인으로 보이지만 AVG와 STS 등 ethylene 발생 억제제의 처리는 어느 부위에 처리하나 다소의 긍정적인 효과가 인정되지만 종자의 활력을 검정하지 않았으므로 더욱 검토가 필요하다.

### 3. 단옥수수과 초당옥수수의 종자생산을 위한 수확적기

#### 가. 연구목적

우리나라에서는 단옥수수와 초당옥수수 종자를 상업적 목적으로 생산하지 않고 전량을 수입하고 있다. 그리고 단옥수수와 초당옥수수의 육종과 재배에 관한 연구를 수행하고 있지만 채종에 관한 연구는 없다.

단옥수수와 초당옥수수는 종자활력이 유전적으로 마치종보다 낮고, 특히 불량환경에서 재배할 때 문제가 심각하다. 단옥수수와 초당옥수수의 종자활력이 낮은 원인은 여러 가지가 있지만 그 중 종자의 성숙정도가 종자의 특성에 미치는 영향을 연구하여 알맞은 수확적기를 구명하고자 한다.

#### 나. 재료 및 방법

##### 1) 단옥수수와 초당옥수수의 품종

- 가) 단옥수수: Early Sunglow (♀) x Golden Cross Bantam 70 (GCB 70)(♂)의 교잡종
- 나) 초당옥수수: Extrasweet 82 (♀) x Fortune (♂)의 교잡종

##### 2) 교잡종 생산

가) 파종기: 교배조합끼리 출사기가 비슷하여 2001년 4월 19일, 2002년 4월 20일에 파종(원래 계획은 2001년이었으나 수확기의 강우 후 잎이 조기에 고사하여 2002년에 추가시험을 실시하여 보완하였음)

나) 재배관리: 시비량은 10a당 질소-인산-칼리를 각각 18-15-15kg의 수준으로 전량을 기비로 시용한 후 로타리질하여 표층에 고르게 섞어준 후 0.01mm 흑색 P.E. film을 피복한 후 파종하였다. 교잡종 생산을 위하여 단옥수수와 초당옥수수를 격리포장에서 품종별로 25 m씩 두 줄을 심고, 모본은 출용하기 전에 제용하고, 교잡된 암이삭에 출사일을 표시하였다.

##### 3) 종자수확 및 건조

- 가) 종자 수확기: 2001년은 출사 후 21, 28, 35, 42, 49일, 2002년은 출사 후 21, 28,

35, 42, 49, 56일까지 수확하였다.

나) 건조: 수확한 이삭은 2001년에는 포엽을 제거한 후 35℃ 송풍식 건조기 (Forced Convection, HB-503LF, Hanbaek Scientific, Korea)에서 단옥수수는 7일, 초 단옥수수는 10일간 건조하였다. 2002년에는 포엽을 제거한 후 온실에서 자연 건조하였다.

다) 탈곡 및 저장 : 건조된 종자는 손으로 탈곡하여, 흡습하지 않도록 플라스틱 봉지에 넣어 -10℃ 이하의 냉동고에 저장.

#### 4) 조사방법

가) 입중: 탈곡한 종자를 고르게 섞어 100립의 무게를 3반복으로 측정.

나) 종자수분: 암이삭을 수확하여 실험실로 가져와 즉시 반복 당 100립의 생체중을 측정하고, 105℃ dry oven에서 24시간 건조하여 무게를 측정하여 수분함량을 구함.

다) Paper towel (25℃)의 발아율과 발아일수 (T50) 및 cold soil test 조건의 출아율과 출아일수 (T50): 발아율 조사는 발아상자 (33 x 24 x 7cm) 안에 paper-towel을 6겹으로 깔고 포수상태가 되도록 물을 넣은 후 30립의 종자를 파종하여 25℃ 생장상에서 7일 동안 발아된 개체를 조사.

Cold soil test는 발아상자에 수분함량이 70%인 전년에 옥수수를 재배한 토양을 2 cm 깊이로 넣고, 종자 30립을 파종 한 후 같은 토양을 2 cm 깊이로 복토. 출아율과 유묘생육은 AOSA (1983, 1990) 방법에 따라 10℃에서 7일 저온처리하고 다시 25℃에 옮긴 후 7일째에 조사.

발아속도와 출아속도 (T50)는 Taylor (Cornell University, 2000; 개인연락)의 방법에 따라 최종발아 개체수가 파종한 종자의 50%가 발아 또는 출아하는데 소요되는 시간을 파종일로부터 계산하였는데 그 방법은 다음과 같다.  $T50 = [t_i + (N/2 - n_i) / (n_j - n_i)] \times (t_j - t_i)$  (단 N은 최종 발아 또는 출아개체수,  $n_i$ 와  $n_j$ 은 N/2 전후의 인접한 날짜  $t_i$  and  $t_j$  일에 발아 혹은 출아한 누적개체수).

라) 종자 침종 시 누출당 (Anthrone 시약법): 종자를 물에 침지하였을 때 누출되는 당 함량을 조사하기 위하여 종자 20립과 증류수 20 mL를 50-mL 원심분리기 튜브에 넣고, 25℃에서 24시간 침지한 후 Whatman #42 여지로 여과하였다. 여액 5 mL을 15-mL 원심분리기 튜브 (Corning, U.S.A)에 넣고, 98% 황산에 녹인 0.2% Anthrone 시약 10 mL을 가하여 잘 섞은 후 끓는 물 속에서 7.5분간 반응시킨 후 즉시 얼음물에서 냉각시켰다 (Yoshida *et al*, 1972). 다시 15분간 실온에 방치한 후 분광광도계

(UVIKON 922, Kontron, Italy)를 이용하여 630 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 전당 함량은 포도당 상당량으로 계산하였다.

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

바)  $\alpha$ -amylase 활성: 종자의  $\alpha$ -amylase 활성은 Reiss (1983) 방법에 의하여 측정하였다. 옥수수 종자 10개와 증류수 20 mL을 플라스틱 병에 넣고 25°C에서 7일간 침지한다. 그 중 3립을 mortar에 넣고, 액체질소를 가하여 동결시킨 후 pestle을 이용하여 거칠게 마쇄한 후 차가운 20 mL의 10 mM citric acid-sodium citrate buffer solution을 조금씩 넣으면서 완전히 마쇄한다. 그 용액을 원심분리기 (20000 g, 4°C)에서 20분간 분리하여 crude enzyme solution을 만든다. 시험관에 2 mL의 soluble starch solution (0.05% starch in 0.05 M citric acid-sodium citrate buffer) 1 mL의 crude enzyme solution을 넣은 후 즉시 (0 time) 및 20분간 반응시킨 후 7 mL의 HCl을 넣어 반응을 정지시킨다. 다시 1 mL의 iodine solution을 넣어 발색시킨 후 spectrophotometer를 이용하여 580 nm에서 흡광도를 측정한다.  $\alpha$ -amylase 활성은 0 time의 흡광도에서 20분간 반응시킨 용액의 흡광도를 빼고, 그 값을 0 time의 흡광도에 대한 100분율로 나타내었다.

## 다. 결과 및 고찰

### 1) 100립중

종자의 성숙에 따른 100립중의 변화를 그림 1-3-1에서 보면, 단옥수수는 2001년에 출사 후 42일, 2002년에는 49일까지 계속하여 증가하였으나 그 이후에는 증가하지 않았다. 그리고 2001년에는 출사 후 49일 이후에 비가 온 후 급격히 잎이 고사하였으며, 100립중은 2002년보다 현저히 적었다.

초당옥수수의 100립중은 단옥수수의 약 1/2이었으며, 출사 후 28일까지는 100립중이 비교적 급격히 증가하였으나 그 후 42일까지는 큰 변화가 없었지만 42일 이후에는 다시 다소 증가하였다. 그러나 연차간에 100립중은 차이가 없었다.

2001년에는 단옥수수는 출사 후 35일, 초당옥수수는 42일부터 잎의 노화가 시작되었고, 그 후 1주일 후에는 비가 온 후에는 완전히 고사하여 49일에 모두 수확하였다.

그러나 2002년에는 잎의 노화가 늦어 출사 후 56일에 수확하였다. 본 시험에서 출사기는 6월 10-15일로서 수확기는 7월 하순이 되었는데 수확기에 장마가 오면 수확하기 전에 종자가 썩거나 수발아를 하여 종자를 생산하기가 매우 불리한 환경이다 (사진 1-3-1). 따라서 종자가 성숙되면 즉시 수확하여 화력으로 건조하는 것이 중요할 것으로 생각된다.

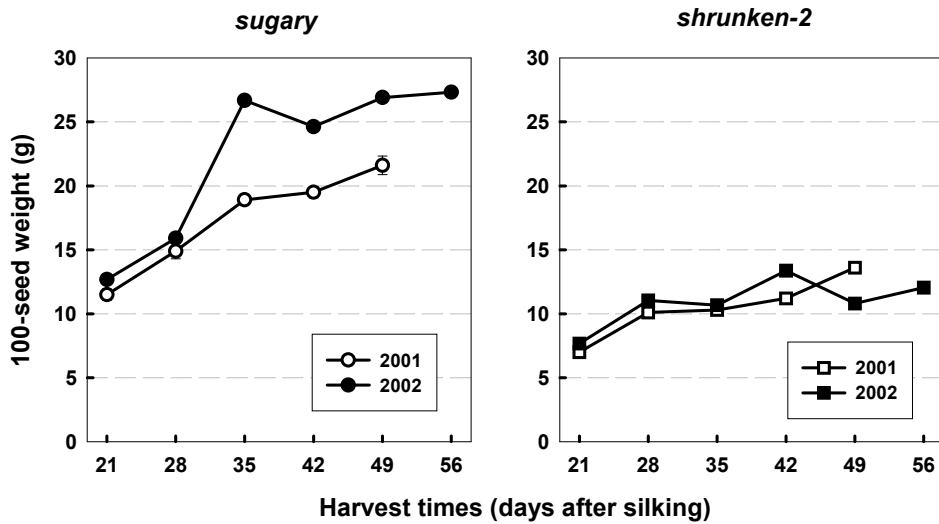


Fig. 1-3-1. Changes in 100-seed weight of *sugary* and *shrunken-2* with different maturities.

Photo 1-3-1. Viviparous germination and fungi infection of ears before harvest.

## 2) 종자 수분함량

종자의 성숙에 따른 수분함량의 변화를 보면 그림 1-3-2와 같다. 출사 후 21일의 종자 수분함량은 단옥수수(70%), 초당옥수수는 약 75%로서 단옥수수 보다 초당옥수수의 종자 수분함량이 높았지만 모두 출사 후 56일까지 점점 감소하였다. 연차별로는 단옥수수와 초당옥수수 모두 2001년보다 2002년에 수분 감소가 더 빨랐다.

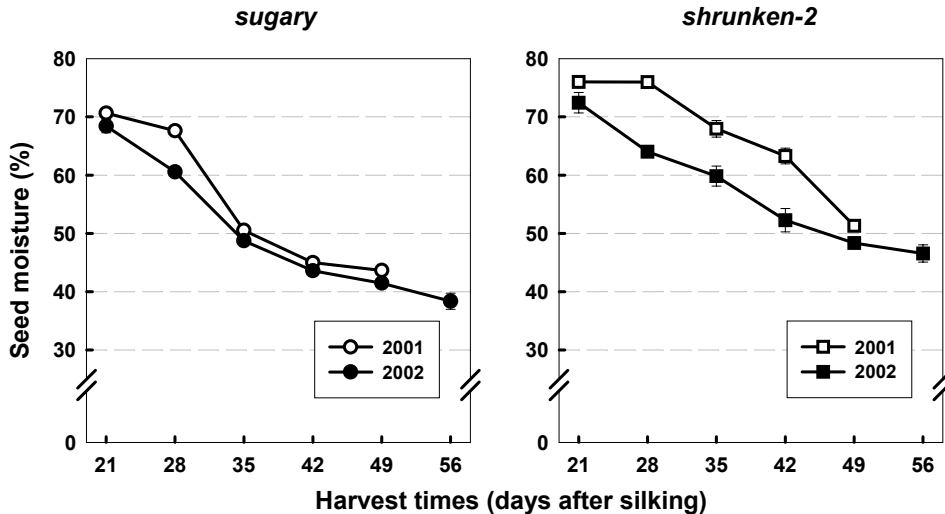


Fig. 1-3-2. Changes in moisture content of *su* and *sh2* seeds with different maturities.

## 3) 25℃에서 발아율과 cold test에서 출아율

종자의 성숙에 따른 25℃ paper towel과 cold soil test에서 출아율을 보면 그림 1-3-3과 같다. 단옥수수 종자를 25℃에서 발아시키면 출사 후 21일과 28일에 수확한 종자는 해에 따라 발아율이 5-60%로 극히 낮았으나 35-42일에 수확한 종자는 발아율이 90% 이상이었다. 그러나 cold soil test에서 출아율은 출사 후 21일과 28일 수확한 종자는 출아율이 8%이하로 극히 낮았으나 35일 이후에 수확한 종자는 출아율이 약 80%를 유지하였다. 그러나 따라서 출사 후 35일 이후에 수확한 종자는 cold soil test의 출아율은 25℃에서 발아율보다 15-20% 낮았지만 경향은 비슷하였다.

한편, 초당옥수수에서는 출사 후 21일에 수확한 종자의 25℃에서 발아율은 해에 따라 10-60%로서 현저히 낮았지만 28일 이후에 수확한 종자는 발아율이 90-98%를 유지하였다. 그러나 cold soil test에서는 출사 후 49일까지 수확기가 지연될수록 출아율이 직선적으로 증가하였고, 최고의 출아율은 약 60%이었다. 따라서 초당옥수수의 포

장에서 출아율을 예측하기 위하여서는 발아적온에서 발아시험을 하는 것보다는 cold soil test로 검정하여 종자의 활력을 측정하여야 할 것으로 판단된다.

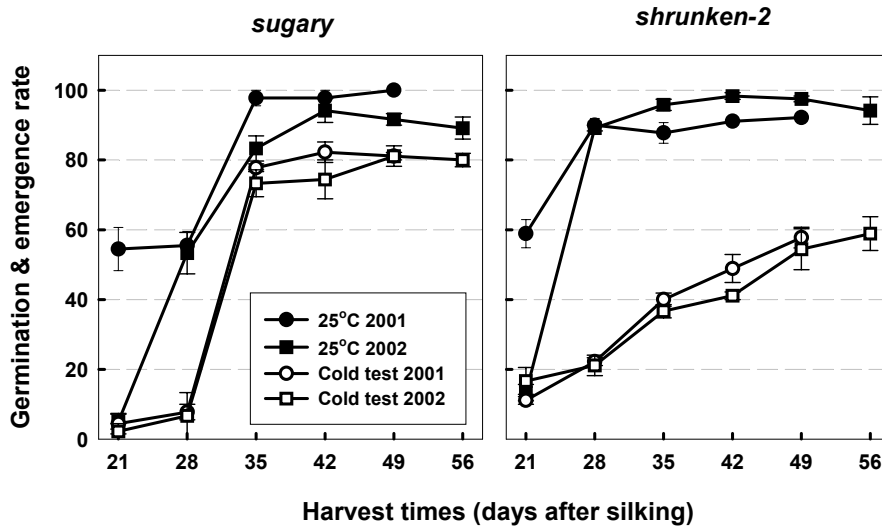


Fig. 1-3-3. Changes in germination rate of *sugary* and *shrunken-2* seeds with different maturities in a wetted paper towel or emergence rate in a cold soil test(10°C for 7 days followed by 25°C for 7 days).

#### 4) 25°C에서 발아일수와 cold test에서 출아일수

파종 후 발아일수와 출아일수를 그림 1-3-4에서 보면, 25°C에서는 단옥수수과 초당옥수수는 2001년과 2002년에 수확한 종자 모두 수확기와는 관계없이 약 2일이었다. 한편 cold soil test에서 단옥수수는 2001년과 2002년에 수확한 종자 모두 수확기에 관계없이 출아일수는 약 9일이었고, 초당옥수수는 종자의 수확기에 따라 9-11일이었다. 특히 초당옥수수는 2001년에 수확한 종자 중 35, 42, 49일에 수확한 종자는 그 이전에 수확한 종자보다 출아기간이 약 2일 빨랐는데 이것은  $\alpha$ -amylase 활성이 증가된 것과 관련이 있는 것으로 생각된다 (그림 1-3-9 참조).



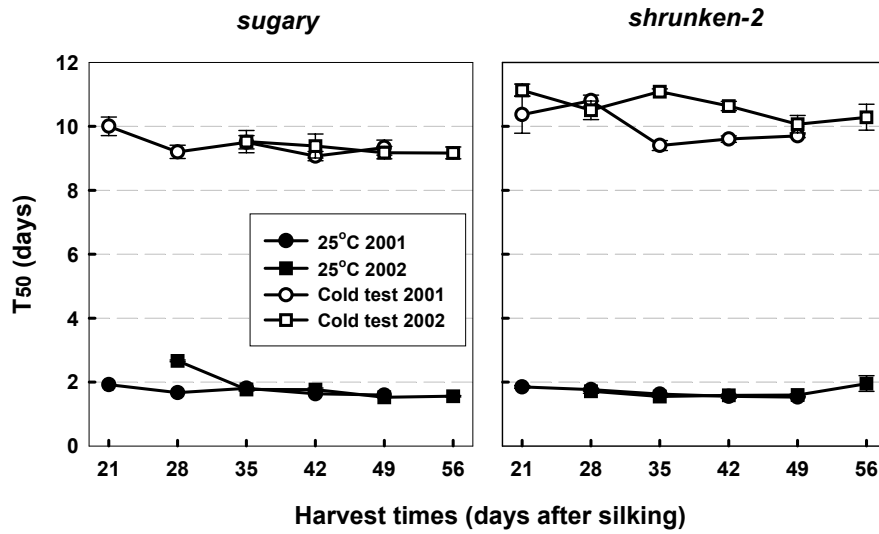


Fig. 1-3-4. Changes in time to 50% germination of *sugary* and *shrunken-2* seeds with different maturities in a wetted paper towel or time to 50% emergence in a cold soil test (10°C for 7 days followed by 25°C for 7 days).

#### 5) 유아중 및 100립중과 유아중과의 관계

단옥수수과 초당옥수수의 종자 수확기와 cold soil test에서 유아 건물중을 그림 1-1-5에서 보면, 단옥수수는 출사 후 35일까지는 수확기가 늦을수록 유아중이 증가하였으나 그 이후에는 큰 차이가 없었다. 그러나 초당옥수수는 출사 후 49일까지 수확기가 지연될수록 유아중이 증가하였다. 단옥수수와 초당옥수수 모두 유아중은 수확기가 지연될수록 종자의 100립중이 증가하였기 때문이었다 (그림 1-1-6).

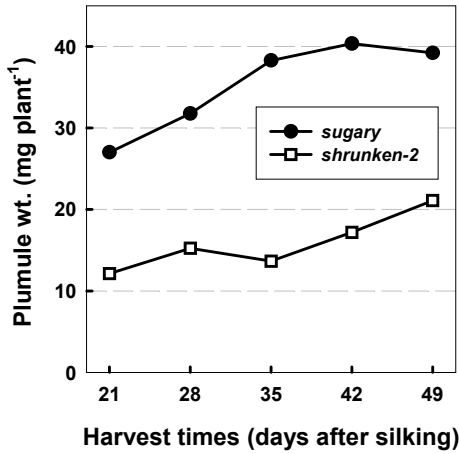


Fig. 1-3-5. Changes in plumule dry weight of *sugary* and *shrunken-2* seeds of different maturities in a cold soil test in 2001.

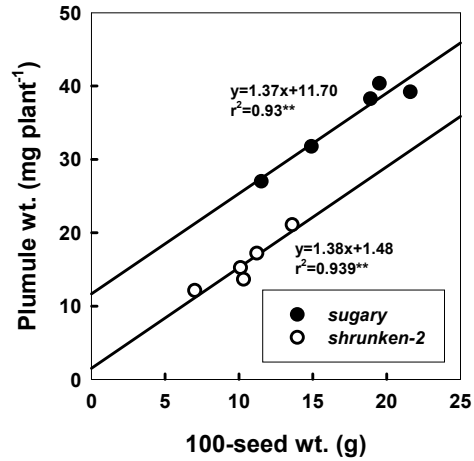


Fig. 1-3-6. Relationship between with 100-seed weight and plumule dry weight of *sugary* and *shrunken-2* seeds in 2001.

#### 6) 침종 종자의 당 누출

수확기가 다른 종자를 물에 침지하였을 때 누출되는 당을 보면 그림 1-3-7과 같다. 2001년에는 출사 후 28일에 단옥수수수는 20 mg/g, 초당옥수수수는 43 mg/g의 당을 누출하였지만 수확기가 늦을수록 당 누출량이 현저히 감소되었다. 그러나 2002년에는 종자의 수확기에 상관없이 단옥수수와 초당옥수수 모두 당을 누출하지 않았다. 2001년에는 종자를 35℃의 송풍식 건조기에서 건조하여 수확 후 당이 전분으로 변하지 않았거나 호흡으로 소모되지 않고 종자에 남아 있다가 종자를 물에 침지하였을 때 누출된 것으로 생각된다. 조기수확한 종자일수록 당 누출량이 많았던 것은 종자의 당 함량이 높았기 때문으로 생각된다. 그런데 2002년에 생산된 종자는 온실에서 건조하였기 때문에 건조과정에서 당이 전분으로 전환되었거나 호흡에 소모되어 종자에 당이 남아 있지 않았기 때문으로 생각된다.

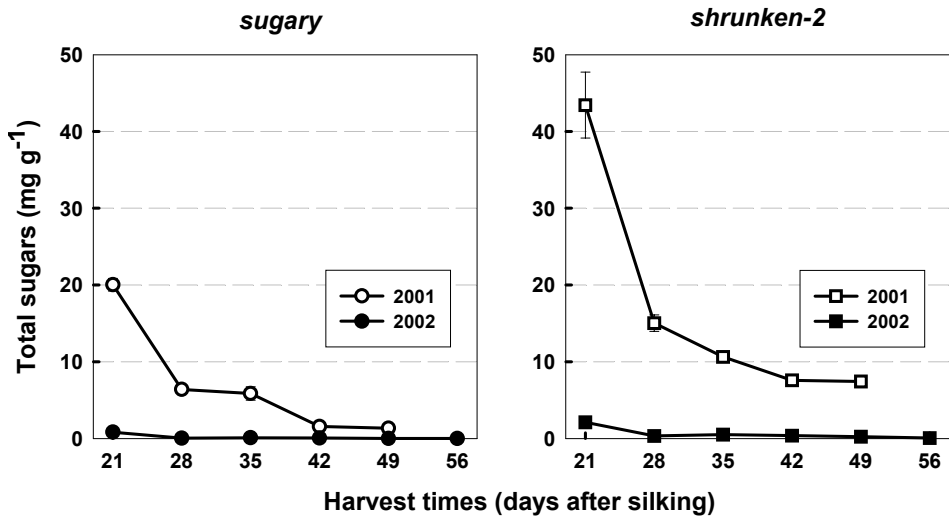


Fig. 1-3-7. Changes in leakage of total sugars from *sugary* and *shrunken-2* seeds with different maturities in soaking water. Ears were dried in an air-forced drier at 35C in 2001 and in a greenhouse in 2002.

#### 7) 침종 종자의 전해질 누출

종자를 초순수 증류수에 침지하였을 때 누출되는 전해질의 양을 EC meter로 측정 한 값을 보면 그림 1-3-8과 같다. 단옥수수 2001년에 수확한 종자가 같은 수확기에 생산된 2002년 생산 종자보다 전해질의 누출이 많았으며 (EC가 높았음), 출사 후 35일까지는 수확기가 지연될수록 전해질의 누출량이 감소하였지만 그 이후에는 변하지 않았다.

초당옥수수는 출사 후 21일과 28일에 수확한 종자는 2001년 종자가 2002년 종자보다 전해질 누출이 많았지만 그 이후 수확한 종자는 반대 경향이였다. 그러나 생산 연도에 상관없이 모두 출사 후 49일까지 수확기가 지연될수록 전해질의 누출량이 감소하였다.

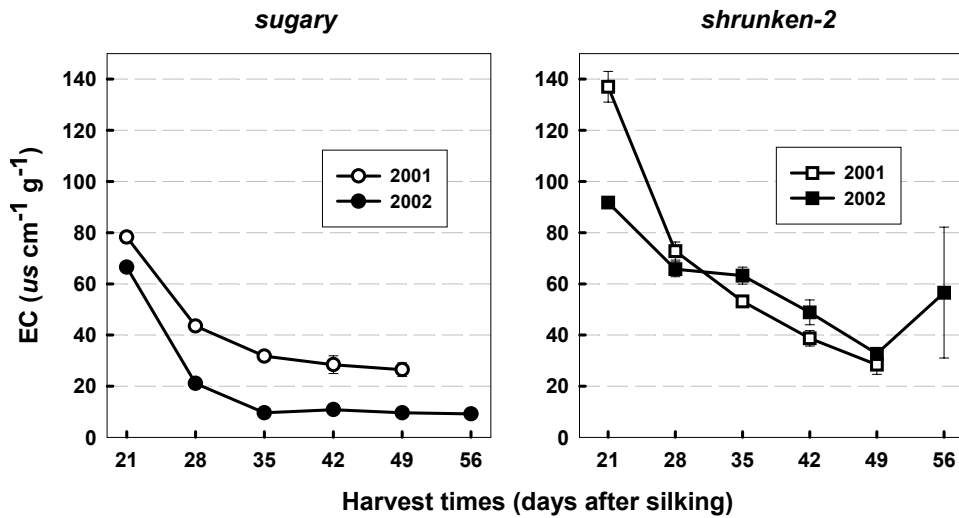


Fig. 1-3-8. Changes in electrical conductivity (EC) of seed soaking solutions of *sugary* and *shrunk-en-2* seeds. Ears were dried in an air-forced drier at 35C in 2001 and in a greenhouse in 2002.

#### 8) 종자의 $\alpha$ -amylase 활성

종자의  $\alpha$ -amylase 활성을 그림 1-3-9에서 보면, 2001년과 2002년에 생산된 종자 모두 수확기에 따른  $\alpha$ -amylase 활성의 경향은 비슷하였지만 2001년에 생산된 종자가 2002년에 생산된 종자보다 활성이 더 높았다. 이것은 종자를 온실에서 서서히 건조하는 것보다 35°C의 송풍식 건조기에서 빨리 건조하는 것이  $\alpha$ -amylase 활성을 높인 것으로 생각된다.

종자의 수확기에 따른  $\alpha$ -amylase 활성을 보면 단옥수수과 초당옥수수 모두 수확기가 지연될수록  $\alpha$ -amylase 활성이 높은 경향이였다. 그리고 단옥수수보다는 초당옥수수의  $\alpha$ -amylase 활성이 더 높았던 것은 단옥수수는 발아초기에는 배반에서, 후기에는 호분층에서 합성된  $\alpha$ -amylase에 의하여 저장 전분이 분해되지만 초당옥수수는 배반에서만  $\alpha$ -amylase가 합성되므로 (Young *et al.*, 1997) 본 시험에서와 같이 발아 초기단계에서는 초당옥수수의  $\alpha$ -amylase 활성이 단옥수수 에서 보다 더 높은 것으로 생각되며, 서 등 (2003)도 같은 결과를 보고하였다.

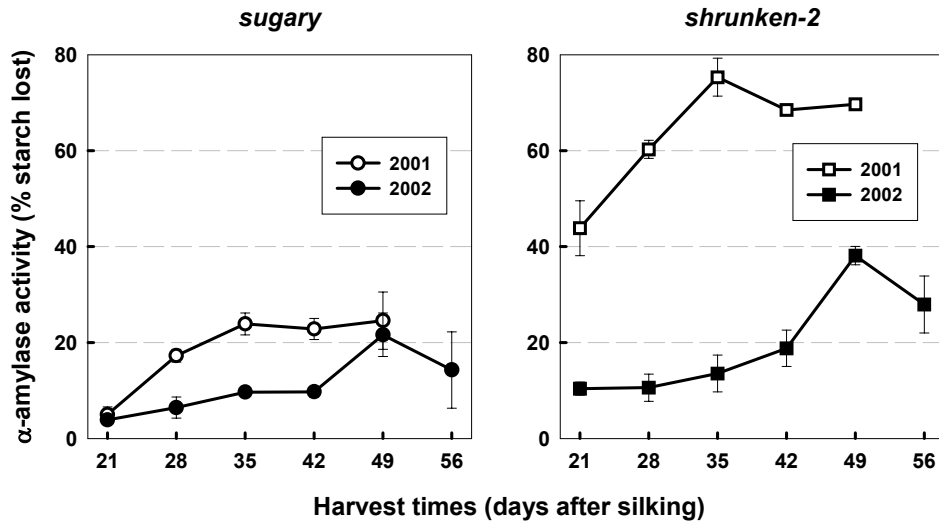


Fig. 1-3-9. Changes in  $\alpha$ -amylase activity of *sugary* and *shrunken-2* seeds with different maturities. Ears were dried in an air-forced drier at 35C in 2001 and in a greenhouse in 2002.

#### 라. 고찰

종자의 수확기별 100립중, cold soil test에서 출아율과 유아 건물중, 종자의 당과 전해질 누출량,  $\alpha$ -amylase 활성 등을 종합적으로 고려한 수확적기는 단옥수수 (Hybrid Early Sunglow/Golden Cross Bantam 70)는 출사 후 42일, 초당옥수수 (Xtrasweet 82/Fortune)는 출사 후 49일이었다. 즉 단옥수수는 출사 후 42일까지는 수확기가 지연될수록 100립중 (Fig. 1-3-1), cold soil test에서 출아율 (Fig. 1-3-3)과 유아 건물중 (Fig. 1-3-5),  $\alpha$ -amylase 활성 (Fig. 1-3-9)이 증가하였고, 종자를 물에 침지하였을 때 당 누출 (Fig. 1-3-7)과 전해질의 누출 (Fig. 1-3-8)은 감소하였고 그 이후에는 수확기가 지연되어도 변화가 없었다.

초당옥수수는 출사 후 49일까지 수확기가 지연될수록 100립중 (Fig. 1-3-1), cold soil test에서 출아율 (Fig. 1-3-3)과 유아 건물중 (Fig. 1-3-5),  $\alpha$ -amylase 활성 (Fig. 1-3-9)이 증가하였고, 종자를 물에 침지하였을 때 당 누출 (Fig. 1-3-7)과 전해질의 누출 (Fig. 1-3-8)은 감소하였다.

일찍 수확한 미숙종자는 상처를 받기 쉽고, 종자활력이 떨어지며 (Knitte & Burris, 1976; Styer *et al.*, 1980), 발아시 대사물질의 누출이 많고 (Willson & Trawatha,

1991),  $\alpha$ -amylase 활성도 저하한다 (Lee *et al.*, 2002). 그리고 너무 늦게 수확한 종자의 활력이 저하되는 원인에 관한 연구는 적은데 보통옥수수에서 뿌리의 생육이 감소되었고 (Styer *et al.*, 1980),  $\alpha$ -amylase 활성도 감소하였다 (Lee *et al.*, 2002). 그리고 우리나라에서는 수확기에 기온이 높고, 비가 많이 올 경우에는 수확하기 전에 종자가 썩거나 수발아가 발생하므로 적기에 수확하고, 건조는 저온에서 화력건조하면  $\alpha$ -amylase 활성이 증가하여 종자의 활력을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

수확적기의 종자 수분함량은 단옥수수는 약 45%, 초당옥수수는 약 50%이었는데 (Fig. 1-1-2) 이것은 수확적기의 종자 수분함량은 단옥수수는 약 50% (Bennet *et al.*, 1988), 초당옥수수는 50-55% (Wilson & Trawatha, 1991; Churchill & Andrew, 1984) 이라고 보고한 것과 비슷한 결과이었다.

#### 4. 단옥수수과 초당옥수수의 건조방법에 따른 종자 특성과 활력검정

##### 가. 연구의 목적

단옥수수와 초당옥수수 종자의 활력이 낮은 원인 중 하나는 건조방법에 있을 것으로 생각되지만 이에 관한 연구는 없다. 그래서 종자의 건조방법별 건조속도와 종자의 품질에 미치는 영향을 알고자 함.

##### 나. 재료 및 방법

###### 1) 단옥수수와 초당옥수수의 품종

- 가) 단옥수수 : GCB 70 (♀) x Early Sunglow (♂) 교잡종
- 나) 초당옥수수: Extrasweet 82 (♀) x Fortune (♂) 교잡종

###### 2) 파종 및 교잡종 생산

- 가) 파종기: 교배조합끼리 출사기가 비슷하여 2002년 4월 20일에 파종
- 나) 재배관리; 제1절 3. 단옥수수와 초당옥수수 종자생산을 위한 수확적기 구명과 같음.

###### 3) 건조방법

출사 후 49일에 수확한 암이삭의 포엽을 벗겨 양파 땅에 10개씩 3반복으로 넣고, 야외, 온실, 32℃ 송풍식 건조기에서 건조하면서 2일 간격으로 종자수분을 조사하여 수분함량이 약 10% 정도 될 때까지 건조하였다. 야외는 건물의 난간 아래 공기는 잘 통하지만 비가 맞지 않는 곳이었고, 온실은 영남대학교 자연자원대학 생물자원학부의 유리온실을 이용하였다.

###### 4) 조사방법

건조장소의 기온과 상대습도는 자기식 온습도계 (Thermohygrograph 4-speed Select System, Model R-704, SATO MFG. Co. Ltd. Japan)의 센서를 옥수수와 비슷한 위치에 설치한 후 일 기온과 상대습도를 측정하였다. 일 평균기온과 평균 상대습도는 최고치와 최저치의 평균값이었다.

100립중, 종자 수분함량, 종자 침중 시 누출당과 전해질, 발아율, cold soil test에서

출아율,  $\alpha$ -amylase 활성은 제1절 3. 단옥수수과 초당옥수수 종자생산을 위한 수확 적기 구명과 같다.

#### 다. 결과 및 고찰

##### 1) 종자 건조기간의 일 평균기온과 일 평균상대습도의 변화

이삭을 수확하여 건조하는 동안 일 평균기온과 일 평균상대습도의 변화를 보면 그림 1-4-1과 같다. 일 평균기온은 전 건조기간을 통하여 온실이 야외보다 5~15°C 더 높았으며, 건조 전기에는 온도 차이가 컸으나 후기에는 차이가 적었다.

일 평균상대습도는 건조를 시작한 후 15일까지는 온실이 야외보다 낮아 건조에 유리한 조건이었으나 그 이후에는 장마기의 영향으로 온실이 야외보다 상대습도가 더 높았다.

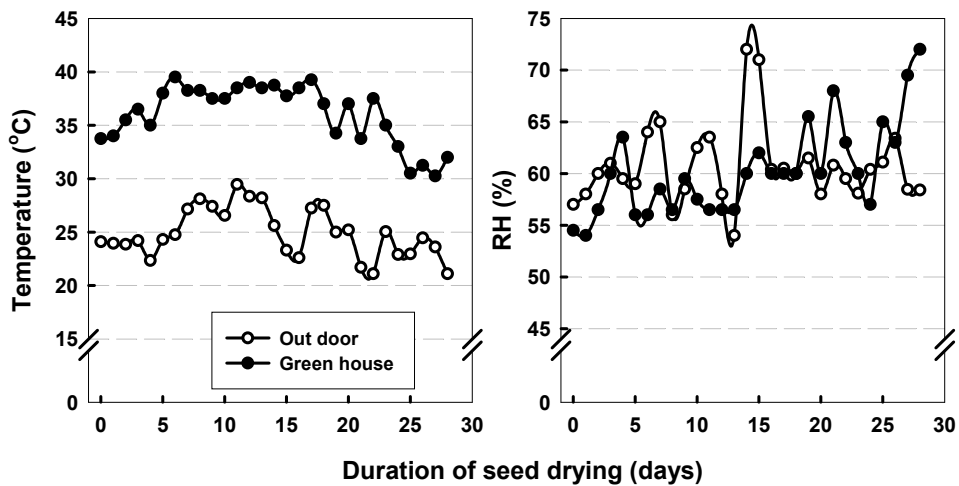


Fig. 1-4-1. Changes in mean air temperature and relative humidity (RH) out door and in a green house during the drying of corn seeds, 2002.

##### 2) 종자 수분함량의 변화

건조방법별 종자 수분함량의 변화를 보면 그림 1-4-2와 같다. 출사 후 49일에 암이삭을 수확하였을 때 종자 수분함량은 단옥수수는 약 40%, 초당옥수수는 약 50% 이었으나 건조 후에는 모두 약 10% 이었다.



종자의 건조속도는 단옥수수과 초당옥수수 모두 건조기에서 가장 빨랐고, 그 다음 온실, 야외에서 가장 늦었다. 건조기에서는 단옥수수와 초당옥수수 모두 처음 4일간은 수분함량이 거의 직선적으로 감소하여 10%에 도달하였고, 그 이후에는 서서히 감소하였다. 온실과 야외에서 단옥수수와 초당옥수수 모두 처음 10일간은 수분함량이 급격히 감소하였는데 감소속도는 온실에서 야외보다 빨랐다. 그러나 약 20일 후에는 온실과 야외 모두 수분함량이 거의 비슷하였다. 종자 수분함량이 10%에 도달하는 건조기간은 단옥수수와 초당옥수수 모두 건조기에서는 4일, 온실에서는 20일, 야외에서는 24일이 소요되었다.

건조를 시작한 후 15일에는 비가 와서 상대습도가 높아지면서 (그림 1-4-1) 비를 맞지 않았지만 온실과 야외에서 종자 수분함량이 일시적으로 약간 증가하였다가 다시 감소하였음.

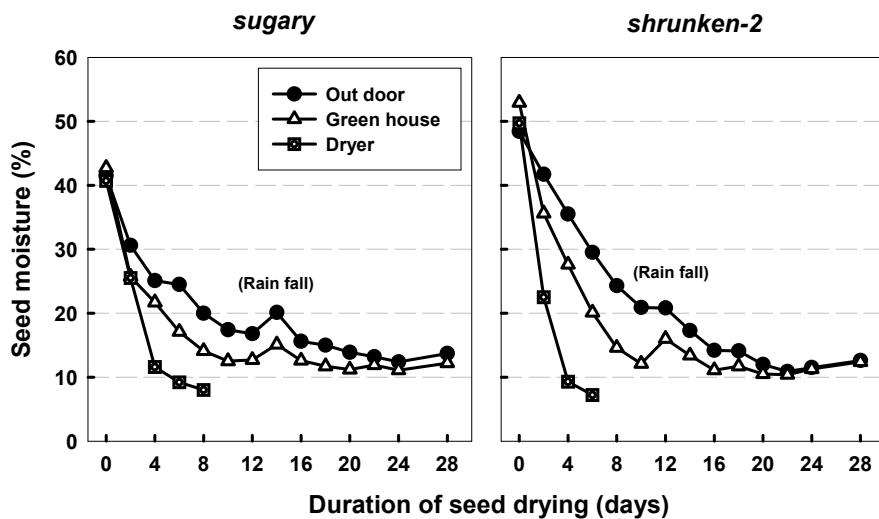


Fig. 1-4-2. Changes in moisture content of *sugary* and *shrunken-2* seeds by different drying methods.

## 2) 발아율 (25°C), cold test의 출아율, 유아장 및 유근장

건조방법이 다른 단옥수수와 초당옥수수 종자를 25°C와 cold soil test에서 발아시험하였을 때 조사한 발아율, 출아율, 유아장 및 유근장의 통계분석한 결과를 보면, cold soil test에서 옥수수 종류간 출아율과 옥수수 종류와 건조방법간 교호작용만이 유의

하였을 뿐 다른 조사형질은 옥수수 종류간, 건조방법간, 옥수수 종류와 건조방법간 교호작용이 유의하지 않았으며, 그 결과를 보면 표 1-4-1과 같다.

Table 1-4-1. Germination and emergence rates and length of plumules and radicles of *sugary* and *shrunk-en-2* at 25°C and in cold test affected by seed drying methods.

Genotype	Seed drying method	Germin. at 25°C (%)	Emergence in cold test (%)	Length at 25°C (cm)		Plumule length in cold test (cm)
				Plumule	Radicle	
<i>sugary</i>	Out door	97.8 ns	81.7 c <sup>1)</sup>	6.2 ns	12.0 ns	11.9 ns
	Green house	94.5	91.7 b	6.2	10.1	9.9
	Dryer (32°C)	100.0	95.8 a	8.2	13.0	9.0
	<b>Average</b>	<b>97.4 ns</b>	<b>89.7 A<sup>2)</sup></b>	<b>6.9 ns</b>	<b>11.7 ns</b>	<b>10.3 ns</b>
<i>shrunk-en-2</i>	Out door	93.3 ns	62.5 a	5.0 ns	9.2 ns	12.1 ns
	Green house	92.2	60.0 b	6.2	9.1	12.2
	Dryer (32°C)	97.8	53.3 c	5.7	10.2	10.5
	<b>Average</b>	<b>94.4</b>	<b>58.6 B</b>	<b>5.6</b>	<b>9.5</b>	<b>11.6</b>

<sup>1)</sup>; Means within a column for a given genotype followed by the same small letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

<sup>2)</sup>; Menas of a genotype followed by followed by the same capital letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

가) Cold soil test에서 출아율; 토양에 파종하여 출아 시험하였을 때 단옥수수는 초당옥수수보다 출아율이 약 31.1% 높았다. 그러나 옥수수 종류와 건조방법간에 교호작용이 있었는데 단옥수수에서는 건조기>온실>야외에서 순으로 건조한 종자의 발아율이 가장 높았다. 그러나 초당옥수수에서는 정 반대로 야외 건조한 종자의 발아율이 가장 높았고, 건조기에서 건조한 종자의 발아율이 가장 낮았다 (초당옥수수의 25°C 발아율은 통계적으로는 유의차가 없었지만 수치적으로는 건조기에서 건조한 종자가 발아율이 높아 종자에는 이상이 없었는데 cold soil test에서 출아율이 낮았던 것은 시험과정의 오류로 생각되어 재시험 중이며, 최종보고서에는 수정된 결과를 보고할 예정

임).

나) 25℃에서 발아율, 25℃에서 유아장 및 유근장, cold soil test에서 초장; 옥수수 종류와 건조방법간에 교호작용이 없었으며, 모두 옥수수 종류간, 건조방법간에 유의한 차이가 없었다.

### 3) 종자의 당 누출, 종자 침지용액의 전기전도도 및 α-amylase 활성

건조방법이 다른 단옥수수와 초당옥수수의 당과 전해질의 누출량 및 α-amylase 활성은 옥수수 종류와 건조방법간에 교호작용이 인정되어 옥수수 종류별 건조방법을 비교하면 표 1-4-2와 같다.

Table 1-4-2. Leakage of total sugars and electrolytes (EC) and α-amylase activity of sugary and shrunken-2 affected by seed drying methods.

Genotype	Seed drying method	Total sugars (mg/g seed)	EC (μs/cm/g seed)	α-amylase activity (% starch lost)
<i>sugary</i>	Out door	0.30 ns	8.6 b <sup>1)</sup>	13.7 b
	Green house	0.33	9.1 ab	16.9 ab
	Dryer (32℃)	0.39	9.7 a	21.3 a
	<b>Average</b>	<b>0.34 B<sup>2)</sup></b>	<b>9.1 B</b>	<b>17.3 B</b>
<i>shrunken-2</i>	Out door	1.32 b	36.5 a	55.0 a
	Green house	1.04 b	24.8 b	49.8 ab
	Dryer (32℃)	2.50 a	33.2 a	40.1 b
	<b>Average</b>	<b>1.62 A</b>	<b>31.5 A</b>	<b>48.3 A</b>

<sup>1)</sup>; Means within a column for a given genotype followed by the same small letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

<sup>2)</sup>; Menas of a genotype followed by followed by the same capital letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

가) 당 누출; 종자를 물에 침지하였을 때 당 누출량은 단옥수수보다는 초당옥수수가 더 많았다. 단옥수수에서는 건조방법간에는 당 누출량은 차이가 없었으나 초당옥수수에서는 건조기에서 건조한 종자의 당 누출량이 온실과 야외 등 자연적으로 건조

된 종자보다 더 많았다.

나) 전해질 누출; 단옥수수보다는 초당옥수수가 침지용액의 전해질을 EC로 측정 한 값을 보면 초당옥수수가 단옥수수보다 현저히 높았다. 건조방법간 EC는 단옥수수에서는 야외건조 < 온실 < 건조기의 순이었으나, 초당옥수수에서는 온실에서 건조한 종자가 야외나 건조기에서 건조한 것보다 EC가 낮았다.

다)  $\alpha$ -amylase 활성; 종자의  $\alpha$ -amylase 활성은 초당옥수수가 단옥수수보다 컸다. 그리고 단옥수수는 야외건조 < 온실 < 건조기의 순으로  $\alpha$ -amylase 활성이 높았으나 초당옥수수에서는 반대로 건조기 < 온실 < 야외건조의 순으로  $\alpha$ -amylase 활성이 컸다.

## 라. 고찰

암이삭을 수확한 후 포엽을 제거하고 건조하였을 때 건조방법에 따른 종자의 25℃ 발아율과 cold soil test에서 출아율은 차이가 없었다 (표 1-4-1). 그리고 cold soil test에서 단옥수수의 유아장이 건조기 < 온실 < 야외건조의 순으로 컸던 것을 제외하면 단옥수수와 초당옥수수에서 모두 발아율, 출아율, 유아장, 유근장은 모두 차이가 없어 본 시험에서 이용한 건조방법은 종자의 활력에 큰 영향을 미치지 않았다.

한편 우리나라에서는 단옥수수의 종자 수확기는 7-8월에 해당되어 장마가 계속될 때는 수확하기 전에 종자가 부패하거나 수발아의 위험이 있어 빨리 건조시키는 것이 중요하다.

종자를 32℃ 송풍식 건조기에서는 수분함량이 10%로 건조하는데 약 4일이 소요되어 건조속도가 온실이나 비가림한 야외보다 빨랐으나 대량으로 채종재배할 때는 건조 시설이 필요하다.

## 5. 단옥수수과 초당옥수수의 탈곡방법에 따른 종자 특성과 활력검정

### 가. 연구목적

옥수수 종자는 탈곡할 때 충격에 의하여 기계적인 피해를 받아 활력이 저하되는데 탈곡방법과 탈곡 시 종자 수분함량에 따라 기계적인 상처와 종자활력이 다르다. 그래서 종자의 수분함량과 탈곡 시 피해정도 및 종자활력을 조사하여 알맞은 탈곡방법을 위한 기초자료를 얻고자 한다.

### 나. 재료 및 방법

#### 1) 공시품종

가) 단옥수수 : GCB 70 (♀) x Early Sunglow (♂) 교잡종

나) 초당옥수수: Extrasweet 82 (♀) x Fortune (♂) 교잡종

#### 2) 파종 및 교잡종 생산

가) 파종기: 2002년 4월 20일.

나) 교잡종 생산 및 재배관리; 제1절 3. 단옥수수와 초당옥수수 종자생산을 위한 수확적기 구명과 같음.

#### 3) 수확 및 건조

가) 수확기: 출사 후 49일.

나) 건조방법: 수확한 암이삭을 포엽을 벗기고 온실에서 건조하면서 2일 간격으로 종자 수분측정기 (PM-600, Kett, Japan)를 이용하여 수분함량이 약 12, 15, 18, 21% 정도가 될 때까지 건조한 후 탈곡하여 종자의 수분함량이 약 10%가 될 때까지 다시 건조하여 -10℃의 냉동실에 저장.

#### 4) 탈곡방법

가) 탈곡시 종자의 수분함량; 약 12, 15, 18, 21%

나) 탈곡; 손탈곡은 종자에 상처가 나지 않도록 조심하여 종자를 穗軸 (cob)에서 분리하였다. 탈곡기는 회전속도를 조절할 수 있는 사업용 탈곡기가 없어서 농촌진흥청 농기계연구소에서 시험 제작한 종실용 옥수수 탈곡기를 이용하였다.

5) 조사방법

가) 종자의 외부상처; 탈곡한 종자의 외부상처는 AOAC법의 전분분석 방법을 응용하였다. 종자 30립을 2% 요오드에 1분간 침지하면 종피에 상처가 난 부분은 짙은 푸른색으로 변하는데 하는데 그 비율을 조사하고 실체현미경에서 확대하여 사진 촬영.

나) 종자 수분함량, 침종 시 누출당과 전해질, 발아율, cold soil test에서 출아율 및  $\alpha$ -amylase 활성; 제1절 3. 단옥수수과 초당옥수수 종자생산을 위한 수확적기 구명과 같음.

나. 결과 및 고찰

1) 탈곡 시 외부상처

옥수수 암이삭을 옥수수 전용 탈곡기로 탈곡한 종자 중에는 상처를 입지 않은 건전 종자도 있었지만 과피의 상당한 부분이 찢어진 심한 상처를 입은 종자도 있었고, 과피 중 아주 작은 부분이 떨어져 나가 염색된 것도 있었다 (그림 1-5-1).





Genotype	Normal seed	Severely damaged seed	Slightly damaged seed
<i>sugary</i>			
<i>shrunkn-2</i>			

Photo. 1-5-1. Mechanical damages of *sugary* and *shrunkn-2* seeds threshed with an electrical thresher.

손으로 탈곡하였을 때는 종자 수분함량과 관계없이 외부상처가 전혀 없었지만 탈곡기로 탈곡하였을 때는 옥수수 종류와 종자 수분함량에 따라 그 결과가 다소 달랐다. 사진 1-5-1에서 가벼운 상처를 입은 종자는 활력에 영향을 크게 미치지 않을 것으로 생각하여 건전종자와 상처를 많이 입은 종자의 비율을 보면 표 1-5-1과 같다. 옥수수 종류별로는 단옥수수가 초당옥수수보다 많았으며, 옥수수 종류별로 종자 수분함량에 따른 상처받은 종자의 비율이 달랐다. 단옥수수에서는 종자 수분함량이 12%일 때 피해율이 45.6%로 가장 많았지만 수분함량이 15-21% 사이에서는 차이가 없었다. 그러나 초당옥수수에서는 수분함량 12-21% 사이에서는 탈곡시 종자의 상처에 영향을 미치지 않았다.

Table 1-5-1. Mechanical damages of *sugary* and *shrunken-2* seeds affected by seed moisture content when threshed by an electrical corn thresher.

Genotype	Seed moisture (%)	Normal seed (%)	Damaged seed (%)
<i>sugary</i>	12	54.4 b	45.6 a
	15	70.8 a	29.2 b
	18	70.6 a	29.4 b
	21	72.2 a	27.8 b
	<b>Average</b>	<b>67.0 B</b>	<b>33.0 A</b>
<i>shrunken-2</i>	12	81.1 ns	18.9 ns
	15	74.4	25.6
	18	76.1	23.9
	21	73.3	26.7
	<b>Average</b>	<b>76.2 A</b>	<b>23.8 B</b>

※ No damages were observed in hand shelled seeds regardless seed moisture content.

## 2) 25℃에서 발아율과 cold soil test에서 출아율

탈곡한 종자를 다시 종자 수분함량이 약 10% 되도록 건조한 후 -10℃에 저장하였다가 25℃에서 발아율과 cold soil test에서 출아율을 보면 그림 1-5-1과 같다. 발아율

과 출아율은 두 탈곡방법과 모든 종자 수분함량에서 모두 단옥수수가 초당옥수수보다 현저히 높았다.

단옥수수의 경우 손 탈곡한 종자는 25°C와 cold soil test에서 모두 탈곡시 종자의 수분함량과 관계없이 모두 95% 이상이였다. 그러나 탈곡기로 탈곡한 종자는 수분함량 15%의 종자가 25°C의 발아율과 cold soil test에서 출아율이 가장 높았다. 그런데 피해립이 가장 많았던 수분함량 12% 종자는 25°C에서 발아율은 낮지 않았지만 cold soil test에서 출아율은 가장 낮은 것은 탈곡시 종자의 상처는 발아적온보다 저온인 불량환경에서 문제가 되는 듯 하다.

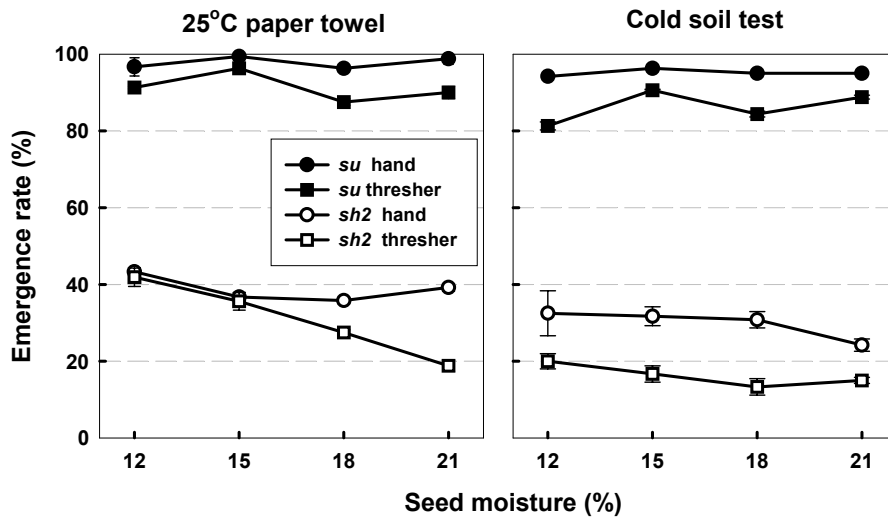


Fig. 1-5-1. Emergence rate of *sugary* and *shrunken-2* affected by seed moisture and threshing methods.

초당옥수수는 손 탈곡한 종자와 기계탈곡한 종자는 수분함량과 발아온도에 따라 달랐다. 즉 25°C에서는 손 탈곡한 종자는 탈곡시 수분함량과 관계없이 발아율이 약 40%이었지만 기계탈곡한 종자는 수분함량이 12 및 15%의 종자의 발아율은 손 탈곡한 종자와 비슷하였지만 수분함량이 18%일 때는 수분함량이 낮을수록 발아율이 감소하였다. 한편 cold soil test에서는 기계탈곡한 종자는 탈곡시 종자의 수분함량과 관계없이 손탈곡한 종자보다 출아율이 10-15% 더 낮았다. 기계탈곡한 종자는 탈곡시 종자 수분함량이 12%인 것이 출아율이 가장 높았으며 수분함량이 높을수록 출아율이 감소하는 경향이였다.



### 3) 침종시 종자의 당과 전해질 누출

증류수에 침지한 종자의 전당 누출량과 침지용액의 전기전도도 (EC)로 측정된 전해질 누출량을 보면 그림 1-5-2와 같다. 초당옥수수( sugary )가 단옥수수( shrunken-2 )보다, 또 기계 탈곡한 종자가 손 탈곡한 종자보다 전당 누출량이 현저히 많았다.

종자 수분함량간에는 손 탈곡한 단옥수수 종자와 기계 탈곡한 초당옥수수 종자는 수분함량과 관계없었다. 한편 손 탈곡한 초당옥수수 종자는 수분함량이 18%까지 증가할수록 당 누출량이 많았으며, 기계 탈곡한 단옥수수 종자는 수분함량간에 당 누출량이 비슷하였으나 수분함량 15% 종자는 당 누출량이 적었다.

전해질의 누출량을 보면 초당옥수수가 단옥수수보다, 또 기계 탈곡한 종자가 손 탈곡한 종자보다 EC가 현저히 높았다. 종자 수분함량과 전해질 누출량과의 관계를 보면 손 탈곡한 종자는 종자 수분함량 12%일 때 초당옥수수의 EC가 높았을 뿐 다른 종자는 수분함량과 관계없이 비슷하였다. 그러나 기계 탈곡한 종자는 단옥수수와 초당옥수수 모두 수분함량 12-15%에서는 EC가 비슷하였지만 그 이상의 수분함량에서는 종자의 수분함량이 증가할수록 EC도 증가하였다.

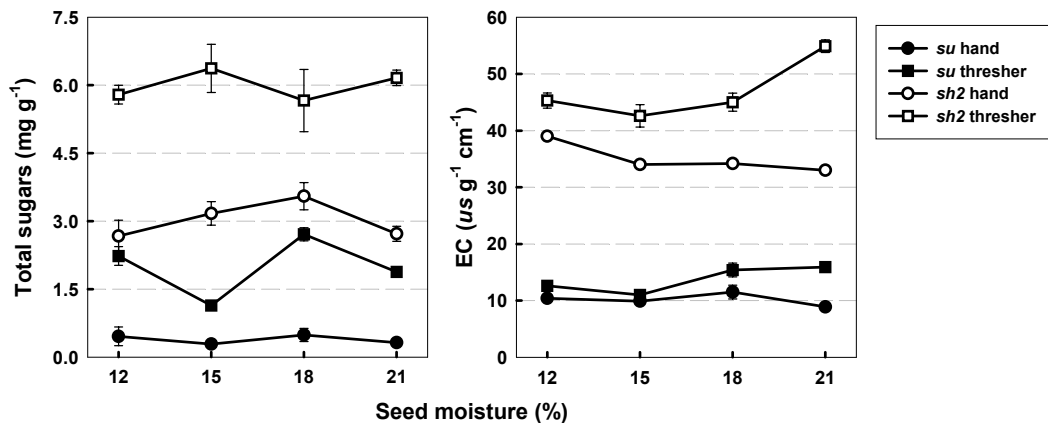


Fig. 1-5-2. Leakage of total sugars and electrolytes (EC) of *sugary* and *shrunken-2* seeds affected by seed moisture and threshing methods.

### 4) α-amylase 활성

종자의 α-amylase 활성은 그림 1-5-3과 같다. 초당옥수수가 단옥수수보다, 또 손 탈곡한 종자가 기계 탈곡한 종자보다 탈곡시 종자 수분함량과 관계없이 α-amylase 활성이 현저히 더 높았다.

단옥수수를 보면 손 탈곡한 종자는 수분함량이 12-15%일 때가 18-21%보다  $\alpha$ -amylase 활성이 더 높았다. 그러나 기계 탈곡하였을 때는 수분함량 12%에서 다른 수분함량의 종자보다  $\alpha$ -amylase 활성이 낮았는데 상처를 받은 종자수가 가장 많았기 때문으로 생각된다 (표 1-5-1 참조).

초당옥수수는 손 탈곡과 기계 탈곡한 종자 모두 수분함량 12%에서  $\alpha$ -amylase 활성이 가장 높았지만 수분함량이 높을수록  $\alpha$ -amylase 활성이 감소하였다. 그런데 손 탈곡종자는 그 감소정도가 적었지만 기계 탈곡한 종자는 수분함량 18 및 21%일 경우  $\alpha$ -amylase 활성이 건전종자의 절반이하로 떨어졌다.

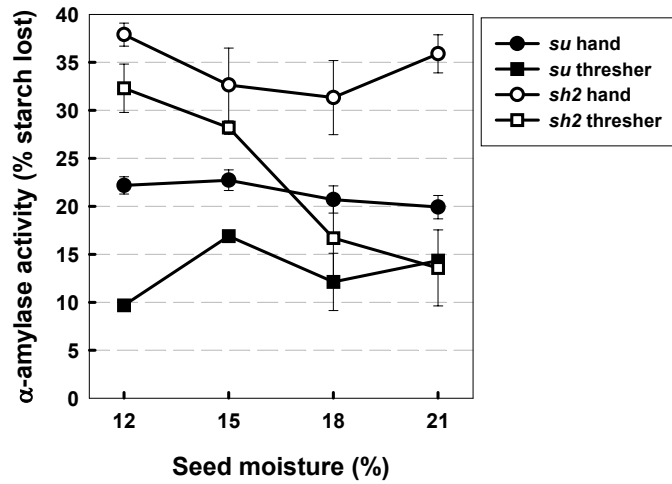


Fig. 1-5-3. The  $\alpha$ -amylase activity of *sugary* and *shrunkken-2* seeds affected by seed moisture and threshing methods.

#### 라. 고찰

옥수수 종자를 기계로 탈곡할 때 종자의 상처 및 활력은 옥수수 종류, 종자의 성숙 정도와 수분함량, 탈곡기 종류와 회전속도 등에 따라 다르다. 본 시험에서 종자의 성숙 정도는 종자생산에 가장 알맞은 출사 후 49일에 수확한 종자이었으나 회전수를 조절할 수 있는 옥수수 탈곡기가 없어서 한 가지 회전속도에서만 탈곡할 수 있는 농촌진흥청 농업기계연구소에서 시험제작한 옥수수 탈곡기를 이용하였다.

손 탈곡한 종자는 탈곡시 종자수분함량이 발아율과 출아율에 큰 영향을 미치지 않

았지만 기계 탈곡한 종자는 옥수수 종류와 종자 수분함량에 따라 결과가 달랐다 (그림 1-5-1). 단옥수수의 경우 25℃에서 발아율은 기계 탈곡한 종자가 약 3-9% 낮고, 초당옥수수에서는 8-20% 낮으므로, 단옥수수와 초당옥수수 종자를 상업적으로 생산할 때는 탈곡할 때 종자의 활력을 저하를 줄일 수 있는 탈곡기를 도입하든지 새로운 탈곡기의 개발이 필요하다.

종자의 활력을 높일 수 있는 탈곡할 때 알맞은 종자의 수분함량은 단옥수수는 15%, 초당옥수수는 12%이었다. 단옥수수의 경우 수분함량이 15%일 때는 상처를 받은 종자수가 12%보다 적었고 (표 1-5-1), 수분함량이 다른 종자와 비교하여 전당과 전해질의 누출이 가장 적으며 (그림 1-5-2),  $\alpha$ -amylase 활성은 가장 높았고 (그림 1-5-3), 25℃의 발아율과 cold soil test에서 출아율이 가장 높았기 때문이다.

초당옥수수의 경우 수분함량 12%의 종자는 탈곡시 유의차는 없었지만 상처받은 종자수가 가장 적었고 (표 1-5-1), 전당과 전해질 누출량이 가장 적으며 (그림 1-5-2),  $\alpha$ -amylase 활성은 가장 높았고 (그림 1-5-3), 25℃의 발아율과 cold soil test에서 출아율이 가장 높았기 때문이다.

## 6. 단옥수수과 초당옥수수의 저장방법에 따른 종자특성과 활력검정

### 가. 연구목적

단옥수수와 초당옥수수 종자는 저장 중 활력이 빨리 저하한다. 특히 우리나라는 미국에서 생산된 종자를 재배하고 있으므로 수송과 유통과정에서 활력이 저하되기 쉬우며, 실제로 수입된 종자의 활력이 낮아 공급하지 못하는 사례도 있다. 그래서 앞으로 우리나라에서 종자를 생산하거나 수입된 종자를 완전하게 저장할 수 있는 방법을 연구한다.

### 나. 재료 및 방법

#### 1) 단옥수수와 초당옥수수의 품종

- 가) 단옥수수 : GCB 70 (♀) x Early Sunglow (♂) 교잡종, Sweet Satin
- 나) 초당옥수수: Extrasweet 82 (♀) x Fortune (♂) 교잡종, Cambella 90
- 다) 미국에서 수입한 종자; 단옥수수 (Sweet Satin), 초당옥수수 (Cambella 90)

#### 2) 파종 및 교잡종 생산

- 가) 파종기: 교배조합끼리 출사기가 비슷하여 2002년 4월 20일에 파종
- 나) 재배관리; 제1절 3. 단옥수수와 초당옥수수 종자생산을 위한 수확적기 구명과 같음.

#### 3) 이삭수확 및 건조

- 가) 이삭수확기: 출사 후 49일인 9월 4일
- 나) 건조 및 탈곡방법: 수확한 이삭을 포엽을 벗기고 온실에서 건조 후 손 탈곡

#### 4) 종자저장 방법

- 가) 저장조건: 일반창고, 5℃ (RH 70 및 85%), 15℃ (RH 70 및 85%)
- 나) 저장기간: 2002년 12월 24일부터 0, 1, 3, 5, 7, 9, 10 개월
- 다) 저장방법: 사각상자에 glycerol과 물을 섞어 용액의 비중이 1.17 및 1.11이 되도록 하여 상자 내의 상대습도가 70 및 85%로 조절하고 (Forney & Bandle, 1992), 용액에 닿지 않도록 선반을 설치한 후 밑 부분이 망으로 된 plastic box에 종자를 넣

어 밀봉한 후 5 및 15℃에 저장하였음. 저장이 끝난 종자는 -15℃ 냉동고에 보관하였다가 모든 저장이 끝난 후 동시에 발아시험 하였다.

#### 5) 조사방법

가) 일반창고의 기온 및 상대습도; 제1절 4. 단옥수수과 초당옥수수의 건조방법에 따른 종자특성과 활력검정과 같은 방법으로 창고 내의 일 최저기온, 최고기온, 최저상대습도, 최고상대습도를 조사한 후 10일 간격으로 평균치를 구하였다.

나) 25℃ paper towel의 발아율, cold soil test에서 출아율, 당 및 전해질 누출, α-amylase 활성; 제1절 3. 단옥수수와 초당옥수수 종자생산을 위한 수확적기 구명과 같음.

#### 나. 결과 및 고찰

##### 1) 일반창고의 기온과 상대습도

종자 저장기간 (2002년 12월 24일 시작)의 일반창고 내 일 최저기온, 최고기온, 최저상대습도, 최고상대습도의 변화를 보면 그림 1-6-1과 같다. 저장한 후 처음 3개월간은 일 최고온도와 최저기온 모두 15℃이하이었고, 3-5개월간에는 최고기온은 15℃보다 높았으나 최저기온은 15℃보다 낮았다. 그러나 6-9월 사이에는 최고기온과 최저기온이 15℃보다 훨씬 높았다.

일 최고상대습도는 저장 1개월간은 70%이하이었고, 2-5개월에는 최고상대습도가 70%보다 높았으나 95%보다는 낮았으며, 이 기간의 일 최저습도는 50% 이하이었다. 일 최고상대습도가 약 80% 이상이었던 7-10월에도 최저상대습도는 75%를 넘지 않았다.

기온과 상대습도를 함께 고려하면 저장 5개월까지는 시험조건과 비교하여 온도가 비교적 낮고, 상대습도는 낮아 저장에 유리한 조건이었다. 그러나 6-9개월에는 최고기온과 최저기온이 모두 높고, 최고상대습도는 높아 종자저장에 불리한 조건이었지만 최저상대습도는 75%이하이었고, 낮에는 최고온도가 높지만 상대습도는 낮아 종자저장에 영향을 적게 미칠 수도 있을 것으로 생각된다.

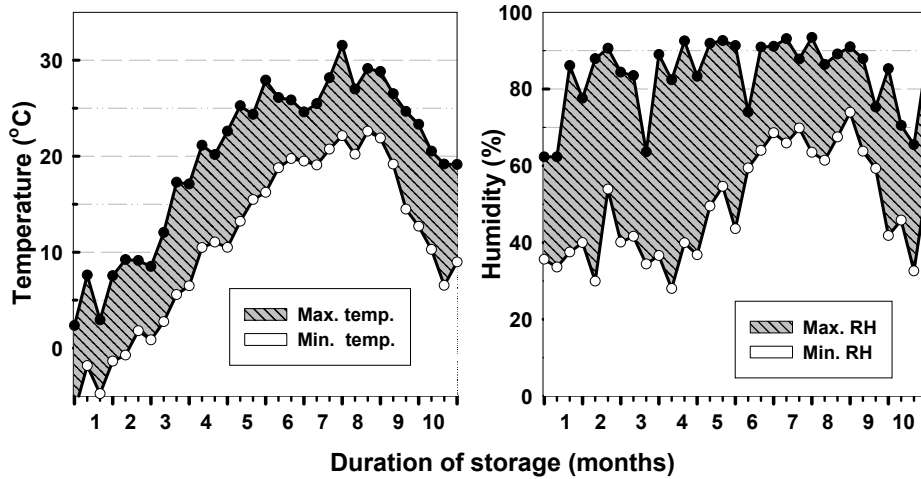


Fig. 1-6-1. Changes in daily maximum and minimum air temperatures and daily minimum and maximum relative humidities (RH) in a ware house.

## 2) 25°C paper towel의 발아시험

### 가) 발아율

단옥수수과 초당옥수수를 온도와 상대습도 (RH)가 다른 조건에서 10개월간 저장한 후 25°C paper towel에서 발아시험한 결과를 그림 1-6-2에서 보면, 모든 저장기간과 저장조건에서 단옥수수가 초당옥수수보다 현저히 높았다.

단옥수수는 어느 저장조건에서나 5개월까지는 발아율이 거의 변하지 않았고, 10개월간 저장하여도 모두 90% 이상 발아하였다. 그러나 9개월 이후에는 저장온도와 관계없이 RH 85%에서는 발아율이 다소 떨어지기 시작하였다.

초당옥수수는 일반참고, 5°C에서 RH 70%, 15°C에서 RH 70%에서 저장한 종자는 처음 1개월 후에는 발아율이 약 7% 떨어졌지만 7개월까지는 발아율이 더 이상 저하되지 않았다. 그러나 5°C에서 RH 70%에서는 10개월까지 발아율이 떨어지지 않았으나 15°C에서 RH 70%에서는 9개월 이후에, 일반참고 저장온 7개월 이후에는 발아율이 다소 떨어지기 시작하였다. 그리고 5°C에서 RH 85%와 15°C에서 RH 85%에서는 저장 1개월 후에 발아율이 각각 약 19 및 36% 급격히 떨어졌으나 그 이후에는 발아율이 서서히 감소되었다.

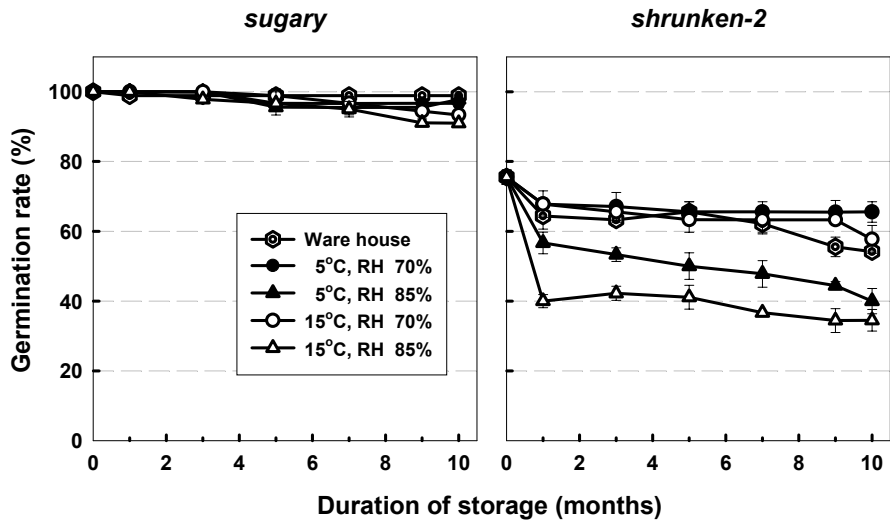


Fig. 1-6-2. Changes in germination rate of *sugary* and *shrunken-2* seeds stored at different temperatures and relative humidities (RH) and germinated at 25°C.

#### 나) 유아장

저장기간과 저장조건에 따른 유근장의 변화를 그림 1-6-4에서 보면, 단옥수수과 초당옥수수간에는 큰 차이가 없었다. 유근장은 반복간에 차이가 커서 저장기간이나 저장조건간에 큰 차이가 없었다.

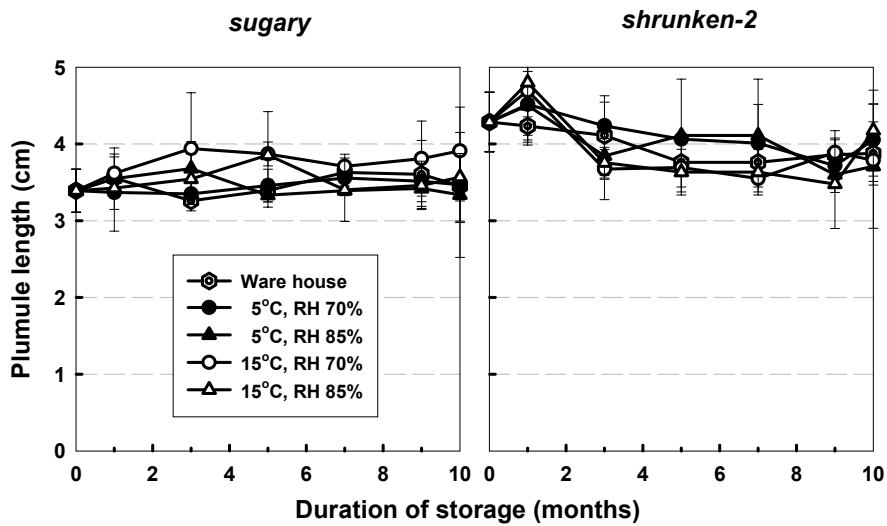


Fig. 1-6-3. Changes in plumule length of *sugary* and *shrunken-2* seeds stored at different temperatures and relative humidities (RH) and germinated at 25°C.

#### 다) 유아중

유아중의 변화를 그림 1-6-4에서 보면, 단옥수수가 초당옥수수보다 현저히 높았다. 유아중의 변화는 단옥수수와 초당옥수수에서 모두 반복간에 차이가 커서 결론을 내리기 어렵지만 저장기간이나 저장조건에 따른 차이는 크지 않은 것 같다.

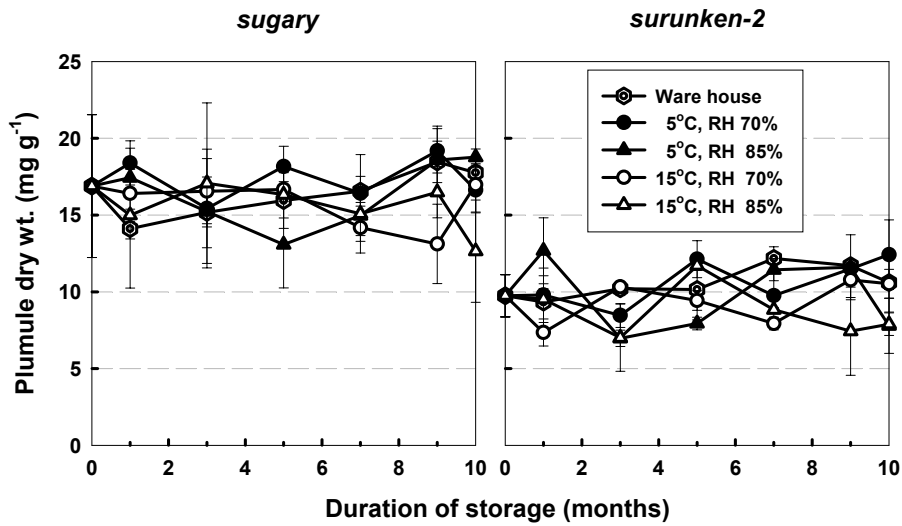


Fig. 1-6-4. Changes in plumule dry weight of *sugary* and *shrunken-2* seeds stored at different temperatures and relative humidities (RH) and germinated at 25°C.

#### 라) 유근장

저장기간과 저장조건에 따른 유근장의 변화를 그림 1-6-5에서 보면, 단옥수수와 초당옥수수간에는 큰 차이가 없었다. 유근장은 반복간에 차이가 커서 저장기간이나 저장조건간에 큰 차이가 없었다.



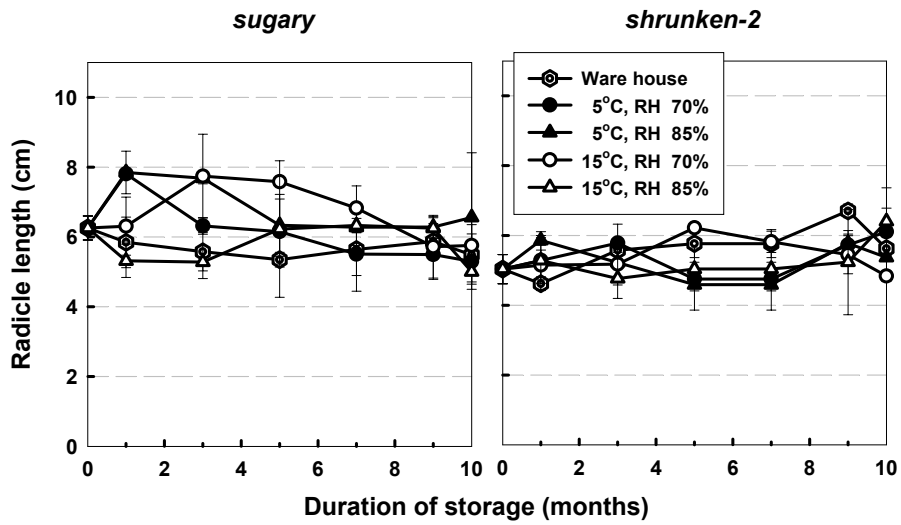


Fig. 1-6-5. Changes in radicle length of *sugary* and *shrunken-2* seeds stored at different temperatures and relative humidities (RH) and germinated at 25°C.

마) 유근중

저장기간과 조장조건에 따른 유근중의 변화를 그림 1-6-6에서 보면 단옥수수와 초당옥수수간에는 큰 차이가 없었다. 반복간에 차이가 컸으며, 저장기간이나 저장조건 간에는 큰 차이가 없었다.

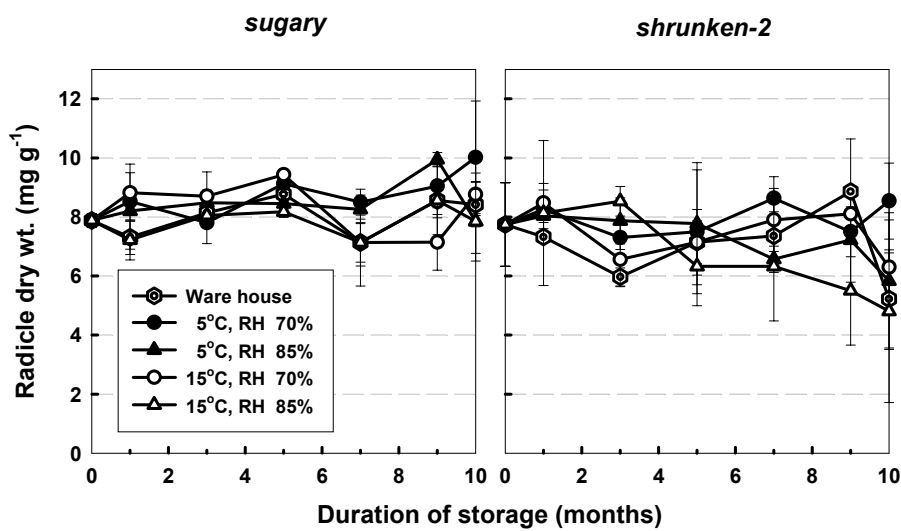


Fig. 1-6-6. Changes in radicle dry weight of *sugary* and *shrunken-2* seeds stored at different temperatures and relative humidities (RH) and germinated at 25°C.

### 3) Cold soil test에서 종자활력 검정

#### 가) 출아율

저장기간과 저장조건에 따른 단옥수수과 초당옥수수의 출아율을 그림 1-6-7에서 보면, 단옥수수의 출아율이 초당옥수수보다 현저히 높았으며, 저장기간과 저장조건에 따라 출아율이 저하되는 양상은 다소 달랐다.

단옥수수는 10개월 저장기간 중 대부분의 저장조건에서 출아율이 비슷한 속도로 서서히 감소하였는데 그 정도는 저장조건에 따라 다소 달랐다. 저장온도 15°C에서는 상대습도와 관계없이 저장 10개월에는 출아율이 약 67%로 저하되었다. 한편 저장온도 5°C에서는 RH 85%에서 70%보다 출아율이 더 감소하여 10개월 저장한 종자의 출아율은 약 73%이었다. 그러나 5°C, RH 70%와 일반창고에 저장한 종자는 5개월까지는 다른 저장조건과 비슷한 속도로 출아율이 저하하였지만 그 이후에는 거의 변하지 않았다.

초당옥수수는 -10°C의 내동저장한 종자도 출아율이 20%로 낮았으며, 저장조건에 관계없이 저장 1개월 후에 출아율이 10% 전후로 낮았다. 저장 2개월 이후에는 더 이상 출아율이 저하되지 않았고, 저장조건간 차이도 없었다.

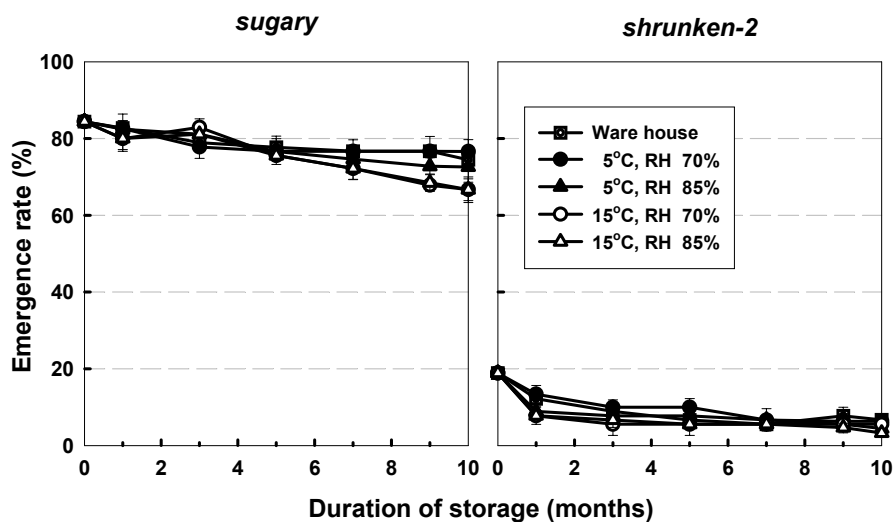


Fig. 1-6-7. Changes in emergence rate of *sugary* and *shrunken-2* seeds stored at different temperatures and relative humidities (RH) and germinated in cold soil test.

### 나) 유근중

저장기간과 저장조건에 따른 유근장의 변화를 그림 1-6-8에서 보면, 초당옥수수보다 단옥수수보다 유근장이 현저히 적었고, 저장기간에 대한 반응은 달랐다.

단옥수수는 5°C RH 85%에서 7개월 이후에 유근장이 다른 저장조건보다 다소 낮았을 뿐 저장기간과 저장조건간에 큰 차이가 없었다.

초당옥수수에서는 모든 저장조건에서 1 및 2개월 저장에서 유근장이 다른 저장기간보다 다소 짧았다.

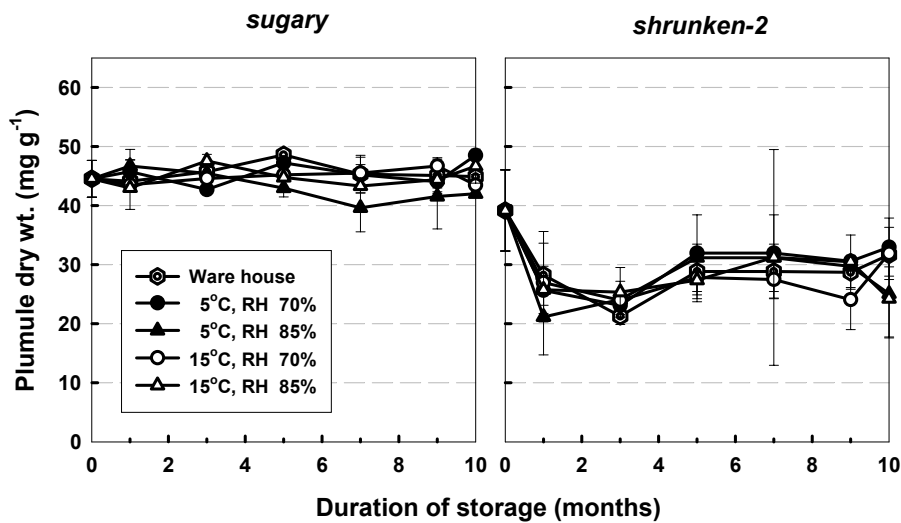


Fig. 1-6-8. Changes in emergence rate of *sugary* and *shrunken-2* seeds stored at different temperatures and relative humidities (RH) and germinated in cold soil test.

### 3) 침종시 종자의 당 누출

저장기간과 저장조건에 따른 종자의 당 누출량을 그림 1-6-9에서 보면, 초당옥수수가 단옥수수보다 당 누출량이 현저히 높았고, 저장기간과 저장조건에 따라 당 누출양상이 다소 달랐다.

단옥수수는 저장 5개월까지는 모든 저장조건에서 당 누출량이 크게 변하지 않았으나 그 이후에는 서서히 당 누출량이 증가하기 시작하였다.

초당옥수수에서는 저장 8개월까지는 당 누출량이 크게 변하지 않았으나 9개월 이후에는 당 누출량이 급격히 증가하였다. 저장조건간에는 5°C 상대습도 70%에서 당 누출량이 가장 적었다.

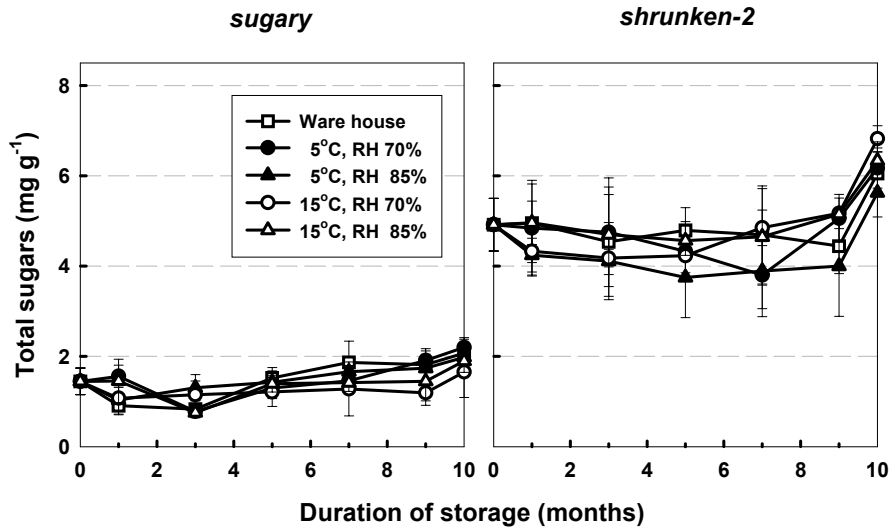


Fig. 1-6-9. Changes in total sugar leakage of *sugary* and *shrunken-2* seeds stored at different temperatures and relative humidities (RH) and germinated in cold soil test.

#### 4) 전해질 누출

저장기간과 저장조건이 다른 종자를 침종하여 EC로 측정된 전해질의 누출량을 그림 1-6-10에서 보면, 초당옥수수보다 단옥수수보다 현저히 많았고, 저장기간과 저장조건에 따라 변화양상이 달랐다.

단옥수수에서는 저장기간과 저장조건에 따라 변하지 않았다. 그러나 초당옥수수는 저장기간이 길어질수록 전해질의 누출량이 증가하였다. 저장조건간에는 창고에 저장한 종자의 전해질 누출량이 많았으며, 온도에 관계없이 상대습도가 70%인 조건에서 저장한 종자의 전해질 누출량이 적었다.

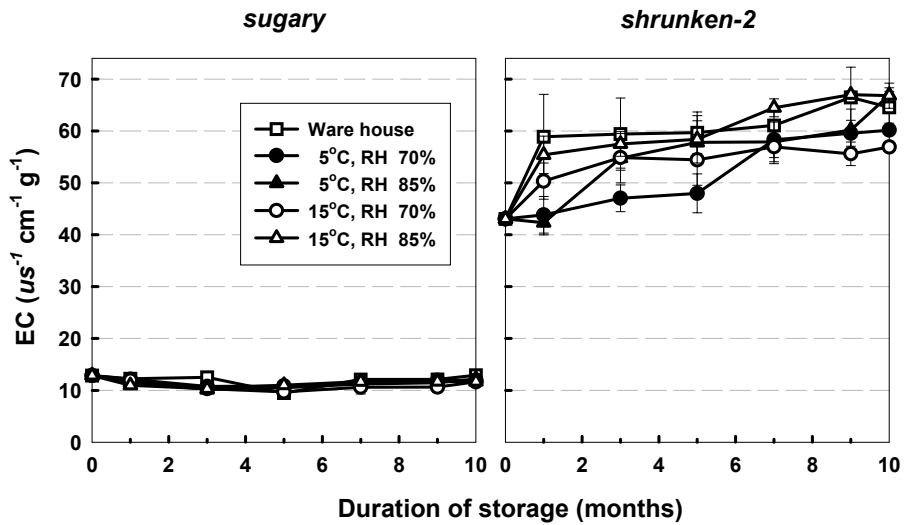


Fig. 1-6-10. Changes in leakage of electrolytes of *sugary* and *shrunken-2* seeds stored at different temperatures and relative humidities (RH) and germinated in cold soil test.

### 5) $\alpha$ -amylase 활성

저장기간과 저장조건에 따른  $\alpha$ -amylase 활성의 변화를 그림 1-6-11에서 보면, 초당옥수수가 단옥수수보다 높았으며, 저장기간과 저장조건에 따라  $\alpha$ -amylase 활성의 변화양상은 현저히 달랐다.

단옥수수는 저장조건과 저장기간에 관계없이 비슷하였지만 초당옥수수는 모든 저장조건에서 저장기간이 길어질수록  $\alpha$ -amylase 활성이 거의 직선적으로 감소 하였다. 그 중 5°C, RH 70%에서  $\alpha$ -amylase 활성의 감소가 가장 적었으며, 5°C RH 85%에서는  $\alpha$ -amylase 활성이 15°C RH 70%보다  $\alpha$ -amylase 활성이 더 낮았다. 저장조건 중 15°C RH 85%에서 저장된 종자의  $\alpha$ -amylase 활성이 저장기간이 길어짐에 따라 가장 급격히 감소하였다.

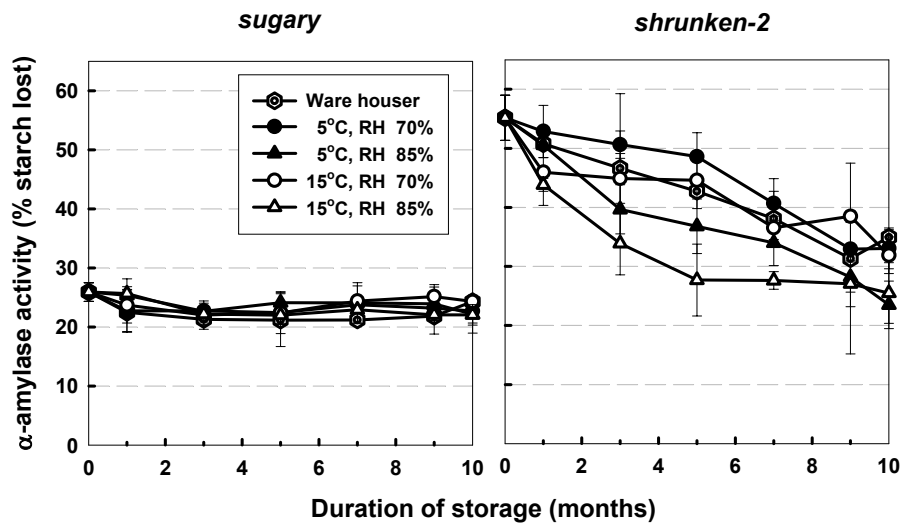


Fig. 1-6-12. Changes in  $\alpha$ -amylase activity of *sugary* and *shrunken-2* seeds stored at different temperatures and relative humidities (RH) and germinated in cold soil test.

#### 6) 수입한 1대잡종 종자의 cold test에서 출아율

본 시험에서는 1대잡종 종자를 구할 수 없어서 1대잡종간의 복교잡종을 만들어 시험하였다. 그러나 초다옥수수는 cold soil test에서 출아율이 20%이어서 미국에서 수입한 1대잡종에 대하여 저장시험을 추가로 실시하였는데 그 결과를 보면 그림 1-6-12와 같다.

단옥수수는 어떤 저장조건에서도 5개월간은 출아율이 전혀 감소하지 않았지만 초당옥수수는 저장조건에 따라 출아율이 현저히 달랐다. 상대습도가 85%에서는 저장온도가 5-15°C에서도 저장 1개월 후에는 출아율이 40%이하로 감소되었다. 그러나 상대습도가 70%일 때는 5°C에서 저장한 것이 15°C 저장한 것보다 출아율이 현저히 높았다.

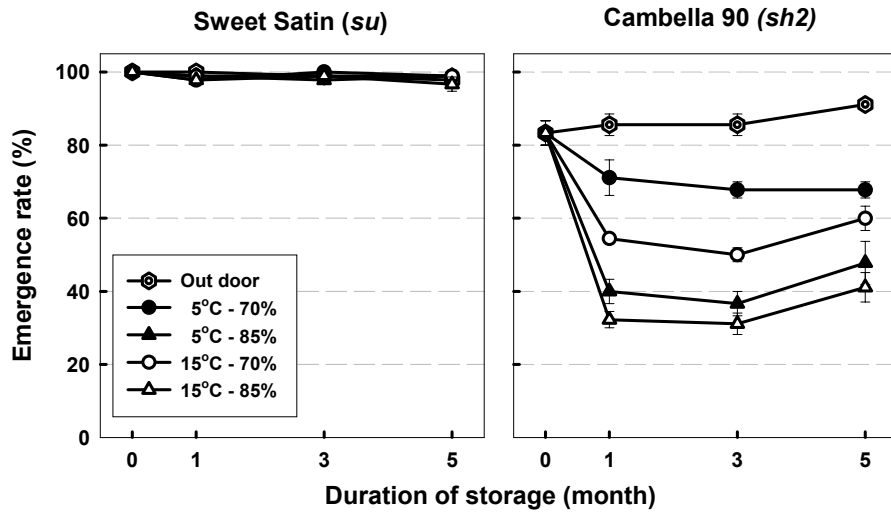


Fig. 1-5-12. Changes in emergence rate of *sugary* and *shrunk-2* seeds stored at different temperatures and relative humidities (RH) and germinated in cold soil test. Seeds were F1 hybrids imported from United States.

#### 라. 고찰

단옥수수 종자를 10개월간 저장한 후 25°C에서 발아시험하였을 때 발아율은 저장조건에 따라 약 5-10% 감소하였지만 초당옥수수는 8-20% 감소하였다 (그림 1-6-2). 그러나 cold soil test에서 단옥수수는 저장기간과 저장조건에 따른 25°C에서 발아율과 양상이 비슷하였고 출아율이 약 18% 낮았지만, 초당옥수수에서는 출아율이 모두 20% 이하로 극히 낮았다 (그림 1-6-7). 그러므로 발아환경이 다소 불량한 포장에서 옥수수 종자의 활력을 예측하기 위해서는 단옥수수는 25°C의 발아시험으로 어느 정도 가능하지만 초당옥수수는 반드시 cold soil test를 해야 할 것으로 생각된다. 초당옥수수의 25°C의 발아율은 저장조건간에 차이가 있었지만 cold soil test에서는 차이가 없는 것은 모든 종자가 저온조건에서 출아율이 현저히 낮았기 때문으로 생각된다.

단옥수수는 저장기간이 10개월까지 길어져도 침중하였을 때 당과 전해질의 누출량과  $\alpha$ -amylase 활성은 감소하지 않았다. 그러나 초당옥수수는 저장 1개월 후부터  $\alpha$ -amylase 활성이 현저히 떨어지고 (그림 1-6-11), 전해질 누출량도 증가하며 (그림 1-6-10), 10개월 후부터는 당 누출량도 증가하여 (그림 1-6-9) 단옥수수보다 종자의 노화가 빠른 것으로 생각된다.

저장조건간에 초당옥수수 25℃에서 발아율 (그림 1-6-2)과  $\alpha$ -amylase 활성 (그림 1-6-11)은 15℃ RH 85%에서 가장 낮고, 5℃ RH 85%에서 그 다음으로 낮았다. 그리고 상대습도가 70%일 때는 저장온도 5 및 15℃와 창고저장간에는 발아율과  $\alpha$ -amylase 활성의 차이가 없으므로 저장고의 상대습도가 온도보다 더 중요한 것으로 생각된다. 일반창고에서 종자활력이 높게 유지되었던 것은 저장을 12월 24일에 시작하여 저장 5개월까지는 일 최고기온도 기온도 15℃이하로 낮게 유지되었고, 상대습도는 일 최고상대습도는 70%이하 최저상대습도는 40%이하로 경과되었기 때문으로 생각된다 (그림 1-6-1).



## 제 2 절 단옥수수과 초당옥수수의 종자활력 증진방법 탐구

### 1. Osmoconditioning 처리에 의한 단옥수수와 초당옥수수의 종자활력 증진과 생리적 변화

#### 가. 재료 및 방법

##### 1) 공시품종

가) 마치종: KS5 (♀) x KS6 (♂)의 교잡종인 수원 19호

나) 단옥수수: Early Sunglow (♀) x Golden Cross Bantam 70 (GCB 70) (♂)의 교잡종

다) 초당옥수수: Extrasweet 82 (♀) x Fortune (♂)의 교잡종

##### 2) 건전종자의 인위적 노화처리 (Forney & Bandle, 1992)

사각상자에 glycerol과 물을 혼합하여 상대습도 95%로 조절한 용액을 넣고, 용액이 닿지 않도록 선반을 설치한 후 밑 부분이 망으로 된 plastic box에 종자를 넣어 45℃에서 10일간 처리하였다. 처리 중 매일 종자 100립을 꺼내어 실험실에서 풍건한 후 종자의 활력을 검정하여 발아율이 건전종자의 50%가 되는 처리기간을 알아낸 후 시험에 이용할 노화종자를 만들었다.

##### 3) 최적 water potential (WP) 처리수준 탐색

가) Water potential 조절: Polyethylene glycol (PEG) 8000을 이용하여 0, -0.3, -0.6, -0.9, -1.2 MPa인 용액을 만듦 (Mitchel, 1983).

나) Osmoconditioning 처리; Plastic 상자에 paper towel 4겹을 깔고 WP이 다른 PEG 용액 250 mL를 넣어 종자의 1/3이 잠기도록 만든 후 30립을 넣고, parafilm으로 수분이 소실되지 않도록 밀봉하였다. 그리고 상자를 15℃에서 2일간 처리한 후 흐르는 물에 1분간 PEG 용액을 씻어내고 paper towel로 종자의 수분을 제거한 후 상온에서 건조하였다.

##### 4) 조사항목

가) 종자 수분함량, 침종 시 누출당과 전해질, 발아율, cold soil test에서 출아율 및

$\alpha$ -amylase 활성; 제1절 3. 단옥수수과 초당옥수수 종자생산을 위한 수확적기 구명과 같음.

나) DNA 및 단백질 함량; DNA 및 단백질 함량은 종자를 Willey Mill로 분쇄하여 100 mesh를 통과한 시료 0.05 g을 1.5-mL e-tube에 넣고, 65°C로 중탕한 2% CTAB buffer (100 mM Tris-HCl, 1.4 M NaCl, 20 mM EDTA, 2% CTAB in 1000 mL water) 600  $\mu$ l를 넣고, 65°C에서 20분간 가끔 흔들어주면서 중탕한 후 chloroform : iso-amyl alcohol을 24 : 1로 혼합한 용액을 600  $\mu$ l 넣어주었다. 그리고 진탕기 (Orbital shaker, Finemould Precision Ind. Co., Korea)에서 130~150 rpm으로 15분간 진탕한 후 상층액 200  $\mu$ l를 다른 1.5-mL e-tube에 넣고 RNase (M610A, Promega, USA) 2  $\mu$ l를 넣어 잘 섞고, 37°C에서 30분간 반응시켰다. 다시 99 및 70% ethanol로 차례로 1회씩 세척하였다. 다시 TE buffer (10 mM Tris-HCl, 1 mM EDTA in 1000 mL water) 200  $\mu$ l에 녹여 260 nm에서 흡광도를 측정하여 DNA 함량을 계산하였으며, 단백질 함량은 280 nm에서 흡광도를 측정하였다 (남 & 안, 1999).

## 나. 결과 및 고찰

### 1) 출아율

Osmoconditioning 처리한 종자를 토양에 파종하여 발아적온인 25°C와 cold test에서 출아율을 조사한 결과는 그림 2-1-1 및 2-1-2와 같다.

#### 가) 발아적온(25°C)에서의 출아율

WP 수준이 다른 조건에서 건전종자와 노화종자를 osmoconditioning 처리하였을 때 25°C 토양에서의 출아율을 보면 (그림 2-1-1), 마치종의 건전종자는 osmoconditioning 처리되어도 무처리 종자보다 출아율이 향상되지 않았는데 이것은 원래 종자의 출아율이 99.2%로 높았기 때문이었다. 그러나 발아율을 건전종자의 약 50%로 노화시킨 종자는 osmoconditioning 처리가 발아율을 3.4~14.2% 향상시켰으며, 알맞은 WP은 마치종 옥수수는 0~-0.3 MPa, 단옥수수와 초당옥수수 모두 -0.6 MPa 이었다.

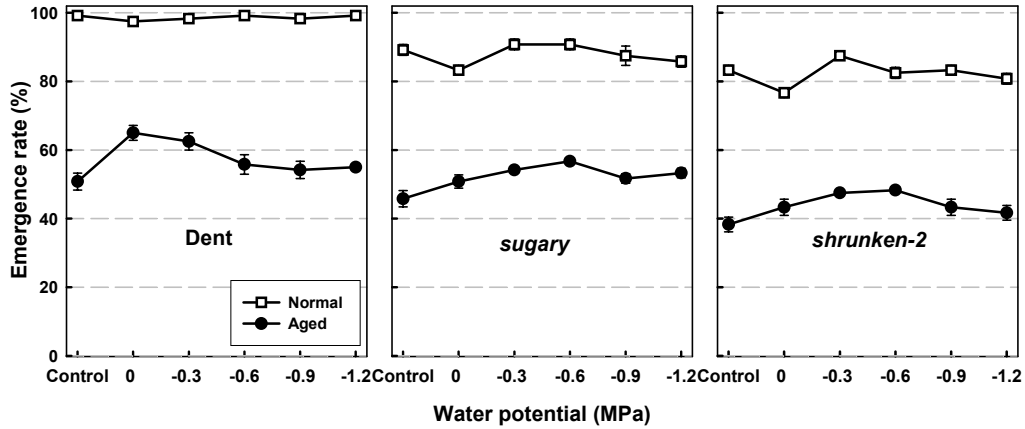


Fig. 2-1-1. Emergence rate of normal and aged dent, *sugary*, *shrunken-2* corn seeds primed at different water potentials and germinated in soil at 25°C.

#### 나) Cold soil test에서 출아율

25°C의 발아율에서와 같은 방법으로 priming 처리한 옥수수 종자를 cold soil test한 결과 (그림 2-1-2) 출아율은 건전종자에서 마치종 옥수수가 98.3%로 가장 높았고, 단 옥수수가 78.2% 이었으며, 초당옥수수는 50.8%로 가장 낮았다. 건전종자 중에서 출아율이 높았던 마치종 옥수수의 priming 처리는 출아율에 영향을 미치지 않았으나 출아율이 비교적 낮았던 단옥수수와 초당옥수수에서는 처리용액의 WP에 따라 영향이 달랐다. 즉, 단옥수수와 초당옥수수 모두 0 MPa (물)에서 priming 처리하였을 때는 무처리 종자보다 출아율이 각각 5.9 및 11.6% 감소하였다. 그러나 -0.3~-0.6 MPa에서 priming 처리한 종자는 무처리보다 출아율이 단옥수수에서는 6.6~8.3%, 초당옥수수에 대해서는 10.0~14.2% 증가하였으나 그 보다 낮은 WP에서는 오히려 출아율이 감소하였다. 단옥수수와 초당옥수수 종자를 0 MPa에서 priming하였을 때, 즉 물을 흡수시켰을 때는 강한 흡수력에 의하여 imbibition injury가 있어서 출아율이 낮았지만 PEG 용액에서는 수분흡수 속도가 늦기 때문에 imbibition injury가 없었기 때문으로 생각된다.

노화종자는 genotype에 따라 priming에 알맞은 WP이 달랐다. 마치종 옥수수에서는 WP이 0 및 -0.3 MPa에서 무처리 종자에 비하여 출아율이 7.5~8.3% 향상되었고, 단 옥수수는 -0.3~-0.9 MPa에서 8.3~10.8%, 초당옥수수는 -0.3~-0.6 MPa에서 출아율이 6.7~14.2% 향상되었으며, 적정 WP보다 더 낮은 PEG 용액에서는 오히려 출아율

이 감소하였다.

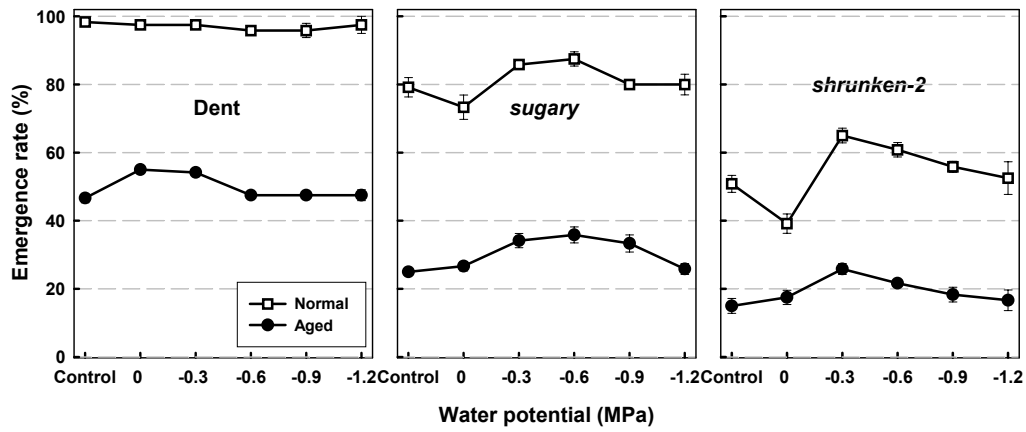


Fig. 2-1-2. Emergence rate of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunken-2* corn seeds primed at different water potentials in cold soil test. Control seeds were not primed.

#### 다) 출아속도

출아속도를 표 2-1-1에서 보면 대체로 무처리 종자보다는 osmoconditioning한 종자의 출아가 다소 빨랐으나 그 정도는 크지 않았다. Osmoconditioning 용액의 WP간에는 대체로 0~-0.3 MPa에서 출아속도가 가장 빨랐다.

Table 2-1-1. The number of days to emergence ( $T_{50}$ ) of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunkn-2* corn seeds osmoconditioned at different water potentials and germinated at 25°C soil and cold soil test. (days)

Genotype	WP at osmoconditioning (MPa)	25°C soil		Cold soil test	
		Normal	Aged	Normal	Aged
Dent	Control	3.5 a	3.6 a	9.0 a	9.4 a
	0	3.1 b	3.5 b	8.8 bc	9.2 abc
	-0.3	2.8 b	3.5 b	8.9 ab	9.1 bcd
	-0.6	3.3 a	3.5 b	8.7 c	9.3 ab
	-0.9	3.4 a	3.5 b	8.9 ab	9.0 cd
	-1.2	3.4 a	3.5 b	8.9 ab	8.9 d
<i>su</i>	Control	3.7 ns	4.9 a	9.6 a	10.1 a
	0	3.5	4.4 c	9.3 b	9.3 c
	-0.3	3.4	4.5 bc	9.3 b	9.2 c
	-0.6	3.6	4.5 bc	9.2 bc	9.7 b
	-0.9	3.7	4.6 b	9.0 c	10.0 a
	-1.2	3.7	4.6 b	9.3 b	10.1 a
<i>sh2</i>	Control	3.5 ab	4.4 a	9.7 a	10.4 ns
	0	3.5 a	3.8 c	9.4 b	9.5
	-0.3	2.8 d	3.9 c	9.4 b	9.8
	-0.6	3.2 c	4.2 b	9.4 b	9.5
	-0.9	3.4 ab	4.1 b	9.1 c	10.0
	-1.2	3.3 bc	4.3 ab	9.4 b	10.1

<sup>1)</sup>Means within a column in each genotype followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

#### 라) 유아장과 유아중

모든 옥수수 종류의 25°C와 cold soil test에서 건전종자의 유아장이 노화종자의 유아장보다 현저히 더 길었다. Osmoconditioning 용액의 WP간에는 경향이 일정하지 않았는데 25°C에서는 건전종자와 노화종자 모두 대체로 -0.3~-0.6 MPa에서 유아장이 가장 길었다.

한편 cold soil test에서는 모든 건전종자는 WP간에 유아장의 차이가 없었으나 노화종자는 -0.3 MPa가 알맞은 WP이었다.

유아층은 25℃에서는 마치종과 초당옥수수는 건전종자와 노화종자 모두 WP간에 차이가 없었으나 단옥수수는 -0.3 MP에서 유아층이 가장 컸다. Cold soil test에서는 모든 옥수수 종류에서 건전종자와 노화종자 모두 -0.3 MP에서 유아장이 가장 컸다.

Table 2-1-2. Plumule height of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunked-2* corn seeds osmoconditioned at different water potentials and germinated at 25℃ soil and in cold soil test.

Genotype	WP at priming (MPa)	Plumule height (cm)				Plumule dry weight (mg/plant)			
		25℃ soil		Cold soil test		25℃ soil		Cold soil test	
		Normal	Aged	Normal	Aged	Normal	Aged	Normal	Aged
Dent	Control	21.3 b <sup>1)</sup>	13.6 c	21.0 ns	16.6 b	54.6 ns	32.2 ns	55.5 b	35.7 cd
	0	22.0 ab	14.6 b	22.3	18.8 a	58.3	31.1	61.0 a	33.7 d
	-0.3	21.3 b	15.1 a	24.1	18.6 a	54.2	34.1	62.6 a	39.8 a
	-0.6	22.0 ab	14.8 ab	21.7	18.1 a	57.8	36.1	59.9 a	36.4 bc
	-0.9	20.9 b	14.7 b	22.1	18.2 a	52.8	36.7	60.0 a	38.3 ab
	-1.2	23.1 a	14.7 b	22.3	18.1 a	61.8	33.7	62.2 a	37.3 bc
<i>su</i>	Control	15.5 c	8.7 c	16.6 ns	10.7 c	34.0 c	22.5 c	38.7 ns	25.1 d
	0	16.5 b	10.0 b	17.8	11.7 b	38.9 ab	24.7 bc	39.9	28.0 c
	-0.3	16.6 b	11.6 a	19.0	13.1 a	41.9 a	30.5 a	42.1	31.7 a
	-0.6	18.0 a	11.8 a	17.2	12.8 a	38.5 ab	30.5 a	40.5	30.6 ab
	-0.9	17.5 a	11.6 a	16.4	12.9 a	35.1 bc	29.7 a	37.2	29.5 b
	-1.2	16.6 b	11.5 a	16.9	12.5 a	37.2 bc	27.7 ab	40.8	29.7 b
<i>sh2</i>	Control	12.4 c	10.2 b	18.1 ns	14.2 ns	18.2 ns	11.6 ns	23.9 b	14.1 b
	0	13.3 bc	11.2 a	16.9	16.1	17.5	11.9	16.2 c	12.0 c
	-0.3	13.2 bc	11.4 a	19.0	14.6	22.3	11.6	26.2 ab	15.4 ab
	-0.6	13.7 b	11.4 a	16.6	15.0	17.6	12.2	26.0 ab	16.0 a
	-0.9	13.6 b	11.4 a	16.7	14.3	19.8	13.0	27.2 a	14.8 ab
	-1.2	14.8 a	11.6 a	18.1	13.8	20.6	10.4	24.0 b	14.2 b

<sup>1)</sup>Means within a column in each genotype followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

### 마) 당 누출

마치종, 단옥수수, 초당옥수수 종자를 물에 침지하였을 때 누출되는 당 함량을 보면 그림 2-1-3과 같다. 옥수수 종류별로 보면 마치종이 당 누출량이 가장 적었고, 초당옥수수가 가장 많았으며, 단옥수수는 그 중간이었다.

마치종은 건전종자와 노화종자 모두 osmoconditioning하지 않은 종자의 당 누출량이 극히 적었으며, osmoconditioning한 종자는 거의 당을 누출하지 않았다.

단옥수수는 건전종자와 노화종자 모두 WP이 0 MPa일 때 당 누출량이 가장 적었다. 그리고 노화종자가 건전종자보다 당 누출량이 많았으며, osmoconditioning 용액의 WP이 감소할수록 당 누출량이 증가하였다.

초당옥수수에서도 노화종자가 건전종자보다 당 누출량이 현저히 많았으며, osmoconditioning 용액의 -0.6 MPa까지는 WP이 감소할수록 당 누출량이 급격히 감소하였으나 그 이하에서는 다시 증가하였다.

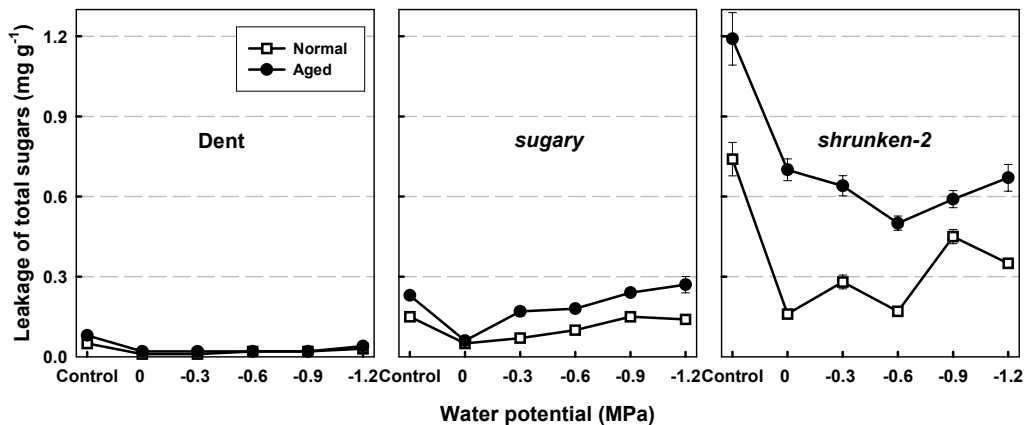


Fig. 2-1-3. Leakage of total sugars of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunken-2* corn seeds primed at different water potentials. Control seeds were not primed.

### 바) 전해질 누출

종자 침지용액의 전해질 누출량을 그림 2-1-4에서 보면, 마치종이 가장 적었고, 단옥수수가 그 다음이었고, 초당옥수수가 가장 많았다.

마치종에서는 노화종자가 건전종자보다 EC가 다소 높았지만 그 차이는 적었다.

Osmoconditioning 한 종자는 무처리 종자보다는 EC가 낮았으나 WP간에는 차이가 없었다.

단옥수수에는 노화종자가 건전종자보다 EC가 높았다. 그리고 -0.3 MPa까지는 WP이 낮을수록 EC가 감소하였고, 그 보다 WP이 낮을수록 EC는 다소 증가하였다.

초당옥수수에서는 노화종자가 건전종자보다 EC가 다소 높았으며, 노화종자와 건전종자 모두 -0.6 MPa까지는 WP이 낮을수록 EC가 현저히 감소하다가 그 보다 WP이 낮으면 EC가 비슷하거나 다소 증가하였다.

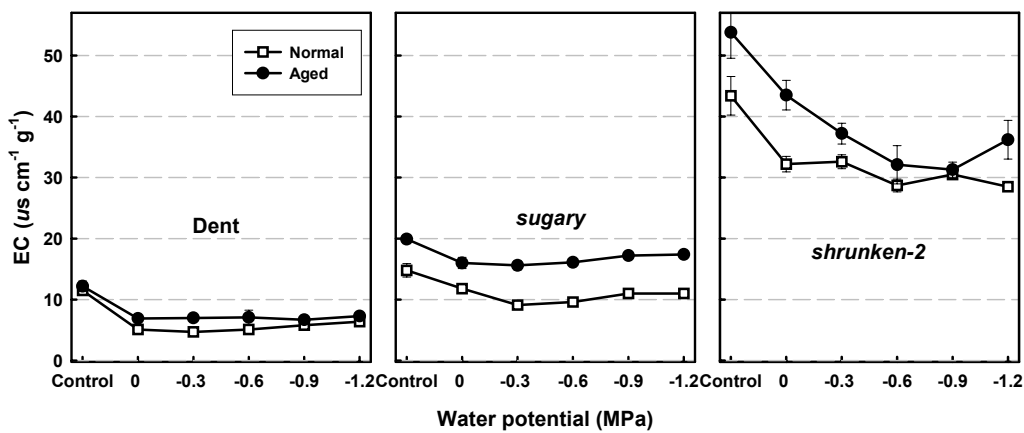


Fig. 2-1-4. Electrical conductivity (EC) of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunken-2* corn seeds primed at different water potentials.

#### 사) $\alpha$ -amylase 활성

옥수수 종자의  $\alpha$ -amylase 활성을 보면 (그림 2-1-5) 초당옥수수의  $\alpha$ -amylase 활성이 가장 높았고, 그 다음이 마치종이었으며, 단옥수수가 가장 낮았다. 그리고 어느 옥수수 종류에서나 건전종자가 노화종자보다  $\alpha$ -amylase 활성이 현저히 높았으나 osmoconditioning 용액의 WP간에는 경향이 달랐다.

마치종에서는 무처리 종자보다는 osmoconditioning 한 종자의  $\alpha$ -amylase 활성이 현저히 높았다. Osmoconditioning 한 종자 중에는 0 MPa에서 가장 높았으며, 그 보다 osmoconditioning 용액의 WP이 높아지면  $\alpha$ -amylase 활성이 감소하였다.

단옥수수와 초당옥수수는 건전종자와 노화종자 모두 osmoconditioning 용액의 WP이 -0.3~-0.6MPa일 때  $\alpha$ -amylase 활성이 가장 높았다.



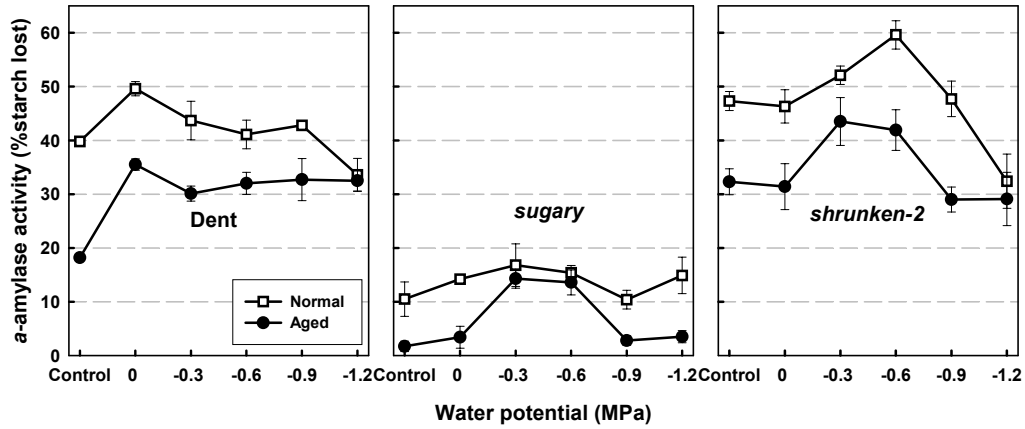


Fig. 2-1-5. The  $\alpha$ -amylase activity of normal and aged dent, sugary, and shrunken-2 corn seeds primed at different water potentials.

#### 아) DNA 및 가용성 단백질 함량

DNA와 가용성 단백질 함량은 단옥수수가 가장 많았고, 그 다음은 마치종이었으며, 초당옥수수가 가장 적었다. 어느 옥수수 종류에서나 건전종자가 노화종자보다 DNA와 가용성 단백질 함량이 높았다.

Osmoconditioning 용액의 WP간에는 마치종은 건전종자와 노화종자 모두 0, 단옥수수는  $-0.3 \sim -0.6$ , 초당옥수수는  $0 \sim -0.9$  MPa에서 DNA와 가용성 단백질 함량이 가장 많았고, 그보다 WP이 낮으면 오히려 감소하는 경향이였다.

Table 2-1-3. DNA and protein content of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunk-en-2* corn seeds primed at different water potentials and germinated at 25°C and in cold test.

Genotype	WP at osmoconditioning (MPa)	DNA ( $\mu\text{g/g}$ seed)		Soluble protein (mg/g)	
		Normal	Aged	Normal	Aged
Dent	Control	37.2 d	23.0 d	2.2 b	1.7 bc
	0	51.5 a	27.9 a	2.8 a	1.9 a
	-0.3	44.4 b	25.7 b	2.3 b	1.8 ab
	-0.6	41.5 bc	24.0 c	2.2 b	1.6 c
	-0.9	42.8 bc	25.2 b	2.2 b	1.6 c
	-1.2	39.8 cd	24.8 bc	2.3 b	1.6 c
<i>sugary</i>	Control	164.0 c	95.9 c	9.4 b	8.4 cd
	0	173.3 ab	103.3 ab	10.3 a	7.2 e
	-0.3	178.0 a	105.0 a	10.6 a	8.9 ab
	-0.6	177.9 a	101.6 ab	10.6 a	9.1 a
	-0.9	175.0 a	97.8 bc	10.9 a	8.5 bc
	-1.2	168.2 bc	95.0 c	10.3 a	7.9 d
<i>shrunk-en-2</i>	Control	28.0 b	17.0 c	1.7 c	0.8 b
	0	29.1 a	19.2 ab	2.2 a	1.0 a
	-0.3	28.9 a	19.2 ab	1.9 b	1.0 ab
	-0.6	29.1 a	19.9 a	2.0 ab	1.0 a
	-0.9	29.2 a	19.2 ab	2.1 ab	1.0 ab
	-1.2	28.2 a	18.0 bc	2.0 ab	0.8 b

<sup>1)</sup> Means within a column followed for a given genotype by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

#### 라. 고찰

Osmoconditioning의 효과는 옥수수 종류, 종자활력, 용액의 WP에 따라 달랐다. 활

력이 아주 높았던 마치종 건전종자는 osmoconditioning에 의하여 25℃와 cold soil test에서 출아율이 99.2%로서 더 향상될 여지가 없었지만 (그림 2-1-1, 2-1-2) 출아기간은 다소 단축되었고 (표 2-1-3), 유아생장이 촉진되었다 (표 2-1-2). 한편 활력이 낮은 마치종 노화종자에 알맞은 WP은 0~-0.3 MPa이었는데 무처리 종자보다 출아율이 12~14% 향상되었고 (그림 2-1-1, 2-1-2), 출아속도가 빨라졌고 (표 2-1-3), 유아생장이 촉진되었다 (표 2-1-2). Osmoconditioning에 의한 출아율 향상, 출아기간 단축, 유묘생장 촉진 등 긍정적 효과는  $\alpha$ -amylase 활성 (그림 2-1-5), DNA와 가용성 단백질 증가 (표 2-1-3)와 관계가 되는 듯하다.

단옥수수과 초당옥수수의 건전종자는 0 MPa에서 출아율이 무처리나 다른 WP에서보다 낮았다. 단옥수수와 초당옥수수의 건전종자와 노화종자 모두 osmoconditioning에 알맞은 WP은 -0.3~-0.6 MPa이었다. 적정 WP에서 osmoconditioning된 종자의 출아율 향상, 출아기간 단축, 유묘생장 촉진 등 긍정적 효과는  $\alpha$ -amylase 활성 (그림 2-1-5), DNA와 가용성 단백질 증가 (표 2-1-3)는 물론 당 (그림 2-1-3)과 전해질의 누출이 적어 (그림 2-1-4) 종자의 활력이 향상되었기 때문으로 생각된다.

## 2. Matricconditioning에 의한 종자 활력증진과 생리적 특성변화

### 가. 재료 및 방법

#### 1) 공시품종

가) 보통옥수수: KS5 (♀) x KS6 (♂)의 교잡종인 수원 19호

나) 단옥수수: Early Sunglow (♀) x Golden Cross Bantam 70 (GCB 70) (♂)의 교잡종

다) 초당옥수수: Extrasweet 82 (♀) x Fortune (♂)의 교잡종

#### 2) 건전종자의 인위적 노화처리

제2절 1. Osmoconditioning 처리에 의한 단옥수수와 초당옥수수의 종자활력 증진과 생리적 변화와 같음.

#### 3) Matricconditioning 처리

Matricconditioning 처리할 때 수분함량을 조절하기 위하여 사용한 재료는 원예용 vermiculite를 분쇄하여 20 mesh 체를 통과한 재료를 사용하였다. Plastic bag에 처리할 종자무게의 5배인 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℃에서 24시간 처리하였다. 처리한 종자는 vermiculite를 제거하고 실험실에서 풍건한 후 시험에 이용할 때까지 -20℃ 냉동실에 보관하였다.

#### 4) 조사항목

종자 침종 시 당과 전해질 누출량, 토양 (25℃)과 cold soil test의 출아율,  $\alpha$ -amylase 활성, DNA 및 단백질 함량 조사; 제2절 1. Osmoconditioning 처리에 의한 단옥수수와 초당옥수수의 종자활력 증진과 생리적 변화와 같다.

## 나. 결과 및 고찰

### 1) 출아율

Matriconditioning 처리한 종자를 토양에 파종하여 발아적인인 25℃와 cold soil test 에서 출아율을 조사한 결과는 그림 2-2-1, 2-2-2와 같다.

#### 가) 발아적인(25℃)에서 출아율

Matriconditioning 처리하지 않은 건전종자의 출아율은 마치종 옥수수 98.3%, 단옥수수 89.2%, 초당옥수수 83.3%로서 마치종이 가장 높았고, 초당옥수수가 가장 낮았다(그림 2-2-1). 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 높았던 것은 상업용으로 재배되는 우수한 F1간의 교잡종 이었기 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 출아율에 영향을 미치지 않았고, 높게 유지되었다. 그러나, 발아율이 상대적으로 낮았던 초당옥수수의 건전종자와 모든 genotype의 노화종자는 vermiculite의 수분함량이 125%까지 증가할수록 matriconditioning 처리에 의한 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 *et al.* (1993)은 발아율이 낮은 초당옥수수 종자를 수분함량이 125%인 vermiculite에서 24시간 matriconditioning하면 특히 저온(10~15℃)에서 발아할 때 matriconditioning의 효과가 크다고 하여 이 실험과 결과와 비슷하였다.

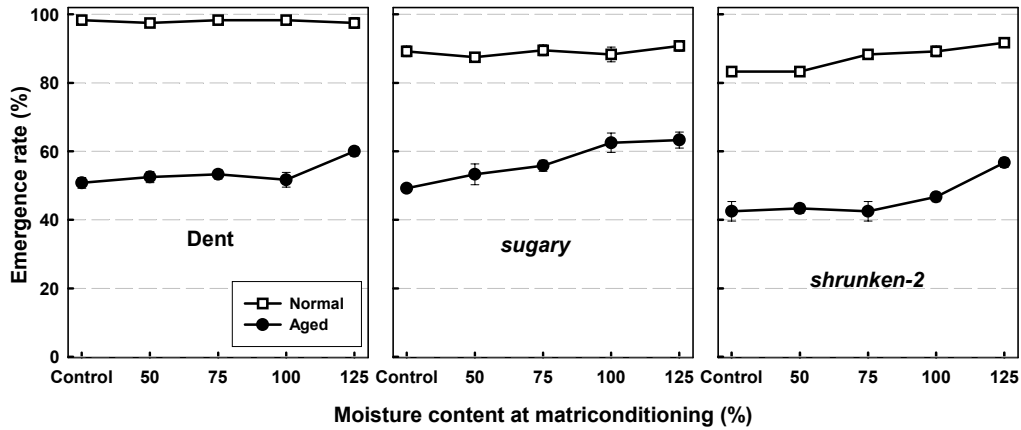


Fig. 2-2-1. Emergence rate of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunken-2* corn seeds matriconditioned at different moisture contents and germinated at 25°C.

#### 나) Cold soil test 출아율

Cold soil test할 때 마치종 옥수수의 출아율은 matriconditioning할 때 수분함량의 영향을 받지 않았고, 25°C에서와 같이 모두 높게 유지되었다 (그림 2-2-2). 단옥수수 와 초당옥수수의 건전종자와 모든 genotype의 노화종자는 matriconditioning할 때 수 분함량이 100~125%까지는 수분함량이 높을수록 발아율이 증가하였다.

Matriconditioning에 가장 알맞은 수분 함량에서 단옥수수와 초당옥수수의 건전종자 는 무처리에 비하여 출아율이 각각 7.5 및 15.8% 증가하였고, 마치종, 단옥수수, 초당 옥수수 노화종자는 각각 8.3, 8.3, 11.6% 증가하였다.

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

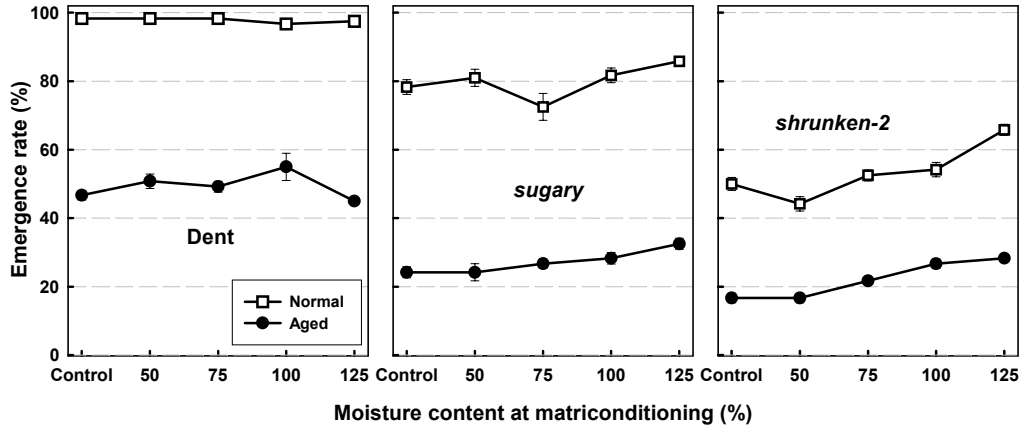


Fig. 2-2-2. Emergence rate of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunken-2* corn seeds matriconditioned at different moisture contents and germinated in cold soil test.

## 2) 출아속도(T<sub>50</sub>)

Matriconditioning 한 건전종자와 노화종자를 토양에 파종하여 25°C와 cold soil test 조건에서 시험한 결과 최종출아개체수의 50%가 출아한 기간인 T<sub>50</sub>을 보면 표 2-2-1과 같다. 발아적온인 25°C와 cold soil test에서 건전종자와 노화종자 모두 matriconditioning 할 때 vermiculite의 수분함량이 증가할수록 T<sub>50</sub>이 감소하여 출아가 촉진되는 경향을 보였다. 그러나 25°C에서 단옥수수, cold soil 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 (T<sub>50</sub>)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 T<sub>50</sub>을 계산할 수 있지만 노화종자의 출아율은 50% 이하여서 T<sub>50</sub>을 나타낼 수 없기 때문에 출아속도를 비교하기 위하여 최종발아개체수를 기준으로 하여 T<sub>50</sub>을 계산하였다.

Table 2-2-1. The number of day to emergence ( $T_{50}$ ) of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunk-2* corn seeds matriconditioned at different moisture contents and germinated at 25°C and in cold soil test. (days)

Genotype	Moisture of vermiculite (%)	25°C soil		Cold soil test	
		Normal	Aged	Normal	Aged
Dent	Control	3.4 a <sup>1)</sup>	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
<i>sugary</i>	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
<i>shrunk-2</i>	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

<sup>1)</sup>Means within a column in each genotype followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.



### 3) 유묘생육

Matriconditioning 한 건전종자와 노화종자를 파종하여 발아적온인 25°C와 cold soil test에서 조사한 유아장과 유아건물중을 보면 표 2-2-2와 같다.

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

Geno-type	Moisture of vermiculite (%)	Plumule height (cm)				Plumule dry weight (mg/plant)			
		25°C soil		Cold soil test		25°C soil		Cold soil test	
		Normal	Aged	Normal	Aged	Normal	Aged	Normal	Aged
Dent	Control	21.6 c <sup>1)</sup>	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>shrunk-en-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

<sup>1)</sup>Means within a column in each genotype followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

출아온도와 matriconditioning 할 때 vermiculite의 수분함량에 관계없이 유아장과 유아건물중은 마치종 > 단옥수수 > 초당옥수수의 순서로 작았으며, 각 genotype에서 노화된 종자는 건전종자보다 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; Garcia *et al.*, 1995).

또 유아장과 유아건물중은 출아온도, genotype, 종자활력에 관계없이 대부분의 처리에서 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 향상 뿐 아니라 출아속도를 빠르게 하고, 유묘의 생육도 촉진시키는 효과가 있는 것으로 생각된다.

#### 4) 침종 시 당 누출

Matriconditioning한 종자를 물에 침지하였을 때 누출되는 당 함량을 보면 그림 2-2-3과 같다. 누출되는 당은 초당옥수수 > 단옥수수 > 마치종 옥수수의 순으로 낮았다. Matriconditioning하지 않은 마치종 옥수수의 건전종자와 노화종자로부터 누출된 전당의 양은 0.05 mg/g으로 극히 적었고, matriconditioning한 종자는 vermiculite의 수분함량에 관계없이 모두 당을 거의 누출하지 않았다.

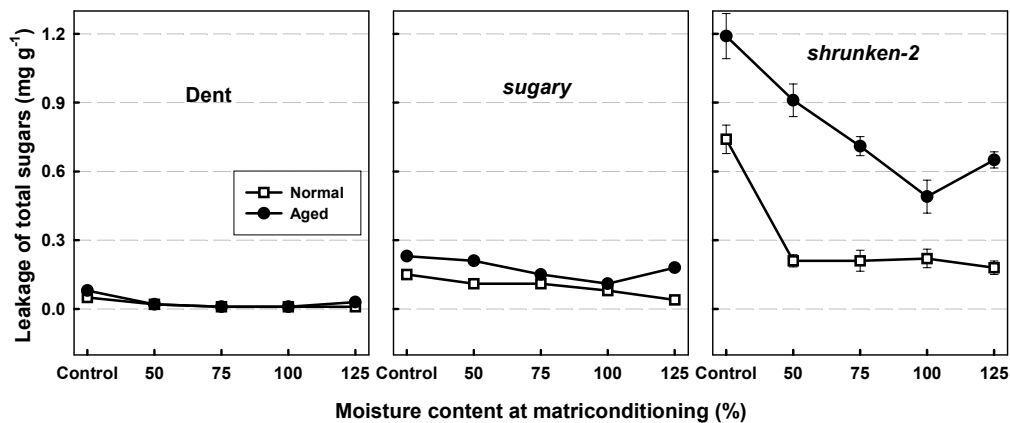


Fig. 2-2-3. Leakage of total sugars of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunken-2* corn seeds matriconditioned at different moisture contents. Control seeds were not matriconditioned.

단옥수수 종자는 마치종보다는 다소 많은 양의 당을 누출하였지만 그 양은 많지 않았고, 노화종자가 건전종자보다 다소 많은 당을 누출하였다. 그러나 건전종자와 노화종자 모두 matriconditioning하면 vermiculite의 수분함량이 많을수록 당 누출량이 다소 감소하는 경향이였다.

Matriconditioning이 초당옥수수의 건전종자와 노화종자에 미치는 영향에는 차이가 있었다. 즉 matriconditioning하지 않은 건전종자는 0.75 mg/g의 비교적 많은 양의 당을 누출하였으나 matriconditioning한 종자는 수분함량에 관계없이 당 누출량이 0.2 mg/g 이하로 현저히 감소되었다. 그러나 matriconditioning하지 않은 노화종자는 1.2 mg/g의 많은 당을 누출하였으며, matriconditioning하면 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 사이이 공간이 다른 genotype보다 커서 과피가 쉽게 부서지고, 종자 안팎으로 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 matriconditioning할 때 당 누출이 감소되는 것은 matriconditioning 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).

##### 5) 침종시 전해질 누출

Matriconditioning한 건전종자와 노화종자를 물에 침지하였을 때 종자에서 누출되는 전해질의 양을 알기 위하여 측정된 침지액의 EC를 보면 그림 2-2-4와 같다. EC는 초당옥수수 > 단옥수수 > 마치종 옥수수의 순으로 낮았다. 모든 genotype에서 노화종자의 침지액의 EC가 건전종자보다 높았는데 그 차이는 마치종과 단옥수수에서는 크지 않았으나 초당옥수수에서는 차이가 컸으며, Juvik *et al.* (1988)도 비슷한 결과를 보고하였다.

모든 genotype에서 건전종자와 노화종자 모두 matriconditioning할 때 vermiculite의 수분함량이 높을수록 침지액의 EC가 낮아지는 경향이였다. Matriconditioning할 때 수분함량이 증가함에 따라 마치종과 단옥수수에서는 EC가 약간 감소되었지만 초당옥수

수에서는 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 matriconditioning한 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 유사하였다.

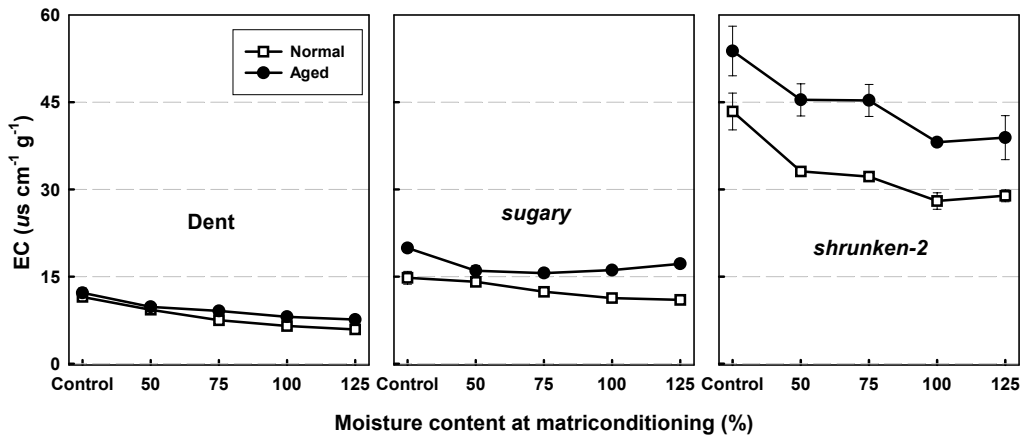


Fig. 2-2-4. Electrical conductivity(EC) of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunken-2* corn seeds matriconditioned at different moisture contents. Control seeds were not matriconditioned.

#### 6) 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 배반에서만 생성되므로 본 시험에

서와 같이 발아초기단계에서는 초당옥수수  $\alpha$ -amylase 활성이 다른 옥수수보다 더 컸던 것으로 생각된다 (Young *et al.*, 1997).

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

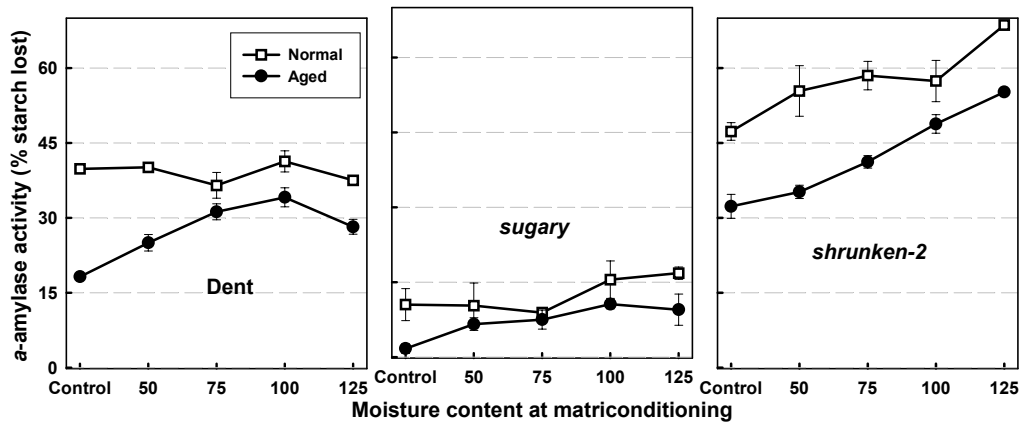


Fig. 2-5. The  $\alpha$ -amylase activity of normal and aged dent, *sugary*, and *shrunken-2* corn seeds matriconditioned at different moisture contents. Control seeds were not matriconditioned.

### 7) DNA 및 단백질 함량

Matriconditioning할 때 수분함량에 따른 건전종자와 노화종자의 DNA와 가용성 단백질 함량의 변화를 보면 표 2-3과 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 증가하였다.

Sung & Chang (1993)은 초당옥수수를 vermiculite를 이용하여 25℃에서 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.

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

Genotype	Moisture of vermiculite (%)	DNA ( $\mu\text{g/g}$ seed)		Soluble protein (mg/g)	
		Normal	Aged	Normal	Aged
Dent	Control	38.0 d <sup>1)</sup>	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
<i>sugary</i>	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
<i>shrunkened-2</i>	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

<sup>1)</sup>Means within a column in each genotype followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

#### 라. 고찰

마치종 옥수수의 건진종자는 25℃와 cold soil test에서 matriconditioning에 의하여

출아율이 영향을 받지 않았지만 (그림 2-2-1) 출아속도는 다소 빨라졌고 (표 2-2-1), 유아장과 유아 건물중은 vermiculite의 수분함량이 높을수록 증가하였다 (표 2-2-2). 이러한 결과는 마치종이 원래 종자활력이 높았고, 당과 전해질의 누출도 적었기 때문에 (그림 2-2-2 및 2-2-3) matriconditoining에 의하여 더 향상될 여지가 없었다. 그러나  $\alpha$ -amylase 활성과 (그림 2-2-4) DNA 함량이 증가하였고 (표 2-2-3), 유의차는 없었지만 수용성 단백질도 다소 증가하는 경향으로 보아 (표 2-2-3) matriconditoining하는 동안 종자의 대사활동이 시작되어 발아와 유아생장이 촉진되는 것으로 생각된다. 그러나 종자활력이 낮았던 마치종의 노화종자는 vermiculite의 수분함량이 125%까지는 유아장, 건물중 (표 2-2-2), 출아율도 높아지고 (그림 2-2-1), 출아속도도 빨라져 (표 2-2-1) 종자활력을 크게 향상시켰다. 그 원인은 matriconditoining이 종자의 당과 전해질의 누출에는 크게 영향을 미치지 않았지만  $\alpha$ -amylase 활성과 (그림 4), DNA 및 수용성 단백질 함량을 모두 증가시키는 등 (표 2-2-3) 대사활동을 촉진시켰기 때문으로 생각된다.

단옥수수에는 발아적온인 25℃에서는 무처리 종자의 출아율이 약 90%로서 활력이 높아 matriconditoining이 출아율에 영향을 미치지 않았던 것으로 생각되지만 불량환경인 cold soil test에서는 vermiculite의 수분함량이 높을수록 출아율이 높아졌으며 (그림 2-2-1), 유아장과 유아건물중도 현저히 증가하였다 (표 2-2-2). 노화종자는 vermiculite의 수분함량이 125%까지는 수분함량이 증가할수록 출아율이 증가하였고 (그림 2-2-1), 출아도 촉진되었으며 (표 2-2-1), 유아장, 유아건물중도 현저히 증가하였다 (표 2-2-2). 종자의 당과 전해질 누출량은 많지 않았으며, matriconditoining에 의하여 다소 감소하거나 차이가 없었다 (그림 2-2-2 및 2-2-3). 따라서 단옥수수의 경우 matriconditoining이 종자활력 증가에 미치는 긍정적 효과는 당과 전해질의 누출량의 감소라기보다는  $\alpha$ -amylase 활성 (그림 2-2-4), DNA 및 가용성 단백질 함량의 증가 (표 2-2-3) 등 대사작용이 촉진되었기 때문으로 생각된다.

초당옥수수는 건전종자도 25℃에서 출아율이 약 83%로서 낮았는데 건전종자와 노화종자 모두 vermiculite의 수분함량이 125%까지는 출아율 (그림 2-2-1), 유아장, 유아건물중이 현저히 증가하였고 (표 2-2-2), 출아도 촉진되었다 (표 2-2-1). 그리고 matriconditoining에 의하여 종자의 당과 전해질의 누출량도 감소하였을 뿐 아니라 (그림 2-2-2 및 2-2-3)  $\alpha$ -amylase 활성 (그림 2-2-4), DNA와 수용성 단백질 함량을 모두 증가시켜 (표 2-2-3) matriconditoining은 특히 초당옥수수에서 효과적이었다.

종자가 노화되면  $\alpha$ -amylase 활성이 떨어지고, 발아시 DNA 및 가용성 단백질 함

량이 낮고, 당과 전해질의 누출량이 증가하여 출아율과 유아생장이 떨어져 출아가 지연된다. 현재 단옥수수나 초당옥수수는 종자를 주로 미국에서 수입하고, 장기간 불량 조건에서 수송, 저장되므로 노화되기 쉽다. 그러나 이들 종자를 matriconditioning 하면 종자활력이 증진되며, 그 효과는 25℃에서보다 cold soil test에서 발아할 때 더 크기 때문에 종자활력이 다소 낮은 단옥수수나 초당옥수수를 조기수확하기 위하여 저온기에 파종할 때 더 효과적인 방법이라고 생각된다.



### 3. 단옥수수과 초당옥수수의 살균제 처리와 침종에 따른 종자활력 증진

#### 가. 연구목적

단옥수수와 초당옥수수는 단경기에 생산하여야 수익성이 높다. 단경기 생산을 위하여 조기재배할 경우에는 파종 후 저온과 과습 등 불량환경에 처하여 종자가 발하지 않거나 출아하기 전에 부패하여 출아율이 낮은 경우가 많다. 종자의 부패를 막기 위하여 살균제를 처리하여 파종하는 것이 일반화되어 있는데 파종 전에 종자를 물에 침종하면 농약이 씻겨나가 그 효과가 적을 수 있다. 그래서 종자에 살균제 처리시기가 침종이 단옥수수와 초당옥수수의 생육과 수량에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

#### 나. 재료 및 방법

##### 1) 공시품종

- 가) 단옥수수 : GCB 70 (♀) x Early Sunglow (♂) 교잡종
- 나) 초당옥수수: Extrasweet 82 (♀) x Fortune (♂) 교잡종

##### 2) 종자 살균제 처리시기 및 침종

- 가) 살균제 (Benlate-T, BT) 처리; 침종전 BT처리, 침종 후 BT처리, 침종 BT무처리, 무침종 BT처리, 무침종 BT무처리
- 나) 살균제 처리방법: 분의처리 (침종 후 종자의 수분을 paper towel로 제거)
- 다) 침종시간: 6시간

##### 3) 실내실험

토양에 파종한 것을 25℃에서 7일간 처리 및 cold soil test (10℃에서 7일간 처리한 후 25℃에서 7일간 처리)에서 출아율, 지상부 건물중을 AOSA (1983, 1990) 방법에 따라 조사하였다.

##### 4) 포장시험

- 가) 파종기: 2003년 4월 7일
- 나) 파종방법
  - (1) 재식거리: 70 x 30 cm (4700주/10a)

(2) 시험구 크기: 2줄 x 15주 (30주, 6.3m<sup>2</sup>)

(3) 시험구 배치: 분할구 배치법 4반복 (주구는 P.E. 피복과 노지, 세구는 침종과 살균제)

(4) 파종립수; 3립 파종 후 3엽기에 1주만 남기고 솟아 줌. 단옥수수과 초당옥수수는 출아율이 낮은 경우가 많아 총 파종립수에 대한 출아율을 조사하고, 출아율이 수량에 미치는 영향을 배제하기 위하여 3립 파종하여 1주만 남겨 입묘율이 거의 100% 유지되게 하였다.

다) 재배관리: 제1절 3. 단옥수수와 초당옥수수 종자생산을 위한 수확적기 시험과 같다.

#### 나. 결과 및 고찰

##### 1) 실내시험 (25℃ 및 cold soil test)

단옥수수와 초당옥수수 종자를 살균제 Bentale-T 처리시기와 침종 유무가 출아율과 유아중에 미치는 영향을 보면 표 2-3-1과 같다. 단옥수수의 경우 발아적온인 25℃에서는 Bentale-T를 침종 전에 처리한 것이 다른 처리에서보다 출아율이 낮았으나 cold soil test에서는 Bentale-T를 처리하지 않고 침종도 하지 않은 종자의 출아율이 다른 처리의 종자보다 낮았다. 유아중은 25℃에서는 Bentale-T를 처리하지 않고 침종도 하지 않은 처리가 다른 처리보다 낮았으나 cold soil test에서는 처리간에 유의한 차이가 없었다.

초당옥수수는 파종하여 25℃에 두었을 때는 경향이 일정하지 않았으나 Bentale-T를 처리한 것이 처리하지 않은 종자보다 출아율이 현저히 높았고, 처리하지 않는 종자 중에는 침종한 종자가 침종하지 않은 종자보다 출아율이 높았다.

유아중은 25℃에서는 일정한 경향이 없었고, cold soil test에서는 처리간에 유의차가 없었다.

Table 2-3-1. Emergence rate of *sugary* and *shrunk-en-2* seeds at 25°C and in cold soil test with seed treatment of Benlate-T (BT) and soaking in water.

Genotype	Treatment	Emergence rate (%)		Plumule dry weight (mg/plant)	
		25°C	Cold test	25°C	Cold test
<i>sugary</i>	BT before soaking	91.1 b <sup>1)</sup>	95.0 a	56.5 a	55.2ns
	BT after soaking	97.3 a	97.0 a	55.0 a	55.8
	BT, no soaking	97.0 a	87.5 b	55.0 a	55.5
	No BT, soaking	96.0 a	93.0 ab	51.0 ab	56.3
	No BT, no soaking	97.0 a	87.0 b	46.6 b	53.6
<i>shrunk-en-2</i>	BT before soaking	81.0 ab	59.0 ab	35.4 ab	35.6ns
	BT after soaking	73.3 b	68.0 a	31.8 ab	28.5
	BT, no soaking	74.0 b	50.0 b	28.7 b	37.3
	No BT, soaking	84.0 a	49.0 b	38.9 a	33.7
	No BT, no soaking	73.3 b	33.0 c	27.3 b	35.6

<sup>1)</sup>Means within a column in each genotype followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

## 2) 포장시험

포장시험은 단옥수수과 초당옥수수를 격리재배하여 옥수수 종류별로 P.E. film 피복을 주구, 살균제와 침종을 세구로 포장배치와 통계분석하였다. 통계분석 결과 피복과 살균제 및 침종처리간에 교호작용이 없어 피복간, 살균제 및 침종처리간에 여러 특성을 비교하면 표 2-3-2 및 표 2-3-2와 같다.

### 가) 단옥수수

단옥수수의 출아율, 초기생육 및 雌穗 (암이삭)의 특성을 보면 표 2-3-2와 같다. 투명 P.E. film 피복은 노지에 비하여 출아율과 간장, 착수고가 높은 경향이나 통계적으로 유의차는 없었다. 그러나 파종 후 30일에 조사한 초장과 엽수, 雌穗長, 雌穗重 및 10a당 雌穗收量은 P.E. film 피복이 노지보다 현저히 높았다.

살균제와 침종처리간에는 Benlate-T를 처리하지 않은 것이 처리한 것보다 출아율이 현저히 낮았으나 침종은 출아율에 영향을 미치지 않았다. 그리고 파종 후 30일에 조사한 엽수는 처리간 차이는 적었지만 Benlate-T를 처리하고 침종한 처리가 다른

것보다 엽수가 많았다. 그 외 파종 후 30일의 초장, 간장, 착수고, 雌穗長, 雌穗重, 10 당 雌穗收量은 처리간에 차이가 없었다. 총 파종된 입수에 대한 출아개체수의 백분율로 계산한 출아율은 처리간에 차이가 있었지만 수량은 차이가 없었던 것은 3립씩 파종한 후 3엽기에 1주일 남겨두고 솟아주어 입묘율이 모두 96.3% 이상이었기 때문이었다 (성적 생략).

Table 2-3-2. Emergence rate, early growth, and ear characteristics of *sugary* with seed treatment of Benlate-T and soaking in water.

Treatment	Emerg. rate (%)	30 DAP <sup>1)</sup>		Culm length (cm)	Ear height (cm)	Ear length (cm)	Ear wt. (g)	Ear yield (kg/10a)
		Plant height (cm)	No. of leaves					
P.E. mulch	75.5ns	25.1a <sup>2)</sup>	5.4a	98.0ns	24.6ns	12.4a	97.5 a	427 a
Bare soil	70.9	12.3b	3.4b	93.1	24.8	9.8b	84.9 b	388 b
BT before soaking	77.9a	18.7ns	4.5a	93.4ns	23.4ns	10.7 ns	91.0ns	412ns
BT after soaking	78.5a	18.9	4.5a	97.5	26.6	10.7	93.0	429
BT, no soaking	71.8ab	18.6	4.2b	96.7	23.8	11.1	88.9	395
No BT, soaking	66.9b	19.0	4.4ab	93.5	24.6	11.6	93.3	402
No BT, no soaking	66.0b	18.4	4.2b	96.7	25.0	11.2	89.7	397

<sup>1)</sup>; Days after planting

<sup>2)</sup>; Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

## 2) 초당옥수수

초당옥수수의 출아율, 초기생육 및 雌穗의 특성을 보면 표 2-3-3과 같다. 투명 P.E. film 피복은 노지에 비하여 출아율과 간장, 착수고가 높은 경향이나 통계적으로 유의차는 없었다. 그러나 파종 후 30일에 조사한 초장과 엽수, 雌穗長, 雌穗重 및 10a당 雌穗收量은 P.E. film 피복이 노지보다 현저히 높았다.

Table 2-3-3. Emergence rate, early growth, and ear characteristics of *shrunk-en-2* with seed treatment of Benlate-T and soaking in water.

Treatment	Emerg. rate (%)	30 DAP <sup>1)</sup>		Culm length (cm)	Ear height (cm)	Ear length (cm)	Ear weight (g)	Ear yield (kg/10a)
		Plant height (cm)	No. of leaves					
P.E. mulch	73.5ns	25.1a <sup>2)</sup>	5.3a	98.0ns	24.6ns	12.4a	97.5a	427a
Bare soil	70.9	12.3b	3.4b	93.1	24.7	9.8b	84.9b	388b
BT before soaking	77.9a	18.7ab	4.5a	93.4ns	23.4	10.7	91.0ns	412ns
BT after soaking	78.5a	18.9a	4.5a	97.5	26.6	10.7	93.0	429
BT, no soaking	71.8ab	18.6ab	4.2b	93.5	23.9	11.1	88.9	395
No BT, soaking	66.9b	19.0a	4.4ab	96.7	24.6	11.6	93.3	402
No BT, no soaking	66.0b	18.4b	4.2b	96.7	24.9	11.2	89.7	398

<sup>1)</sup>; Days after planting

<sup>2)</sup>; Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

#### 라. 고찰

시험을 설계할 때는 지온이 높은 P.E. film 피복구에서는 출아율이 높고 초기생육이 왕성하지만 지온이 낮은 노지에서는 부패균의 활동이 왕성하여 출아율이 현저히 낮을 것으로 생각하였다. 그러나 단옥수수과 초당옥수수 모두 P.E. film 피복은 출아율에는 영향을 미치지 않았으나 파종 후 30일에 조사한 초장과 엽수는 노지보다 현저히 많았다 (표 2-3-2, 2-3-3).

P.E. film 피복은 간장과 착수고에는 영향을 미치지 않았으나 雌穗長, 雌穗重, 雌穗收量은 P.E. film 피복에서 노지보다 현저히 많아 생육을 촉진되었다 (표 2-3-2, 2-3-3).

살균제 Benlate-T와 침종의 효과를 보면 실내시험 중 단옥수수 25℃와 초당옥수수 cold soil test의 결과는 다소 달랐지만 포장에서는 단옥수수와 초당옥수수 모두 Benlate-T를 처리하지 않은 처리가 출아율이 현저히 낮았다. 그러나 Benlate-T를 침종 전후에 처리한 것은 차이가 없었다. 그리고 침종도 출아율에 다소 영향을 미쳤으나 Benlate-T 처리만큼 효과가 커지는 않았다.

#### 4. 단옥수수과 초당옥수수의 Matriconditioning 처리와 무처리 종자의 침종방법에 의한 종자특성과 활력 검정

##### 가. 연구목적

단옥수수와 초당옥수수를 단경기 생산으로 수익성을 높이려고 하면 조기재배하여야 한다. 이 때 포장에서는 기온이 낮아 출아까지 기간이 많이 소요되므로 실내에서 침종, 최아하여 파종하면 출아율을 높이고, 출아기간을 단축할 수 있다. 그런데 종자를 물에 침종하면 종자의 수분퍼텐셜이 낮아 강한 압력으로 물을 흡수하므로 세포막의 상처를 받아 단옥수수와 초당옥수수와 같은 활력이 낮은 종자는 장해를 더 많이 받을 수 있다 (imbibition injury). 이 때 활력이 낮은 종자의 불량환경에서 출아율 향상, 출아기간 단축, 균일한 출아의 효과가 있는 matriconditioning 처리를 하면 효과가 있을 것으로 생각되지만 이에 관한 연구는 없다.

##### 나. 재료 및 방법

###### 1) 공시품종

- 가) 단옥수수 : GCB 70 (♀) x Early Sunglow (♂) 교잡종
- 나) 초당옥수수: Extrasweet 82 (♀) x Fortune (♂) 교잡종

###### 2) 파종 및 교잡종 생산:

- 가) 파종: 2002년 4월 20일에 파종
- 나) 교잡종 생산 및 포장관리; 제1절 3. 단옥수수와 초당옥수수 종자생산을 위한 수확적기 구명과 같음.

###### 3) 처리내용

가) Matriconditioning 처리와 무처리 종자를 이용하였다. matriconditioning은 종자 300립을 종자 무게의 2배의 40 mesh vermiculite를 넣고, vermiculite의 수분함량이 125%가 되도록 물을 넣는다 (Matriconditioning에 가장 알맞은 수분함량). 그리고 25℃에서 24시간 matriconditioning 처리한 후 vermiculite를 제거하고 종자를 실온에서 건조하여 -10℃ 냉동실 보관하였다.

- 나) 침종시간: 0, 3, 6, 9, 12, 24시간 침종

#### 4) 조사항목

가) 수분흡수 속도: 침종 후 종자표면의 물기를 paper towel로 제거하고 10립의 생체중을 측정 한 후 105°C에서 24시간 건조하여 수분함량을 구함.

나) 발아율 (25°C), cold test: 침종 시간 별로 파종

다) 종자 침종 시 누출 당, EC,  $\alpha$ -amylase활성 측정: 침종 후 paper towel로 종자표면의 물기를 제거한 후 실온에서 48시간 건조하여 2. 단옥수수과 초당옥수수 종자생산을 위한 수확적기 구명과 같은 방법으로 조사하였다.

#### 다. 결과 및 고찰

##### 1) 종자 수분흡수 속도

Matriconditioning 처리한 종자와 처리하지 않은 종자를 물에 침지하여 침종시간에 따른 종자 수분함량의 변화를 보면 그림 2-4-1과 같다. 침종하기 전에는 수분함량이 같았지만 물에 침종하면 matriconditioning 처리된 종자는 처리되지 않은 종자보다 수분함량이 낮아 수분흡수 속도가 더 낮았다.

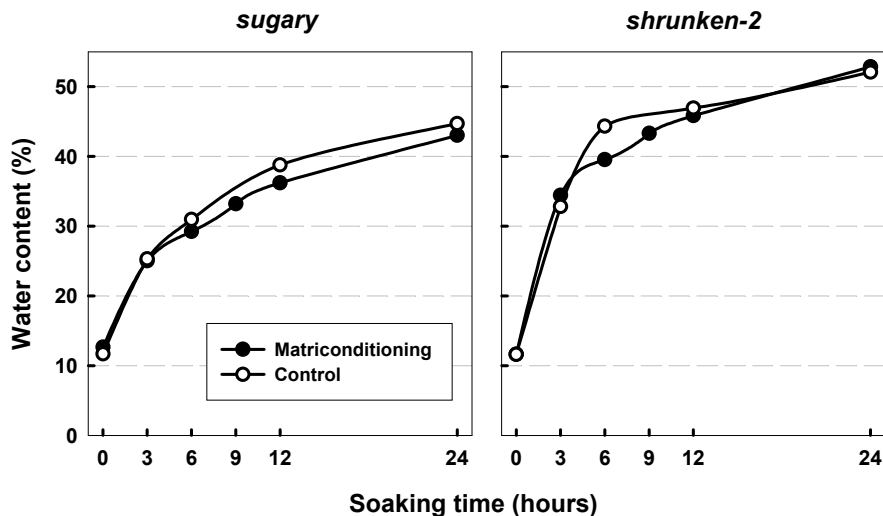


Fig. 2-4-1. Changes in water content of matriconditioned or control seeds of *sugary* and *shrunken-2* affected by soaking time.

침지시간에 따른 종자 수분함량을 보면, 침지 후 3시간까지는 수분함량이 급격히 증가하였고, 그 후 24시간까지는 점차적으로 증가하였다. 그런데 matriconditioning 처

리한 종자는 24시간 침종에서는 단옥수수는 18%, 초당옥수수는 25% 정도가 침종 중에 발아를 시작하였다.

## 2) 25℃에서 발아율과 cold soil test에서 출아율

발아적온인 25℃에서 paper towel에서 발아율과 cold soil test에서 출아율을 보면 그림 2-4-2와 같다. 단옥수수에서는 12시간 침종까지는 matriconditioning 처리와 발아율간에 큰 관계가 없었다. Cold soil test에서 matriconditioning 처리된 종자는 침종 6-12시간 처리, matriconditioning 처리하지 않은 종자는 9시간 처리가 출아율이 가장 높았다. 그러나 24시간 침종에서는 matriconditioning 처리 종자의 cold soil test의 출아율이 80%로 다소 낮았던 것은 발아를 시작하는 종자를 말렸다가 다시 과종하면 발아할 때 저온에서 장애를 받은 것으로 생각된다.

초당옥수수는 matriconditioning 처리된 종자가 처리되지 않은 종자보다 25℃의 발아율과 cold soil test에서 출아율이 현저히 높았다. 침종시간으로 보면 cold soil test에서 matriconditioning 처리된 종자는 3시간 침종, matriconditioning 처리되지 않은 종자는 9시간 침종이 출아율이 가장 높았다.

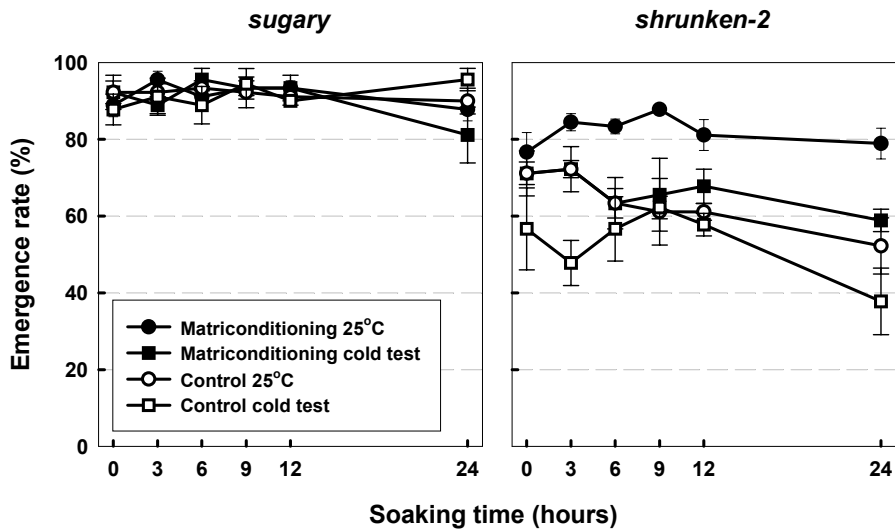


Fig. 2-4-2. Germination rate at 25℃ and emergence rate in cold soil test of matriconditioned *sugary* and *shrunken-2* seeds affected by soaking time.



### 3) 종자의 50%가 발아 또는 출아되는데 소요되는 일수 (T<sub>50</sub>)

침종시간에 따른 단옥수수과 초당옥수수의 T<sub>50</sub>을 보면 그림 2-4-3과 같다.

단옥수수와 초당옥수수 모두 25°C에서는 약 3-4일, cold soil test에서는 9일정도 소요되었으며, 침종시간에 따른 T<sub>50</sub>은 비슷한 양상을 보였다. Cold soil test에서는 10°C에 7일간 두었다가 25°C에 7일간 처리함으로 cold soil test에서 25°C보다 T<sub>50</sub>이 약 5-6일 더 소요되었으므로 10°C에서도 느리지만 수분흡수와 발아과정이 다소 진행되는 것으로 생각된다.

발아적온인 25°C에서는 단옥수수와 초당옥수수 모두 matricconditioning 처리된 종자가 무처리 종자보다 T<sub>50</sub>이 적어 발아가 다소 약 0.7일 (17시간) 빨랐다. 그러나 cold soil test에서는 단옥수수는 matricconditioning 처리와 침종시간에 관계없이 약 9일이 소요되었다. 그러나 초당옥수수는 T<sub>50</sub>은 단옥수수와 비슷하였지만 matricconditioning 처리하지 않은 종자가 오히려 T<sub>50</sub>이 다소 더 많았다.

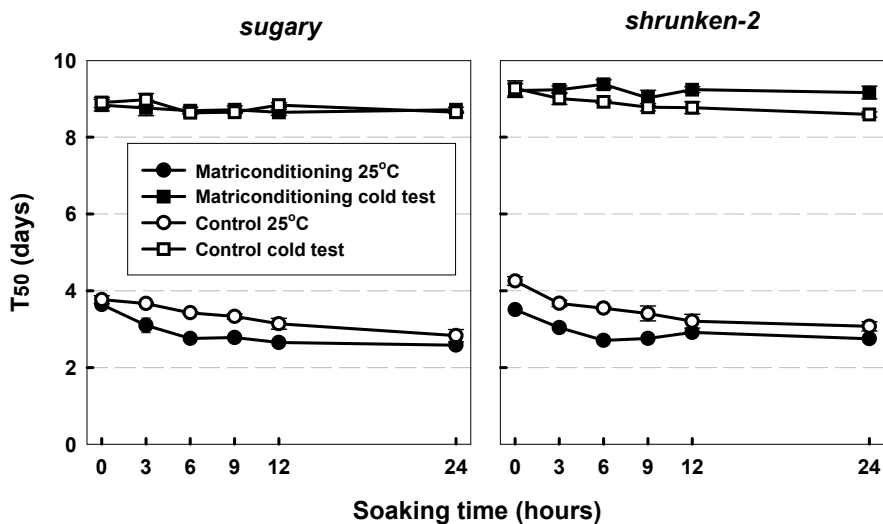


Fig. 2-4-3. Time to 50% germination or emergence of matricconditioned *sugary* and *shrunken-2* seeds affected by soaking time.

### 3) 종자 침종시 누출당

종자를 물에 침지하였을 때 누출되는 전당 함량을 보면 그림 2-4-4와 같다. 단옥수수와 초당옥수수 모두 침종하지 않은 종자는 matricconditioning 처리된 종자가 처리되지 않은 종자보다 당 누출량이 현저히 적었지만 3~24시간 침종하였다가 말렸던 종자보다는 많았다. 3~24시간 침종 하였다가 말렸던 종자가 당을 누출하지 않았던 것은

처음 물에 침지 하였을 때 당이 모두 누출되었기 때문으로 생각된다.

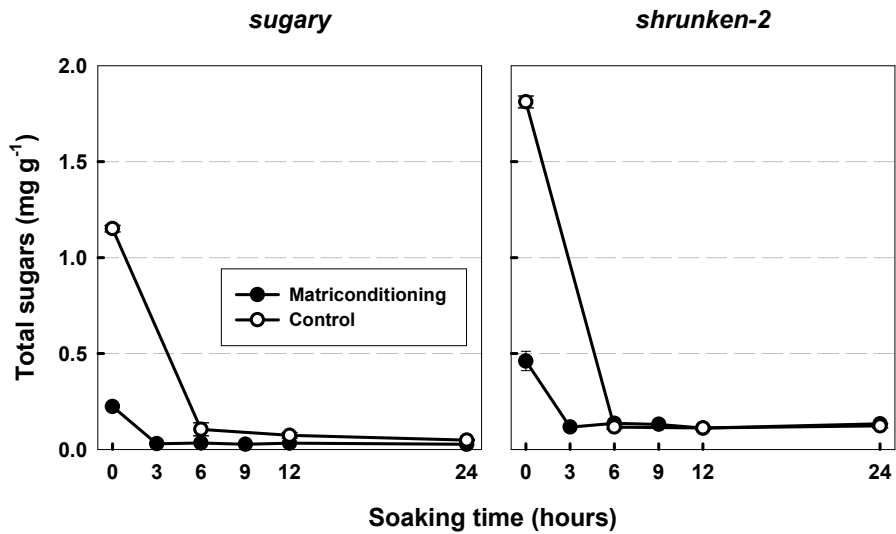


Fig. 2-4-4. Leakage of total sugars of matriconditioned *sugary* and *shrunk-en-2* seeds affected by soaking time.

#### 4) 종자 침지액의 전기전도도

종자를 물에 침지하였을 때 누출되는 전해질의 양을 EC로 측정한 것을 보면 그림 2-4-5와 같다. 단옥수수과 초당옥수수 모두 matriconditioning 처리된 종자가 처리되지 않은 종자보다 EC가 낮았다. 단옥수수에서 matriconditioning 처리한 종자나 처리하지 않은 종자 모두 EC는 침지시간에 관계없이 비슷하였고 그 차이도 적었다. 그러나 초당옥수수에서는 침지하지 않았던 종자는 matriconditioning 처리한 종자와 처리하지 않은 종자 모두 침지하였던 종자보다 EC가 높았으며, 12시간까지는 침지시간이 길수록 EC는 점점 낮아졌고, matriconditioning 처리된 종자와 처리하지 않은 종자간 EC의 차이도 적어졌다. 침지 24시간 후에 matriconditioning 처리된 초당옥수수 종자의 EC가 증가된 것은 일부 종자는 침지 중에 발아를 시작하여 전해질의 누출이 많아진 것으로 생각된다.

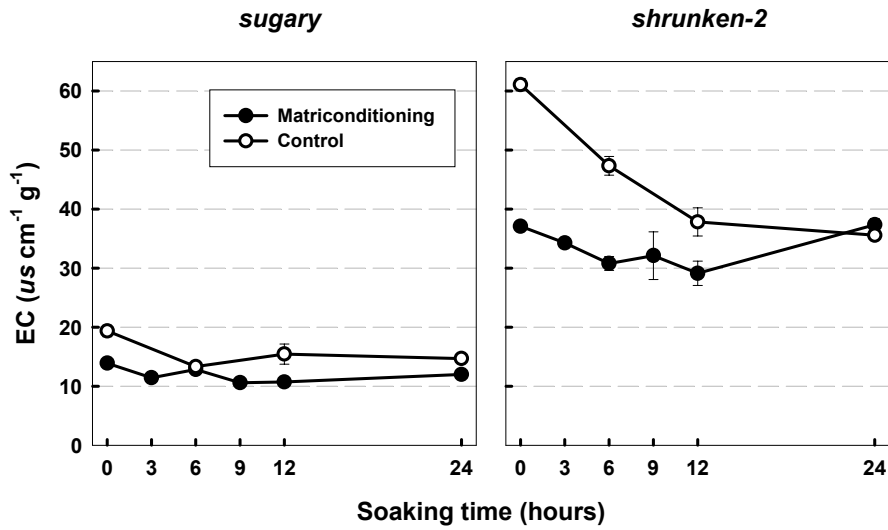


Table 2-4-5. Leakage of electrolytes matriconditioned *sugary* and *shrunken-2* seeds affected by soaking time.

### 5) $\alpha$ -amylase 활성

종자를 일정시간 물에 침지하였다가 말린 종자의  $\alpha$ -amylase 활성을 보면 그림 2-4-6과 같다.  $\alpha$ -amylase 활성은 단옥수수과 초당옥수수 모두 matriconditioning 처리된 종자가 처리하지 않은 종자보다 현저히 높았다. 단옥수수는 침종시간에 24시간까지는 matriconditioning 처리된 종자나 처리되지 않은 종자나 모두 침지시간에 관계없이  $\alpha$ -amylase 활성이 비슷하였다. 그러나 초당옥수수는 matriconditioning 처리된 종자는 24시간까지는 침종시간에 관계없이  $\alpha$ -amylase 활성이 비슷하였지만 matriconditioning 처리되지 않은 종자는 침종시간이 증가할수록  $\alpha$ -amylase 활성이 증가되었다.

Matriconditioning 처리된 단옥수수와 초당옥수수 종자의  $\alpha$ -amylase 활성이 침종 시간에 관계없이 비슷한 것은 matriconditioning 중에 발아를 준비하기 위하여 이미  $\alpha$ -amylase 활성이 높아졌기 때문으로 보인다. 한편 matriconditioning 처리되지 않은 단옥수수의 종자는 침종 24시간까지  $\alpha$ -amylase 활성의 활성이 증가하지 않고, 초당 옥수수 종자만  $\alpha$ -amylase 활성이 증가하였다. 이것은 단옥수수는 발아초기 에는 배반에서  $\alpha$ -amylase가 생성되고, 발아후기에 주로 호분층에서  $\alpha$ -amylase가 합성되어 저장전분이 분해되므로 침종 24시간 이내에는  $\alpha$ -amylase 활성이 증가되지 않는 것으로 보인다. 그러나 초당옥수수는 호분층에는  $\alpha$ -amylase가 합성되지 않고 처음부

터 배반에서만  $\alpha$ -amylase가 합성되기 때문에 침종 후 24시간 이내에는 벌써  $\alpha$ -amylase가 합성되기 시작하는 것으로 생각된다.

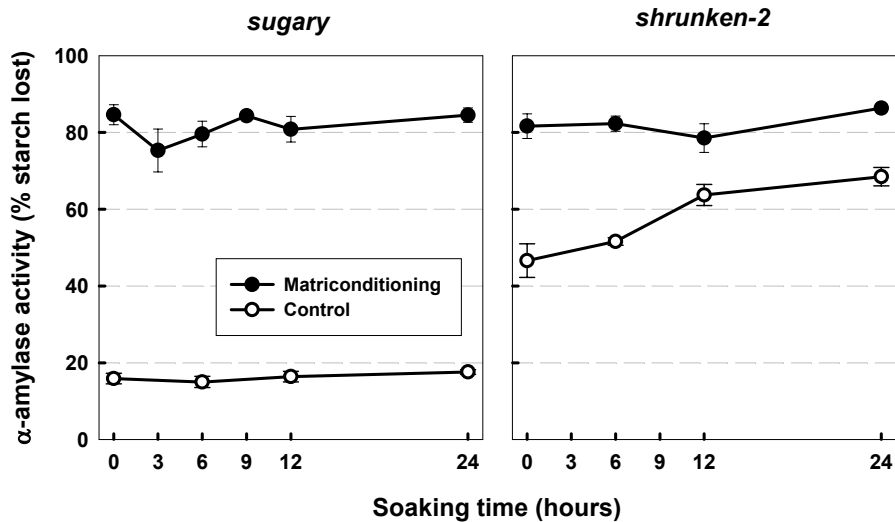


Table 2-4-6.  $\alpha$ -amylase activity of matriconditioned *sugary* and *shrunken-2* seeds affected by soaking time.

#### 라. 고찰

단옥수수과 초당옥수수 종자를 matriconditioning 처리하면 처리하지 않은 종자보다 물의 흡수속도가 다소 지연된다 (그림 2-4-2). 그러나 이미 종자 내에 발아를 위한 생화학적 반응이 진전되어 있기 때문에 발아속도가 빨라져서 (그림 2-4-3) 24시간 침종 시에는 matriconditioning 처리되지 않은 종자는 발아가 되지 않았지만 matriconditioning 처리된 종자 중 단옥수수는 18%, 초당옥수수는 25%가 발아를 시작하였다.

Matriconditioning 처리된 종자의 25°C 발아율과 cold soil test에서 출아율을 보면 (그림 2-4-2), 단옥수수에서는 침종시간이 12시간까지는 matriconditioning 처리된 종자와 처리되지 않은 종자간, 25°C 발아율과 cold soil test에서 출아율은 차이가 없었다. 그러나 cold soil test에서 matriconditioning 처리된 단옥수수 종자의 출아시기가 빨랐던 것은 (그림 2-4-3)  $\alpha$ -amylase 활성이 높았기 때문으로 생각된다. 그리고 24시간 침종된 단옥수수 종자의 cold soil test에서 출아율이 오히려 감소한 것은 침종

중에 이미 18% 발아하였던 것을 말렸다가 다시 과종하였으므로 발아율이 낮아졌던 것으로 생각된다. 한편 초당옥수수는 25℃ 발아율과 cold soil test에서 출아율은 matriconditioning 처리된 종자가 처리되지 않은 종자보다 현저히 높았는데 (그림 2-4-2) 이것은  $\alpha$ -amylase 활성이 더 높고, 전해질의 유출이 적었기 때문으로 보인다 (그림 2-4-6).

Matriconditioning 처리된 종자와 처리되지 않은 종자 모두 cold soil test에서 출아율이 높고, 출아기간이 짧은 최소 침종기간은 단옥수수는 6시간, 초당옥수수는 3시간이었다 (그림 2-4-2). 그리고 그 최적 침종시간에는 종자의 당과 전해질의 누출량은 적고 (그림 2-4-4 및 2-4-5),  $\alpha$ -amylase 활성은 높았다 (그림 2-4-6).

## 5. 단옥수수과 초당옥수수의 GA 처리에 의한 종자 활력 증진방법 연구

### 가. 연구목적

단옥수수와 초당옥수수는 종자활력이 유전적으로 낮거나 저장조건에 따라 활력저하가 크다. 그런데 우리나라에서는 이들 옥수수를 상업적으로 재배할 때는 종자를 전량 미국에서 수입하고 있는데 저장 및 수송 중에 활력이 낮은 경우가 많다. 활력이 낮은 화곡류 종자는 GA 등 성장조절제를 처리함으로써 활력을 높일 수 있는 가능성을 검토한다.

### 나. 재료 및 방법

#### 1) 공시품종

가) 단옥수수 : Sweet Satin

나) 초당옥수수: Cambella 90

#### 2) Gibberellic acid (GA)처리

가) GA 농도: GA는 GA<sub>3</sub> (Sigma-Aldrich Co, USA)를 이용하였고, 농도는 0, 10<sup>-6</sup>, 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-3</sup>M 이었다.

나) 처리방법: 삼각플라스크에 종자 70립과 각 농도별 GA용액 55 mL를 넣고 25℃에서 10시간 침종 후 25℃ paper towel과 cold soil test로 활력 검정함.

#### 3) 조사항목

종자 침종 시 누출당과 전해질, 발아율, cold soil test에서 출아율, 유아장, 유아중, α-amylase 활성; 제1절 3. 단옥수수와 초당옥수수 종자생산을 위한 수확적기 구명과 같음.

### 나. 결과 및 고찰

종자에 GA 처리를 한 단옥수수와 초당옥수수의 25℃ paper towel과 cold soil test의 결과를 보면 표 2-5-1과 같다.

Table 2-5-1. Germination rate at 25°C, emergence rate in cold soil test, time to 50% germination or emergence, length and dry weight of plumules and radicles of *sugary* and *shrunk-en-2* seeds treated with GA.

Observation	GA concent. (M)	<i>sugary</i>		<i>shrunk-en-2</i>	
		25°C	Cold test	25°C	Cold test
Germination or emergence rate (%)	No GA <sup>1)</sup>	97.5 ns	97.8 ns	97.5 ns	97.8 ns
	0 <sup>2)</sup>	97.5	96.7	98.4	98.9
	10 <sup>-6</sup>	97.5	97.8	97.5	97.8
	10 <sup>-5</sup>	97.5	97.8	98.4	98.9
	10 <sup>-4</sup>	97.5	97.8	97.5	96.7
	10 <sup>-3</sup>	98.4	95.6	95.9	95.6
Time to 50% germination or emergence	No GA <sup>1)</sup>	1.6 a	8.5 ns	1.3 a	8.6 ns
	0 <sup>2)</sup>	0.8 b	8.3	1.1 ab	8.5
	10 <sup>-6</sup>	0.8 b	8.4	1.0 ab	8.6
	10 <sup>-5</sup>	0.8 b	8.1	0.7 b	8.6
	10 <sup>-4</sup>	0.8 b	8.2	0.7 b	8.3
	10 <sup>-3</sup>	0.7 b	8.2	0.7 b	8.1
Plumule length (cm)	No GA <sup>1)</sup>	11.1 ns	10.4 c	9.9 c	8.4 b
	0 <sup>2)</sup>	12.7	10.5 bc	10.2 c	8.5 b
	10 <sup>-6</sup>	14.0	10.8 bc	10.6 bc	8.6 b
	10 <sup>-5</sup>	13.9	11.4 b	11.8 ab	8.4 b
	10 <sup>-4</sup>	12.5	11.4 b	12.5 a	8.9 b
	10 <sup>-3</sup>	13.6	13.3 a	11.3 abc	10.4 a
Plumule dry weight (mg/plant)	No GA <sup>1)</sup>	12.2 ns	30.9 ns	13.2 ns	16.5 ns
	0 <sup>2)</sup>	12.3	26.6	13.2	17.7
	10 <sup>-6</sup>	15.0	27.5	11.7	16.7
	10 <sup>-5</sup>	14.7	28.6	13.2	14.8
	10 <sup>-4</sup>	12.6	27.9	13.5	15.6
	10 <sup>-3</sup>	14.0	28.3	11.7	17.7
Radicle length (cm)	No GA <sup>1)</sup>	7.2 ns	-	14.3 a	-
	0 <sup>2)</sup>	7.3	-	13.2 ab	-
	10 <sup>-6</sup>	7.8	-	12.9 ab	-
	10 <sup>-5</sup>	8.0	-	12.3 ab	-
	10 <sup>-4</sup>	7.8	-	12.4 ab	-
	10 <sup>-3</sup>	8.4	-	10.9 b	-
Radicle dry weight (mg/plant)	No GA <sup>1)</sup>	12.8 ns	-	2.9 ns	-
	0 <sup>2)</sup>	12.8	-	2.2	-
	10 <sup>-6</sup>	15.0	-	2.9	-
	10 <sup>-5</sup>	14.4	-	2.9	-
	10 <sup>-4</sup>	13.9	-	2.8	-
	10 <sup>-3</sup>	13.9	-	3.6	-

No GA<sup>1)</sup> ; Seeds were not soaked in either in water or GA solutions

<sup>2)</sup> ; Seeds were soaked in distilled water

### 1) 발아율과 출아율

단옥수수과 초당옥수수의 25℃ paper towel의 발아율과 cold soil test의 출아율은 GA 농도간에 차이가 없었다.

### 2) 발아일수 (T50)

Paper towel에서 발아일수는 단옥수수와 초당옥수수 모두 GA처리를 한지 않은 것 (No GA)만 다른 처리보다 발아일수가 다소 길었다. 이것은 No GA구는 건조된 종자를 바로 파종하였지만 다른 것은 물이나 GA용액에 10시간 침종하였기 때문으로 생각된다.

Cold soil test에서는 단옥수수와 초당옥수수 모두 모든 처리간에 출아기간은 차이가 없었다. 이것은 No GA 처리구에서도 10℃에서 7일간 처리하는 동안 발아는 많이 진전되지 않았지만 물을 흡수하였고, 다음 25℃에서 발아가 시작되었기 때문으로 생각된다.

### 3) 유아장과 유아중

유아장은 단옥수수와 초당옥수수모두 25℃ paper towel과 cold sol test에서 모두 GA 농도가 높아질수록 증가하는 경향이었으나 유아중은 GA 농도간에 차이가 없었다.

### 4) 유근장과 유근중

유아장과 유근장은 25℃ paper towel 시험에서만 조사하였는데 단옥수수의 유근장은 GA 농도간에 차이가 없었지만 초당옥수수는 GA 농도가 증가할수록 다소 감소하는 경향이였다. 그러나 유근중은 단옥수수와 초당옥수수 모두 GA 농도간에 차이가 없었다.

### 5) α-amylase 활성

단옥수수와 초당옥수수 종자를 GA 용액에 침지하였을 때 α-amylase 활성에 미치는 영향을 보면 그림 2-5-1과 같다. 단옥수수에서는 GA 10<sup>-4</sup>M까지는 농도가 높을수록 α-amylase 활성이 증가하였다. 그러나 초당옥수수에서는 GA 농도간에 α-amylase 활성이 차이가 없었다.



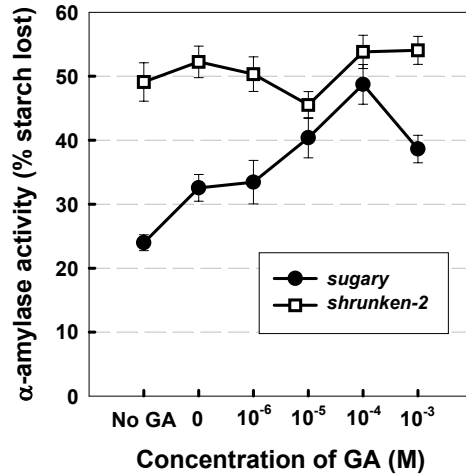


Fig. 2-5-1.  $\alpha$ -amylase activity of *sugary* and *shrunken-2* seeds treated with GA. No GA ; Seeds were not soaked in either in water or GA solutions.

#### 라. 고찰

GA는 종자가 발아할 때  $\alpha$ -amylase의 합성을 촉진하는 phytohormone이다. 그런데 단옥수수 종자는 원래  $\alpha$ -amylase 활성이 낮지만 GA 농도가 높을수록  $\alpha$ -amylase 활성이 증가되었다. 그러나 초당옥수수 종자는 원래  $\alpha$ -amylase 활성이 높고, GA처리에 의하여  $\alpha$ -amylase 활성이 더 이상 증가하지 않았다.

GA처리가 발아율과 출아율에 영향을 미치지 않았던 것은 단옥수수나 초당옥수수 종자는 종자활력이 높았기 때문이었다. 그래서 활력이 낮은 종자에 GA처리하는 보완 시험을 할 예정이다.

발아와 출아는  $\alpha$ -amylase 활성이 높을수록 촉진될 것으로 생각된다. 그러나 GA농도가 높을수록  $\alpha$ -amylase 활성이 높았던 단옥수수에서 GA농도간에 발아일수와 출아일수가 차이가 없었던 것은 GA용액에 10시간 침종한 후 발아시험을 시작하여 1일 이내에 모두 발아하였기 때문으로 생각된다.

유아장과 유근장은 GA농도가 높을수록 증가한 것은 GA가 신장을 촉진한 결과로 보인다.

## 제 3 절 사일리지용 옥수수의 성숙기별 종자활력 및 특성

### 1. 사일리지용 옥수수 장려품종의 종자생산을 위한 수확적기 구명

#### 가. 연구목적

종자는 성숙정도에 따라 활력이 다르지만 우리나라에서 옥수수 1대잡종 종자의 생산에 알맞은 수확적기에 관한 시험은 없다. 따라서 사일리지용으로 이용되고 있는 옥수수 품종의 종자활력을 높일 수 있는 수확적기를 구명하고, 그 종자의 생리적 특성을 구명하고자 한다.

#### 나. 재료 및 방법

##### 1) 공시품종 및 계통

- 가) 수원19호 (KS5/KS6) 및 KS5
- 나) 수원옥 (KS7rhм/KS117) 및 KS7rhм
- 다) 광안옥 (GA209/DB544) 및 GA209

##### 2) 종자 수확기: 출사 후 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70일

##### 3) 파종 및 교잡종 생산

가) 파종기: 2001년 5월 2일에 교잡종 생산을 위하여 모본은 4줄, 부분은 2줄로 60 x 30cm의 재식거리로 파종.

나) 교잡종 및 모본의 자식 종자 생산: 솟이삭은 종이 백, 암이삭은 옥수수 교배용 플라스틱 튜브로 씌우고, 해당되는 교배조합이 되도록 인공수분하였는 데 모본인 자식계통은 sib-pollination 하였음.

다) 종자수확 및 건조 : 출사 후 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70일에 암이삭을 수확하여 35℃ 송풍식 건조기에서 2일간 건조.

라) 종자저장 : 건조된 종자는 손으로 탈곡하여 흡습되지 않도록 플라스틱 병에 넣어 -10℃의 냉동고에 저장.

#### 4) 조사방법

입중, 종자수분, paper towel (25°C)의 발아율 및 cold soil test 조건의 출아율, 종자 침종 시 누출당, 종자 침지액의 전기전도도 (EC),  $\alpha$ -amylase 활성: 제1절 3. 단옥수수  
수와 초당옥수수 종자생산을 위한 수확적기 구명과 같음.

#### 다. 시험결과

##### 1) 100립중

가) 수확시기별 100립중을 그림 3-1-1에서 보면 모든 품종이 출사 후 42일까지는 100립중이 급격히 증가하였으나 그 이후에는 크게 증가하지 않았다. 그러나 수원 19호 (KS5/KS6), KS7rh, GA209는 출사 후 56일까지도 다소 증가하였다.

나) KS5와 KS7rh 등 자식계통의 100립중은 그들의 교잡종보다 더 무거웠지만 자식계통인 GA209는 교잡종보다 100립중이 가벼웠다. 교잡에 의하여 입중이 변하지 않을 것이므로 이러한 차이는 암이삭의 입수, 토양수분, 토양 비옥도 등 환경의 영향으로 생각된다.

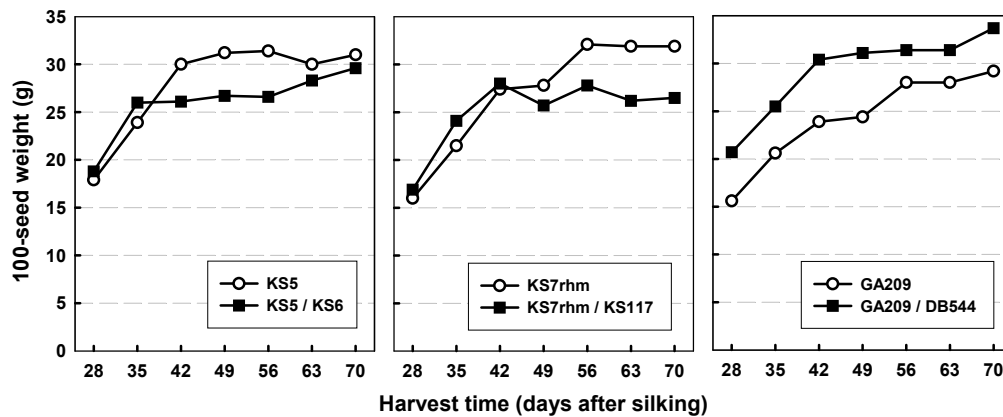


Fig. 3-1-1. Changes in 100-seed weight of three sib- and cross-pollinated corn inbred seeds with different maturities.

## 2) 종자 수분함량

가) 출사 후 4주의 종자 수분함량은 53.7~59.8%이었으나 그 후 계속 감소하여 출사 후 70일에는 20~30%까지 감소하였다 (그림 3-1-2). 모든 교잡종이 자식계통보다 수분함량의 감소가 더 빨랐다.

나) GA209와 교잡종인 GA109/DB544는 KS5와 KS7rhm 및 그 교잡종보다 종자 수분함량의 감소가 더 늦었는데 이것은 출사 후 70일까지 100립중이 증가 (그림 3-1-1)와도 연관이 있는 것 같다.

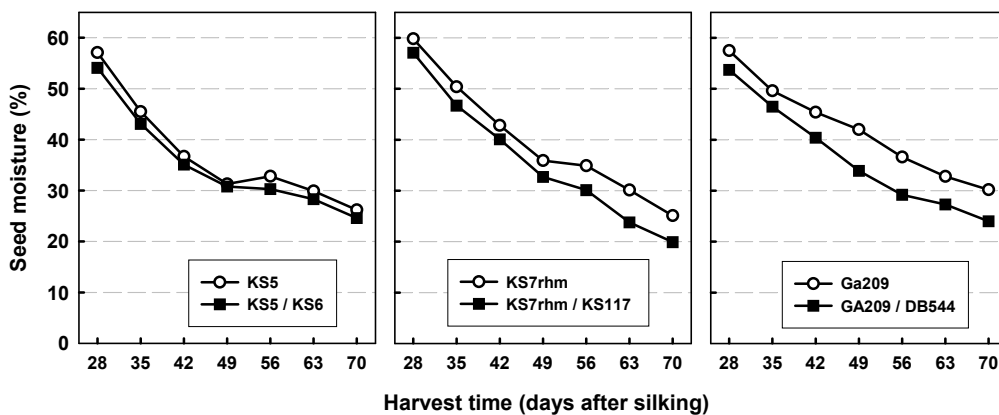


Fig. 3-1-2. Changes in seed moisture contents of three sib-and cross-pollinated corn inbred seeds with different maturities.

## 3) 침지 종자의 당 누출

종자를 물에 침지하였을 때 누출되는 당을 보면 그림 3-1-3과 같다. 출사 후 28일에는 모든 자식계통이 교잡종보다 당 누출량이 종자 1.0-2.5 mg/g으로 비교적 많았으나 수확기가 지연됨에 따라 당 누출은 현저히 감소되었는데 그 정도는 품종과 계통에 따라 달랐다. KS5와 KS7rhm 자식계통과 그 교잡종자는 출사 후 42일까지는 당 누출량이 급격히 감소하였고, 49일 이후에는 거의 당을 누출하지 않았다. 그러나 Ga209 자식계통과 교잡종자는 출사 후 63-70일까지 당 누출량이 점차적으로 감소하였고 출사 후 70일에 수확한 종자는 거의 당을 누출하지 않았다.

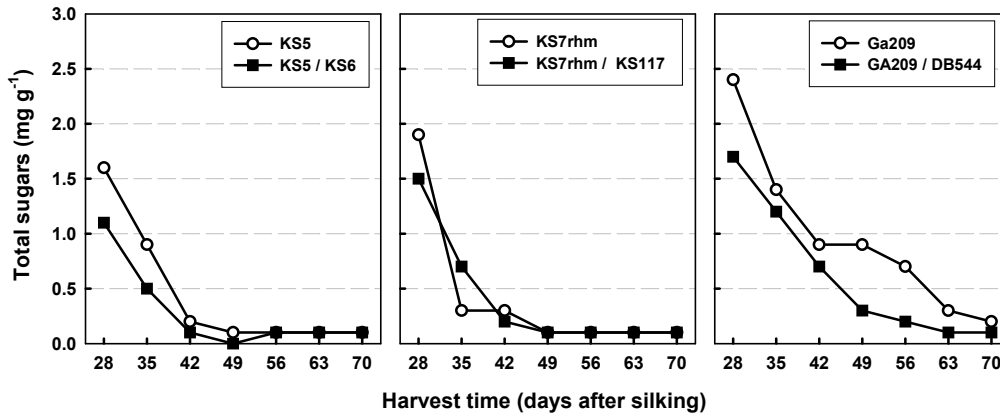


Fig. 3-1-3. Changes in total sugars leaked from the water soaked seeds of three sib- and cross-pollinated corn inbred seeds with different maturities.

#### 4) 전해질 누출

수확기가 다른 종자의 전해질 누출량을 알기 위하여 종자 침지액의 전기전도도 (EC)를 보면 그림 3-1-4와 같다. 출사 후 28일에는 모든 품종과 계통의 EC는 28-55  $\mu\text{s}/\text{cm}/\text{g}$ 으로 자식된 종자가 교잡된 종자보다 EC가 높았다. 그리고 출사 후 35일까지 수확기가 지연될수록 침지용액의 EC가 급격히 감소하였고, 그 후 49일까지는 서서히 감소하여 그 이후에는 큰 변화가 없이 10  $\mu\text{s}/\text{cm}/\text{g}$ 을 유지하였다.

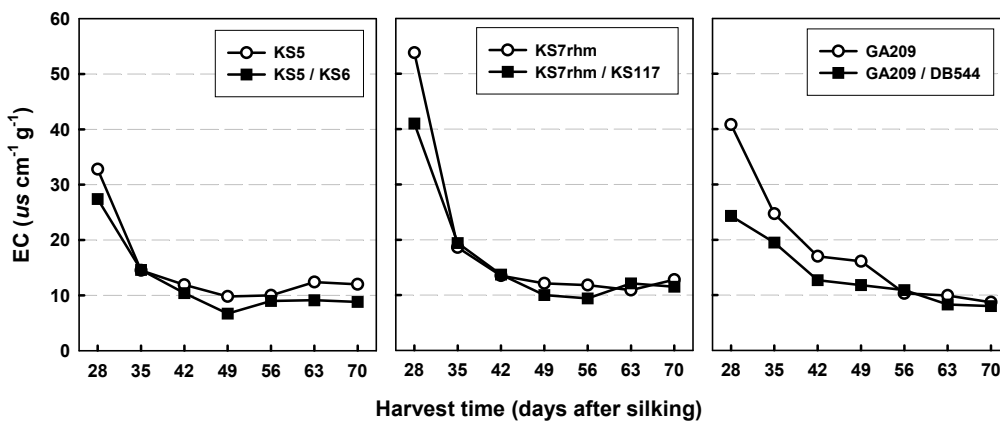


Fig. 3-1-4. Changes in electrical conductivity (EC) of the seed soaking solutions of three sib- and cross-pollinated corn inbred seeds with different maturities.

### 5) 25℃에서 발아율

발아적온인 25℃ paper towel에서 발아율을 그림 3-1-5에서 보면 품종과 계통에 따라 그 경향이 다소 달랐다. KS5 자식종자의 발아율은 수확기에 관계없이 약 80%, 교잡종자는 거의 100%이었다. 한편 KS7rhm 자식종자와 교잡종자의 발아율은 출사 후 28-49일에는 85-95%로 비슷하였지만 그 이후에는 교잡종자는 수확기가 지연되어도 발아율이 감소하지 않았지만 교잡종자는 수확이 지연될수록 발아율이 낮아졌다. Ga209의 자식종자는 출사 후 28일에는 약 75%로 낮았지만 출사 후 35-56일에는 약 90%를 유지하였고, 그 이후에는 발아율이 오히려 다소 감소하였다. 그러나 Ga209 교잡종은 출사 후 28-35일에는 약 85%, 42-49일에는 100%, 그 이후에는 수확이 지연될수록 발아율이 다소 감소되었다.

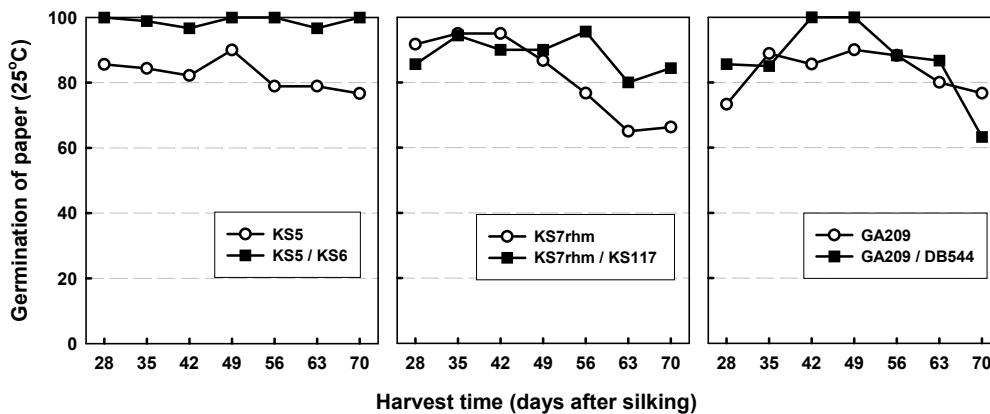


Fig. 3-1-5. Changes in germination rate of three sib-and cross-pollinated corn inbred seeds with different maturities at 25℃.

### 6) Cold soil test에서 출아율과 유아장

포장의 불량환경에서 출아율을 예측하기 위하여 토양에 파종하여 10℃에서 7일 경과 후 다시 25℃에서 출아시험 결과를 그림 3-1-6에서 보면, 출아율은 품종과 계통에 따라 달랐다. KS5와 KS7rhm의 자식종자와 교잡종자는 출사 후 28일에 수확하면 출아율이 2-50%로 극히 낮았다. 그러나 그 후 출사 후 42-49일까지는 수확이 늦을수록 출아율이 현저히 높아져 80-100%를 유지하다가 그 이후에는 수확이 지연될수록 출아율이 다소 감소하였다. 그리고 자식종자는 교잡종자보다 출아율이 더 낮았는데 그 차이는 수확적기보다 조기수확이나 만기수확에서 더 컸다.

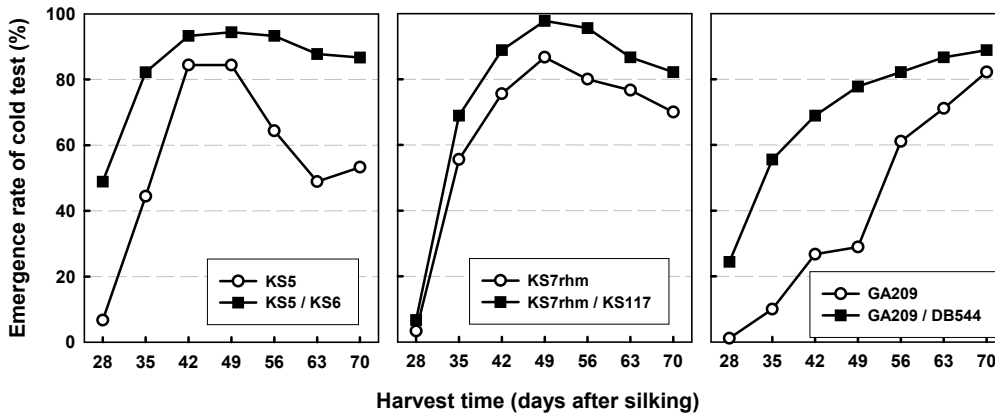


Fig. 3-1-6. Changes in emergence rate of three sib- and cross-pollinated corn inbred seeds with different maturities in cold soil test.

유아의 생장을 그림 3-1-7에서 보면, 출사 후 28일에 수확한 종자의 유아장은 모든 품종과 계통에서 그 이후에 수확한 종자보다 현저히 적었고, 교잡종자가 자식종자 보다 유아장이 현저히 길었다.

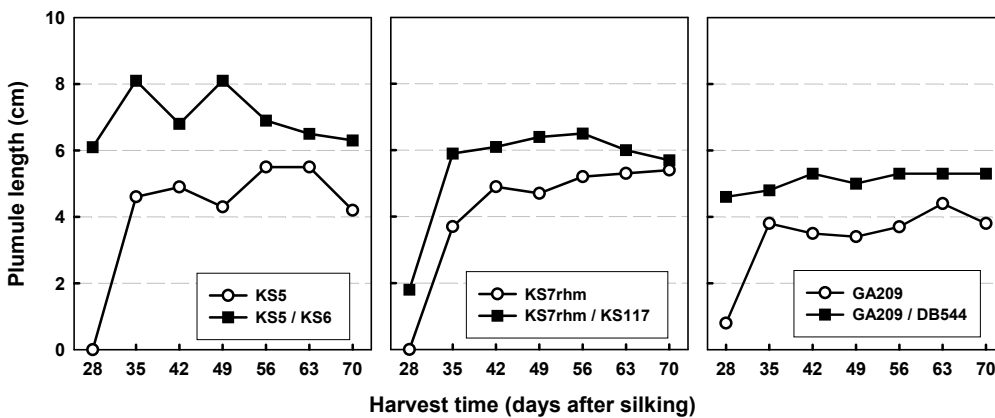


Fig. 3-1-7. Changes in the plumule length of three sib- and cross-pollinated corn inbred seeds with different maturities in cold test.

### 7) $\alpha$ -amylase 활성

수확기가 다른 종자의  $\alpha$ -amylase 활성은 품종과 계통에 따라 현저히 달랐는데 그 결과를 보면 그림 3-1-8과 같다. KS5와 Ga209 자식종자는 그들의 교잡종자보다  $\alpha$ -amylase 활성이 현저히 높았으나 KS7rhm은 자식종자와 교잡종자간에 큰 차이가 없었다. KS5자식종자를 제외하면 다른 자식 및 교잡종자는 출사 후 42-49일까지는 수확기가 늦을수록  $\alpha$ -amylase 활성이 증가한 후 다소 감소되거나 증가하는 경향이 있었다.

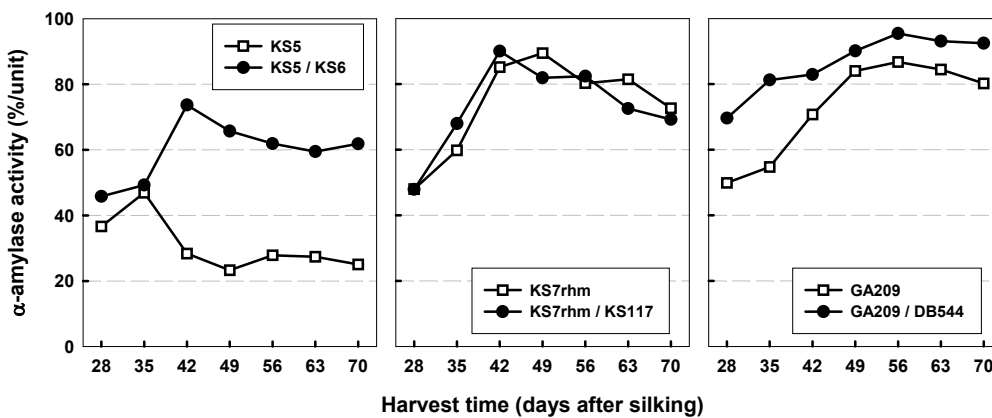


Fig. 3-1-8. Changes in  $\alpha$ -amylase of three sib- and cross-pollinated corn inbred seeds with different maturities.

### 라. 고찰

옥수수 자식계통 종자나 자식계통을 이용한 1대잡종 종자를 생산할 때 종자의 수확적기는 포장의 발아율과 유묘의 생장을 보고 결정하여야 한다. 본 시험에서 KS5, KS5/KS6 (수원19호), KS7rhm, KS7rhm/KS117 (수원옥)의 종자생산을 위한 수확적기는 cold test에서 출아율과 유아장을 고려하면 수확 후 49일이었다 (그림 3-1-6, 3-1-7). 수확적기에서 종자의 수분함량은 30-35%이었고, 다른 연구자들과 같은 경향이 있었다 (Curtis, 1980). 출사 후 28-42일에 수확한 종자는 발아적온인 25°C에서는 발아율이 수확적기에 수확한 종자와 비슷하였으나 포장에서 출아율과 관계가 깊은 cold test에서 출아율은 현저히 낮았다 (그림 3-1-6). 이들 미숙된 종자는 100립중이 적었



고 (그림 3-1-1), 종자를 물에 침중하였을 때 당 누출 (그림 3-1-3)과 전해질의 누출량이 많았고 (그림 3-1-4),  $\alpha$ -amylase 활성은 낮았다 (그림 3-1-8). 그러므로 미숙된 종자는 저온이나 과습과 같은 불량환경에서는 발아율이 낮거나 발아하여도 대사에너지의 부족으로 땅 위로 유아가 신장하지 못 할 수도 있다. 또 발아할 때 당이나 전해질 등 세포 내용물이 종자에서 많이 누출되면 토양의 병원성 미생물의 생육을 조장하여 출아하지 못하고 종자가 부패하였을 가능성도 있다. 미숙종자가 당과 전해질을 많이 누출하는 것은 종자가 흡수할 때 세포막이 상처를 받을 수 있는데 (imbibition injury) 활력이 낮아 상처를 수리하지 못하기 때문으로 보인다. 그러나 출사 후 56일 이후에 수확한 종자는 100립중도 높고, 당과 전해질의 누출도 적는데 cold test에서 출아율이 낮은 원인은 명확하지 않으나 상대적으로  $\alpha$ -amylase 활성이 낮은 것이 원인 중의 하나일 것으로 보인다 (그림 3-1-8). Knittle & Burris (1976)도 늦게 수확된 종자는 25°C에서 발아율과 유아생장은 적기에 수확한 종자와 비슷하였지만 유근의 생육이 감소되었다고 하였다.

한편 자가수분하거나 교잡된 Ga209는 KS5와 KS7rhm과는 경향이 현저히 달랐다. Cold test에서 출아율은 자가수분한 자식종자나 교잡된 광안옥 종자는 모두 출사 후 70일까지 수확기가 늦을수록 출아율이 증가하였는데 (그림 3-1-6), 이것은 100립중 (그림 3-1-1)과  $\alpha$ -amylase 활성이 계속해서 증가하였기 (그림 3-1-8) 때문으로 생각된다. 그리고 종자수분 함량 (그림 3-1-2), 당 누출 (그림 3-1-3), 전해질 누출 (그림 3-1-4)이 종자가 성숙됨에 따라 KS5와 KS7rhm보다 더 서서히 감소한 것은 잎의 노화가 늦어 잎의 활동이 더 오래 동안 계속되기 때문으로 생각된다.

## 2. 국내 육성품종과 수입종 사일리지용 옥수수의 생산성

### 가. 연구목적

국내에서 우수한 사일리지 옥수수 품종이 개발되어 있고 (정 등, 1996), 사일리지 생산성은 미국 수입종과 큰 차이가 없지만 (Lee & Lee, 1987; Lee & Choi, 1990) 대부분의 소 사육농가는 종자 값이 비싼 미국산 품종이 주로 재배되고 있다. 종자가격은 2002년도를 기준으로 할 때 수원 19호와 광안옥은 3,397원/kg, 황성옥은 1,667원/kg, 수입종인 Pioneer 3352은 11,000원/kg으로서 수입종자 가격은 국내산보다 3.2-6.6 배 비싸고, 수입 금액은 약 139억 원임 (이, 1998). 그래서 국내 육성품종과 수입종의 사일리지 생산성을 비교하고, 수입품종에 비하여 국내 육성품종의 장단점을 연구하여 사일리지 옥수수의 새로운 육종목표를 설정하는 기초자료를 얻고자 한다. 또 종자의 성숙도가 생육에 크게 영향을 미치지만 국내 육성품종의 종자생산을 위한 수확적기가 연구된 바 없다.

본 연구에서는 국내 육성품종은 전년도 (2001)에 생산된 종자의 성숙도가 다른 F1 교잡종 (출사 후 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70일에 수확)과 미국에서 수입한 6개 F1 품종의 사일리지 생산성을 비교하였다. 먼저 국내 육성품종의 알맞은 F1종자 수확기를 구명한 후, 그 다음에 그 수확적기에 수확된 국내 육성품종의 종자와 미국에서 수입된 종자의 사일리지 생산성을 비교하였다.

### 나. 재료 및 방법

#### 1) 공시품종

가) 국내종: 수원 19호, 수원옥, 광안옥의 출사 후 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70일에 수확한 종자 (2001년에 생산한 종자)

나) 수입종: DK 689, DK 729, NC 5514, NC+ 7117, P 3223, P 3394

#### 2) 파종 및 시비량

가) 파종: 2002년 5월 8일에 60 x 25 cm 간격으로 주당 2립씩 파종하였으며, 시구당 4줄, 줄의 길이는 5m 이었다. 출아율을 조사하고, 3엽기에 주당 1포기를 남기고 솎아줌.

나) 시비량: N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 각각 20-15-15 kg/10a이었다. 질소의 50%는 기비, 50%는 7-8엽기에 추비로 사용하였고, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 K<sub>2</sub>O는 모두 전량을 기비로 사용하였다.

### 3) 조사방법

재배특성과 사일리지 수량은 가운데 2줄 중 20주 (3m<sup>2</sup>)를 대상으로 농촌진흥청 농사시험연구조사기준에 따라 조사하였다 (농진청, 1995).

가) 초기생육: 출아 후 20일에 20포기를 대상으로 초장, 엽수를 조사하고, 그 중 대표적인 5주를 수확하여 80℃ 건조기에서 48시간 건조한 후 건물중 조사.

나) 성숙기 특성 조사: 출사기, 간장, 착수고, 후기 녹체성을 농촌진흥청 농사시험연구조사기준에 따름.

다) 사일리지 수량: 출사 후 40일에 3 m<sup>2</sup> 면적의 옥수수를 수확하여 이삭과 경엽을 분리하여 생체중을 조사하였다. 건물비율은 생육이 중단되는 5주를 경엽과 이삭으로 나누어 80℃ 송풍식 건조기에서 48시간 건조한 후 건물비율을 조사하였다. 건물수량은 생체수량에 건물비율을 곱하여 계산하였다.

라) 사료가치: 사일리지의 사료성분 분석은 건조된 경엽과 이삭을 Wiley Mill로 분쇄하여 20 mesh 체를 통과시킨 시료를 이용하였다. 조단백질은 Kjeltec 2300 Analyzer (FOSS Tecator, Sweden)를 이용하여 분석하였다. 조회분은 AOAC법에 따라 회화로 550℃에서 12시간 회화하였다. 조지방은 2043 Extraction Unit (FOSS Tecator, Sweden)에서 ethyl ether를 사용하여 3시간 추출하였다. NDF와 ADF는 Van Soest법에 의하여 Fibertec System M6 (FOSS Tecator, Sweden)을 이용하여 분석하였다.

## 다. 시험결과

### 1) 국내 육성 품종의 종자 수확기별 생육과 수량

#### 가) 출아율 및 초기생육

종자 수확기별 출아율과 출아 후 20일의 초장, 엽수 및 지상부 건물중 (그림 3-2-1)을 보면, 모든 품종에서 출사 후 28일에 수확한 종자는 출아율이 75-90%로서 다른 수확기의 종자보다 낮았다. 출사 후 36-70일 사이에 수확한 종자 중 수원19호는 모두 출아율이 95-100%로서 높았지만, 수원옥과 광안옥은 출사 후 56일까지는 수확기가 지연될수록 출아율이 다소 증가하는 경향이였다. 그러나 광안옥의 수확 후 70일에 수

확한 종자는 출아율이 76%로 낮았는데, 같은 종자를 cold soil test하였을 때는 출아율이 다른 수확기의 종자보다 높아 (그림 3-1-6 참조) 저장 중에 장해를 받았거나 시험 중 장해가 있었던 것으로 생각된다.

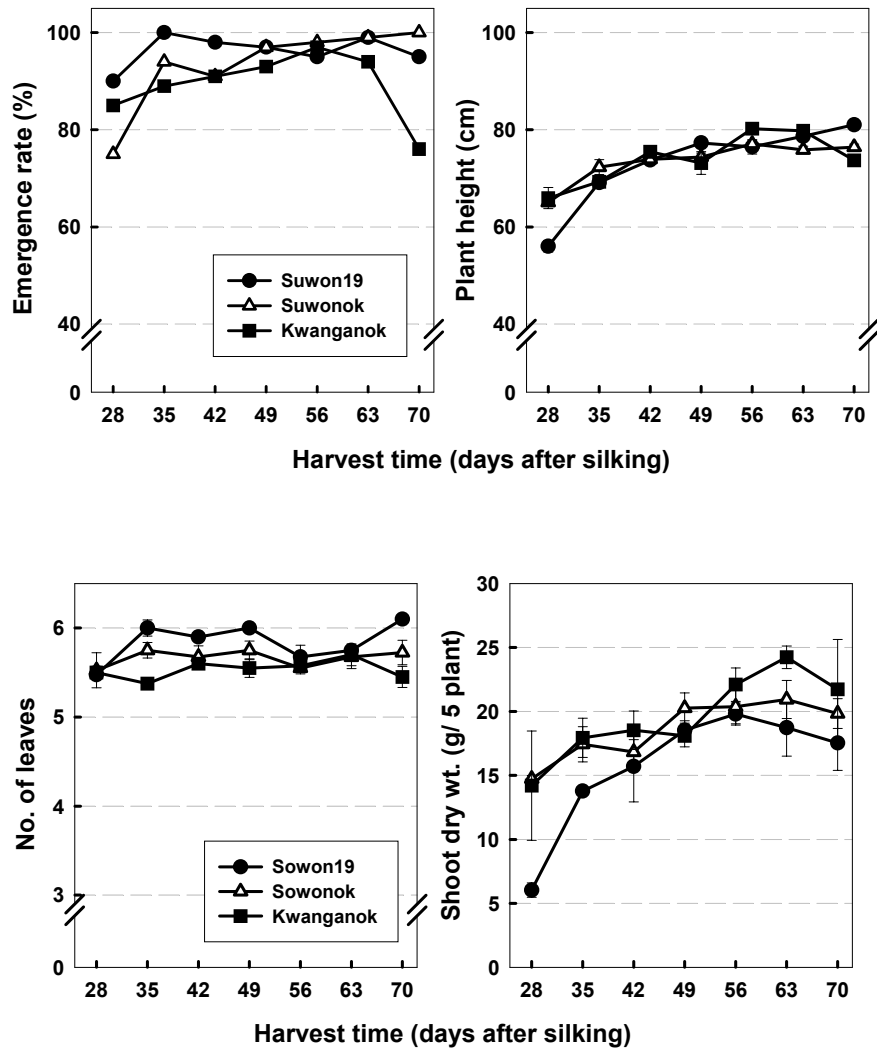


Fig. 3-2-1. Emergence rate, plant height, number of leaves, and shoot dry weight of F1 hybrids of Suwon19, Suwonok, and Kwanganok with different seed maturities at 20 days after emergence.

초장은 대체로 출사 후 56일까지는 수확기가 지연될수록 증가하였지만 그 이후에는 광안옥의 출사 후 70일에 수확한 종자를 제외하면 더 이상의 변화는 없었다.

엽수는 수원19호와 수원옥은 출사 후 28일에 수확한 종자가 그 이후에 수확한 종자보다 약 0.5엽 정도 적었으나 그 이후에 수확한 종자간에는 큰 차이가 없었다. 품종간에는 광안옥이 수원19호와 수원옥보다 다소 낮은 경향이였다.

지상부 건물중은 수원19호와 광안옥은 출사 후 56일, 수원옥은 49일까지는 수확기가 늦을수록 증가하였으나 그 이후에는 큰 변화가 없거나 다소 감소하는 경향이였다.

#### 나) 사일리지 수량 및 관련형질

출사기, 간장, 착수고, 사일리지 수량, 건물비율 및 이삭비율을 보면 표 3-2-1과 같다. 통계분석 결과 (ANOVA table 생략) 모든 조사 형질은 품종과 종자 수확기간 교호작용이 없어 품종간, 또 종자 수확기간 비교를 하였다.

모든 조사형질이 품종간에는 유의한 차이가 없었다. 그리고 출사기, 간장, 착수고, 건물비율은 종자 수확기간에 차이가 없었지만 경엽중, 이삭중, 사일리지 건물중은 종자 수확기에 따라 차이가 있었다. 즉 경엽중은 출사 후 63 및 70일에 수확한 종자가 그 이전에 수확한 종자보다 많았으며, 이삭중은 49일 이후에 수확한 종자가 그 이전에 수확한 종자보다 많았다. 따라서 경엽중과 이삭중을 합한 사일리지 건물중은 출사 후 56-70일에 수확한 종자가 그 이전에 수확한 종자보다 더 높았다.

이상의 결과에서 사일리지 품종의 종자생산에 알맞은 수확적기는 출아율, 초장, 엽수, 지상부 건물중 등 초기생육과 사일리지 수량, 건물비율 등을 종합적으로 고려할 때 3 품종 모두 출사 후 56-70일로 생각된다. 그래서 국내 육성품종의 출사 후 56-70일의 평균치와 미국 수입종의 여러 가지 생육 및 수량형질을 비교하였다.

Table 3-2-1. Silking date, culm length, ear height, silage yield, and percent dry matter of F1 hybrids of Suwon19, Suwonok, and Kwanganok with different seed maturities.

Treatment		Silking date	Culm length (cm)	Ear height (cm)	Dry weight (kg/10a)			Dry matter (%)
					Stover	Ear	Silage	
Hybrid	Suwon19	23 July <sup>ns</sup>	258 <sup>ns</sup>	135 <sup>ns</sup>	818 <sup>ns</sup>	814 <sup>ns</sup>	1670 <sup>ns</sup>	33.0 <sup>ns</sup>
	Suwonok	24 July	264	145	825	825	1730	33.7
	Kwanganok	24 July	265	141	804	787	1752	33.2
Harvest time (DAS) <sup>2)</sup>	28	25 July <sup>ns</sup>	266 <sup>ns</sup>	146 <sup>ns</sup>	827 b <sup>1)</sup>	761 b	1588 bc	34.2 <sup>ns</sup>
	35	23 July	259	139	754 b	733 b	1548 c	33.0
	42	24 July	264	145	766 b	758 b	1606 bc	34.1
	49	22 July	2638	139	806 b	795 ab	1630 bc	32.4
	56	23 July	260	136	817 b	893 a	1787 ab	33.3
	63	24 July	262	142	926 a	844 ab	1920 a	33.4
	70	23 July	261	136	846 ab	845 ab	1829 ab	32.8

<sup>1)</sup> Means within a column for hybrid or harvest time followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

<sup>2)</sup> DAS; Days after silking.

## 2) 국내 육성 품종과 미국 수입종의 생육 및 수량

### 가) 포장 출아율 및 초기생육

포장 출아율과 출아 후 20일의 초장, 엽수, 지상부 건물중 등 초기생육을 보면 표 3-2-2와 같다. 출아율은 수원19호, 수원옥, 광안옥 등 국내 육성품종과 P 3323, P 3394는 모두 94.4% 이상으로 87.0-88.0%인 NC 5514, DK 689, DK 729보다 높았다. 그러나 포장 출아율이 수량에 미치는 영향을 없애기 위하여 주당 2립을 파종하고 3엽기에 주당 1포기만 남기고 솟아준 이후에 조사한 입묘율은 가장 낮았던 NC 5514을 제외하면 모든 품종이 93-100%를 유지하였다.

출아 후 20일의 초장, 엽수, 지상부 건물중은 품종간에 다소의 차이는 있지만 대체로 국내 육성품종인 수원19호, 수원옥, 광안옥이 다른 미국 수입품종보다 현저하게 더 컸다.

포장 출아율은 NC 5514, DK 689, DK 729 (87-88.0%)를 제외하면 다른 품종들은 90% 이상으로 높았다. 일반적으로 출아율이 80% 이상이면 결주는 그 옆의 포기 of 생육이 촉진되어 수량은 감소하지 않으므로 파종기로 1립씩 파종하여도 입묘율 유지에 는 문제가 없을 듯하다. 본 시험에서는 2립씩 파종하여 1주를 남기고 솟아주었으므로 포장 출아율이 다소 낮았던 NC 5514도 입묘율은 문제가 되지 않았다.

Table 3-2-2. Emergence rate and plant growth of corn hybrids at 20 days after emergence.

Hybrid	Emergence rate (%)	% stand <sup>2)</sup>	Plant height (cm)	No. of leaves	Shoot dry weight (g/5 plants)
Suwon19	93.5 a <sup>1)</sup>	96.3 a	77.5 ab	5.8 a	19.0 ab
Suwonok	94.4 a	98.0 a	75.8 abc	5.7 bc	20.5 a
Kwanganok	94.8 a	94.7 a	77.7 a	5.6 bc	21.5 a
DK 689	88.0 b	94.1 a	71.8 d	5.5 cd	14.8 cd
DK 729	88.0 b	97.0 a	78.5 a	5.8 ab	17.1 bc
NC 5514	87.0 b	90.0 b	73.9 cd	5.5 cd	16.3 c
NC+ 7117	90.7 ab	93.0 a	69.0 e	5.5 cd	12.8 d
P 3323	98.1 a	97.7 a	65.9 f	5.4 d	14.8 cd
P 3394	96.3 a	94.8 a	74.6 bcd	5.5 cd	15.5 c

<sup>1)</sup> Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

<sup>2)</sup> % stand was observed after thinning to leave a plant in a hill.

#### 나) 출사기 및 사일리지 수량관련 형질

국내 육성품종과 미국 수입품종의 출사기, 간장, 착수고, 경엽, 이삭 및 사일리지 수량, 사일리지의 건물비율과 이삭비율을 보면 표 3-2-3과 같다. 출사기는 P 3394가 7월 18일, 수원19호가 7월 19일로 가장 빨랐으며, 다른 품종은 모두 7월 23-26일에 출사하였다.

간장은 DK 689, DK 729가 가장 컸고, NC+ 7117이 가장 적었으며, 나머지는 그 중간이었다. 착수고는 DK 689, P 3323이 컸고, 나머지는 중간이었지만 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 그러나 특히 P 3394는 착수고가 가장 낮았다.

이삭 수량은 품종간에 차이가 없었으나 경엽과 사일리지 수량은 NC 5514, P 3324는 국내 육성품종보다 사일리지 수량이 높았지만 NC+ 7117, DK 689는 오히려 낮았다. P 3394, DK 729는 수원옥보다는 수량이 낮았지만 수원19호와 광안옥과는 사일리지 수량이 비슷하였다.

건물비율은 32.2-36.3%로서 모두 사일리지 옥수수의 수확적기에 수확되었는데 국내 육성품종보다는 미국 수입종이 다소 높았다. DK 689가 가장 높았고, NC 5514, P 3323, 수원옥이 가장 낮았으나 45.9-49.5%이었다.

수확기에 조사한 후기 녹체성은 수원19호는 4, 수원옥 7, 광안옥 6의 분포를 보였고, 외국 품종은 1~3의 분포를 보여 국내품종보다 외국품종이 우수하여 국내 육성품종은 후기 녹체성의 보완이 필요하다. 국내 육성품종 중 후기 녹체성이 가장 문제되는 수원19호의 후기 녹체성이 수원옥, 광안옥보다 우수하게 나타난 것은 수원19호는 출사기가 약 7일 빨라 조사시기에 태풍의 영향을 회피하였지만 출사기가 늦은 수원옥과 광안옥은 수확하기 전에 태풍의 피해를 받았기 때문이었다.

Table 3-2-3. Yield and agronomic characteristics of corn hybrids at harvest time.

Hybrid	Silking date	Culm length (cm)	Ear height (cm)	Dry matter yield (kg/10a)			% dry matter	Ear/Silage ratio (%)	Leaf greening (1-9) <sup>2)</sup>
				Stover	Ear	Silage			
Suwon19	19 July a <sup>1)</sup>	261 ab	137 <sup>ns</sup>	886 d	853 <sup>ns</sup>	1,740 cd	33.5 b	49.1 b	4 bc
Suwonok	26 July b	263 ab	144	1,015 bc	868	1,883 bc	32.5 b	46.2 cd	7 c
Kwanganok	25 July b	261 ab	136	915 cd	829	1,743 cd	33.1 b	48.3 bc	6 c
DK 689	26 July b	276 a	152	746 e	849	1,594 d	34.5 ab	53.2 a	2 a
DK 729	23 July b	278 a	148	854 de	851	1,705 cd	34.6 ab	50.1 b	1 a
NC 5514	25 July b	270 ab	148	1,181 a	942	2,123 a	34.0 ab	44.4 d	2 ab
NC+ 7117	25 July b	253 b	140	866 d	813	1,679 d	34.4 ab	48.3 bc	3 abc
P 3323	25 July b	267 ab	152	1,105 ab	944	2,049 ab	36.3 a	46.1 cd	2 a
P 3394	18 July a	263 ab	128	867 d	849	1,717 cd	32.2 b	49.5 b	2 a

<sup>1)</sup> Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

<sup>2)</sup> Leaf greening; The lower numbers indicate more greening at harvest time.



**다) 초기생육, 수량관련특성 및 사일리지 수량과의 상관**

국내에서 육성된 3개 품종과 미국에서 수입한 6개 품종의 초기생육, 생육기간, 간장, 경엽중, 이삭중, 사일리지 수량, 건물비율, 이삭비율간의 상관관계를 보면 표 3-2-4와 같다. 출아 후 20일의 초장은 당시의 지상부 건물중과는 정의 상관이 있었고, 사일리지의 건물비율과는 부의 상관이 있었지만 초기의 초장과 지상부 건물중은 사일리지 수량과는 상관이 없었다. 특히 국내 육성품종의 초기생육은 모두 미국 수입품종보다 초기생육은 더 좋았지만 (표 3-2-1) 생육기간을 경과하면서 그 차이가 없어지는 것으로 생각된다.

경엽중과 이삭중은 사일리지 수량과 정의 상관이 있었지만 경엽중과 사일리지 수량은 이삭비율과는 부의 상관이 있었다.

Table 3-2-4. Correlation coefficients between growth characteristics and silage yield.

Character	Shoot dry wt. <sup>2)</sup>	Days to silking	Culm length	Stover dry wt.	Ear dry wt.	Silage yield	% dry matter
Plant ht. <sup>1)</sup>	0.566**	-0.200	0.239	-0.167	-0.249	-0.207	-0.432**
Shoot dry wt.	1.000	0.063	-0.169	0.101	-0.103	0.041	-0.170
Days to silking		1.000	0.122	0.309	0.120	0.269	0.206
Culm length			1.000	0.014	0.152	0.061	-0.118
Stover dry wt.				1.000	0.694**	0.971**	0.041
Ear dry wt.					1.000	0.846**	0.093
Silage yield						1.000	0.061

1), 2): Measured at 20 days after emergence.

**라) 사일리지 사료가치**

국내에서 육성된 3개 품종과 미국에서 수입한 6개 품종의 사일리지 사료가치를 분석한 결과는 표 3-2-5와 같다. 조단백질과 ADF는 경엽과 이삭에서 모두 품종간에 차이가 없었으며, 암이삭의 조회분, 경엽의 NDF도 품종간에 차이가 없었다. 그러나 경엽의 조지방 함량은 DK 689를 제외하면 미국 수입품종이 국내 육성품종보다 높았으

나 암이삭의 조지방 함량은 P 3323이 가장 높았고, 수원옥이 가장 낮았으며, 나머지는 그 중간이었다. 경엽의 조회분은 DK 689가 가장 높았고, NC+ 7117과 P 3323이 가장 낮았다. 암이삭의 ADF는 NC+ 7117, NC 5514, P 3323이 다른 품종보다 높았다.

Table 3-2-5. Crude protein, crude fat, crude ash, NDF, and ADF of Korean improved and imported corn hybrids.

Hybrid	Crude protein (%)		Crude fat (%)		Crude ash (%)		NDF (%)		ADF (%)	
	Stover	Ear	Stover	Ear	Stover	Ear	Stover	Ear	Stover	Ear
Suwon19	5.1 <sup>ns</sup>	9.1 <sup>ns</sup>	2.1 bc	6.9 b	6.6 ab	1.5 <sup>ns</sup>	80.9 <sup>ns</sup>	37.7 b	48.5 <sup>ns</sup>	12.7 <sup>ns</sup>
Suwonok	5.3	9.4	2.2 bc	5.6 c	6.3 abc	1.7	68.7	43.3 b	46.2	13.9
Kwanganok	5.4	10.1	1.8 c	6.3 bc	5.9 abcd	1.7	72.1	43.9 b	44.5	12.2
DK 689	5.9	8.6	1.6 c	5.9 bc	6.9 a	1.6	75.1	40.5 b	46.0	13.6
DK 729	4.7	9.1	2.4 abc	6.1 bc	5.6 bcd	1.7	72.4	43.7 b	45.2	13.5
NC 5514	5.2	9.0	2.6 abc	5.9 bc	5.4 cd	1.5	76.3	56.1 a	46.9	12.7
NC+ 7117	5.3	8.3	3.4 a	5.8 bc	5.0 d	1.4	84.1	63.4 a	43.0	13.9
P 3323	4.7	8.7	3.0 ab	8.6 a	4.9 d	1.6	77.2	54.0 a	47.2	13.3
P 3394	4.5	8.3	2.6 abc	6.0 bc	5.2 cd	1.6	71.2	39.0 b	45.8	14.3

## 라. 고찰

우리나라에서 사일리지 옥수수의 종자생산을 위한 수확적기가 품종과 상관없이 출사 후 56-70일이었는데 이러한 결과는 **제3절 1. 사일리지 옥수수 장려품종의 종자생산을 위한 수확적기 구명**에서 수확기별 종자의 cold soil test에서 100립중 (그림 3-1-1), 당 누출 (그림 3-1-3), 전해질 누출 (그림 3-1-4), 출아율 (그림 3-1-6)과 유아장 (그림 3-1-7),  $\alpha$ -amylase 활성 (그림 3-1-8)과 본 시험에서 초장과 건물중 등 초기생육 (그림 3-2-1)의 결과와도 잘 부합되었다. 즉 종자를 적기에 수확하면 종자에 전분 축적량이 많아 100립중이 높고, 세포막의 발달이 좋고 종자의 활력이 커서 흡수할 때 받은 막의 상처를 빨리 회복함으로써 당과 전해질의 누출이 적었다. 또  $\alpha$ -amylase의 활성이 높아 발아가 빠르고, 초기생육이 촉진되며 나아가 사일리지 수량이 증가하는 것으로 생각된다.

우리나라에서 육성된 품종과 미국 수입종을 비교하면 초기생육은 우리나라 품종이

더 우수하였으나 사일리지 수량과는 관계가 없었다. 사일리지 수량은 NC 5514와 P 3323은 우리나라 품종보다 많았지만 다른 4개 품종은 우리나라 품종과 비슷하거나 더 적어 일반적으로 미국 수입종이 더 우수하지는 않았다. 그러나 사일리지 생산에서 중요한 후기 녹체성은 모든 우리나라 품종이 미국 수입종보다 떨어지므로 앞으로 사일리지 옥수수 품종에 개선해야 할 점으로 생각된다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 1. 제1세부과제 : 단옥수수과 초당옥수수의 종자활력 저하원인 구명과 활력증진 방안

#### 가. 종자활력 저하원인 구명

단옥수수와 초당옥수수의 종자활력이 낮은 것은 종자발육을 저해하는 유전적인 요인, 생리적으로 미숙된 종자의 수확, 부패병균의 침입, 탈곡시 기계적인 상처, 저장 중 종자의 노화 등을 들 수 있다. 각 항목별로 대체로 소기의 목표를 달성하였지만 일부는 실용화하기 위하여 보완이 필요하다.

1) 단옥수수와 초당옥수수의 내적발육 저해요인 구명: 종자발육에 따른 마치중, 단옥수수, 초당옥수수의 ethylene 발생량과 배유의 형태적 변화가 일치하여 ethylene이 옥수수 종자의 배유괴사의 한가지 요인임을 입증하였다. 그리고 ethylene 발생억제제 (AVG, STS) 처리는 ethylene 발생량을 감소하였고, 배유괴사 정도도 낮고, 발생시기도 늦었으며, 반면 ethylene 발생을 조장하는 CEPA는 배유조직의 괴사를 촉진하였다. 따라서 단옥수수와 초당옥수수의 종자생산에 AVG와 STS를 활용할 가능성은 있지만 처리시기, 처리농도, 종자의 활력, 경제성 등이 검토되어야 할 것이다.

2) 종자생산을 위한 수확적기: 단옥수수의 종자활력을 증진시키는 최적 수확기는 출사 후 42일, 초당옥수수는 49일이었다. Cold soil test에서 출아율, 발아속도, 유아생육을 고려한 2년간 시험한 결과이었고, 수확적기와  $\alpha$ -amylase 활성, 입중, 침중시 당과 전해질의 누출 등이 잘 일치되어 신빙성이 있을 것으로 생각된다. 다만 자식계통을 구하지 못하여 1대잡종 종자를 이용하지 못하고, 복교잡 종자를 이용하여 결과가 다소 다를 수도 있으므로 유망한 1대잡종 품종이 개발되면 재검토가 바람직하다.

일반적으로 종자는 포장에서 건조된 후에 수확하기도 하지만 우리나라에서 단옥수수와 초당옥수의 종자를 생산할 때는 수확기에 비가 올 경우 수발아하거나 부패하여 활력이 낮아지기 쉬우므로 적기에 수확하여 알맞은 조건에서 활력건조를 하는 것이 좋을 듯하다.

3) 건조방법: 건조도중에 종자가 비를 맞지 않으면 야외건조, 온실건조 및 32℃ 송풍식 건조기에서 건조하는 것은 종자의 활력에는 차이가 없었지만 종자수분 함량을 10%까지 건조시키는 속도는 송풍식 건조기에서는 4일, 온실과 야외에서는 20일 이상 소요된다. 따라서 수확기에 장마가 올 때 종자 품질관리와 장기간 소요되는 건조노력을 고려하면 저온에서 화력건조가 필요할 것으로 생각된다. 본 시험에선 32℃에서 건조하였지만 다양한 온도와 온실에서 송풍식 건조 등 실용적이며, 경비가 저렴한 다양한 건조방법의 개발이 필요하다.

4) 탈곡방법: 손탈곡은 종자수분 함량에 관계없이 기계적 상처가 없지만 기계탈곡할 때는 상처를 받는다. 기계탈곡에 알맞은 종자수분 함량은 단옥수수에는 종자수분 15%, 초당옥수수에서는 12%이었으며, 이 때 피해립과 당과 전해질 누출량이 적고,  $\alpha$ -amylase 활성, 25℃에서 발아율 및 cold soil test에서 출아율이 가장 높아 기계탈곡에 알맞은 종자수분 함량을 찾았다.

현재 단옥수수와 초당옥수수 종자를 손으로 탈곡하면 출아율이 약 10% 향상되므로 종자값과 인건비를 고려하여 손으로 탈곡하든지, 탈곡기를 이용할 경우 알맞은 종자수분으로 건조하고, 회전속도를 조절할 수 있고 피해립을 줄일 수 있는 탈곡기의 개발이 필요하다. 새로운 전용 탈곡기가 개발되면 그 기계에 알맞은 종자수분 함량에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 5) 저장방법

단옥수수 종자는 상대습도 70%이면 5-15℃에서 8-9개월까지는 종자활력이 크게 저하되지 않으므로 다음 해에 이용할 종자저장 조건으로 충분하였다. 그러나 초당옥수수는 그 조건에 저장한 종자를 25℃에서 발아하면 발아율이 크게 저하되지 않지만 cold soil test에서는  $\alpha$ -amylase 활성이 현저히 감소하고, 출아율이 20%이하로 떨어졌고, 미국에서 수입한 1대잡종도 냉동실에 저장한 종자는 cold test에서 출아율이 80%를 유지하였지만 5℃, RH 70%에서도 1개월 후에 10%이상 떨어지므로 초당옥수수 종자에 대하여 새로운 저장방법을 개발하여야 할 것으로 생각된다.

## 나. 종자활력 증진방안

1) Osmoconditioning과 Matricconditioning: Polyethylene glycol (PEG)를 이용

하여 종자처리할 때 알맞은 water potential (WP)은 마치종 0~-0.3 MPa, 단옥수수과 초당옥수수는 -0.3~-0.6 MPa이다. Vermiculite를 이용한 matricconditioning은 옥수수 종류와 종자의 활력에 관계없이 vermiculite 수분함량 125%이었다. Osmoconditioning과 matricconditioning의 효과는 출아율, 출아속도, 유묘생장,  $\alpha$ -amylase 활성을 향상시키고, DNA 및 가용성 단백질 함량의 증가와 발아할 때 당과 전해질의 누출의 감소와 관계되는 것으로 생각된다. 이러한 종자처리로 cold soil test에서 출아율을 최고 20%까지 향상시킬 수 있었어 불량한 종자의 활력증진에 이용할 수 있다. 그러나 실제 포장에 적용한 시험이 없으므로 포장에서 출아율, 초기생육, 수량성 등에 관한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

2) **살균제 처리와 침종:** 살균제 (Benlate-T) 처리는 포장 출아율을 약 10%, 침종은 약 6% 증가시켰다. 살균제를 침종 전이나 후에 처리하여도 효과는 비슷하였다. 원래 시험목적은 최악의 종자를 포장에 파종하여도 출아하지 않은 종자가 많이 발생하므로 살균제가 침종 중에 씻겨 나가서 효과가 적은 것으로 생각하였으나 본 시험에서는 차이가 없었다. 포장시험은 2-3년 혹은 2-3장소에서 얻어진 결과를 가지고 결론을 내리는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

3) **Matricconditioning과 침종:** Matricconditioning한 종자는 침종시 수분흡수가 지연되었고, 당과 전해질의 누출량은 적었으며,  $\alpha$ -amylase 활성이 증가하였고, 초당옥수수는 25°C와 cold soil test에서 출아율이 현저히 높았다. 알맞은 침종시간은 matricconditioning 처리와 관계없이 단옥수수는 6시간 초당옥수수는 3시간으로 이미 추천되고 있는 시간과 같은 결과이었다. 그러나 matricconditioning과 침종을 함께하면 활력이 낮은 종자의 활력을 현저히 증가시킬 수 있다.

4) **GA 처리:** 단옥수수는  $\alpha$ -amylase 활성이 낮았지만 GA 농도가  $10^{-4}$ M까지는 GA 농도가 높을수록  $\alpha$ -amylase 활성이 증가하였다. 그러나 초당옥수수는 원래  $\alpha$ -amylase 활성이 높았고, GA 처리는  $\alpha$ -amylase 활성에 영향을 미치지 않았다. 본 시험에 단옥수수와 초당옥수수 모두 종자활력이 높아 GA처리 효과가 없었지만 GA처리는  $\alpha$ -amylase 활성이 낮은 노화종자에는 효과가 있을 것으로 생각된다.

## 2. 협동과제 : 사일리지 옥수수 종자의 수확적기 및 생산성

1) 사일리지 옥수수의 1대잡종 종자생산을 수확적기: Cold soil test에서 출아율과 유묘생장으로 본 수원19호와 수원옥의 종자생산을 위한 수확적기는 출사 후 49일 이었고, 광안옥은 출사 후 70일 이었다. 적기에 수확한 종자는 100립중, cold soil test에서 출아율, 유아장,  $\alpha$ -amylase 활성이 높았으나 치중 시 당과 전해질의 누출은 적었다. 그러나 종자를 2개씩 심어 3엽기에 1포기만 남기고 솟아서 입묘율을 완전히 확보한 포장에서는 초기생육과 사일리지 수량은 출사 후 56~70일 사이에 수확한 종자가 가장 많았다. 그래서 사일리지용 옥수수의 1대잡종 생산에 알맞은 수확기는 출사 후 56일경으로 생각된다. 현재 종자생산에 약 출사 후 50일에 수확하고 있으므로 약 1주일 이상 늦게 수확하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

2) 국내 육성품종과 수입종의 사일리지 생산성: 초기생육은 국내 육성품종이 수입품종보다 우수하여 농민들이 느끼는 것과는 상황이 달랐다. 그러나 사일리지 생산성은 NC+5514와 P-3323이 가장 높았으며, 나머지 4개 수입종은 국내 육성품종과 수량이 비슷하거나 오히려 낮아 사일리지 옥수수 재배농가가 여러 품종을 재배할 때는 종자 값은 1/2이하이지만 수량과 품질은 비슷한 국내 육성종을 선택해도 좋을 것으로 생각된다. 그리고 초기생육과 사일리지 수량과는 일정한 관계가 없으므로 초기생육보다는 수량과 사일리지 품질을 고려하여 품종을 선택하여야 한다. 그러나 국내 육성품종의 사일리지 수확기에 고사한 잎이 많았으나 수입종은 모두 후기 녹색성이 좋으므로 품종을 육성할 때 반드시 후기 녹색성을 고려해야 할 것으로 생각된다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 1. 제1세부과제 : 단옥수수과 초당옥수수의 종자활력 저하원인 구명과 활력증진 방안

가. 단옥수수와 초당옥수수의 수확적기, 건조방법, 탈곡방법, 저장방법은 현재 단옥수수와 초당옥수수의 육종담당자와 앞으로 유망품종이 육성되었을 때 채종시 유용하게 활용될 것으로 생각된다.

나. Osmoconditioning과 matricconditioning, 살균제 처리, 침종시간 등은 단옥수수와 초당옥수수를 재배하는 농민에 대한 지도사업자료로 활용할 수 있을 것으로 보인다.

### 2. 협동과제 : 사일리지 옥수수 종자의 수확적기 및 생산성

가. 사일리지 옥수수의 적정 수확기는 채종기관이나 농민에게 지도사업반영자료로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

나. 국내 육성품종은 대부분의 수입종과 사일리지 수량성과 품질이 큰 차이가 없으므로 사일리지 옥수수 재배농가에 홍보자료로 이용한다.

다. 사일리지 옥수수 채종사업은 현재 육성된 품종으로도 수입종과 경쟁력이 있다. 그래서 농협, 종묘회사, 정부기관 등에서 이미 기술이 보급되어 있는 강원도를 중심으로 채종사업을 하면 농민의 소득을 향상시킬 수 있는 방법이 될 것이다.



## 제 6 장 참고문헌

Abdul-Baki, A. A. and J. D. Anderson. 1972. Physiological and biochemical deterioration of seeds. In Seed Biology (ed. T. Kozlowski), Vol. 2, pp. 283-315. Academic Press, London.

Adegbuyi, E. and J. S. Burris. 1988. Field criteria used in determining the vigor of seed corn (*Zea mays* L.) as influenced by drying injury. J. Agron. and Crop Sci. 161: 171-177.

Ajayi, S. A. and M. A. B. Fakorede. 2000. Physiological maturity effects on seed quality, seedling vigor and mature plant characteristics of maize in a tropical environment. Seed Sci. & Technol. 28: 301-319.

Alexander, D. E. 1988. Breeding special nutritional and industrial types. p. 869-880. In G. F. Sprague and J. W. Dudley (ed.) Corn and Corn Improvement 3rd. Edition. No. 18 in the series of Agronomy, ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Andrew, R. H. 1982. factors influencing early seedling vigor of shrunken-2 maize. Crop Sci. 22: 263-266.

Association of Official Seed Analysts. 1983. Seed Vigor Testing Handbook. Proc. Assoc. Off. Seed Anal.

Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1990. Rules for seed testing. J. Seed Technol.

Atherton, J. G. and A. M. Faroque. 1983. High temperature and germination in spinach: II. Effects of osmotic priming. Scientia Hort. (Amsterdam) 19: 221-227.

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.

Bedford, L. V. 1988. The storage of fresh sweet corn, change in super sweet corn cultivar stored under different post-harvest condition. *Food Res. Asso. Tech. Memora.* No. 486.

Bennett, M. A. and L. Waters, Jr. 1987. Germination and emergence of high-sugar sweet corn is improved by hydration of seed. *HortScience* 22(2): 236-238.

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(1): 45-49.

Bennett, M. A. and L. Waters, Jr. 1988. Kernel maturity, seed size, and seed hydration effects on the seed quality of a corn inbred. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113(3): 348-353.

Bewley, J. D. and M. Black. 1985. *Seeds: Physiology of Development and Germination.* Plenum Press, New York, pp 1-367.

Bodsworth, S. and J. D. Bewley. 1981. Osmotic priming of seeds of crop species with polyethylene glycol as a means enhancing early and synchronous germination at cool temperatures. *Can. J. Bot.* 59: 672-676.

Boxter, L. and L. Waters, Jr. 1986. Effect of a hydrophilic polymer seed coating on the imbibition, respiration, and germination of sweet corn at four matric potentials. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(4): 517-520.

Bradford, K. J. 1985. Seed priming improves germination and emergence of cantaloupe at low temperatures. *HortScience.* 20: 598.

- Bradford, K. J. 1986. Manipulation of seed water relation via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience*. 21(5): 1105-1112.
- Brocklehurst, P. A., W. E. F. Rankin, and T. H. 1982/83. Stimulation of celery seed germination and seedling growth with combined ethephon, gibberellin and polyethylene glycol seeds treatments. *Plant Growth Reg.* 1: 195-198.
- Brooking, I. R. 1990. Maize ear moisture during grain its relation to physiological maturity drying. *Field Crops Res.* 23: 55-68.
- Carlos, A. and D. J. Cantliffe. 1991. Improved germination and modified imbibition of shrunken-2 sweet corn by seed disinfection and soil matrix priming. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(6): 942-945.
- Carlos, A. and D. J. Cantliffe. 1992. Enhanced emergence and plumule vigor in shrunken-2 sweet corn via seed disinfection and solid matrix priming. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(3): 400-403.
- Cruz-Garcia, C., V. A. Gonzalez-Hernandez, J. Molina-Moreno and J. M. Vazquez-Ramos. 1995. Seed deterioration and respiration as related to DNA metabolism in germinating maize. *Seed Sci. & Technol.* 23: 447-486.
- Callan, N. W., D. E. Mathre, and J. B. Miller. 1991. Field performance of sweet corn seed bio-primed and coated with *Pseudomonas fluorescens* AB254. *HortScience*. 26(9): 1163-1165.
- Carter, M. W. and C. G. Poneleit. 1973. Black layer maturity and filling period variation among inbred lines of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 13: 436-439.
- Cha, S. W. and S. I. Park. 1994. Relationships between grain filling characteristics and grain yield and yield components in maize. *Korean J. Breed.* 27(1): 73-78.

- Chang, S. M. and J. M. Sung. 1998. Deteriorative changes in primed sweet corn seeds during storage. *Seed Sci. and Technol.* 26: 613-626.
- Chern, G. S. and F. J. M. Sung. 1991. Prevention of injury during imbibition in shrunken-2 corn seeds by osmotic control of water uptake. *Seed Sci. & Technol.* 19: 469-476.
- Churchill, G. A. and R. H. Andrew. 1984. Effects of two maize endosperm mutants on kernel maturity, carbohydrates, and germination. *Crop Sci.* 24: 76-81.
- Greech, R. G. 1965. Genetic control of carbohydrate synthesis in maize endosperm. *Genetics* 52: 1175-1186.
- Cruz-Garcia, F., V. A. Gonzalez-Hernandez, J. Molina-Moreno, and J. M. Vazquez-Ramos. Seed deterioration and respiration as related to DNA metabolism in germinating maize. *Seed Sci. & Technol.* 23: 477-486.
- Coolbear, P., D. Grierson, and W. Heydecker. 1980. Osmotic pre-sowing treatments and nucleic acid accumulation in tomato seeds (*Lycopersion lycopersicum*). *Seed Sci. & Technol.* 8: 289-303.
- Daynard, T. B. and W. G. Duncan. 1969. The black layer and grain maturity in corn. *Crop Sci.* 9: 473-550.
- Daynard, T. B., J. W. Tanner, and W. G. Duncan. 1971. Duration of the grain period and its relation to grain yield in corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 11: 45-48.
- Daynard, T. B. 1972. Relationships among black layer formation, grain moisture percentage, and heat unit accumulation in corn. *Agron. J.* 64: 716-719.
- Delouche, J. C. 1980. Environmental effect on seed development and seed quality.

HortScience. 15: 775-780.

Douglass, S. K., J. A. Jovic, and W. E. Splittstoesser. 1993. Cold soil seedling emergence and variation in sweet corn kernel carbohydrate reserves. *Seed Sci. & Technol.* 21

Elis, R. H. 1988. The viability equation, seed viability monograph, and practical advice on seed storage. *Seed Sci. & Technol.* 16: 29-50.

Emmerich, W. E. and S. P. Hardegree. 1991. Seed germination in polyethylene glycol solution: Effects of filter paper exclusion and water vapor loss. *Crop Sci.* 31: 454-458.

Fabrizius, E., D. TeKrony, D. B. Egli, and M. Ruker. 1999. Evaluation of a viability model for predicting soybean seed germination during warehouse storage. *Crop Sci.* 39: 194-201.

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. Brandl. 1992. Control of humidity in environment chambers using glycerol-water solutions. *HortTechnology.* 2(1): 52-54.

Frey, N. M. 1981. Dry matter accumulation in kernels of maize. *Crop Sci.* 21: 118-122.

Gunn, R. B. and R. Christensen. 1965. Maturity relationships among early to late hybrid of corn. *Crop Sci.* 5: 299-302.

Gunasekaran, S. and M. R. Paulsen. 1985. Breakage resistance of corn as a function of drying rates. *Transactions of the ASAE.* 28: 2701-2076.

- Gunasekaran, S., S. S. Deshpande, M. R. Paulsen, and G. C. Shove. 1985. Size characterization of stress cracks in corn kernels. *Transactions of the ASAE*. 28: 1668-1667.
- Hallauer, A. R. and W. A. Russel. 1961. Effects of selected weather factors on grain moisture reduction from silking to physiological maturity in corn. *Agron. J.* 53: 225-229.
- Heter, U. and J. S. Burris. 1989. Evaluating drying injury on corn seed with a conductivity test. *Seed Science & Technology*. 17: 625-638.
- Jacobs, B. C. and C. J. Pearson. 1991. Potential yield of maize determined by rates of growth and development of ear. *Field Crops Res.* 27: 281-298.
- Johnson, D. R. and J. W. Tanner. 1972. Calculation of the rate and duration of grain filling in corn. *Crop Sci.* 12: 185-186.
- Juvic, J. A., M. C. Jangulo, J. M. Headrick, J. K. Pataky, and W. L. Tracy. 1993. Kernel changes in a *shrunk-2* maize population associated with selection for increased field emergence. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118: 135-140.
- Karrer, E. E., J. C. Litts, and R. L. Rodriguez. 1991. Differential expression of  $\alpha$ -amylase genes in germinating rice and barley seeds. *Plant Mol. Biol.* 16: 797-805.
- 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., J. D. Maguire, G. S. Abawi, and S. Ilyas. 1992. Matricconditioning of vegetable seeds to improve stand establishment in early field plantings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 41-47.

- Kim, S. L., S. U. Park, S. W. Cha., J. H. Seo. and T. W. Jung. 1994. Changes of major quality characters during grain filling in waxy corn and super sweet corn. Korean J. Crop Sci. 39(1): 73-78.
- Knittle, K. H. and J. S. Burris. 1976. Effects of kernel maturation on subsequent seeding vigor in maize. Crop Sci. 16: 851-855.
- Kyle, D. J., and E. D. Styles. 1977. Development of aleurone and sub-aleurone layers in maize. Planta. 137: 185-193.
- Lanteri, S., E. Nanda, P. Belletti, L. Quagliotti, and R. J. Bino. 1996. Effects of controlled deterioration and osmoconditioning on germination and nuclear replication in seeds of pepper (*Capsicum annuum* L.). Ann. Bot. 77: 591-597.
- Lecommandeur, D., and J. Daussant. 1989. Polymorphism in maize, oats, and sorghum  $\alpha$ -amylases. Phytochem. (Oxf.) 28: 2921-2925.
- Lee, M. H. 2000. Germination percentage of different types of sweet corn in relation to harvest dates. Korean J. Crop Sci. 45(1): 55-58.
- Lee, S. S., A. G. Taylor, M. M. Bersniewicz, and D. H. Paine. 1995. Sugar leakage from aged leek, onion, and cabbage seeds. Plant Varieties and Seeds. 8: 81-86.
- Lee, S. S., S. H. Yun, J. M. Seo, H. K. Min, S. H. Ryu, and J. Y. Park. 2002. Effect of harvest time on seed quality of silage corn inbreds and hybrids. Korean J. Crop Sci. 47(5): 361-367.
- Mitchel, Burlyn E. 1983. Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. Plant Physiol. 72: 66-70.

Moore, F. D., and P. A. Jolliffe. 1987. Mathematical characterization of seed mortality in storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112: 681-686.

Moore, F. D., and E. E. Roos. 1982. Determinating differences in viability loss rates during seed storage. *Seed Sci. & Technol.* 10: 283-300

Murray, G. A. 1990. priming sweet corn seed to improve emergence under cool conditions. *HortScience.* 25(2): 231.

Nam, H. K. and J. H., Ahn. 1999. *Plant Molecular Biology.* pp. 20-21. Academy Press Co. (Korean)

Pandey, D. K. Priming induced alleviation of the effects of natural ageing derived selective leakage of constituents in french bean. *Seed Sci. & Technol.* 17: 391-397.

Pan, D., and O. E. Nelson. 1984. A starch debranching enzyme deficiency in endosperm of *sugary-1* mutants of maize. *Plant Physiol.* 74: 324-328.

Parera, C. A. and D. J. Cantliffe. 1991. Improved germination and modified imbibition of *shrunk-2* sweet corn by seed disinfection and solid matrix priming. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(6): 942-945.

Parera, C. A. and D. J. Cantliffe. 1992. Enhanced emergence and seedling vigor in *shrunk-2* sweet corn via seed disinfection and solid matrix priming. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(3): 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.

Parera, C. A. and D. J. Cantliffe, D. R. McCarty, and L. C. Hannah. 1996.



Improving vigor in *shrunk-2* corn seedlings. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121(6): 1069-1075.

Parera, C. A. and D. J. Cantliffe, P. J. Stoffella, and B. T. Scully. 1995. Field emergence of *shrunk-2* corn predicted by single and multiple vigor laboratory tests. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120(1): 128-132.

Park, E. H., Y. S. Choi, J. Y. Jeong, and S. S. Lee. 1999. Effect of priming on germination of aged soybean seeds. Kor. J. Crop Sci. 44(1): 74-77.

Cunniff, P. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th Edition.

Peterson, J. M., J. A. Perdomo, and J. S. Burris. 1995. Influence of kernel position, mechanical damage and controlled deterioration on estimates of hybrid maize seed quality. Seed Sci. & Technol. 23: 647-657.

Parkes, M. E., N. Legesse, and R. Don. 1990. assumptions used with the seed viability equation. Seed Sci. & Technol. 18: 653-660.

Rasyad, A., D. A. Vansaford, and D. M. Tekrony. 1990. Changes in seed viability and vigour during wheat seed maturation. Seed Sci. & Technol. 18: 259-267.

Reiss, C. 1994. Amylase: Enzyme assay. p. 9-13, 261-262. In Experiment in Plant Physiology. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.

Roberts, E. H. 1973. Predicting the storage life of seeds. Seed Sci. & Technol. 1: 499-514.

Sanwo, M. M. and D. A. Demason. 1992. Characteristics of  $\alpha$ -amylase during germination of two high-sugar sweet corn cultivars of *Zea mays* L. Plant Physiol. 99: 1164-1192.

- Sanwo, M. M. and D. A. DeMason. 1993. A comparison of  $\alpha$ -amylase isozyme profiles in selected *su* and high-sugar sweet corn (*sh-2*, *su-1*, *su-1se*) lines (*Zea mays* L.). J. Plant Sci. 154(30): 395-405.
- Sanwo, M. M. and D. A. DeMason. 1994. Gibberellic acid ( $GA_3$ )-induced enhancement of  $\alpha$ -amylase activity in the aleurone of *shrunk-2* maize kernels. Amer. J. Bot. 81(8): 987-996.
- Sargent, J. A., S. S. Mandi, and D. J. Osborn. 1981. The loss of desiccation tolerance during germination: an ultrastructural and biochemical approach. Protoplasma. 105: 225-239.
- Schmidt, J. L. and A. R. Hallouer. 1996. Estimation harvest date of corn in the field. Crop. Sci. 6: 227-231.
- Sharma, A. D., H. D. Tolley, and O. R. Kunze. 1979. A two components drying model related to the fissured in rough rice. ASAE. 79: 3550.
- Seo, J. M., S. H. Yun, and S. S. Lee. 2002. Performance of imported sweet corn hybrids in Korea. Korean J. Crop Sci. 47(4): 305-310.
- Seong, R. C., H. C. Minor, and K. Y. Park. 1987. Effects of temperature and moisture level during preconditioning on germination and seedling elongation of soybean seeds with and without osmoconditioning. Korean J. Crop Sci. 32(1): 61-66.
- Sung, F. J. M. and Y. H. Chang. 1993. Biochemical activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. Seed sci. & Technol. 21: 97-105.
- Spalding, D. H., P. L. Davis, and W. F. Reeder. 1978. Quality of sweet corn stored in controlled atmospheres or under low pressure. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103(5): 592-595.

Sung, F. J. and Y. H. Chang. 1993. Biochemical activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. *Seed Sci. & Techol.* 21: 97-105.

Styer, R. C., D. J. Cantliffe, and L. C. Hannah. 1980. Differential seed and seedling vigor in shrunken-2 compared to three other genotypes of corn at various sages of development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105(3): 329-332.

Styer, R. C., and D. J. Cantliffe. 1983. Changes in seed structure and composition during development and their effects on leakage in two endosperm mutants of sweet corn. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 721-728.

Styer, R. C., and D. J. Cantlife. 1984. Dependence of seed vigor during germination on carbohydrate source in endosperm mutants of maize. *Plant Physiol.* 76: 196-200.

Taylor, A. G., D. E. Klein, and T. H. Whitlow. 1988. SMP : Solid matrix priming of seeds. *Scientia Horticultureae.* 37: 1-11.

Taylor, A. G. 2000. Personal communication. Dept. of Hort. Sci., Cornell Univ., Geneva, NY14456, USA.

Tang, S., D. M. TeKrony, D. B. Egli, P. L. Cornelius, and M. Rucker. 1999a. Survival characteristics of corn seed during storage: I. Normal distribution of seed survival. *Crop sci.* 39: 1394-1400.

Tang, S., D. M. TeKrony, D. B. Egli, P. L. Cornelius, and M. Rucker. 1999b. Survival characteristics of corn seed during storage: II. Rate of seed deterioration. *Crop Sci.* 39: 1400-1406.

Thevenot, C., C. Lauriere, C. Mayer, C. Simond-Cote, and J. Daussant. 1992. Alpha-amylase changes during development and germination of maize kernels. *J. Plant Physiol.* 140: 61-65.

- Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock, and K. A. Gomez. 1972. Determination of sugar and starch in plant tissue. In Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice (2nd ed.). IRRI. Los Banos, Philippines. p. 70.
- Young, T. E., D. R. Gallie, and D. A. DeMason. 1997. Ethylene-mediated programmed cell death during maize endosperm development of wild-type and *shrunken2* genotypes. Plant Physiol. 115: 737-751.
- Young, T. E., J. A. Juvik, and D. A. DeMason. 1997. Changes in carbohydrate composition and  $\alpha$ -amylase expression during germination and seedling growth of starch-deficient endosperm mutant of maize. Plant Sci. 129: 175-189.
- Vyn, T. J. and J. Moes. 1988. breakage susceptibility of corn kernels in relation to crop management under long growing season conditions. Agronomy Journal. 80: 915-920.
- Wann, E. V. 1980. Seed vigor and respiration of maize kernels with different endosperm genotypes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105(1): 31-34.
- Wann, E. V. 1986. Leaching of metabolites during imbibition of sweet corn seed of different endosperm genotypes. Crop Sci. 26: 731-733.
- Walbot, V. 1991. Maize mutants for the 21st century. Plant Cell. 3: 851-856.
- Willson, D. O., Jr. and S. E. Trawatha. 1991. Physiological maturity and vigor in production of Florida Staysweet *shrunken-2* sweet corn seed. Crop Sci. 31: 1640-1647.
- Willson, D. O., Jr., J. C. Alleyne, B. Shafii, and S. K. Mohan. 1992. Combining vigor test results for prediction of final stand of *shrunken-2* sweet corn seed. Crop Sci. 32: 1496-1502.

김순권. 이중돌연변이 유전자를 이용한 찰.초당옥수수 개발연구. 1997. 1998. 1999년 보고서.

김동암, 조무환, 권찬호, 한건준, 김종관. 1992. 도입 사일리지용 옥수수의 생육특성 및 생산성 비교. I. 지역별 생육특성 및 생산성. 한초지. 12(3): 161-172.

김병호, 문여황, 신정남. 1992. Silage용 옥수수의 품종별 생산성 비교. I. Silage용 옥수수의 생육특성 및 부위별 건물생산성. 한초지. 12(3): 178-184.

김인중 박종열 이안수. 1997. 단,초당옥수수의 간이저장에 의한 품질유지시험. 시험연구보고서 강원도농촌진흥원 pp. 328-335.

김종진 이영찬. 1995. 옥수수 발아 시 종자 내 당 함량의 변화와 발아 특성. 한작지. 40(6): 768-774.

김창호, 박상철, 이효원, 강희경. 1998. Silage용 옥수수의 생육특성, 수량 및 성장해석의 품종간 비교. 한초지. 18(2): 79-88.

남홍길, 안진홍. 1999. 식물분자생물학 연구법. 아카데미서적. pp. 20-21.

농촌진흥청. 1983. 농사시험연구조사기준(개정제1판). 옥수수 pp. 102-106.

농촌진흥청. 1997. 작물재배생리의 이론과 실험.

손영구. 김성열. 1996. 예냉처리가 풋옥수수의 냉각속도 및 호흡량 변화에 미치는 영향. 한국농산물저장유통학회지. 3(1): 55-60.

손영구, 김성열, 김선임, 황종진. 1997. 풋옥수수의 얼음저장이 종실성분 변화에 미치는 영향. 한작지. 42(1): 95-103.

손영구. 1999. 풋옥수수의 수확 후 품질관리 기술. 한국농산물저장유통학회 발표논문

초록집 . pp. 3-19

이석순, 김태주, 박종석. 1987. 단옥수수의 성숙정도에 따른 당함량, 가용성 고형물 및 맛의 변화. 한작지. 32(1): 86-91

이석순, 이상직, 김대연. 1987. 저장온도와 기간에 따른 단옥수수의 품질변화. 한작지. 32(2): 137-143.

이석순, 이진모. 1987. 흑조위축병 다발지역에서 사일리지 옥수수 품종의 생산성. 한초지 7(3): 140-145.

이석순, 박의호, 정병룡, 민태기. 1998. 종자 priming 처리기술 개발에 의한 불량환경에서의 주요작물 입묘율 향상. 농림부(농림기술개발연구과제 보고서). pp. 103-133.

이석순. 1998. 강원옥수수 특산화 및 품질향상 방안. '98 강원농업 발전방안 심포지움. 강원특화농산물의 우위성확보방안. 강원도농업기술원: pp. 49-74.

이석순. 1998. 종자 priming 처리기술 개발에 의한 불량환경에서의 주요작물 입묘율 향상. 1995년도 농림기술개발사업에 의하여 수행한 최종보고서.

이석순, 최상집. 흑조위축병이 심한 지역에서 옥수수와 수수 품종의 사료생산성. 1990. 한초지 10(1): 42-47.

정상호, 심웅섭. 1983. 발아중인 옥수수 종자내에서 RNA의 생합성에 미치는 GA<sub>3</sub>의 효과. Korean J. Bot. 26(1): 1~6.

정승근, 이석순. 박승의, 배동호. 1996. 옥수수. - 재배와 이용의 종합기술 -. 농민신문사.

정태욱, 김선립, 차선우, 김달웅. 2000. 초당옥수수 등숙시기에 따른 종실특성 변화와 발아율. 한작지. 45(3): 176-180.

최상집, 이석순, 백준호. 1991. 흑조위축병이 심한 지역에서 과종기에 따른 사일리지용 옥수수과 수수의 건물생산성. 한초지 11(2): 129-136.

## 제 7 장 참고문헌

Abdul-Baki, A. A. and J. D. Anderson. 1972. Physiological and biochemical deterioration of seeds. In *Seed Biology* (ed. T. Kozlowski), Vol. 2, pp. 283-315. Academic Press, London.

Adegbuyi, E. and Burris, J. S. 1988. Field criteria used in determining the vigor of seed corn (*Zea mays* L.) as influenced by drying injury. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 161: 171-177.

Ajayi, S. A. and M. A. B. Fakorede. 2000. Physiological maturity effects on seed quality, seedling vigor and mature plant characteristics of maize in a tropical environment. *Seed Sci. & Technol.* 28: 301-319.

Alexander, D.E. 1988. Breeding special nutritional and industrial types. p. 869-880. In G.F. Sprague and J.W. Dudley (ed.) *Corn and Corn Improvement* Third Edition. No. 18 in the series of Agronomy, ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Andrew, R. H. 1982. factors influencing early seedling vigor of *shrunk-2* maize. *Crop sci.* 22: 263-266.

Association of Official Seed Analysis(AOSA). 1983. Seed vigor testing handbook. *Proc. Assoc. Off. Seed Anal.*

Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1990. Rules for testing seeds. *Proc. Assoc. Off. Seed. Anal.*

Atherton, J. G. and A. M. Faroque. 1983. High temperature and germination in spinach: II. Effects of osmotic priming. *scientia Hort.(Amsterdam)* 19: 221-227.



- 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.
- Bedford, L. V. 1988. The storage of fresh sweet corn, change in super sweet corn cultivar stored under different post-harvest condition. Food Reservation. Res. Asso. Tech. Memora. No.486.
- Bennett, M. A. and L. Waters, Jr. 1987. Germination and emergence of high-sugar sweet corn is improved by hydration of seed. *HortScience* 22(2): 236-238.
- 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(1): 45-49.
- Bennett, M. A. and L. Waters, Jr. 1988. Kernel maturity, seed size, and seed hydration effects on the seed quality of a corn inbred. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113(3): 348-353.
- Bewley, J.D. and M. Black. 1985. *Seeds: Physiology of Development and Germination.* Plenum Press, New York, pp 1-367.
- Bodsworth, S. and J. D. Bewley. 1981. Osmotic priming of seeds of crop species with polyethylene glycol as a means enhancing early and synchronous germination at cool temperatures. *Canadian Journal of Botany.* 59: 672-676.
- Boxter, L. and L. Waters, Jr. 1986. Effect of a hydrophilic polymer seed coating on the imbibition, respiration, and germination of sweet corn at four matric potentials. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(4): 517-520.
- Bradford, K. J. 1985. Seed priming improves germination and emergence of

- cantaloupe at low temperatures. *HortScience*. 20: 598.
- Bradford, K. J. 1986. Manipulation of seed water relation via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience*. 21(5): 1105-1112.
- Brocklehurst, P. A., W. E. F. Rankin, and T. H. 1982/83. Stimulation of celery seed germination and seedling growth with combined ethephon, gibberellin and polyethylene glycol seeds treatments. *Plant Growth Regulation* 1: 195-198.
- Brooking, I. R. 1990. Maize ear moisture during grain its relation to physiological maturity drying. *Field Crops research*. 23: 55-68.
- Callan, N. W., D. E. Mathre, and J. B. Miller. 1991. Field performance of sweet corn seed bio-primed and coated with *Pseudomonas fluorescens* AB254. *HortScience*. 26(9): 1163-1165.
- Carlos, A. and D. J. Cantliffe. 1991. Improved germination and modified imbibition of *shrunk-2* sweet corn by seed disinfection and soil matrix priming. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(6): 942-945.
- 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.
- Carter, M. W. and C. G. Poneleit. 1973. Black layer maturity and filling period variation among inbred lines of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 13: 436-439.
- Cha, S. W. and S. I. Park. 1994. Relationships between grain filling characteristics and grain yield and yield components in maize. *Korean J. Breed.* 27(1): 73-78.
- Chang, S. M. and J. M. Sung. 1998. Deteriorative changes in primed sweet corn

seeds during storage. *Seed Sci. and Technol.* 26: 613-626.

Chern, G. S. and F. J. M. Sung. 1991. Prevention of injury during imbibition in shrunken-2 corn seeds by osmotic control of water uptake. *Seed Sci. & Technol.* 19: 469-476.

Churchill, G.A. and R.H. Andrew. 1984. Effects of two maize endosperm mutants on kernel maturity, carbohydrates, and germination. *Crop Sci.* 24: 76-81.

Coolbear, P., D. Grierson, and W. Heydecker. 1980. Osmotic pre-sowing treatments and nucleic acid accumulation in tomato seeds (*Lycopersion lycopersicum*). *Seed Sci. & Technol.* 8: 289-303.

Greech, R.G. 1965. Genetic control of carbohydrate synthesis in maize endosperm. *Genetics* 52: 1175- 1186.

Cruz-Garcia, C., V. A. Gonazalez-Hernandez, J. Molina-Moreno and J. M. Vazquez-Ramos. 1995. Seed deterioration and respiration as related to DNA metabolism in germinating maize. *Seed Sci. & Technol.* 23: 447-486.

Daynard, T. B. and W. G Duncan. 1969. The black layer and grain maturity in corn. *Crop Sci.* 9: 473-550.

Daynard, T. B., J. W Tanner, and W. G Duncan. 1971. Duration of the grain period and its relation to grain yield in corn (*Zea maize L.*). *Crop Sci.* 11: 45-48.

Daynard, T. B. 1972. Relationships among black layer formation, grain moisture percentage, and heat unit accumulation in corn. *Agron. J.* 64: 716-719.

Delouche, J. C. 1980. Environmental effect on seed development and seed quality. *HortScience*. 15: 775-780.

Douglass, S. K., J. A. Jovic, and W. E. Splittstoesser. 1993. Cold soil seedling emergence and variation in sweet corn kernel carbohydrate reserves. *Seed Sci. & Technol.* 21

Elis, R. H. 1988. The viability equation, seed viability monograph, and practical advice on seed storage. *Seed Sci. & Technol.* 16: 29-50.

Emmerich, W. E. and S. P. Hardegee. 1991. Seed germination in polyethylene glycol solution: Effects of filter paper exclusion and water vapor loss. *Crop Sci.* 31: 454-458.

Fabrizius, E., D. TeKrony, D. B. Egli, and M. Ruker. 1999. Evaluation of a viability model for predicting soybean seed germination during warehouse storage. *Crop Sci.* 39: 194-201.

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. Brandl. 1992. Control of humidity in environment chambers using glycerol-water solutions. *HortTechnology*. 2(1): 52-54.

Frey, N. M. 1981. Dry matter accumulation in kernels of maize. *Crop Sci.* 21: 118-122.

Gunn, R. B. and R. Christensen. 1965. Maturity relationships among early to late hybrid of corn. *Crop Sci.* 5: 299-302.

Gunasekaran, S. and Paulsen, M. R. 1985. Breakage resistance of corn as a

function of drying rates. *Transactions of the ASAE*. 28: 2701-2076.

Gunasekaran, S., Deshpande, S. S., Paulsen, M.R. and Shove, G. C. 1985. Size characterization of stress cracks in corn kernels. *Transactions of the ASAE*. 28: 1668-1667.

Hallauer, A. R. and W. A. Russel. 1961. Effects of selected weather factors on grain moisture reduction from silking to physiological maturity in corn. *Agron. J.* 53: 225-229.

Hartz, T. K. and J. Caprile. Germination of *sh2* sweet corn following seed disinfection, solid-matrix priming, and microbial seed treatment. *HortScience*. 30(7): 1400-1402.

Heter, U. and burris, J. S. 1989. Evaluating drying injury on corn seed with a conductivity test. *Seed Science & Technology*. 17: 625-638.

Jacobs, B. C. and C. J. Pearson. 1991. Potential yield of maize determined by rates of growth and development of ear. *Field Crops Reaserch*. 27: 281-298.

Johnson, D. R. and J. W. Tanner. 1972. Calculation of the rate and duration of grain filling in corn. *Crop Science*. 12: 185-186.

Juvic, J. A., M. C. Jangulo, J. M. Headrick, J. K. Pataky, and W. L. Tracy. 1993. Kernel changes in a *shrunked-2* maize population associated with selection for increased field emergence. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 118: 135-140.

Karrer, E. E., J. C. Litts, and R. L. Rodriguez. 1991. Differential expression of  $\alpha$ -amylase genes in germinating rice and barley seeds. *Plant Mol. Biol.* 16: 797-805.

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. 1992. Preplant physiological seed conditioning. *Ann. Rev. Hort. Sci.* pp. 132-179

Khan, A. A., J. D. Maguire, G. S. Abawi, and S. Ilyas. 1992. Matricconditioning of vegetable seeds to improve stand establishment in early field plantings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 41~47.

Kim, S. L., S. U. Park, S. W. Cha., J. H. Seo. and T. W. Jung. 1994. Changes of major quality characters during grain filling in waxy corn and super sweet corn. *Korean J. Crop Sci.* 39(1): 73-78.

Knittle, K. H. and J. S. Burris. 1976. Effects of kernel maturation on subsequent seeding vigor in maize. *Crop Sci.* 16: 851-855.

Kyle, D. J., and E. D. Styles. 1977. Development of aleurone and sub-aleurone layers in maize. *Planta.* 137: 185-193.

Lanteri, S., E. Nanda, P. Belletti, L. Quagliotti, and R. J. Bino. 1996. Effects of controlled deterioration and osmoconditioning on germination and nuclear replication in seeds of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Annals of Botany.* 77: 591-597.

Lecommandeur, D., and J. Daussant. 1989. Polymorphism in maize, oats, and sorghum  $\alpha$ -amylases. *Phytochemistry (Oxf.)* 28: 2921-2925.

- Lee, M. H. 2000. Germination percentage of different types of sweet corn in relation to harvest dates. *Korean J. Crop Sci.* 45(1): 55-58.
- Lee, S. S., T.J. Kim, and J. S. Park. 1987a. Sugars, soluble solids and flavor as influenced by maturity of sweet corn. *Korean J. Crop Sci.* 32(1): 86-91.
- Lee, S. S. S. J. Lee, and D. Y. Kim. 1987b. Quality of sweet corn stored at different temperatures and duration. *Korean J. Crop Sci.* 32(2): 137-143.
- Lee, S. S., A. G. Taylor, M. M. Bersniewicz, and D.H. Paine. 1995. Sugar leakage from aged leek, onion, and cabbage seeds. *Plant Varieties and Seeds.* 8: 81-86.
- Lee, S. S., J. H. Kim, S. B. Hong, and S. H. Yun. 1998. Effect of humidification and hardening treatment on seed germination of rice. *Korean J. Crop Sci.* 43(3): 157-160.
- Lee, S. S., S. H. Yun, and J. H. Kim. 1999. Sugars, soluble solids, and flavor of sweet, super sweet, and waxy corns during grain filling. *Korean J. Crop Sci.* 44(3): 267-272.
- Lee, S. S., S. H. Yun, J. M. Seo, H. K. Min, S. H. Ryu, and J. Y. Park. 2002. Effect of harvest time on seed quality of silage corn inbreds and hybrids. *Korean J. crop Sci.* 47(5): 361-367.
- Michel, Burlyn E. 1983. Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. *Plant Physiol.* 72: 66-70.
- Moore, F. D., and P. A. Jolliffe. 1987. Mathematical characterization of seed mortality in storage. *J. Am. Soc. Hortc. sci.* 112: 681-686.

- Moore, F. D., and E. E. Roos. 1982. Determinating differences in viability loss rates during seed storage. *Seed Sci. & Technol.* 10: 283-300
- Murray, G. A. 1990. priming sweet corn seed to improve emergence under cool conditions. *HortScience.* 25(2): 231.
- Nam, H. K. and J. H., Ahn. 1999. Plant Molecular Biology. pp. 20-21. Academy Press Co. (Korean)
- Pandey, D. K. Priming induced alleviation of the effects of natural ageing derived selective leakage of constituents in french bean. *Seed Sci. & Technol.* 17: 391-397.
- Pan, D., and O. E. Nelson. 1984. A starch debranching enzyme deficiency in endosperms of sugary-1 mutants of maize. *Plant Physiol.* 74: 324-328.
- Parera, C. A. and D. J. Cantliffe. 1991. Improved germination and modified imbibition of *shrunkened-2* sweet corn by seed disinfection and solid matrix priming. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(6): 942-945.
- Parera, C. A. and D. J. Cantliffe. 1992. Enhanced emergence and seedling vigor in *shrunkened-2* sweet corn via seed disinfection and solid matrix priming. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(3): 400-403.
- Parera, C. A. and D. J. Cantliffe. 1994. Dehydration rate after solid matrix priming alters seed performance of *shrunkened-2* corn. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(3): 629-635.
- Parera, C. A. and D. J. Cantliffe, D. R. McCarty, and L. C. Hannah. 1996. Improving vigor in *shrunkened-2* corn seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121(6): 1069-1075.



- Parera, C. A. and D. J. Cantliffe, P. J. Stoffella, and B. T. Scully. 1995. Field emergence of shrunken-2 corn predicted by single and multiple vigor laboratory tests. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(1): 128-132.
- Park, E. H., Y. S. Choi, J. Y. Jeong, and S. S. Lee. 1999. Effect of priming on germination of aged soybean seeds. *Kor. J. Crop Sci.* 44(1): 74-77.
- Cunniff, P. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th Edition.
- Peterson, J. M., perdomo, J. A. and Burris, J. S. 1995. Influence of kernel position, mechanical damage and controlled deterioration on estimates of hybrid maize seed quality. *Seed Sci. & Technol.* 23: 647-657.
- Parkes, M. E., N. legesse, and R. Don. 1990. assumptions used with the seed viability equation. *Seed Sci. & Technol.* 18: 653-660.
- Rasyad, A., D. A. Vansaford, and D. M. Tekrony. 1990. Changes in seed viability and vigour during wheat seed maturation. *Seed Sci. & Technol.* 18: 259-267.
- Reiss, C. 1994. Amylase: Enzyme assay. p. 9-13, 261-262. *In* Experiment in Plant Physiology. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Roberts, E. H. 1973. Predicting the storage life of seeds. *Seed Sci. & Technol.* 1: 499-514.
- Sanwo, M.M. and D.A. Demason. 1992. Characteristics of  $\alpha$ -amylase during germination of two high-sugar sweet corn cultivars of *Zea mays* L. *Plant Physiol.* 99: 1164-1192.
- Sanwo, M. M. and D. A. DeMason. 1993. A comparison of  $\alpha$ -amylase isozyme profiles in selected *su* and high-sugar sweet corn (*sh-2*, *su-1*, *su-1se*) lines (*zea*

mays L.). *J. Plant Sci.* 154(30): 395-405.

Sanwo, M. M. and D. A. DeMason. 1994. Gibberellic acid(GA<sub>3</sub>)-induced enhancement of α-amylase activity in the aleurone of *shrunk-2* maize kernels. *Amer. J. Bot.* 81(8): 987-996.

Sargent, J. A., S. S. Manóř, and D. J. Osborn. 1981. The loss of desiccation tolerance during germination: an ultrastructural and biochemical approach. *Protoplasma.* 105: 225-239.

Schmidt, J. L. and A. R. Hallouer. 1996. Estimation harvest date of corn in the field. *Crop. Sci.* 6: 227-231.

Sharma, A. D., Tolley, H. D. and Kunze, O. R. 1979. A two components drying model related to the fissuring in rough rice. *ASAE.* 79: 3550.

Seo, J. M., S. H. Yun, and S. S. Lee. 2002. Performance of Imported Sweet Corn Hybrids in Korea. *Korean J. Crop Sci.* 47(4): 305-310.

Seong, R. C., Harry C. Minor, and K. Y. Park. 1987. Effectsd of temperature and moisture level during preconditioning on germination and seedling elongation of soybean seeds with and without osmoconditioning. *Korean J. Crop Sci.* 32(1): 61-66.

Sung, F. J. M. and Y. H. Chang. 1993. Biochemical activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. *Seed sci. & Technol.* 21: 97-105.

Spalding, D. H., P. L. Davis, and W. F. Reeder. 1978. Quality of sweet corn stored in controlled atmospheres or under low pressure. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103(5): 592-595.

Sung, F. J. and Y. H. Chang. 1993. Biochemical activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. *Seed Sci. & Techol.* 21: 97-105.

Styer, R.C., D.J. Cantliffe, and L.C. Hannah. 1980. Differential seed and seedling vigor in *shrunk-2* compared to three other genotypes of corn at various sages of development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105(3): 329-332.

Styer, R. C., and D. J. Cantliffe. 1983. Changes in seed structure and composition during development and their effects on leakage in two endosperm mutants of sweet corn. *J. Am. Soc. Hortc. Sci.* 108: 721-728.

Styer, R. C., and D. J. Cantlife. 1984. Dependence of seed vigor during germination on carbohydrate source in endosperm mutants of maize. *Plant Physiol.* 76: 196-200.

Taylor, A. G., D. E. Klein, and T. H. Whitlow. 1988. SMP : Solid matrix priming of seeds. *Scientia Horticultureae.* 37: 1-11.

Taylor, A.G. 2000. Personal communication. Dept. of Hort. Sci., Cornell Univ., Geneva, NY14456, USA.

Tang, S., D. M. TeKrony, D. B. Egli, P. L. Cornelius, and M. Rucker. 1999a. Survival characteristics of corn seed during storage: I. Normal distribution of seed survival. *Crop sci.* 39: 1394-1400.

Tang, S., D. M. TeKrony, D. B. Egli, P. L. Cornelius, and M. Rucker. 1999b. Survival characteristics of corn seed during storage: II. rate of seed deterioration. *Crop sci.* 39: 1400-1406.

Thevenot, C., C. Lauriere, C. mayer, C. Simond-Cote, and J. daussant. 1992. Alpha-amylase changes during development and germination of maize kernels. *J.*

*Plant Physiol.* 140: 61-65.

Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock, and K. A. Gomez. 1972. Laboratory manual for physiological studies of rice. IRRI. pp. 38-41.

Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock, and K. A. Gomez. 1972. Determination of sugar and starch in plant tissue. *In* Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice (2nd ed.). IRRI. Los Banos, Philippines. p. 70.

Young, T. E. D. R. Gallie, and D. A. DeMason. 1997. Ethylene-mediated programmed cell death during maize endosperm development of wild-type and *shrunken2* genotypes. *Plant Physiol.* 115: 737-751.

Young, T. E., J. A. Juvik, and D. A. DeMason. 1997. Changes in carbohydrate composition and  $\alpha$ -amylase expression during germination and seedling growth of starch-deficient endosperm mutant of maize. *Plant Sci.* 129: 175-189.

Vyn, T. J. and Moes, J. 1988. breakage susceptibility of corn kernels in relation to crop management under long growing season conditions. *Agronomy Journal.* 80: 915-920.

Wann, E. V. 1980. Seed vigor and respiration of maize kernels with different endosperm genotypes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 105(1): 31-34.

Wann, E.V. 1986. Leaching of metabolites during imbibition of sweet corn seed of different endosperm genotypes. *Crop Sci.* 26: 731-733.

Walbot, v. 1991. Maize mutant for the 21st century. *Plant Cell.* 3: 851-856.

Willson, D.O.Jr. and S.E. Trawatha. 1991. Physiological maturity and vigor in production of Florida Staysweet *shrunken-2* sweet corn seed. *Crop Sci.* 31:

1640-1647.

Willson, D.O.Jr., J.C. Alleyne, B. Shafii, and S.K. Mohan. 1992. Combining vigor test results for prediction of final stand of *shrunk-2* sweet corn seed. *Crop Sci.* 32: 1496-1502.

김순권. 이중돌연변이 유전자를 이용한 찰.초당옥수수 개발연구. 1997. 1998. 1999년 보고서.

김동암, 조무환, 권찬호, 한건준, 김종관. 1992. 도입 사일리지용 옥수수의 생육특성 및 생산성 비교. I. 지역별 생육특성 및 생산성. 한초지. 12(3): 161-172.

김병호, 문여황, 신정남. 1992. Silage용 옥수수의 품종별 생산성 비교. I. Silage용 옥수수의 생육특성 및 부위별 건물생산성. 한초지. 12(3): 178-184.

김인중 박종열 이안수. 1997. 단,초당옥수수의 간이저장에 의한 품질유지시험. 시험연구보고서 강원도농촌진흥원 pp. 328-335.

김종진 이영찬. 1995. 옥수수 발아 시 종자 내 당함량의 변화와 발아 특성. 한작지. 40(6): 768-774.

김창호, 박상철, 이효원, 강희경. 1998. Silage용 옥수수의 생육특성, 수량 및 성장해석의 품종간 비교. 한초지. 18(2): 79-88.

남홍길, 안진홍. 1999. 식물분자생물학 연구법. 아카데미서적. pp. 20-21.

농촌진흥청. 1983. 농사시험연구조사기준(개정제1판). 옥수수 pp. 102-106.

농촌진흥청. 1997. 작물재배생리의 이론과 실험.

손영구. 김성열. 1996. 예냉처리가 풋옥수수의 냉각속도 및 호흡량 변화에 미치는 영

- 향. 한국농산물저장유통학회지. 3(1): 55-60.
- 손영구, 김성열, 김선임, 황종진. 1997. 풋옥수수의 얼음저장이 종실성분 변화에 미치는 영향. 한작지. 42(1): 95-103.
- 손영구. 1999. 풋옥수수의 수확 후 품질관리 기술. 한국농산물저장유통학회 발표논문 초록집 . pp. 3-19
- 이석순, 김태주, 박종석. 1987. 단옥수수의 성숙정도에 따른 당함량, 가용성 고형물 및 맛의 변화. 한작지. 32(1): 86-91
- 이석순, 이상직, 김대연. 1987. 저장온도와 기간에 따른 단옥수수의 품질변화. 한작지. 32(2): 137-143.
- 이석순, 이진모. 1987. 흑조위축병 다발지역에서 사일리지 옥수수 품종의 생산성. 한초지 7(3): 140-145.
- 이석순, 박의호, 정병룡, 민태기. 1998. 종자 priming 처리기술 개발에 의한 불량환경에서의 주요작물 입묘율 향상. 농림부(농림기술개발연구과제 보고서). pp. 103-133.
- 이석순. 1998. 강원옥수수 특산화 및 품질향상 방안. '98 강원농업 발전방안 심포지움. 강원특화농산물의 우위성확보방안. 강원도농업기술원: pp. 49-74.
- 이석순. 1998. 종자 priming 처리기술 개발에 의한 불량환경에서의 주요작물 입묘율 향상. 1995년도 농림기술개발사업에 의하여 수행한 최종보고서.
- 이석순, 최상집. 흑조위축병이 심한 지역에서 옥수수와 수수 품종의 사료생산성. 1990. 한초지 10(1): 42-47.
- 정상호, 심웅섭. 1983. 발아중인 옥수수 종자내에서 RNA의 생합성에 미치는 GA<sub>3</sub>의 효과. *Korean J. Bot.* 26(1): 1~6.

정승근, 이석순, 박승의, 배동호. 1996. 옥수수. - 재배와 이용의 종합기술 -. 농민신문사.

정태욱, 김선림, 차선우, 김달웅. 2000. 초당옥수수 등숙시기에 따른 종실특성 변화와 발아율. 한작지. 45(3): 176-180.

최상집, 이석순, 백준호. 1991. 흑조위축병이 심한 지역에서 과종기에 따른 사일리지용 옥수수와 수수의 건물생산성. 한초지 11(2): 129-136.