

水分不足이 보리의 發芽에 미치는 影響

白亨珍* · 崔元烈**

Effects of Water Stress on Germination in Winter Barley

Hyung Jin Baek* and Won Yul Choi**

ABSTRACT : This study was intended to obtain the basic information on the germination status, changes of β -amylase activity and reducing sugar contents during germination of barley after an imposition of water stress by adding Polyethylene glycol solution.

The effects of water deficit on germination were to be decreased in germination rate and velocity. Respiratory Quotient was increased as the osmotic potential in culture solution was decreased. But β -amylase activity and reducing sugar contents were decreased and the ratio of dry to fresh weight of germinated seeds was increased as the osmotic potential of the culture solution was decreased.

Key word : Barley, Water stress, Germination, PEG, Respiratory quotient

作物이 水分不足과 같은 不適環境에 처하게 되면 代謝過程에 異常이 생겨 光合成량이 低下되고 同化物質의 供給과 土壤無機物 吸收가 減少되어 作物體의 有機物 合成이 低下되며 生育을 遲延시켜 窮極의으로는 收量減少와 品質低下를 惹起한다. 특히 灌溉施設이 不足한 우리나라의 田作物에서는 水分不足에 의한 生育沮害를 받는 일이 많다.

生育段階別 水分不足에 대한 作物의 被害는 多樣한데 發芽時에는 發芽率의 減少²⁾, amylase의 活性低下²⁰⁾, 水分吸收率 減少, 還元糖量의 變化 등을 들 수 있겠는데 이에 따라서 生育이 不良해지고^{3,6, 18,23)} 酵素系의 混亂誘發^{5,21)}을 시켜서 새로운 組織의 分化와 發育을 沮害한다^{1,5,16,21,25)}.

大麥의 發芽에 있어서도 培地의 水分 Potential이 높아짐에 따라 出現率指數와 總立苗數가 적어지는

데 出現率指數의 品種間 差異는 -10bar와 -15 bar에서 매우 컸으며, 出現時期가 遲延될 뿐 아니라 出現率도 낮아져 初期立苗가 不良해진다고 보고¹⁾된 바 있으며, Gul¹⁰⁾ 등도 水分 Potential의 變化에 따른 大麥品種間的 發芽率 差異를 보고한 바 있다.

種子發芽中の 呼吸量은 水分이 充分할 경우에는 CO₂의 排出量과 O₂의 吸收量이 均衡을 이루어 呼吸係數(Respiratory Quotient; R.Q.)가 0.8~1.2를 維持하게 되나 水分不足에 처하게 되면 種實이 充分히 水分을 吸收하지 못할 뿐 아니라 酸素의 吸收量이 低下되고 二酸化炭素의 排出量이 增加하는 異常呼吸을 하게 되는데 이로 인하여 呼吸係數도 1.5이상으로 增加되며, 基質의 消耗가 많아 正常的인 生育을 하지 못하게 된다^{12,14)}. 또한 種子發芽에

* 농업유전공학연구소 (Agricultural Biotech. Inst. Suwon 441-707, Korea)

** 전남대학교 농과대학 (College of Agri., Chonnam Nat'l. Univ., Kwang Ju 500-070, Korea)

關與하는 主要酵素로 알려진 amylase는 發芽前 種子에서는 거의 나타나지 않으나 發芽中인 種子에서는 顯著히 增加한다고 Paleg^{6,7,10,17,20,22)} 등이 報告하고 있으며, Gepstein⁶⁾은 콩에서 發芽 2일째에 비하여 5일째에는 50배이상의 最高活性을 나타낸다고 했는데 이러한 amylase는 胚內의 GA에 의하여 糊粉層에서 合成되어 胚乳로 擴散되는 것으로 알려져 있다^{17,18)}. 澱粉이 加水分解되어 還元糖이 되는데 Parker¹⁹⁾는 不適環境下에서의 硬化중에 還元糖이 增加하며 이 還元糖이 構造의 水分을 代替하여 細胞를 保護하고 細胞의 構造維持에 寄與한다고 하였으며, 作物이 低溫이나 旱魃에 처할때 旱魃抵抗性이 큰 品種에서 還元糖量이 많다고 하였다.

본 試驗은 水分이 不足한 狀態에서의 보리의 發芽樣相, 呼吸 및 發芽關與 酵素의 活性 등을 測定하므로써 種子發芽 研究의 基礎資料로 活用하기 위해 遂行한 바 몇가지 結果를 報告하는 바이다.

材料 및 方法

본 實驗은 과맥인 백동을 供試材料로 하여 直徑 11cm의 petri dish에 濾過紙 2枚를 깔고 精選된 種子를 100粒씩 넣은 다음 Polyethylene Glycol로 水分 potential를 0, -5bar, -10bar, -15bar, -20bar의 5가지로 調節하였는데 水分 potential은 Van't Hoff의 異常氣體의 狀態方程式인 miRT 식(m =溶液의 몰수, i =溶質의 이온化 常數, R =가스常數, T =絕對溫度)으로 구하여 水分을 供給한 후 種子의 發芽過程에 미치는 水分不足의 影響을 調査하였다.

發芽率 調査는 浸漬 12시간후부터 24시간 間隔으로 白體가 2mm정도 出現한 것을 發芽로 간주하여 調査하였고 發芽速度 係數는 Kotowski法¹¹⁾에 依據하여 다음식으로 計算하였다.

$$\text{Kotowski의 GV Ko} = \frac{\sum G_n}{\sum (G_n \times D_n)} \times 100$$

(GV Ko=發芽速度係數, G_n =發芽種子數, D_n =發芽所要日數)

種子의 呼吸量 測定은 Umbreit方法^{24,26)}을 利用

하였다. 즉 2대의 manometer를 使用하여 flask속 에 試料와 反應液을 넣고 한쪽 manometer에는 CO₂ 吸收劑인 KOH溶液을 넣고 다른 한쪽에는 KOH용액 대신에 純粹한 물을 넣어 25℃ 水槽에서 10분간 flask를 震動시켜 그때 發生하는 CO₂와 吸收된 O₂의 양을 manometer의 눈금차이로 읽어서 測定하였는데 Warburg의 檢壓計를 使用하였다.

β -amylase의 活性은 Mojer¹⁵⁾와 Susumu법²²⁾에 의해 試料에 蒸溜水를 더하고 冷却磨碎한 후 10,000rpm에서 20분간 원심분리하여 24시간 흐르는 물에 투석시킨 것을 助酵素液으로 하였다. 이 助酵素液 1ml에 磷酸緩衝溶液(pH 6.5) 1.5ml와 1.2% 可用性 澱粉 1.5ml를 混合하여 37℃에서 30분간 反應시킨 후 dinitrosalicylic acid 比色法으로 波長 570nm에서 흡광도를 測定하여 D-glucose量으로 換算하였다. 還元糖量의 測定은 Lindsay법¹³⁾으로 實施하였는데 0.2%(W/V) d-glucose溶液에 의한 標準定量 曲線을 利用하여 乾燥된 試料 1mg를 취해서 試驗管에 넣은 후 1g의 3,5 dinitrosalicylic acid를 2M의 NaOH용액 20ml에 넣고 蒸溜水로 100ml가 되게 만든 試藥 2ml와 물 1ml를 添加한 후 水槽에서 10분간 교반한 다음 冷却시킨 溶液에 蒸溜水 2ml를 添加해서 還元糖量을 計算하였다. 種實의 生乾比는 95℃ 乾燥器에서 24시간 乾燥後 乾物重을 測定하여 구하였다.

結果 및 考察

1. 種子의 水分吸收

培地의 水分potential을 달리하게 되면 그림 1에서와 같이 種子의 水分吸收率이 差異를 보이는데 對照區와 -5bar 水準까지는 水分吸收率이 100% 이상인 것이 되어 發芽에 支障을 招來하지 않으나 -10bar에서는 84%로 낮아지고 -15bar이하에서는 吸收率이 種子의 生體重의 50% 이하로 水分吸收阻害를 받게 되어 이로 인하여 發芽가 遲延되거나 發芽가 되더라도 物質의 移動이 圓滑치 않아 生育不良을 招來하게 되므로 보리는 播種期에 初期立苗를 良好케 하려면 -10bar 以上으로 水分potential을 維持시켜야 한다.

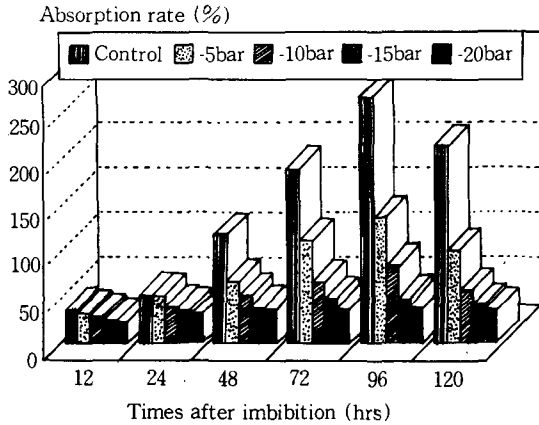


Fig. 1. The changes of water absorption rate of barley seed imposed to water stress.

2. 發芽率

水分條件에 따른 發芽率은 -5bar까지는 浸漬後 48시간이내에 거의 100% 發芽가 完了되었고 -10bar에서도 80%이상의 發芽率을 보이며 安定狀(Stationary phase)에 到達했으나 -15bar이하의 處理에서는 浸漬後 120時間까지도 漸增하고는 있으나 發芽率이 아주 낮았다. 이는 種實內로의 水分吸收가 充分하지 않아 GA에 의한 amylase의 合成을 阻害하는 등의 代謝過程에 異常을 惹起시켜 貯藏養分の 糖化를 抑制함으로 인하여 發芽가 遲延되는 것으로 생각되며 Gul¹⁾과 Chun²⁾도 이와 類似한 結果를 報告하였다. 그림 2에서 보듯 보리가 發芽初期에 -15bar이하의 持續的인 水分不足에 처하게 되면 發芽率低下는 물론 出現時期도 늦어져 初期立苗가 매우 不良해지게 되며 이로인하여 初期生育 및 分얼을 阻害하여 收量減少의 主要因이 되므로 우리나라와 같이 乾燥期에 보리를 播種할 경우에는 播種期에 멀칭을 해줌으로써 保濕은 물론 保溫效果도 얻을 수 있어 發芽에 도움을 줄 수 있을 것이다.

3. 發芽速度

Kotowski가 提案한 發芽速度係數는 種子發芽의 迅速도를 數値化한 값으로 初期立苗 良否의 指標로 使用되고 있는데 표 1에서도 水分 potential이 0에 가까운 對照區에서는 34.4로 높았으나 -20bar 處理區에서는 25.0으로 培地의 水分 potential

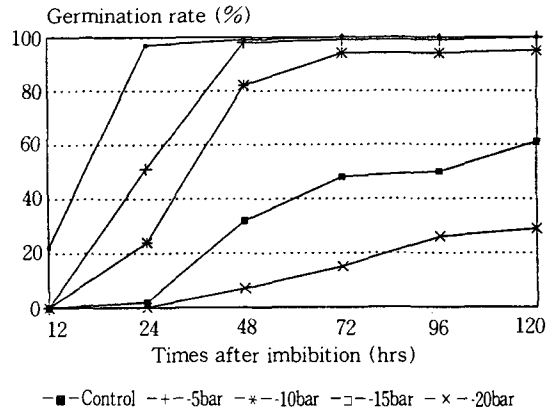


Fig. 2. Changes of germination rate imposed to water stress.

Table 1. Changes of germination velocity imposed to water stress

Germination velocity	Water potential (-bar)				
	Control	5	10	15	20
	34.4a	31.5b	29.4b	27.0c	25.0d

* The same letters within a row are not significantly different at 5% level according to DMRT.

이 낮아질수록 速度係數는 낮아지고 있다. 發芽速度係數값이 낮아진다는 것은 發芽가 遲延되거나 안되는 것을 意味하며 初期生育不良과 直結되게 된다. -10bar의 水分不足處理區에서 速度係數가 29.4로 낮아지기는 하였지만 置床 5일후의 發芽率은 95%이상으로 發芽가 遲延되기는 하였으나 높은 發芽率을 보였다. 이 結果로 보아 보리의 發芽에서 速度係數가 적어도 30.0 이상 이어야 正常的인 初期立苗가 될 可能性이 높다고 하겠으며 發芽速度係數는 初期生育의 良否를 事前에 평가하는 指標로 使用될 수 있겠다.

4. 呼吸量 變異

種子の 發芽中 酸素吸收量은 그림 3에서 보는 바와 같이 對照區에서는 浸漬後 24時間에 313 μ 로 浸漬 4時間後에 비해 6배이상 增加하고 있으나 水分不足處理區에서는 增加率도 낮을 뿐 아니라 增加量도 아주 적었다. 그러나 二酸化炭素 排出量은 對照區의 增加量에 비해 相對的으로 높아서 呼吸係

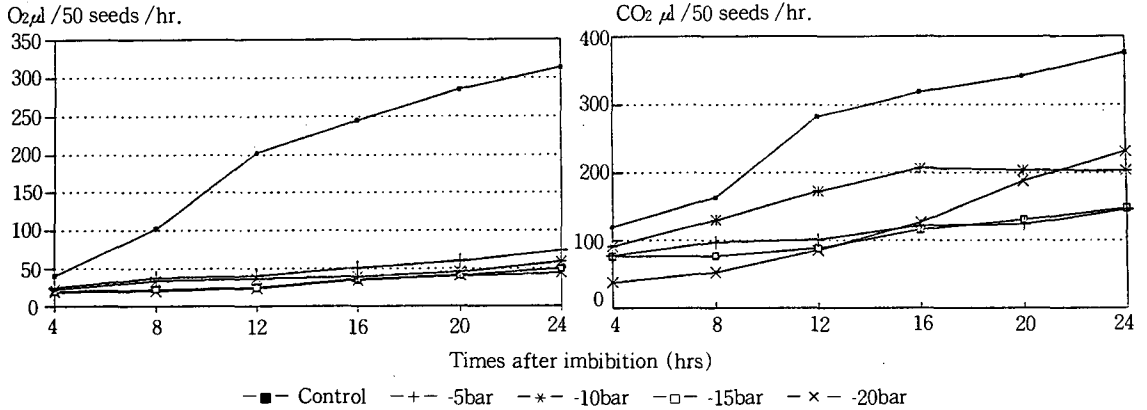


Fig. 3. Changes of oxygen uptake and carbon dioxide output imposed to water stress.

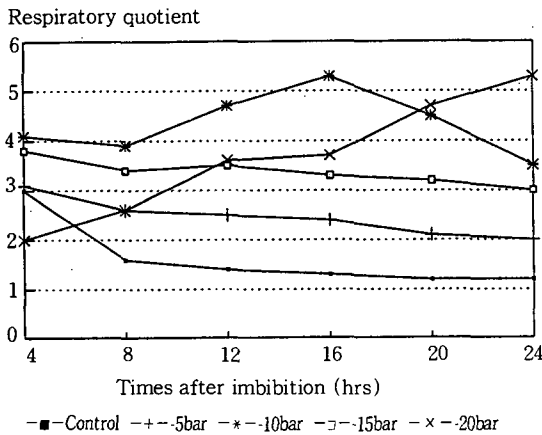


Fig. 4. Changes of respiratory quotient imposed to water stress.

數(R.Q.)가 높았다. 즉 對照區에서는 經時的으로 酸素吸收量보다 二酸化炭素의 排出量이 약간 많아서 R.Q.가 1.2 이하로 維持되는 반면 水分不足處理區에서는 酸素의 吸收量보다는 二酸化炭素의 排出量 增加가 훨씬 높아서 R.Q.가 2.0以上으로 上昇되었다(그림 4). 이는 Mayer¹⁴⁾와 Kozlowski¹²⁾의 主張과 같이 水分不足下에서의 異常呼吸으로 인하여 呼吸係數가 낮고 이는 培地의 水分potential이 매우 낮아서 種實內로 水分 吸收가 不充分하므로 初期에는 呼吸이 미미하다가 浸漬후 12時間以後에 種實生體重의 50% 程度의 水分을 吸收한 以後부터는 呼吸係數가 急激히 上昇한 것으로 思料된다.

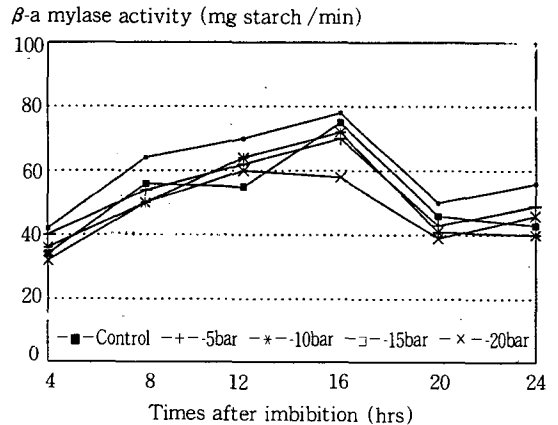


Fig. 5. Changes of β -amylase activity imposed to water stress.

5. β -amylase의 活性

β -amylase의 活性은 浸漬初期에는 全處理區에서 增加하는 傾向을 보이다가 72時間을 最高點으로 活性이 低下되고 있는데 이는 Gepstein⁶⁾이 大豆에서 調査한 結果와 最高活性을 나타내는 時間은 다르나 傾向値는 一致하고 있다.

β -amylase는 發芽에 影響을 미치는 主要한 酵素中的 하나로서 澱粉의 α 結合을 加水分解하여 maltose를 만드는데 種子의 物理的인 水分吸收가 거의 이루어지면 胚內의 GA에 의해 合成된 胚乳로 擴散되므로 發芽中인 種子에서는 活性이 顯著히 增加한다. 그림 5에서도 處理間의 差異는 β -amylase의 活性이 浸漬후 5일에 最高值에 到達한

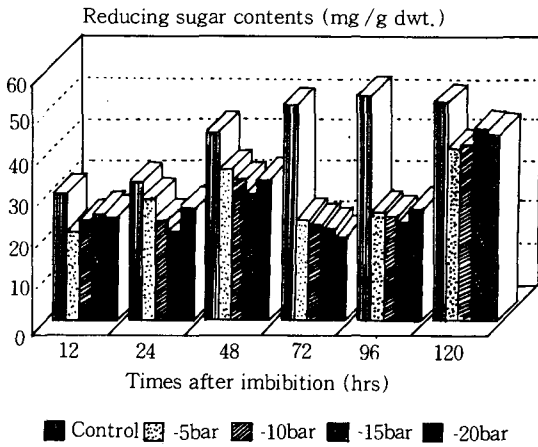


Fig. 6. Changes of reducing sugar contents.

다고 하였는데 본 시험에서는 活性的 最高値가 浸漬後 3일이었고 그 以後로는 減少하고 있어서 種實貯藏物質의 構成에 따라 活性的 傾向이 달라지는 것으로 생각되어지며 繼續實驗이 수행되어져야 할 것이다.

6. 還元糖

發芽中인 種子를 乾燥하여 蓄積된 還元糖의 含量을 調査한 결과 그림 6에서와 같이 對照區에서는 水分不足區에서는 浸漬後 72, 96時間에서는 減少하나 120時間에는 增加하고 있어서 그림 5의 β -amylase의 活性和 類似한 傾向을 보이고 있다. 이는 β -amylase의 加水分解로 生成된 還元糖이 種子의 發芽에 다 所要되지 못하고 不適環境으로 인한 硬化中에 構造의 水分과 對替하여 細胞를 保護하고 構造維持에 寄與하여 생긴 結果로 생각되며 Parker¹⁸⁾도 이와 類似한 結果를 報告하였다. 種子가 發芽中에 β -amylase의 活性和 還元糖의 蓄積量과의 相關關係를 考察하여 보면 發芽率과 蓄積되는 還元糖量이나 β -amylase의 活性和는 正의 相關關係가 있어서 還元糖의 增加는 곧 發芽率의 上昇을 意味한다고 할 수 있겠다.

7. 種子의 生乾比

培地의 水分不足處理에 의한 發芽中인 種子의 生乾比變異를 그림 7에서 보면 대조구와 -5bar處

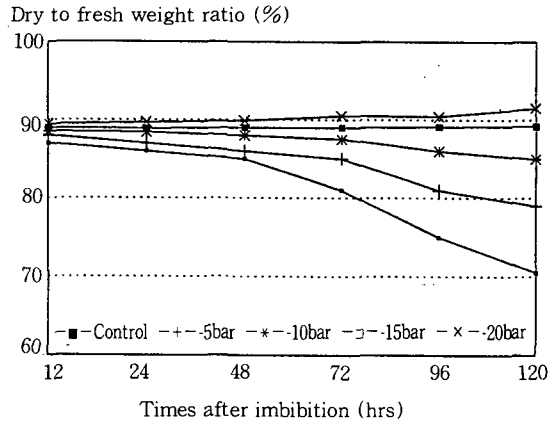


Fig. 7. Changes of dry to fresh weight.

理區에서는 時間이 經過함에 따라 生乾比가 激減하였고 -10bar와 -15bar 處理區에서는 減少의 幅이 아주 輕微했거나 一定하게 維持된 反面 -20bar 處理區에서는 生乾比가 若干 上昇하는 傾向을 보이고 있다. 이 結果는 作物이 심한 水分不足에 處하게 되면 生體重은 減少하게 되나 乾物重의 減少比率이 輕微하기 때문에 相對的으로 生乾比가 높아진 것이고 反面에 種子가 發芽時에 正常的으로 物質代謝를 하면 水分의 吸收量이 水分不足處理區에 비해 많기 때문에 生體重은 急激히 增加하나 光合成에 의한 同化物質의 蓄積이 미미하여 生乾比가 急激한 減少를 보이고 있는 것으로 사료된다.

摘 要

보리(*Hordeum vulgare* L.) 品種인 백동을 供試하여 Polyethylene glycol로 培地의 水分potential을 0, -5bar, -10bar, -15bar, -20bar로 調節하여 種子를 浸漬後 初期의 發芽率, 發芽速度, 呼吸係數, β -amylase 活性和 還元糖, 種子의 生乾比 등을 調査하여 發芽에 미치는 水分不足의 影響을 試驗한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 水分이 不足할 수록 發芽率의 減少 및 發芽速度 遲延이 極甚하였다.
2. 呼吸係數(Respiratory quotient: R.Q.)는 培地

- 의 水分 potential이 낮아짐에 따라 漸次 增加한다.
3. β -amylase의 活性은 培地의 水分potential이 높아짐에 따라 높아지고 還元糖量도 많아지는데 이는 種實이 充分한 水分을 吸收하지 못한 狀態에서 吸收된 水分중 相當量이 細胞의 構造의 水分이나 構造維持에 使用되어지기 때문이다.
 4. 吸濕種子의 生乾比는 배지의 水分potential이 높아짐에 따라 낮아지나 甚한 水分不足에 處하게 되면 도리어 上昇한다.
 5. 培地의 水分 potential이 -10bar 以上으로 維持되어야 種子가 正常的인 發芽를 하며 初期生育도 旺盛하게 維持될 수 있겠다.

引用文獻

1. Choi, W.Y. and Y.H. Kim. 1979. Studies on the effects of water stress at seedling stage on the accumulation of free proline and growth in barley and wheat. Rural Develop. Review 14:109-114.
2. Chun, J.Y., E.S. Lee, D.H. Chung and T. T. Chung. 1983. Barley varietal differences in germination and emergence capacity under different water and salt stress. Kor. J. Crop Sci. 28:122-127.
3. Eck, H.V. and J.S. Musick. 1979. Plant water stress effect on irrigated grain sorghum. I. Effects on yield. Crop Sci. 19:589-592.
4. Frank, A.B., J.F. Power and W.O. Willes. 1973. Effects of temperature and water stress on photosynthesis, diffusion resistance and leaf water potential in spring wheat. Agron. J. 65:777-780.
5. Frankie, J.M., Sung and Daniel R. Krieg. 1979. Relative sensitivity of photosynthetic assimilation and translocation of ^{14}C carbon to water stress. Plant Physiol. 64: 852-856.
6. Gepstein, S. 1979. Hormonal regulation of the activity of hydrolytic enzyme in cotyledons of bean seedlings. Plant Cell Physiol. 1:57-63.
7. Ginzburg, G. 1978. Glucose metabolism and retention of glucose metabolites in the wheat. Plant Physiol. 61:757-770.
8. Gul, Azan and R.E. Allan. 1976. Stand establishment of wheat lines under different levels of water potential. Crop Sci. 16:611-615.
9. Hsio, T.C. 1973. Plant response to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24:519-570.
10. Huber, W., P.N. Ristagl and N. Sankhia. 1974. Effect of sodium chloride and gibberellin on the activity of the enzyme of carbohydrate metabolism in leaves typhoides. Ecophysiological studies on indian arid zone plant. Bot. 77-84.
11. Kotowski, T.T., M.N. Sarin and A. Narayanan. 1968. Effect of soil salinity and growth regulators on germination and seedling metabolism of water. Physiol. Plant. 21:1201-1209.
12. Kozłowski, T.T. 1968. Water deficits and plant growth III. Academic Press. pp. 71-73.
13. Lindsay, H. 1973. A colorimetric estimation of reducing sugars in potatoes with 3,5-dinitrosalicylic acid. Potato Research 16:176-179.
14. Mayer, A.M. and Foljakoff-Mayber. 1982. The germination of seeds. pp. 123-130.
15. Mojer, T.T. 1980. Partial purification and characterization of m-RNA for amylase from barley aleurone layers. Plant Physiol. 65:834-837.
16. Nasser Sionit, Iwan D. Teare and Paul J. Kramer. 1980. Effects of repeated application of water stress on water status and

- growth of wheat. *Plant Physiol.* 63:336-340.
17. Okamoto, K. and T. Aivazaua. 1979. Enzyme mechanisms of starch breakdown in germinating rice seeds. Amylase formation in the epithelium. *Plant Physiol.* 63:336-340.
 18. Ordin, L. 1980. Effect of water stress on cell wall metabolism of avena coleoptile and tissue. *Plant Physiol.* 65:443-450.
 19. Parker, T. 1972. Protoplasmic resistance to water deficits.: Water deficits and plant growth III(T.T.Kowzlowski, ed) pp. 125-176. Academic press, New York and London.
 20. Paleg, L.G. 1960. On starch hydrolyzing enzyme of barley endosperm. *Plant Physiol.* 35:902-906.
 21. Simmelsgaard, S.E. 1976. Adaption to water stress in wheat. *Plant Physiol.* 37:167-174.
 22. Susumu Mityata, K. Okamoto and A. Watanabe. 1981. In vivo and vitro synthesis of amylase in rice seed scutellum. Enzyme of mechanism of starch breakdown in germinating rice seed. *Plant Physiol.* 68:1314-1318.
 23. Tully, R.E., A.D. Hanson and C.E. Nelson. 1979. Proline accumulation in water stressed barley leaves in relation to translocation and nitrogen budget. *Plant Physiol.* 63:518-523.
 24. Umbreit, W.W., R.H. Barris and J.F. Staufferer. 1949. Manometric techniques and tissue metabolism.
 25. Warklaw, I.F. 1971. The early stages grain development in wheat. Response to water stress in a single variety. *Aust. J. Biol. Sci.* 24:1047-1055.
 26. 東京大學 農藝化學科. 1981. 實驗農藝化學 上卷. 朝倉書店. pp. 591-595.