

小麥葉身の氣孔運動과 環境條件과의 關係

III. 土壤水分 및 倒伏이 小麥葉身の氣孔開度에 미치는 影響

南潤一* · 河龍雄* · 朴武彦*

Stomatal Movement and Related Environmental Factors to Stomata in the Wheat

III. Effect of Soil Water Potential and Lodging on the Stomatal Aperture in Wheat

Yooun Il Nam*, Yong Woong Ha* and Moo Eon Park*

ABSTRACT

This experiment was carried out to study in stomatal behaviour of wheat (Chokwang) upon the different soil water potentials, lodging and two different nitrogen treatment. Stomatal aperture was measured at flowering stage under diurnal course with two hour intervals.

Stomatal apertures were differently changed according to soil water potentials and leaf position on the stem, showing the rapid closure of stomata at low soil water potential and the narrow opening at low leaf position of stem. Wider stomatal opening appeared at the plot of optimal nitrogen application than that of low nitrogen. It was greatly decreased in opening of stomata at plants lodged, appearing that plant investigated of six days after lodging showed less than 50% than that normal plants, which indicated peculiar decrease of low leaf position of stem at afternoon of diurnal course.

結 言

作物의 生育과 收量에 關與하는 많은 要因中 土壤水分은 가장 重要한 要因中의 하나인데 多收穫을 얻기 爲하여는 適定量의 水分을 供給하는 것이 매우 重要하다. 土壤水分의 多少는 麥類에 있어서 生育뿐만 아니라 收量에도 크게 影響¹⁾하는데 過多한 土壤水分은 麥類 根의 發育障害와 活力을 減少시키고 稈의 支持力을 低下시켜 倒伏을 誘發시킨다. 特히 出穗期 以後에 土壤水分이 過多하면 倒伏이 發生하기 쉽게 되는데 倒伏은 光合成 및 同化産物의 轉流를 阻害^{7, 8)}시켜 收量 減收는 물론 品質도 低下시킨다. 小麥에서는 出穗前後 1週間の 倒伏에서 15%¹³⁾ 乳熟期 부터 糊熟期の 倒伏에서 12-25%¹⁹⁾의 減

收가 報告되고 있다. 反面에 土壤水分이 不足하게 되면 土壤의 水分 Potential을 低下시켜 土壤水分 轉導力의 低下로 作物의 物理的 環境에 直接的인 變化를 가져와 作物體의 代謝過程에 影響을 미치게 된다. 이러한 影響은 光合成率과 同化物質 供給, 또한 土壤無機物 吸收等の 減少로 間接的인 影響을 誘發하여 作物의 有機物合成을 阻害하고 全般的으로 生長을 遲延시켜 生育과 收量에 影響을 하게 된다. 水分 Stress가 發生하면 同化産物의 轉流장애로 葉綠體內의 炭水化物 蓄積이 일어나며 炭酸固定 反應系에 關與하는 酵素系의 混亂誘發^{2, 5, 11)} 및 Photo-hormone인 ABA의 合成이 旺盛하게 일어나^{9, 10)} 氣孔을 폐쇄시켜 光合成作用을 억제하게 되는데 ABA가 氣孔을 閉鎖시키는 역할을 한다는 것은 이미 밝혀진바 있다.^{3, 16)}

*麥類研究所(Wheat & Barley Research Institute, Suwon 170, Korea) (1984. 12. 24 接受)

窒素가 缺乏된 植物들에서는 ABA가 增加^{4,6)} 된다고 하였는데 Radin과 Parker¹⁷⁾에 依하면 窒素成分이 缺乏된 植物體는 正常的인 植物體보다 水分 Stress를 더욱 민감하게 받아 窒素成分이 缺乏된 목화는 土壤水分 Potential이 -10bar에서 氣孔이 閉孔되나 正常的인 목화는 -20bar에서 閉孔된다고 하였다. 이와같이 土壤水分의 多少나 窒素의 施肥量 등은 作物에 여러가지의 生理作用에 變化를 일으켜 生育이나 收量에 影響하게 되는데 特히 麥類가 倒伏된 狀態下에서 土壤水分의 多少나 窒素의 施肥水準이 氣孔의 開閉程度 및 日變化에 미치는 影響을 알고져 土壤水分, 倒伏의 有無 및 窒素의 施肥量 등을 달리하여 開花期에 調査하였던바 그 結果를 報告하는 바이다.

材料 및 方法

本 試驗은 1983년부터 1984년까지의 麥作期間 동안에 麥類研究所 人工降雨 調節室에서 遂行하였다. 供試品種은 小麥 早光 品種을 表面積 0.44㎡되는 大型 프라스틱 타원형 Pot에 25粒을 播種 栽培하였고 施肥量은 成分量으로 10a당 基肥로서 窒素 6kg, 燐酸 9kg, 加里 7kg을 施用하였으며 追肥는 窒素 6kg을 越冬直後와 出穗前 10日에 3kg씩 各各 分施한 普肥區와 追肥하지 않은 少肥區로 處理하였다. 本 試驗에 使用된 供試 土壤은 砂壤土로서 土壤水分 含量과 水分 Potential의 關係는 表 1과 같다.

Table 1. Relation of soil moisture content and soil water potential of the soil used.

Soil water potential (-bar)	<0.05	0.5	1.0	3.0	8.0	10.0
Moisture Content (%)	28.5	14.6	12.0	10.1	7.5	6.4

土壤水分 處理는 過濕區(ψ -0.05 bar 以下), 適濕區(ψ -0.3 ~ -0.5 bar), 乾燥區(ψ -3.0 ~ -5.0 bar) 旱魃區(ψ -8 ~ -10 bar)의 4 處理로 하였는데 水分 處理는 出穗前 7일부터 開花期까지 10日間 處理하였으며 處理前 까지의 管理는 모든 處理가 可能한 限 適濕狀態가 維持되도록 하였다. 그런데 土壤水分 處理區中 過濕區는 土壤水分이 飽和狀態가 되도록 계속 維持시켰으나 濕害는 輕微한 程度밖에 發生하지 않았다. 倒伏處理는 稈의 第 3~4 節間을 人爲的

으로 挫折시킨 後 各 個體가 可能한 限 경치지 않도록 하였으며 氣孔開度 測定은 倒伏을 시킨후 2, 4, 6日에 各各 測定 比較하였다.

土壤水分 Potential은 Gypsum block을 各 處理區마다 10cm 길이에 設置하여 實驗室에서 電氣 抵抗을 測定하여 얻어진 Calibration curve를 利用하여 換算하였다. 試驗區는 完全任意配置 3 反復으로 하였다. 氣孔開度 測定에는 Iso-butyl alcohol, Ethylen glycol 과 Xylene의 混合液을 使用하는 浸潤法^{14, 15)}으로 測定하였다. 測定에 使用된 材料는 完全 展開된 上位 4葉의 葉身을 利用하였다. 測定은 主稈의 葉身에 對하여 葉位別로 葉身中央部의 表面을 測定 比較하였으며 1回 測定에는 5 個體를 使用하였다. 氣孔開度는 相對數值(試藥順位)로 表示하였는데 이는 數字가 클수록 開度가 크다는 것을 나타내는 것이다.

結果 및 考察

1. 土壤水分에 따른 氣孔開度의 變化

土壤水分 Potential에 따른 氣孔開度의 日中變化를 보면 그림 1에서와 같다. 過濕區(ψ -0.05 bar 以下)에서는 氣孔開도가 12時頃에 最大에 達하였으며 그以後에는 完만한 減少程度를 보여 18時頃까지도 3 程度가 넘는 開度를 보였다. 그러나 適濕區(ψ -0.3

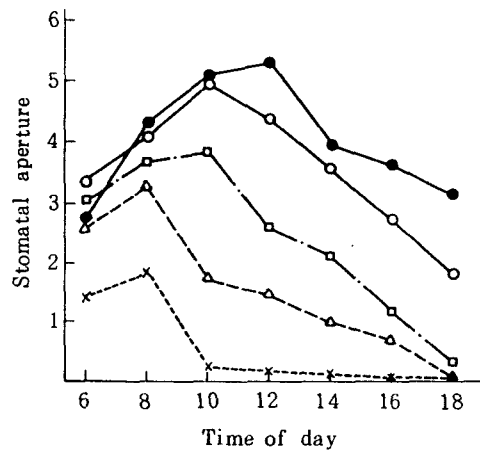


Fig. 1. Diurnal course of stomatal aperture of leaf blades of wheat at different soil water potential.

● ; ψ < -0.05 bar, ○ ; ψ -0.3 ~ -0.5 bar
□ ; ψ -1.2 ~ -1.5 bar, △ ; ψ -3.0 ~ -5.0 bar
× ; ψ -8 ~ -10 bar

~ -0.5bar)에서는 氣孔開度の 最大値가 10時頃으로 過濕區에 比하여 閉孔되는 時刻이 2時間程度 遅라졌으며 閉孔되는 程度도 急激하여 18時頃에는 1.8 程度의 氣孔開度を 보였다. 乾燥區(ψ -3.0~-5.0 bar)는 適濕區보다 氣孔이 더욱 빨리 閉孔되어 午前 8時頃에 最大値를 보였으며 이보다 더욱 乾燥한 旱魃區(ψ -8~-10bar)에서는 午前 6時와 8時頃에만 1.5~2.0 程度의 開度を 보였고 이 時刻以後에는 거의 完全히 閉孔되는 日中變化를 하였다. 以上과 같이 氣孔開度は 土壤水分 條件에 따라 日中變化의 樣相이 상당히 相異하여 土壤이 乾燥할수록 氣孔의 閉

孔時刻은 遅라지고, 開度は 작으며, 閉孔되는 程度도 顯著함을 알 수 있었다. 그림 2는 土壤水分 Potential의 變化에 따른 葉位別 氣孔開度の 最大値를 나타낸 것이다.

氣孔開度は 어느 土壤水分 條件에서나 上位葉일수록 큰 開度を 나타내었는데 止葉은 土壤水分 ψ -8.0 bar 程度에서도 2.5 程度의 開度を 보인 反面 3葉은 0.9, 4葉은 거의 完全히 閉孔된 0.1 程度를 나타내었다. 乾燥區(ψ -3.0~-5.0bar)에서도 3葉이나 4葉은 止葉이나 2葉에 比하여 19~54% 程度 밖에 되지 않는 氣孔開度を 나타내었다. 이와같이 下位葉은 上位葉에 比하여 土壤水分 Potential이 낮을 경우 더욱 민감하게 反應하여 氣孔開度は 더욱 크게 減少되는 傾向이었는데, 上堂¹²⁾, 石原¹⁰⁾ 등의 報告에 依하면 土壤水分 Potential이 減少함에 따른 根吸水力의 減少影響은 上位葉에 比하여 下位葉에서 顯著하다고 하였는데 本 試驗에서 얻은 結果는 以上の 報告에 符合되는 結果라고 생각된다.

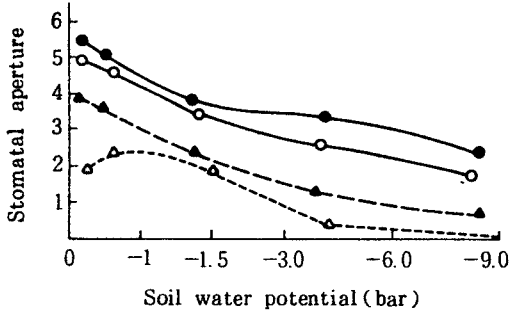


Fig. 2. Relationship between soil water potential and stomatal aperture in different leaf position of wheat.
●; flag leaf, ○; 2nd leaf, ▲; 3rd leaf, △; 4th leaf

2. 倒伏 및 窒素施肥量과 氣孔開度와의 關係

麥體가 倒伏되어 4日이 經過한 後 土壤水分 Potential 別로 氣孔開度を 完全展開한 上位 4葉을 上位 2葉과 下位 2葉으로 나누어 調査한 結果 그림 3에서 보는바와 같다. 倒伏된 麥體는 正常的인 麥體에 比하여 모든 時刻과 土壤水分 條件하에서도 작

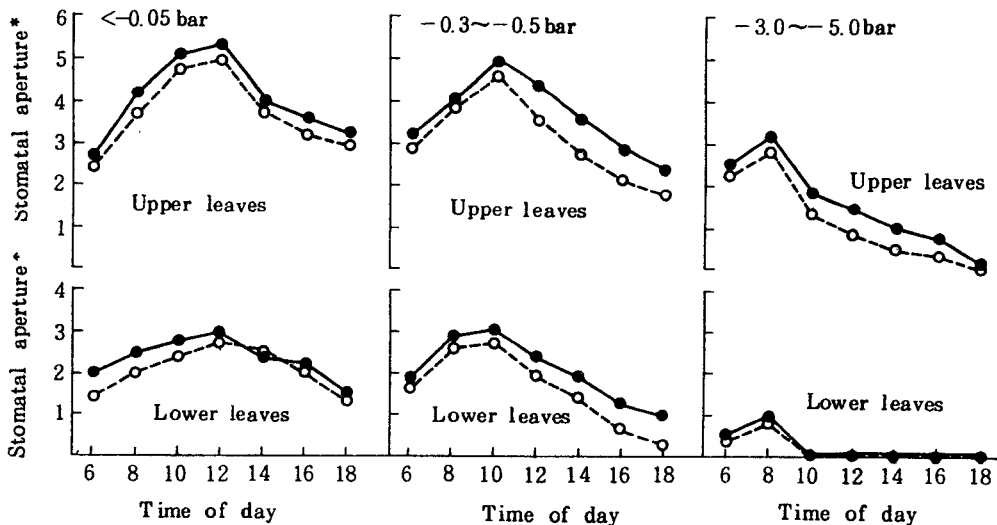


Fig. 3. Diurnal course of stomatal aperture of upper and lower leaves of wheat at different soil water potential.
●; Non-lodging, ○; Lodging *Average of two leaves

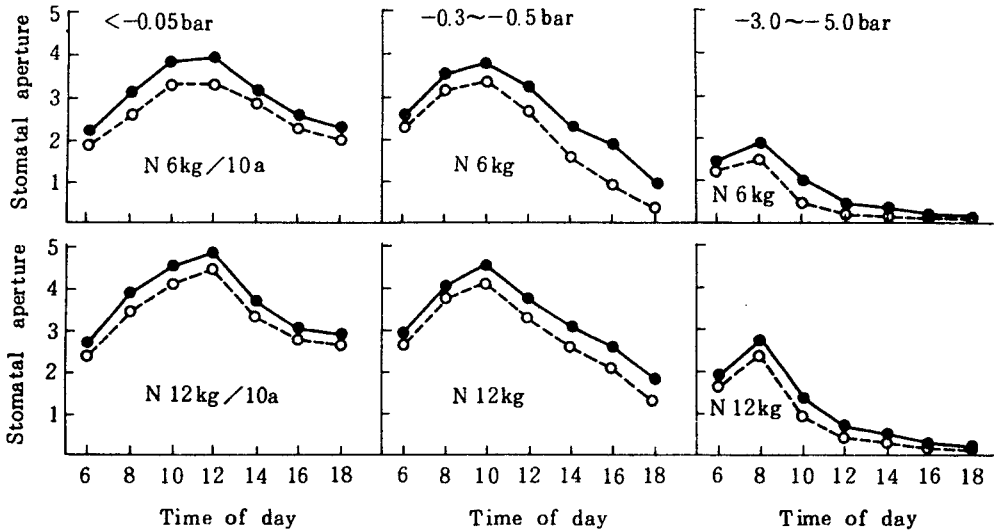


Fig. 4. Diurnal course of stomatal aperture of leaf blades at two different levels of nitrogen fertilizer and three soil water potential.
 ●; Non-lodging, ○; Lodging

은 氣孔開度を 보였는데 이들을 上位2葉과 下位2葉으로 나누어 본 結果 過濕區($\psi -0.05\text{ bar}$ 以下)에서는 上位葉은 倒伏區와 無倒伏區間에 1日中 0.2~0.6 程度의 開度에 差異가 있었으나 下位葉에서는 午前中에는 兩區間에 差異가 있었으나 午後가 되면서 그 差異는 認定되지 않았다. 適濕區($\psi -0.3 \sim -0.5\text{ bar}$)에서는 上下位葉 모두 倒伏區와 無倒伏區間에 큰 差異가 있었는데 특히 午前에 比하여 午後가 되면서 開度の 差異가 크게 나타나는 傾向이었으며 그 差異도 다른 土壤水分 條件보다 큰 傾向이었다. 乾燥區($\psi -3.0 \sim -5.0\text{ bar}$)에서 보면 이들 역시 上位葉에서는 倒伏區와 無倒伏區間에 氣孔開度の 差異가 認定되었으나 下位葉에서는 氣孔이 거의 閉孔된 狀態로 日中變化를 하였기 때문에 差異를 볼수가 없었다. 以上과 같이 土壤水分 條件에 따라 倒伏區와 無倒伏區間에 日中變化가 多少相異하였는데, 過濕區에서는 上·下位葉 모두 倒伏區에서도 水分 Stress가 比較的 적었기 때문에 開度の 差異는 勿論 午前이나 午後에도 差異가 적게 나타난 것으로 생각되며 適濕區나 乾燥區에서는 午前에 比하여 午後에 水分 Stress가 컸기 때문에 倒伏區와 無倒伏區間에 氣孔開度の 差異가 크게 나타난 것이 아닌가 생각된다.

窒素 施肥量에 따른 氣孔開度の 日中變化를 土壤水分 Potential에 따라 倒伏區와 無倒伏區間을 比較

Table 2. Nitrogen content of leaf blades at the different levels of nitrogen.

Application of nitrogen	Leaf position				Average
	flag	2nd	3th	4th	
N 6kg/10a	2.46	2.20	2.08	1.96	2.18
N 12kg/10a	2.87	2.74	2.69	2.24	2.64

하여 보면 그림 4에서 보는바와 같다. 窒素少肥區는 普肥區에 比하여 既 報告¹⁵⁾된바와 같이 모든 時刻에서 氣孔開도가 작은 日中變化를 하였는데, 窒素少肥區의 過濕한 條件下에서는 倒伏區와 無倒伏區間의 氣孔開度の 差異가 주로 午前中에 크게 나타난 反面 適濕區에서 反對의 傾向을 보였다. 乾燥區에서는 倒伏區나 無倒伏區 모두 兩施肥區間에 큰 差異는 認定되지 않았다. 그런데 倒伏區와 無倒伏區間의 氣孔開度の 差異를 兩施肥 水準間에 比較하여 보면 窒素少肥區에서 倒伏된 區는 窒素 普肥區에서 倒伏된 區에 比하여 氣孔開度の 減少가 多少 큰 傾向을 보였는데, 이와같은 結果는 窒素의 施肥水準을 增加시키면 倒伏된 麥體에서도 어느 程度는 氣孔開度を 높일 수 있다는 可能性을 示唆하는 것으로 생각된다.

表 2는 窒素의 施肥水準에 따른 葉位別 窒素含量을 나타낸 表인데 窒素少肥區는 普肥區에 比하여 모든 葉位에서 적은 窒素含量을 나타내었으며, 葉位에 따라서는 上位葉으로 갈수록 窒素含量은 높아지는

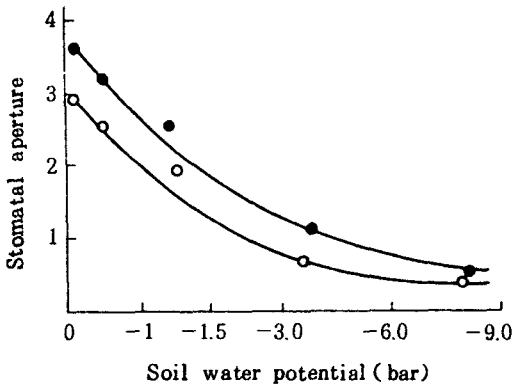


Fig. 5. Response surface of stomatal aperture of wheat to the various soil water potential grown at two different nitrogen levels.

○ ; N 6 kg/10a, ● ; N 12 kg/10a.

傾向이었다. 이와같은 결과는 既 報告¹⁵⁾ 된바 있다.

이들 窒素 施肥水準間 氣孔開度の 1日中 平均値 差를 土壤水分 Potential 別로 比較하여 보면 그림 5에서 보는 바와 같다. 窒素成分이 不足한 少肥區는 普肥區에 比하여 모든 土壤水分 Potential 下에

서도 氣孔開도가 작았는데 普肥區에서는 약간 乾燥한 土壤水分 條件($\psi - 1.2 \sim -1.5$ bar)에서 2.6 程度의 氣孔開도를 보였으며 乾燥區($\psi - 3.0 \sim -5.0$ bar)에서도 1.5 程度의 氣孔開도를 보인 反面 少肥區에서는 氣孔開도 1.9와 0.7을 各各 나타내었다. 以上과 같은 結果는 Radin等¹⁷⁾의 報告와 一致하는 것으로 이는 Dale^{4, 6)} 등이 報告한 바와 같이 窒素成分이 적어짐에 따라서 ABA의 含量이 增加된데 起因된 것으로 推察된다.

3. 倒伏後日數와 氣孔開度の와의 關係

氣孔開度の 日中變化가 倒伏이 發生한 後 時日이 經過함에 따라 어떻게 變化하는가를 알기 爲하여 倒伏을 誘發시킨 후 2日, 4日, 6日에 氣孔開도를 各各 測定한 結果 表 3에서 보는바와 같다. 無倒伏區 各各의 氣孔開도를 100으로 하였을 경우 倒伏區의 氣孔開도는 거의 大部分 100 以下를 나타내었으며 特히 倒伏後日數가 經過함에 따라 比率은 더욱 낮아져 倒伏된 후 4日에는 無倒伏區에 比하여 1日中의 平均이 上位葉은 85%, 下位葉은 68%이었으며 倒伏된 後 6日에는 無倒伏區에 比하여 42~45% 程度로 50%에도 못미치는 매우 작은 氣孔開도

Table 3. Relative ratios of stomatal aperture of wheat lodged in comparison of that of non-lodging.

Trait	Leaf position	Time of day							Average
		6	8	10	12	14	16	18	
2days after lodging	* Upper leaf	94%	104%	96%	95%	94%	92%	84%	94%
	** Lower leaf	100	103	92	88	85	75	57	86
4days after lodging	{ Upper leaf	88	93	92	88	77	82	78	85
	{ Lower leaf	85	82	82	83	79	46	20	68
6days after lodging	{ Upper leaf	44	46	59	58	45	26	35	45
	{ Lower leaf	37	43	65	52	35	25	38	42

note ; * : Average of flag and 2nd leaves

** : Average of 3rd and 4th leaves.

를 나타내었다. 葉位別로 보면 氣孔開度の 減少程度는 上位葉에 比하여 下位葉에서 더욱 컸으며 時刻에 따라서는 午前에 比하여 午後에 그 比率이 顯著히 減少함을 알 수 있었다.

摘 要

土壤水分, 窒素施肥量 및 倒伏의 發生 有無가 小麥 葉身의 氣孔開도에 미치는 影響을 알고져 小麥 早光 品種을 供試하여 浸潤法으로 開花期에 氣孔開도

의 日中變化를 調査하였던바 그 結果는 다음과 같다.

1. 氣孔이 閉孔되는 時刻은 土壤水分 Potential이 낮을수록 빨라졌으며 閉孔되는 程度도 컸었다.

2. 氣孔開도는 下位葉이 上位葉에 比하여 작았고 土壤水分 Potential이 낮을수록 氣孔開度の 減少程度는 더욱 컸다.

3. 倒伏된 麥體의 氣孔開도는 正常 麥體에 比하여 작았는데 그 傾向은 土壤水分 程度 및 測定時刻에 關係없이 同一하였다.

4. 窒素 普肥區는 少肥區에 比하여 氣孔開도가 큰

日中變化를 하였는데 倒伏區나 乾燥區에서도 같은 傾向이었다.

5. 倒伏後 日數가 經過함에 따라 氣孔開度는 크게 減少하였는데 倒伏後 6日에는 無倒伏區에 比하여 50% 以下の 開度를 보였으며 그 減少程度는 下位葉이 더욱 컸으며 日中에서는 午後에 顯著하였다.

引 用 文 獻

1. Alvarado, J.N. 1974. Effect of soil water stress on growth of barley. Colorado State University Press : 1-137.
2. Boyer, J. S. 1971. Nonstomatal inhibition of photosynthesis in sunflower at low leaf water potentials and high light intensities. Plant Physiol. 48 : 532-536.
3. Dubbe, D.R., G. D. Farquhar and K. Raschke. 1978. Effect of abscisic acid on the gain of the feedback loop involving carbon dioxide and stomata. Plant Physiol. 62 : 413-417.
4. Dale, J., S.D. Seeley and W. F. Campbell. 1979. Nitrogen deficiency influence on abscisic acid in tomato. Hortscience 14 : 261-262.
5. Frank, A. B., J. F. Power and W. O. Willis. 1973. Effects of temperature and water stress on photosynthesis, diffusion resistance and leaf water potential in spring wheat. Agron. J. 65 : 777-780.
6. Goldbach, E., H. Goldbach, H. Wagner and G. Michael. 1975. Influence of N deficiency on the abscisic acid content of sunflower plant. Physiol. Plant. 34 : 138-140.
7. Hitaka, N. and H. Kobayashi. 1962. Studies on the lodging of rice plant. I. Preliminary studies on the impeded translocation in lodging stem. Proc. Crop Sci. Soc. Japan. 30 : 116-119.
8. Hitaka, N. and H. Kobayashi. 1964. Studies on the lodging of rice plant. II. Sources of decreasing yield due to lodging. Proc. Crop Sci. Soc. Japan. 32 : 270-276.
9. Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. Annu. Rev. Plant Physiol. 24 : 519-570.
10. 石原邦・石田康幸・小倉忠治. 1971. 水稻葉における氣孔の閉鎖と環境條件との關係. 第3報 異なる葉位の葉身における 氣孔開度およびその日變化の相違について. 日作紀 40 : 505-512.
11. Johnson, R. R., N. M. Frey and D. N. Moss. 1974. Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat. Crop Sci. 14 : 728-731.
12. 上堂秀一郎. 1973. 作物の氣孔運動과 水分生理에 關する研究. 第2報. タバコの葉分別 氣孔開度の日變化におよぼす土壤乾燥の影響. 日作紀 42 : 120-130.
13. Laude, H.H. and A. W. Pauli. 1956. Influence of lodging on yield and other characteristics in winter wheat. Agron. J. 48 : 452-455.
14. 南潤一・河龍雄・吉田智彦. 1982. 小麥葉身の氣孔運動과 氣孔의 環境變異. 第1報. 小麥葉身の氣孔開度 測定法 및 氣孔開度의 日變化. 韓作誌 27(2) : 130-136.
15. _____・_____・金基駿. 1984. _____ . II. 窒素의 追肥가 小麥葉身の 氣孔開度에 미치는 影響. 韓作誌 29(3) : 267-274.
16. Raschke, K. 1975. Simultaneous requirement of carbon dioxide and abscisic acid for stomatal closing in Xanthium strumarium L. Planta. 125 : 243-259.
17. Radin, J. W. and L. L. Parker. 1979. Water relation of cotton plants under nitrogen deficiency. II. Environmental interactions on stomata. Plant Physiol. 64 : 499-501.
18. Radin, J.W. 1981. Water relation of cotton plants under nitrogen deficiency. III. Stomatal conductance, photosynthesis and abscisic acid accumulation during drought. Plant Physiol. 67 : 115-119.
19. Weibl, R.O. and J.W. Pendleton. 1964. Effect of artificial lodging on winter wheat grain yield and quality. Agron. J. 56 : 487-488.