

栽培樣式에 따른 벼와 피의 生長 및
解剖形態學的 差異

III. 栽培樣式에 따른 벼와 피間的 微細構造 差異
千相旭 · 具滋玉 · 李榮萬*

**Morphological Characteristics of Growth of Rice and
Barnyardgrass under Various Cropping Patterns**

III. Difference in Stem Surface and Ultrastructures
Chon, S.U., J.O. Guh, and Y.M. Lee*

ABSTRACT

Scanning electron micrography and Transmission electron micrography studies were performed on the surfaces of stem (coleoptiles) of rice and barnyardgrass under various cropping patterns at 5 days after seeding or transplanting. Stem surfaces of rice under dry condition possessed rodlet-like epicuticular waxes, trichomes, stomata and cork cell layer in both broadcast and drilled rice while barnyardgrass had only thread-like epicuticular waxes, but trichomes, stomata and cork cell layers were not found. However, rice under water condition has no rodlet-like waxes, stomata and cork cells, and barnyardgrass was similar to that under dry condition. On the other hand, those on stems of 8-day and 25-day transplanted rice were well arranged and developed compared with those of direct seeded rice. Electron micrography showed significant difference in thickness of outer epidermal cell walls of rice and barnyardgrass under dry, water and transplanting condition. Thickness of outer epidermal cell was greater in transplanted rice, dry direct seeded rice, water-direct seeded rice and barnyardgrass in descending order.

Key words : cropping pattern, rice, barnyardgrass, stem surface, ultrastructure

緒 言

植物體의 Epicuticular wax는 外部 環境物質, 특히 莖葉處理除草劑의 附着 및 吸收에 主要한 障壁이 되며 잎을 통한 除草劑의 浸透와 莖葉 濕潤性에 影響을 주며 莖葉의 表面張力과 除草劑 溶液의 保溜 및 浸透에 關係하는 重要한 큐티클 성분중의 하나이다.

Maeda 等¹²⁾은 벼 잎의 表面 蠟質의 微細構造가 녹색잎과 白體간에 차이가 없음을 보여줬고 光合成 정도는 幼苗 잎의 蠟質初期合成에 필수적인 요인이 아님을 지적하였다. 또한 몇몇 植物種의 잎표면 蠟質層은 식물이 낮은 水分條件에 있을수록 그 두께가 두꺼웠다고 보고⁹⁾한 바 있다. 蠟質은 많은 식물들의 잎에서 매우 疏水性을 갖는 물질로서 plate, tube, ribbon, rod 및 filaments形 등의 여러가지 구조를 가지고 있다고 알

* 全南大學校 農科大學(Coll. of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea)
(1994. 3. 28 접수)

려지고 있다¹³⁾. Amelunxen²⁾은 epicuticular wax의 여러가지 모양을 6가지로 구분했다. 즉 粒字形, 杆狀形 및 絲狀形, 板形(結晶形), 層形 및 外皮形, 集積物, 粘液形 등이 있다고 하였다. 植物體 表面의 氣孔은 공기교환의 입구로서 뿐만 아니라 莖葉除草劑 처리시 주요한 吸收 및 進入 經路가 되며 乾燥한 環境條件下에서는 除草劑의 급속한 進入에 의해 쉽게 枯死되는 경우도 있다고 하였다¹⁾. 또한 모용은 큐티클이나 氣孔에 비해 상대적으로 적은 비중을 갖고 있으나 모용의 크기, 종류 및 밀도의 차이에 따라 침윤성과 epicuticular wax의 物理化學的 性質에 영향을 준다고 한다.

雜草學 研究에 있어서 電子顯微鏡은 雜草種子 發芽, 除草劑 作用機作, 表面 蠟質 構造의 變化, 遮光效果에 의한 微細構造變化 등을 연구하는데 중요한 수단이 되어 왔다. SEM은 上表面의 局部形態의 特性을 三次元觀點에서 밝히는데 사용되었으며 氣孔의 크기 및 配列, Silica 含有構造, Epicuticular wax 침적의 상태, Trichome의 形態 및 密度, Cuticle 配列의 특징을 관찰하는 동시에 雜草種의 生物學的 特性과 上表面의 除草劑 浸透, 分布 및 保有力을 이해하는 유용하다고 하였다¹³⁾. 반면에 TEM에 의한 微細構造研究은 除草劑 處理結果 葉綠體 破壞를 비롯한 微細構造

變化와 最外部 表皮細胞壁의 構造 變化, 細胞質 內 小器官들의 변화까지 구체적으로 관찰하는데 유용하게 쓰여지고 있다. 蘆田³⁾은 禾本科 雜草種의 葉身에 있는 氣孔 形態 및 分布에 관한 연구를 통하여 下表皮보다 上表皮에서 많은 數의 氣孔을 갖고 있으며 C₄植物이 C₃植物보다 氣孔密度가 높고, 氣孔의 크기와 密度는 이와 相關關係에 있다고 보고하였으며 Hess⁷⁾는 上表面의 除草劑 잔유물의 表面形態 및 物理的 特性은 Epicuticular wax의 類型, 모용의 有無 및 分布 類型에 따라 左右되며 上表面 위의 除草劑 분포에 影響함과 동시에 모용의 存在는 表皮表面의 藥液接觸을 막는다고 보고한 바 있다. Hodogson⁸⁾은 Leaf lipid의 量과 莖葉處理된 2, 4-D에 대한 抵抗性과의 有意的인 正相關關係가 나타났음을 보고하였다. 따라서 본 연구는 栽培 樣式差異에 따른 벼와 피의 微細構造 差異를 밝히고, 이를 바탕으로 除草劑 使用原理와 選擇 要點을 微細構造單位에서 밝혀 體系化하고자 하였다.

材料 및 方法

1. 供試材料

實驗 I에서와 동일한 벼와 피를 과종 및 이앙

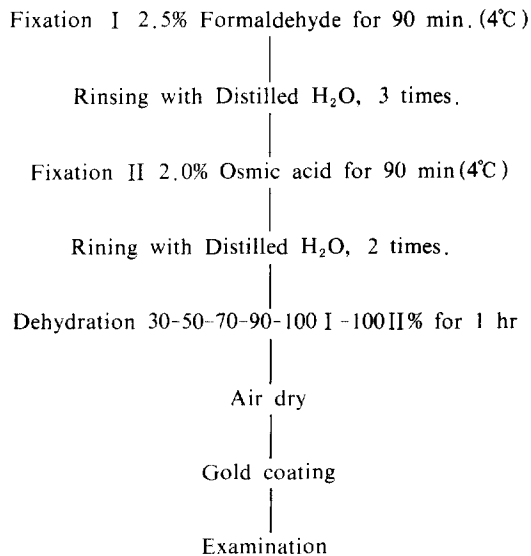


Fig. 1. Preparation for SEM Study^{5,6)}.

한 후 5일간의 재배과정을 거쳐 微細構造研究을 위한 檢鏡試料로 이용하였다.

2. 줄기의 表面 構造

栽培된 植物體의 줄기를 基底部位로부터 5mm 길이로 切斷하고 곧바로 2.5% Glutaraldehyde에 90분간 固定하고 2차 蒸溜水로 세번 洗滌한 후, 2.0% osmic酸에 90분간 2차 固定시켰다. 다시 蒸溜水로 2회 洗滌後 알콜 脫水過程을 1시간씩

거친후 Air dry 시키고 Gold coating후 全南大 學校 工科大學에서 走査電子顯微鏡(SEM)으로 500배와 1,000배율하에서 SEM에 의한 蠟質構造와 그 모양 및 모용의 存在有無, 表面 組織의 差異를 檢鏡, 撮影하였다(Fig. 1)⁶⁾.

3. 最外部 細胞壁構造

栽培된 植物를 固定液과 함께 가로×세로가 1mm×1mm인 시료로 10mm 길이로 자른후

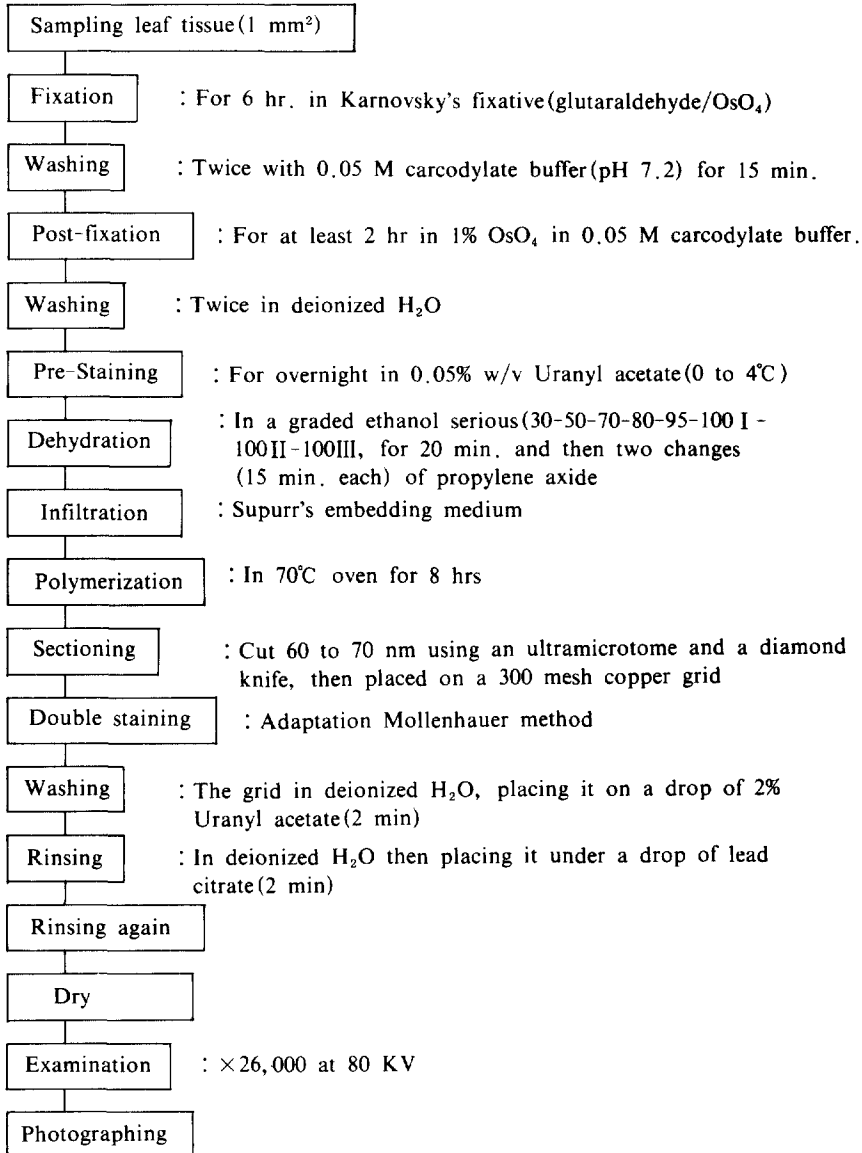


Fig. 2. Preparation for TEM Study^{5,14)}.

즉시 Karnovsky의 固定液에 6시간 동안 固定시킨후 Cacodylate buffer 0.05M에 15분 동안 2회 洗滌하고 1% OsO₄로 固定하고 蒸溜水로 2회 洗滌하였다. 이어 Uranyl acetate 0.05%로 12시간 동안 豫備染色하고 알콜 30, 50, 70, 80, 95, 100% I, 100%II 및 100%III에 20분간 脫水시키고 Spurr's embedding medium을 浸透시킨 다음 70°C oven에서 8시간 동안 Polymerization 했다. LKB-Ultramicrotome을 사용하여 Diamond knife로 60~70nm 두께로 切斷한 후 30mesh copper grid에 처상하였다. Mollenhaner 방법으로 二重染色을 시행시킨 다음, 全南大學校 獸醫科大學에서 80KV의 ×26,000배에서 TEM의 檢鏡이 이루어졌다. (Fig. 2)^{5,14)}

觀察部位는 最外廓의 表皮細胞壁의 微細構造를 觀察하였고 외부蠟質層, 큐티클層, 細胞壁의 두께 등을 측정하였다.

結果 및 考察

1. 줄기의 表面構造 差異

벼 줄기의 表面構造는 크거나 (Large ; L) 작은 (Small ; S) 乳頭狀의 突起 (Papilla ; Pa) 들로 表面을 덮고 있으며 긴털의 모용 (Hair ; H)과 짧고 굵은 剛毛 (Bristle ; BR) 및 氣孔 (Stomata ; ST), 硅酸細胞 (Silica cell ; SC)와 表面의 蠟質 (Epicuticular wax ; EW)로 구성되어 있다. (사진 1)⁵⁾ 乾畚條件에서는 과중위치가 다르더라도 벼의 表面構造에는 큰 차이가 없었으나, 表面벼가 土中벼에 비하여 다소 매끄러운 표면을 가졌으며, 과중 및 이양후 5일째는 모용이 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Epicuticular層의 蠟質構造는 啞鈴模樣을 하고 있으며 氣孔列이 형성되었고, 硅酸細胞列이 형성되는 점에서 특징적이었다 (사진 1-A, B). 이는 Johnsongrass에서 관찰될 수 있었던 같은 硅酸細胞를 검경하였던 것으로 생각된다¹³⁾. 한편 피는 蠟質모양이 실모양의 것으로 이루어져 있었고 모용은 없고 氣孔列과 硅酸細胞列도 없었으며 벼보다 훨씬 단조로운 表面構造를 형성하고 있었다 (사진 1-C). 그러나 灌水狀態에서 자란 벼줄기의 表面構造는 과

중위치에 관계없이 未分化된 조직의 상태로 있으며 모용, 硅酸細胞列, 氣孔은 발견되지 않았다 (사진 1-E, F).

灌水에서의 皮 줄기구조는 乾畚의 것과 유사하나 乾畚보다는 더 거친 表面組織으로 덮혀 있었다. (사진 1-D) 蘆田³⁾의 보고에 의하면 C₃보다 C₄植物에서 氣孔의 數가 많다는 보고와는 다른 결과인데 이런 차이점은 生育時期의 差異에 따른 결과로 해석된다. 또한 모용이 존재하게 되면 藥液이 表皮表面의 接觸을 막기 때문에 表面에서 雜草劑 保留에 관여하게 되는 점에서 고려될 수 있음을 시사한 바 있다^{1,7)}. 한편 이양 후 8日 및 25日苗 (사진 1-G, H)의 줄기表面은 잘 분화되어 同一面積內의 硅酸細胞列, 氣孔列 및 모용의 發達程度가 앞의 直播벼에 비하여 훨씬 많았으며 蠟質 發達程度도 더욱 양호하였다 (표 1). King¹¹⁾은 triclopyr을 田에 吸收시킨 경우 成熟잎보다는 未熟잎에서 더 많은 양의 C¹⁴-triclopyr를 吸收한다고 보고하였던 결과로 보아 直播벼와 피의 줄기表面이 移秧벼의 것보다 더욱 많은 除草劑를 吸收할 것으로 생각되며 이는 未熟줄기보다는 成熟줄기에서 蠟質이 많고 透水性이 不良하기 때문인 것으로 해석된다. Yokouchi 등은 蠟質의 狀態, 기공과 모용, 큐티클 表面의 거칠음 정도에 따라 濕潤性이 다르게 되는 것으로 본 연구에서 보고하였던 바와 유사한 현상에 기인하였음을 추론할 수 있었다.¹⁵⁾

Table 1. Difference in morphological characters of stem surface between rice and barnyardgrass 3 days after seeding.

Morphological traits	Rice	Barnyardgrass
Wax	presence	presence
Wax shape	rodlets	threads
Stomata	presence	absence
Trichome	presence	absence
Silica cell	presence	absence

2. 最外部 細胞壁構造 差異

줄기의 最外廓 表皮組織의 細胞壁 構造는 莖葉의 表面張力を 만들고 除草劑 處理時 進入經路가 되며 큐티클내에 일부 매몰되어 있는 最外廓의 蠟質 (Epicuticular wax ; EW)와, 表面蠟質를 지지하는 큐티클層 (Cuticular layer ; CU) 그리고

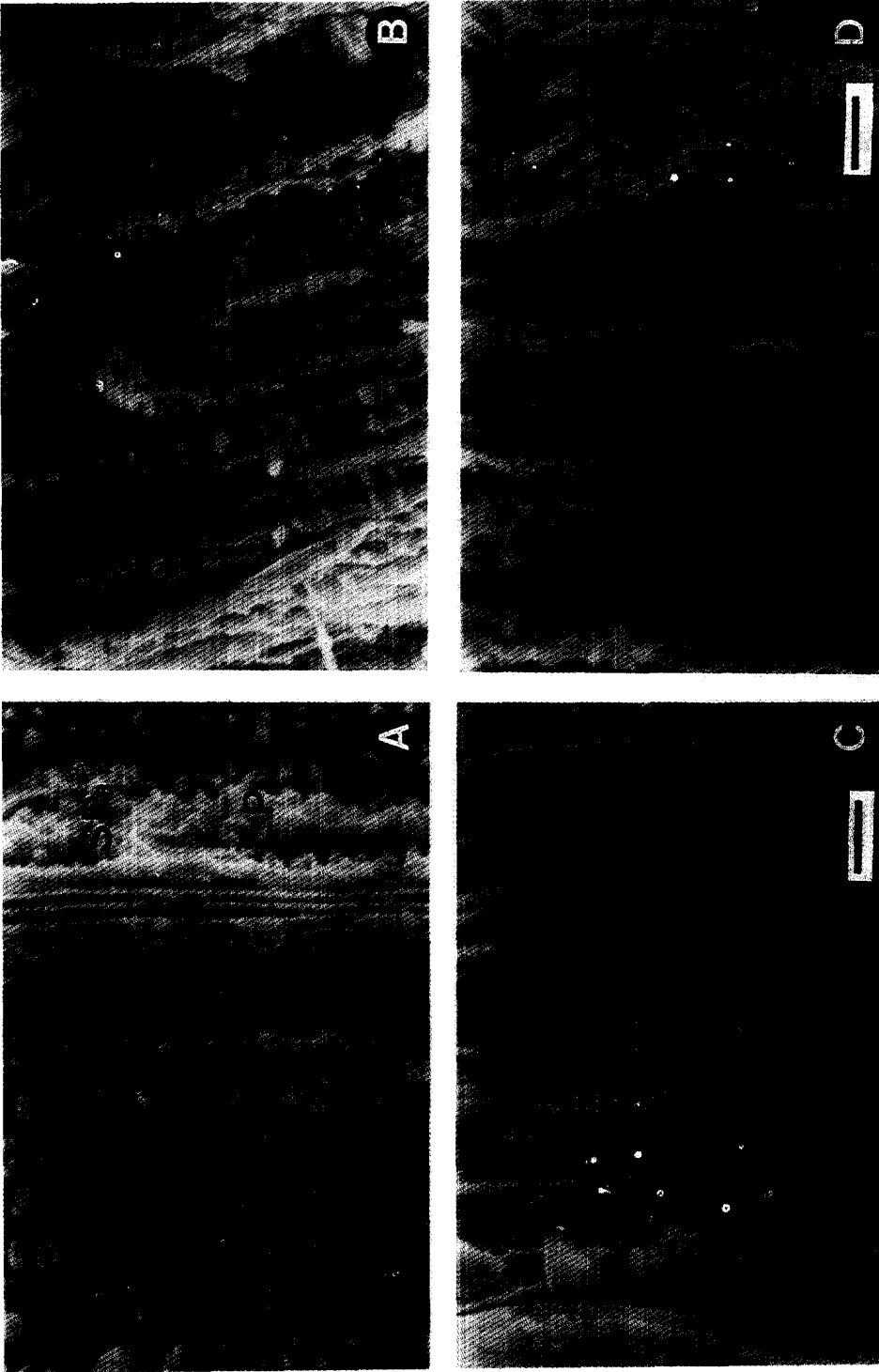


Plate 1-1. Scanning electron micrographs showing the stem surface under various cropping patterns at 5 DAS/T. Broadleaf rice on soil (A), drilled rice in soil (B) and barnyardgrass (C) in soil under dry seeded condition, broadleaf (F) rice and barnyardgrass (D) under water seeded condition, and 8-day (G) and 25-day (H) seedling under transplanting condition. LPa : Large papilla, SPa : Small papilla, H : Hair, ST : Stomata, SC : Silica cell, EW : Epicuticular wax.

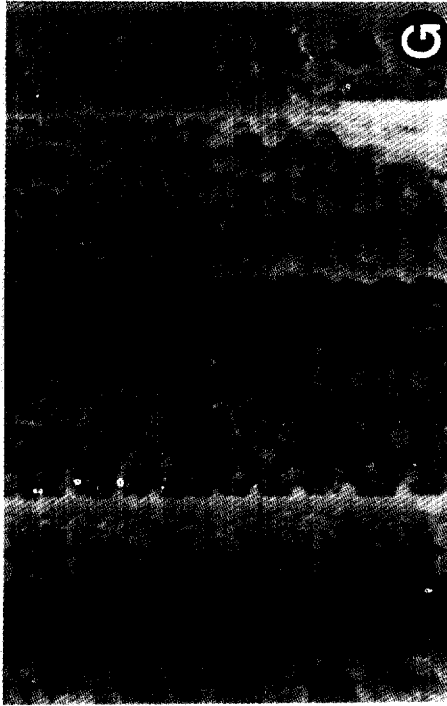
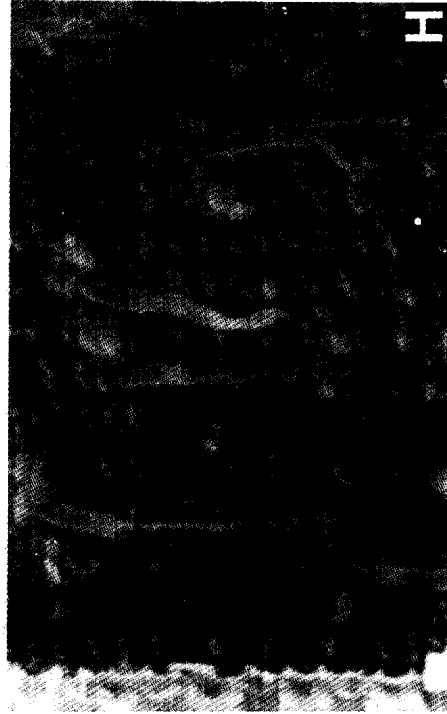
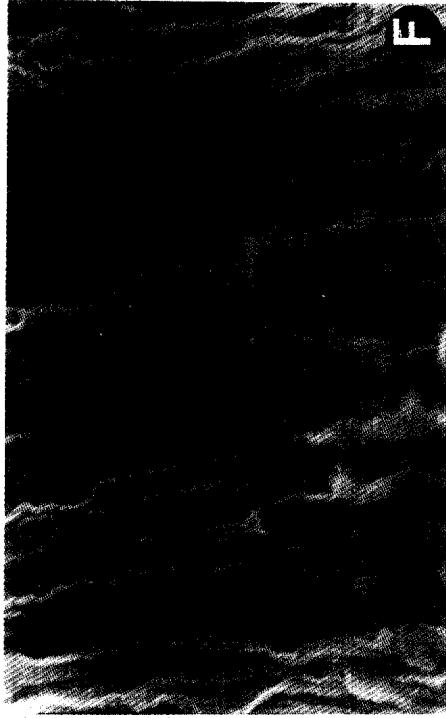


Plate 1-2. Scanning electron micrographs showing the stem surface under various cropping patterns at 5 DAS/T. Broadcast rice on soil (A), drilled rice in soil (B) and barnyardgrass (C) in soil under dry seeded condition, broadcast (E), drilled (F) rice and barnyardgrass (D) under water seeded condition, and 8-day (G) and 25-day (H) seedling under transplanting condition. L.Pa : Large papilla, SPa : Small papilla, H : Hair, ST : Stomata, SC : Silica cell, EW : Epicuticular wax.

Table 2. Difference in thickness of the outer epidermal cell walls of rice and barnyardgrass 3 days after seeding.

Cropping patterns	Wax	Cuticle	Cell wall	Total
Dry condition :				
Broadcast rice on soil	1.3 ^a	1.3 ^b	0.9 ^{ab}	3.5 ^{ab}
Drilled rice in soil	1.5 ^a	2.0 ^a	0.8 ^{ab}	4.3 ^b
Barnyardgrass in soil	0.6 ^b	1.4 ^b	0.5 ^b	2.5 ^c
Water condition :				
Broadcast rice on soil	0.2 ^b	2.4 ^a	0.5 ^b	3.1 ^c
Drilled rice in soil	0.3 ^b	2.3 ^a	1.1 ^a	3.7 ^{ab}
Barnyardgrass in soil	0.2 ^b	0.8 ^c	0.6 ^b	1.6 ^d
Transplanting condition :				
8-day-old seedling	1.5 ^a	2.1 ^a	1.2 ^a	4.9 ^a

* Means within a column followed by a common letter are not significantly different at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test.

대부분 表皮組織의 주요한 구성성분인 cellulose 로 된 細胞壁 (Cell wall ; CW)으로 구성되어 있다.

乾畚條件에서는 表面벼가 土中벼에 비하여 Epicuticular wax層位가 매끄럽고 두꺼운 것으로 관찰되었으며 (사진 2-1, 2, 3, 4, 5), 피는 이들 벼에 비하여 굴곡이 심하고 두께도 얇았다 (사진 2-6, 8). 이는 낮은 水分條件일수록 잎의 蠟質層 두께가 두꺼워졌다는 보고⁹⁾와 일치한 결과라 생각된다. 澁水條件에서는 表面벼가 土中벼보다 더 매끄러운 細胞壁을 가지는 것으로 관찰되었고 (사진 2, 10~13), 담수피는 건담피보다 농도있게 염색됨으로써 蠟質層과 細胞壁 및 큐티클층의 구별이 뚜렷하였다 (사진 2-7, 9).

한편 移秧벼는 光學顯微鏡下 (사진 2-14)에서 蠟質層이 발달되었음을 관찰할 수 있었으며 TEM檢鏡에서도 두껍게 肥厚된 外部蠟質層, 큐티클층 및 細胞壁을 관찰할 수 있었다 (사진 2-15, 16, 17). 각 微細構造의 두께를 보면 蠟質는 移秧벼와 乾畚벼가 피나 澁水벼에 비하여 2~6배로 고도 유의적으로 두꺼웠으며 큐티클층은 반대로 乾畚벼보다는 澁水벼가, 澁水피보다는 乾畚피가 두꺼웠고 전반적으로 피보다는 벼가 더 두꺼웠다. 세포벽은 澁水土中벼가 가장 두꺼웠으며 乾畚벼, 澁水피, 乾畚피의 順으로 두꺼웠다. 總 두께는 직파벼보다는 이앙벼에서 澁水條件보다 乾畚條件에서 두꺼웠으며 피보다는 벼가 더 두꺼

웠다 (표 2).

乾畚에서 蠟質層이 두꺼워지는 위의 결과는 Hodgson⁸⁾이 報告한 leaf lipid量과 莖葉處理 除草劑 2, 4-D의 抵抗性과의 有意的인 相關關係로 미루어 보아 유사한 특성으로 받아들여도 될 것으로 생각되었다. 또한 植物體의 表面構造는 藥劑處理時 主要한 吸收 및 進入通路¹⁾가 되므로 除草劑 浸透와 藥劑保溜가 이루어지는 莖葉의 表面張力에 重要한 影響을 미치는 要因으로서 관심사항이 된다. 따라서 벼와 피의 表面構造는 最外層 epicuticular wax層의 蠟質類型, 硅酸細胞層 및 氣孔列의 有無 등에서 差異를 나타내며, 결론적으로 澁水보다는 乾畚에서 더 치밀하였고, 最外層 蠟質의 두께도 乾畚벼가 피나 澁水벼보다 두껍게 나타난 것으로 보아 除草劑 保溜, 浸透 및 吸收는 澁水條件의 것보다 乾畚條件에서 더 어려울 것으로 생각된다.

摘 要

栽培樣式을 달리하여 생육하는 벼와 피의 줄기 表面 및 最外廓 表皮細胞의 微細構造 差異를 파악하여 除草劑 使用原理와 雜草防除要點을 연관이 밝히고자 走査電子顯微鏡 (SEM)과 投射電子顯微鏡 (TEM)을 利用하여 研究한 結果를 要約하면 다음과 같다.

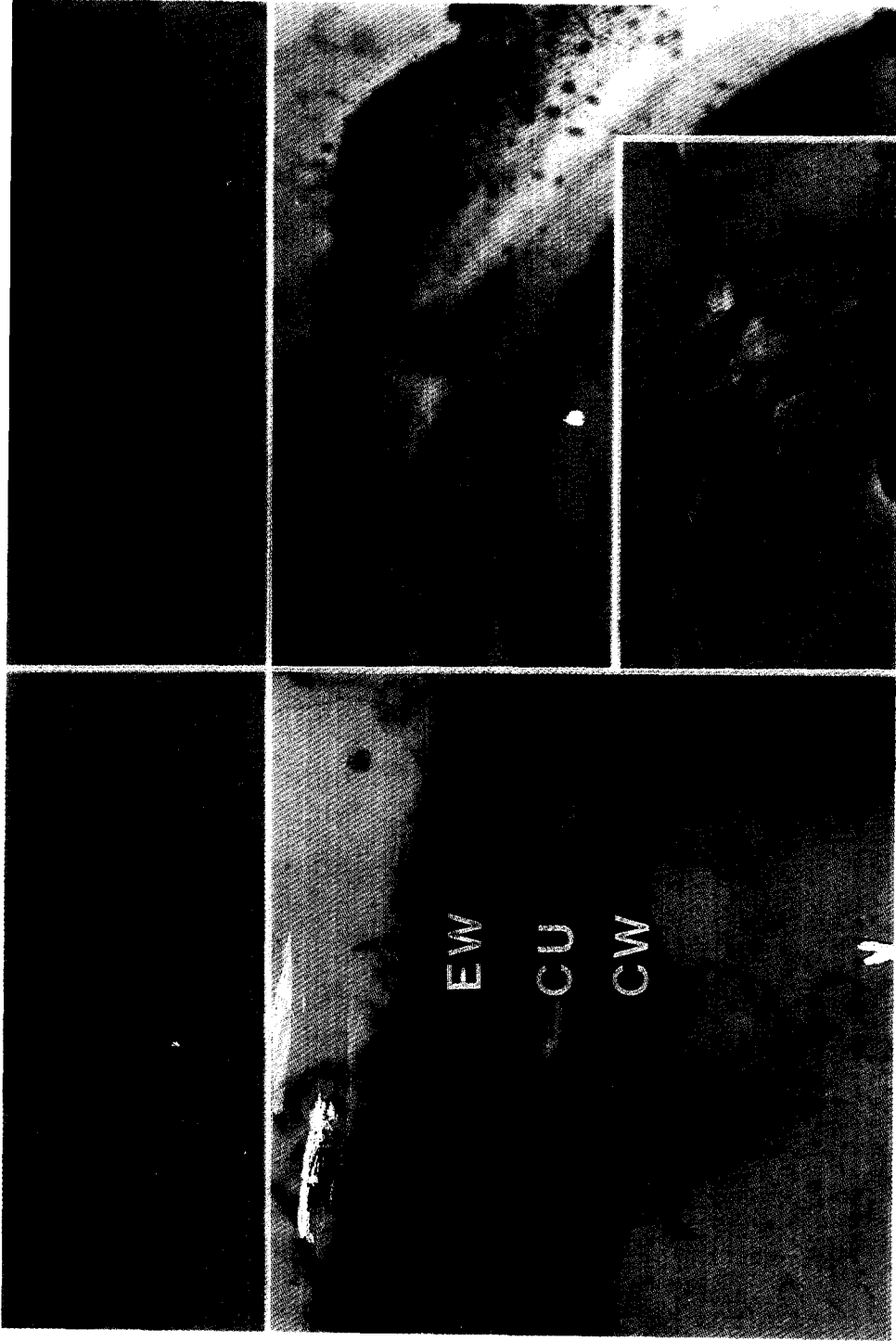


Plate 2-1. Transmission electron micrographs showing the thickness of outer epidermis of rice and barnyardgrass stem under various cropping patterns at 5 DAS/T. Broadcast rice on soil (1, 3), drilled rice in soil (2, 4, 5) and barnyardgrass (6, 8) in soil under dry seeded condition, broadcast (10, 12), drilled (11, 13) rice and barnyardgrass (7, 9) under water seeded condition, and 8 day-old seedling (14, 15, 16, 17) under transplanting condition. EW : Epicuticular wax, CU : Cuticular layer, CW : Cell wall.

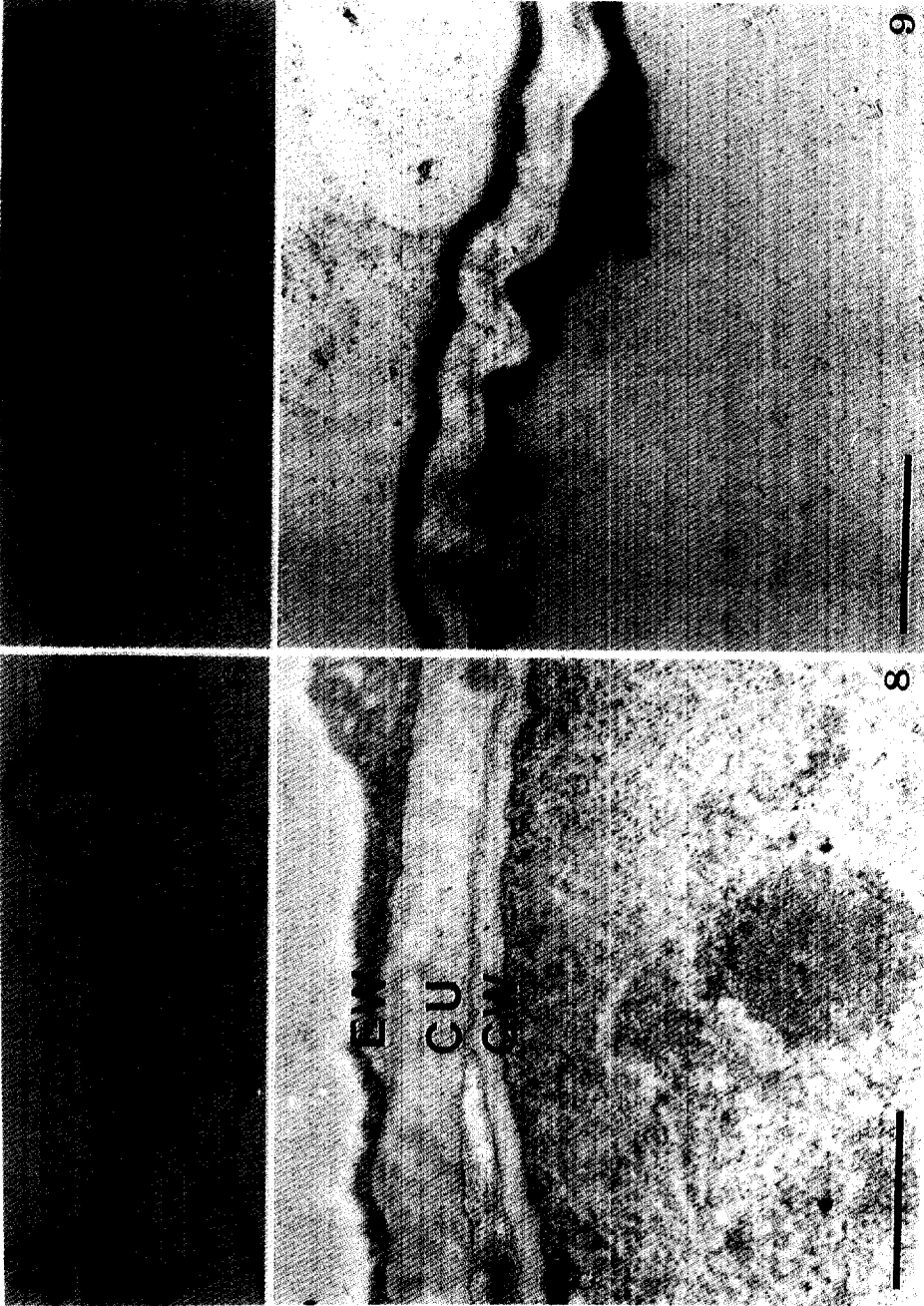


Plate 2-2. Transmission electron micrographs showing the thickness of outer epidermis of rice and barnyardgrass stem under various cropping patterns at 5 DAS/T. Broadcast rice on soil (1, 3), drilled rice in soil (2, 4, 5) and barnyardgrass (6, 8) in soil under dry seeded condition, broadcast (10, 12), drilled (11, 13) rice and barnyardgrass (7, 9) under water seeded condition, and 8 day-old seedling (14, 15, 16, 17) under transplanting condition. EW : Epicuticular wax, CU : Cuticular layer, CW : Cell wall.

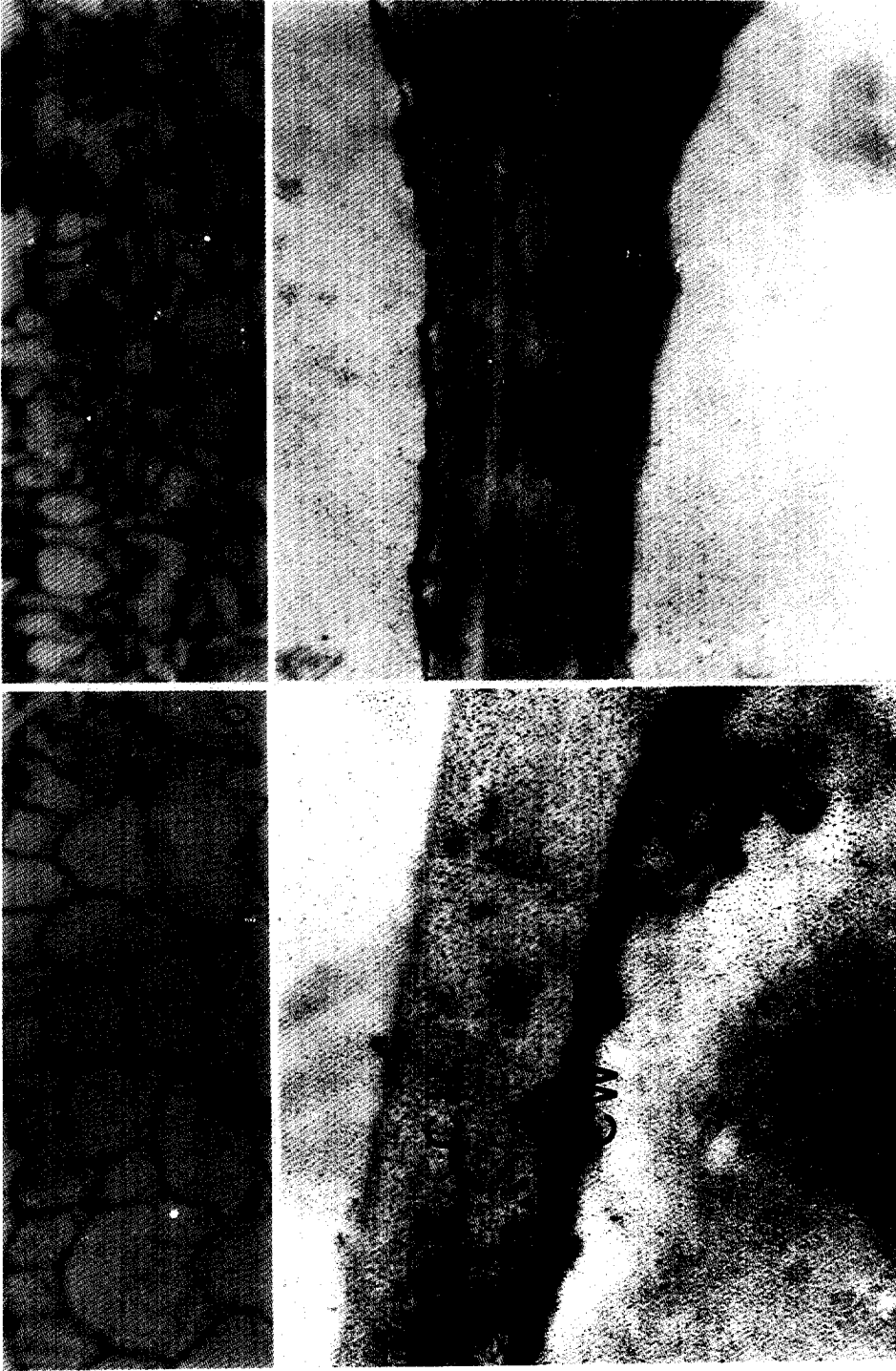


Plate 2-3. Transmission electron micrographs showing the thickness of outer epidermis of rice and barnyardgrass stem under various cropping patterns at 5 DAS/T. Broadcast rice on soil (1, 3), drilled rice in soil (2, 4, 5) and barnyardgrass (6, 8) in soil under dry seeded condition, broadcast (10, 12), drilled (11, 13) rice and barnyardgrass (7, 9) under water seeded condition, and 8 day-old seedling (14, 15, 16, 17) under transplanting condition. EW : Epicuticular wax, CU : Cuticular layer, CW : Cell wall.

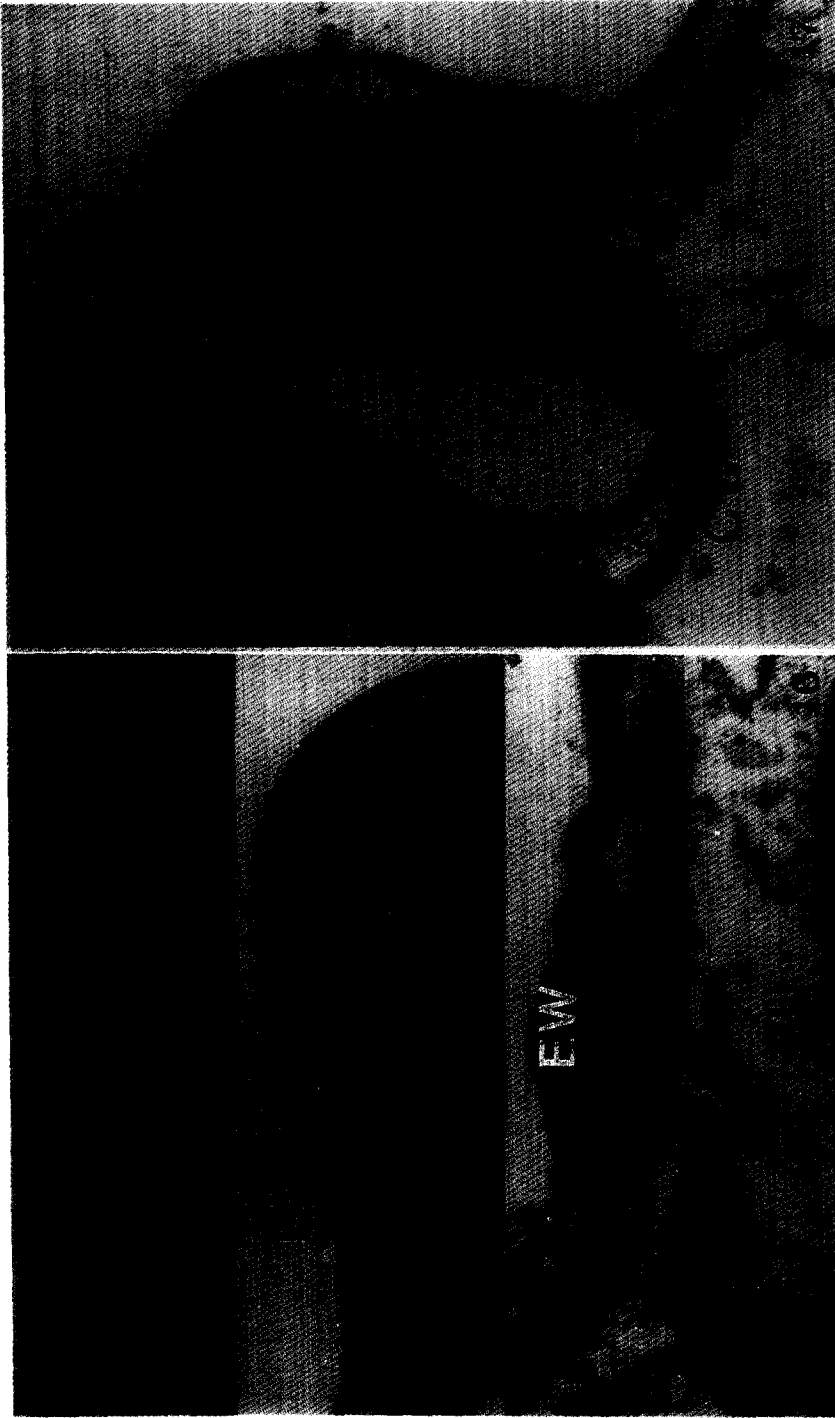


Plate 2-4. Transmission electron micrographs showing the thickness of outer epidermis of rice and barnyardgrass stem under various cropping patterns at 5 DAS/T. Broadcast rice on soil (1, 3), drilled rice in soil (2, 4, 5) and barnyardgrass (6, 8) in soil under dry seeded condition, broadcast (10, 12), drilled (11, 13) rice and barnyardgrass (7, 9) under water seeded condition, and 8 day-old seedling (14, 15, 16, 17) under transplanting condition. EW : Epicuticular wax, CU : Cuticular layer, CW : Cell wall.

1. 줄기의 表面構造 差異

- 가. 乾畚條件에서는 表面벼와 土中벼간에 差異가 인정되지 않았으나 表面벼가 土中벼에 비하여 더 매끄러운 表面을 형성하였다. 乾畚直播는 최외부층의 蠟質구조가 啞鈴模樣을 하고 있으며 氣孔列과 硅酸細胞列이 있으나 피는 蠟質이 실모양이며 모용, 氣孔列 및 硅酸細胞列은 없었다.
- 나. 湛水直播된 벼 줄기表面은 未分化된 組織의 狀態를 나타내며 모용, 硅酸細胞列 및 氣孔列이 발견되지 않았다.
- 다. 移秧後 8日 및 25日된 苗의 表面構造는 乾畚直播벼의 構造보다 氣孔列, 硅酸細胞列, 蠟質 및 모용의 發達이 더 많았다.

2. 最外部 細胞壁構造 差異

- 가. 最外部 蠟質두께는 移秧벼가 가장 두꺼웠고 乾畚벼가 피나 湛水벼보다 2~6배 두꺼웠다.
- 나. 벼의 큐티클층은 移秧벼와 乾畚벼보다는 湛水벼가 두꺼웠으나 반대로 湛水피보다는 乾畚피가 두꺼웠고 전반적으로는 피보다 벼가 더 두꺼웠다.
- 다. 細胞壁은 이앙벼가 가장 두꺼웠고 피보다는 벼가, 乾畚벼보다 湛水벼가 그리고 乾畚피보다 湛水피가 두꺼웠다.

引用 文 獻

1. Abernathy, J.R. 1981. Estimated crop losses due to weeds non-chemical management. pp.159-167. In D. Pimental, ed. Handbook of Pest Mangement in Agriculture. Vol. 1. CRC. Press, Inc. Boca. Raton. FL.
2. Amelunxen, F., K. Morgenroth, and T. Picksak. 1967. Untersuchungen an der epidermis mit dem Stereoscan-electronenmikroskop. Z. Pflanzen Physiol. 79-95.
3. 蘆田 馨・核野 守. 1984. イネ 科雜草の葉身における氣孔の形態と分布. 雜草研究 Vol. 29. 138-146.

4. Fedtke, C. Biochemistry and physiology of herbicide. p.202.
5. Glauert, A.M. et. al. 1972. Practical methods in electron microscopy I-IV.
6. Hayat, M.A. 1974. Principles and techniques of scanning electron microscopy Biological Application Vol. I p.273.
7. Hess, F.D. and R.H. alk. 1990. Herbicide deposition on leaf surface. Weed Sci. Vol. 38 : 280-288.
8. Hodgson, J.M. 1973. Lipid deposition on leaves of Canada thistle ecotypes. Weed Sci. 21 : 169-172.
9. Hull, H.M., D.G. Davis, and G.E. Stolzenberg. Action of adjuvants on plant surfaces. 26-66.
10. Ikeda, T. and S. Toyama. 1987. Studies on ultrastructure and function of photosynthetic apparatus in rice cells. Jap. J. Crop Sci. 56 (1) : 85-91.
11. King, M.G. and S.R. Radosevich. 1979. Tonoak (*Lithocarpus denaiflorus*) leaf surface characteristics and absorption of triclopyr. Weed Sci. Vol. 27(6) : 599-604.
12. Maeda, E. and H. Miyake. 1973. Surface structure of rice leaf blades observed by scanning electron microscope. Proc. Crop Sci. Soc. Jap. 42 : 327-333.
13. McWhorter, C.G., R.N. Paul, and W.L. Barrentine. 1990. Morphology development and recrystallization of epicuticular waxes of johnsongrass (*Sorghum halepense*). Weed Sci. Vol. 38 : 22-33.
14. Winston, K.T. 1986. Use of over-the-top graminicides for jonsongrass control : Their absorption and translocation patterns, and effects on ultrastructure. Oklahoma State. Univ. Ph.D. Dissertation. p.129.
15. Yokouchi, K., T. Kirinuki and S. Matsunaka. 1989. Deposits of glyphosate depending upon the surface structure of weed leaves. Proc. III 12th APWSS Conf. : 709-715.