

鹽類處理에 따른 벼의 個葉光合成에 關한 研究

趙東夏, 安相得*, 張炳皓*

江原大學 農業科學研究所·江原大學 資源植物開發學科*

Studies on the Leaf Photosynthesis of Salt—Stressed Rice Cultivars

Dong Ha Cho, Sang Deuk Ahn*, Byong Ho Chang*

The Inst. of Agri. Sci. Res., Kangwon Nat'l. Univ., Chunchon, Korea

Dept. of Plant Resources, Kangwon Nat'l. Univ., Chunchon, Korea*

Abstract

The effects of NaCl salinity on the leaf photosynthesis and water relation of two cultivars of rice(*Oryza sativa* L.), the salt-tolerant cultivar Seohae and the salt-sensitive cultivar Iri-380 were examined. Two cultivars of rice were grown for 14 days in nutrient solution at 50mM NaCl. Comparing the leaf Na content of two cultivars, Seohae showed high accumulation of Na content in the leaf blade, while Iri-380 showed low. The Na content in leaf blade reduced the rate of leaf photosynthesis. Salt-tolerant cultivar Seohae was less decreased the rate of leaf photosynthesis than salt-sensitive cultivar Iri-380. And Seohae showed larger decreased the osmotic potential in the leaves than Iri-380. This indicates that in the salt-tolerant cultivar, osmotic adjustment is developed under salinization.

KEY WORDS : *Oryza sativa* L., NaCl salinity, leaf photosynthesis, osmotic adjustment

緒 言

高濃度の 염에 의해 작물의 생장이 저해를 주어 그 수량과 생장율이 감소시키는 것은 鹽害라 한다. 염해는 토양 또는 관개수 등에 함유된 가용성 염류, 특히 NaCl에 의해 일어나며, 그 피해는 현재 세계의 넓은 지역에 분포되어 있다. 水稻중심지의 남아시아 및 동남아시아는 염해 면적이 5,900만ha에 이르고 있다고 한다⁷⁾.

우리나라에서는 농경지 擴大方案으로 西南海岸에 402千ha의 干拓地開發을 추진함으로써 매년 간척지면적은 增加추세에 있다¹⁶⁾. 그러나 이러한 干拓地에서는 高濃度の 鹽類가 含有되어 있기 때문에 干拓初期에는 作物의 栽培는 거의 불가능하며, 除鹽을 한 후에도 벼와 같은 염류에 대한 低抗性이 낮은 作物인 경우에는 그 收量이 현저히 낮았

다. 일반적으로 주된 염해의 원인은 식물체에 흡수되어진 고농도의 Na이온에 의해 일어나며, 지상부 Na함량과 생산속도와는 부의 상관성이 있다고 한다.^{2,4)}

같은 내염성 품종이라도 Na함량이 높다는 보고도 있으며, 염신의 Na함량과 내염성과의 관계는 갖는 단순한 것이 아니다^{6,14,12,15)}. 이것은 Na이온의 흡수력이 크며, Na함량이 높아도 내염성을 나타내는 경우와 Na이온의 흡수는 그 자체가 낮고, 체내의 Na함량을 낮게 유지시키므로서 저항성을 나타내는 경우가 있기 때문이라고 생각되어 진다¹¹⁾. 전자는 Na내성이 강하다고 말할 수 있으며, 후자는 Na회피성이 강하다고 말할 수 있다.

高濃度の 염류처리 조건하에 있어서 식물의 생장저해는 식물의 代謝過程上 필수이온에 의한 삼투조절 능력을 상실하며, 膨壓의 저하 등 엽내의

수분상태가 나쁘게 되는 것과 관계있다. 고농도의 Na이온은 일반적으로 세포에 유독하며 식물을 고사시킨다. 그러나 이러한 이온농도에 대하여 植物種間差가 있다고 알려져 왔다^{6, 8, 15}. 벼에 있어서 내염성에 대해서는 염류처리를 한 경우의 수량 또는 성장량의 저하정도에 관한 연구는 많으나^{2, 12} 생리학적인 면에서 특히 광합성에 관한 연구는 적으며 個葉光合成速度^{3, 4, 9}에 대해서는 충분하지 않다. 본 논문에서는 내염성이 높은 품종과 약한 품종을 선택하여 유식물단계에서의 個葉光合成速度의 품종간 차에 의한 내염성의 機構를 밝혀 보았다.

材料 및 方法

1) 植物材料

공시품종은 作物試驗場 南陽出張所에서 내염성을 갖고 있다고 동정된 품종 西海(SeoHae)과 내염성이 낮다고 동정된 품종 裡里-380(Iri-380)에 대하여 공시하였다. 식물의 재배는 環境制御溫室의 自然光室(저녁/낮, 25/30°C : 相對溫度, 70%)에서 항온기에 최야발아종자를 토양이 담긴 포트에 파종하였다. 파종후 第7葉期の 幼植物을 木村B水耕溶液이 담긴 1/5000a 와그너 포트에 이식하였다. 포트당 6개체씩 水耕栽培를 실시하였다. 수경액의 pH는 5.5±0.3으로 조정하였으며, 4일간격으로 새로운 수경액으로 변경하였다. 鹽類處理는 50mM NaCl의 濃度로 處理하였다.

2) 葉身內의 Na濃度の 測定

光合成速度를 測定한 同一葉身을 시료로 하여, 건조기(70°C)에 72시간동안 건조한 후, 각 시료의 건물중을 정량한 후 陶器製 用器에 담아 高溫電氣 오븐(550°C)을 사용하여 灰化시켰다. 灰化시킨 시료에 4N의 HCl을 첨가하여 100ml에 정량한 후에 炎光分光法으로 측정하였다. Na의 含量은 건물중에 대한 %로 표시하였다. 測定은 3反復으로 실시하였다.

3) 個葉光合成速度의 測定

온실에서 第8葉展開期까지 수경재배한 후 실내의 人工植物生育裝置에 옮긴 뒤, 빛의 光度 900-

1000 μ E/m²/sec에서 12時間씩 明期와 暗期條件으로 生育시켰다. 염류處理는 室內生育裝置에 옮긴 후 3일째에 처리하였다. 測定裝置는 光合成測定器(ADC社, LCA-3)을 사용했으며, 측정시 照度는 1500 μ E/m²/sec로 일정하게 되도록 調節하였으며, 光合成速度의 測定은 염류 처리후 7일째 및 14일째에 오전 6시부터 광을 照射하여, 오전 10시부터 오후 2시까지에 사이에 測定하였다. 測定은 各品種當 3個體씩 하였다.

4) 葉身의 滲透포텐셜測定

光合成速度를 測定한 同一葉身을 시료로 하여, 잎을 polyvinyl봉지에 밀봉한후 즉시 dry ice에 넣고 측정하기 전까지 deep freezer(-80°C)에 저장하여 두었다. 삼투포텐셜측정은 저장한 엽신을 꺼낸 후, 즙액기로 액을 만들어 8 μ l을 채액하여 psychrometer(Wescor社, HR-33T)로 측정하였다.

結果 및 考察

NaCl처리후 7일째, 14일째의 Na含量, 個葉光合成速度, CO₂의 葉肉擴散傳導度와 氣孔擴散傳導度에 대하여 測定한 결과, 收量的인면에서 내염성이 강했던 西海는 수량적으로 낮았던 裡里-380보다는 個葉光合成速度의 저하율이 적었다. 西海는 NaCl처리후 7일째는 77%의 저하율을 보였으나 裡里-380은 46%로 매우 높은 저하율이 나타냈다(Table 1). NaCl처리 14일째에는 西海가 65%, 裡里-380은 40%로 두 품종은 7일째보다 더욱 저하되었다(Table 2). 이는 NaCl處理후 7일내에서는 내염성에 있어서 個葉光合成速度의 품종간 차이가 현저하였으며, 14일째에도 더욱 저하함을 알 수 있었다. Na흡수에 따른 두 품종의 엽내의 염류함량과 개엽광합성과의 관계는 염류처리 7일째에는 엽신내의 Na함량은 큰 차이를 나타내지 않았으나, 14일째에는 西海는 무처리구에 비해 14.4배의 Na를 함유한 반면 裡里-380은 11.1배로 서해가 보다도 높은 엽신내의 염류를 함유하고 있음에도 불구하고 個葉光合成速度 저하율은 높게 유지되어 염류에 대한 높은 耐性機構를 갖고 있어 個葉光合成速度는 크게 저하하지 않는다고 사료된다.(Table 1,2)

Table 1. Leaf photosynthesis(LPS), CO₂ mesophyll conductance(Gm), Co₂ stomatal conductance(Gs) and leaf blade Na content in the cultivars of SeoHae and Iri-380 grown in 50mM NaCl solution for 7 days.

| Cultivar | NaCl (mM) | 7 days after NaCl treatment | | | |
|----------|-----------|-----------------------------|--|---------------------|---------------------|
| | | Na (%/DW) | LPS (mgCO ₂ dm ² hr) | Gm (sec/cm) | Gs (cm/sec) |
| SeoHae | Control | 0.10±0.00 | 37.3±1.88 | 0.24±0.04 | 0.63±0.02 |
| | 50mM | 0.17±0.01 (170)** | 28.9±0.54 (77)** | 0.19±0.00 (81)** | 0.44±0.01 (70)** |
| Iri-380 | Control | 0.11±0.02 | 32.0±1.92 | 0.20±0.01 | 0.58±0.01 |
| | 50mM | 0.14±0.02 (127)** | 14.6±4.40 (46)* | 0.09±0.03 (47)* | 0.19±0.01 (32)** |

() % of Control

*,** denote the level of significance at p<0.05 and 0.01, respectively.

鹽類處理에 의한 個葉光合成能力(LPS)의 低下 機構를 爲의 CO₂ 氣孔擴散傳導度(Gs)와 葉肉擴散 傳導度(Gm)으로 나누어 검토하여 보았다. 鹽類處 理하의 CO₂ 氣孔擴散傳導도의 低下率은 處理 7일 째에는 81%와 47%로 2배정도의 큰 차이를 보였 다. 14일째에는 광합성속도와 마찬가지로 두 품종 간의 큰 차이는 없었다. 이는 7일째 까지는 두 품 종간의 저항성정도가 차이가 보여지나 14일째부터 는 급격히 생리적장해가 일어나 고사상태로 되기 시작한다고 보여 진다. 收量의으로 내염성이 높았 던 西海는 裡里-380보다 顯著하게 적은 低下율

을 보이므로서 氣孔開度上에서도 내염성을 나타내 었다. 또한 葉肉擴散傳導도의 低下정도는 전체적 인 면에서는 큰 차이는 보이지 않았다. 염류처리 조건하의 포도의 광합성속도에 대하여 氣孔擴散傳 導度 및 葉肉擴散傳導도로부터 조사하였다³⁾. 그 결과 광합성속도 低下의 주된 원인은 氣孔擴散傳 導도의 低下보다도 葉肉擴散傳導도의 低下라고 보 고하였다. 그러나 본 논문의 결과에서는 NaCl 처 리에 의한 개엽광합성속도저하는 기공확산전도도 와 엽육확산전도에 의한 원인으로 사료된다. (Table 1,2).

Table 2. Leaf photosynthesis(LPS), CO₂ mesophyll conductance(Gm), Co₂ stomatal conductance(Gs) and leaf blade Na content in the cultivars of SeoHae and Iri-380 grown in 50mM NaCl solution for 14 days.

| Cultivar | NaCl (mM) | 14 days after NaCl treatment | | | |
|----------|-----------|------------------------------|--|---------------------|---------------------|
| | | Na (%/DW) | LPS (mgCO ₂ dm ² hr) | Gm (sec/cm) | Gs (cm/sec) |
| SeoHae | Control | 0.09±0.01 | 36.3±5.57 | 0.22±0.03 | 0.67±0.01 |
| | 50mM | 1.30±0.02 (1444)** | 23.5±3.41 (65)* | 0.18±0.03 (76)** | 0.31±0.01 (46)** |
| Iri 380 | Control | 0.10±0.02 | 31.0±4.39 | 0.18±0.03 | 0.64±0.02 |
| | 50mM | 1.10±0.02 (1110)** | 12.3±1.65 (40)** | 0.09±0.02 (50)** | 0.20±0.01 (31)** |

() % of Control

*,** denote the level of significance at p<0.05 and 0.01, respectively.

Table 3. Time course change of osmotic potential in the leaves of the plant grown in 50mM NaCl.

| Cultivar | NaCl(mM) con. | Osmotic Potential(MPa) | | |
|----------|------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| | | 1days | 7days | 14days |
| SeoHae | Control | -1.34±0.08 | -1.45±0.10 | -1.40±0.04 |
| | 50mM | -1.44±0.04 (107)* | -1.75±0.11 (121) | -2.04±0.03 (146)** |
| Iri 380 | Control | -1.30±0.07 | -1.39±0.04 | -1.50±0.03 |
| | 50mM | -1.48±0.11 (113) | -1.57±0.09 (112)* | -1.90±0.10 (127)* |

() % of control.

*,** denote the level of significance at p<0.05 and 0.01, respectively.

50mM의 염류처리하에서 삼투조절능력에 대하여 조사한 결과, 두 품종 간에 차가 인정되었다. 내염성이 높은 서해는 염류처리 후 7일째부터는 대조구의 식물체보다도 121% 삼투포텐셜이 저하하고 있으나, 裡里-380은 112%의 저하에 머물렀다. 처리 14일째 西海는 146%, 裡里-380은 127%의 저하에 머물렀다.(Table 3) 이러한 결과는 鹽類處理후 시간이 경과함에 따라 서해의 쪽이 큰 삼투조절이 행하여 진다고 사료되며, 西海의 개엽광합성속도의 저하율이 적은 원인 중에 하나로서 엽에 있어서 수분상태의 양호한 保持를 하는 것이라 사료된다.

葉内の 염류축적량이 높아도 식물생리기능이 維持하는 鹽類低抗性植物들은 일단 지상부에서 흡수한 염류를 다시 지하부로 되돌려 보내는 回避機構가 있다고 알려져 있다¹⁰⁾. 그러나 벼는 이러한 鹽類低抗性植物들과 같이 염류를 지하부로 되돌려 보내는 動的의 排出하는 기구는 갖고 있지 않다고 한다. 벼는 다른 식물에 비해 염류에 대하여 낮은 저항성을 갖고 있으며, 벼의 엽내의 염류함량은 광합성속도를 저하시킨다고 하였다^{5,8,13)}.

벼의 耐鹽性은 엽내의 염류축적의 증가에 대하여 滲透調節能力을 높게 유지하면서, 잎의 光合成速度低下率 얼마만큼 낮게 유지시킬 수 있는지가 중요하다고 생각한다. 그러나 엽내의 염류축적의 증가와 個葉光合成速度와의 生理的 關係에 대해서는 아직 확실하게 밝혀지지 않고 있다. 鹽類處理時에서 일어나는 식물체내의 이온 不均衡 등도 이

러한 관계에 관여하고 있다고 하였다^{1,4,6)}. 本論文에서는 收量에 의한 耐鹽性의 품종간차와 個葉光合成能力의 品種間差와는 거의 대응하고 있기 때문에 매우 밀접한 관련이 있다고 사료된다. 염류처리에 의한 개엽광합성속도의 저하를 일으키는 원인에 대하여서는 식물체내에 일어나는 광합성효소의 활성의 저해와 水分生理관계에 관련되는 生理的機構를 검토할 필요가 있다고 사료된다.

摘 要

내염성이 높은 품종과 낮은 품종을 염류처리한 생육배지상에서 個葉光合成 低下程度와 수분관계를 調査하였다.

1. 두 품종의 엽신내 Na함량은 내염성인 西海가 裡里-380보다 높은 함량을 나타내었다.
2. 내염성 품종인 西海는 葉身の Na함량이 높으면서도 個葉光合成速度率이 裡里-380보다 높게 유지되어 염류에 대해 내성을 갖고 있음이 확인되었다.
3. 염류처리에 의한 個葉光合成速度率의 저하기구는 CO₂ 葉肉擴散傳導度와 CO₂氣孔擴散傳導度에 의해서 크게 영향을 받았으며, 西海는 裡里-380보다도 현저하게 적은 저하율을 보였다.
4. 삼투압의 저하율은 裡里-380보다도 西海가 時日이 경과함에 따라 낮게 나타났으며, 이는 내염성 품종인 西海가 滲透조절을 하고 있다고 사료된다.

参考文献

1. Cheeseman, J.M., 1988. Mechanisms on salinity tolerance in plants. *Plant Physiol.* 87 : 547-550.
2. Cramer, G.R., E.Epstein and A.Laüchli, 1990. Effects of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley, I. Growth analysis. *Physiol. Plant.* 80 : 83-88.
3. Downton, W.J., 1977. Photosynthesis in salt-stressed grapevines. *Aust. J.Plant Physiol.* 4 : 183~192.
4. Gorham, J., R.G.W. Jones and E. McDonnell, 1985. Some mechanisms of salt tolerance in crop plants. *Plant and Soil* 89 : 15-40.
5. Flowers, T.J., P.F.Troke and A.R.Yeo, 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28 : 89-121.
6. Greenway, H. and R.A.Munns, 1980. Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31 : 149-190.
7. IRRI, 1979. Annual Report IRRI, LasBanos, Philippines. 116-117.
8. Kingsbury, R.W., E.Epstein and R.W.Pearcy, 1984. Physiological responses to salinity in selected lines of Wheat. *Plant Physiol.* 74 : 417-423.
9. Maegawa, H., E.Usui, N.Uchida, T.Yasuda and T.Yamaguchi, 1987. Studies on the mechanism of salt tolerance in rice(*Oryza sativa* L.) : Relation between salt content and photosynthesis. *Jpn. J. Trop. Agr.* 31 : 92-98.
10. Matsushita, N. and T.Matoh. 1991. Characterization of Na⁺ exclusion mechanisms of salt-tolerant reed plants in comparison with salt-sensitive rice plant. *Physiol. Plant.* 83 : 170-176.
11. Munns, R., H. Greenway and G. Kirst, 1983. Halotolerant eukaryotes. *Physiological Plant Ecology III* (Encyclopedia of plant physiology). Vol.12, C.Springer-Verlag, Berlin. pp.59-135.
12. Yeo, A.R., M.E.Yeo and T.J.Flowers, 1988. Selection of lines with high and low sodium transport from within varieties of and inbreeding species : rice(*Oryza sativa* L.). *New Phytol.* 110 : 13-19.
13. Yeo, A.R. and T.J.Flowers, 1982. Accumulation and localization of sodium ions within the shoots of rice(*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Physiol. Plant.* 56 : 343-348.
14. Yeo, A.R. and T.J.Flowers, 1983, Salinity resistance in rice (*Oryza sativa* L.) and a pyramiding approach to breeding varieties for saline soils. *J. Plant Physiol.* 139 : 161-173.
15. Yeo, A. R., M. E. Yeo, T. J. Flowers and S.A. Flowers, 1990. Screening of rice(*Oryza sativa* L.) genotypes for physiological characters contributing to salinity resistance, and their relationship to overall performance. *Theor. and Appl. Genetics* 79 : 377-384.
16. 農林水産部, 1988. 農林水産統計年報, 42-47.