

干拓地の 熟畚化에 따른 水稻根群形成에 관한 研究¹⁾

鄭 元 一*

Studies on the Root Development of the Rice Plants (*Oryza sativa* L.) in Accordance with Salt- diminution at the Saline Paddy Field

Chung, Won Il*

ABSTRACT

It has been ascertained by a few researchers that soil conditions under which the rice plants were cultivated have some effects upon the root formation of the rice plants. But, much is not known about the root formation of the rice plants cultivated in the saline paddy fields.

The goal of the present investigation is to study morphological effects of the soil salinity on the development of the rice root system.

The following results were obtained:

1. Under the conditions of higher soil salinity, root systems developed well at surface soil, however, root systems developed well and distributed evenly through surface and sub-soil at the saline fields where soil salinity was lower.
2. The rice plants cultivated in the higher soil salinity form less crown roots than the rice plants which cultivated at the lower soil salinity.
3. As for the formation of the stunted roots, it was found out that relatively rice plant cultivated in higher soil salinity forms more stunted roots than the rice plants cultivated in lower soil salinity.
4. The crown root cultivated in the higher soil salinity forms more lateral roots per unit length than the root cultivated in lower soil salinity.
5. As for the root hair formation, the crown root cultivated in higher soil salinity bears less haired epidermis and shorter root hairs than the root cultivated in lower soil salinity.

緒 言

그동안 우리나라에서는 西海岸 一帶에 넓은 干拓地를 造成하여 水稻를 栽培함으로써 主穀自給에 크게 寄與하여 왔으며, 今後에도 새로운 干拓地の 造成과 그곳에서의 水稻의 栽培는 主穀增産이라는 側面에서 보아 必然的인 것으로 생각된다.

그런데 除鹽이 充分히 이루어지지않은 干拓地에서 水稻를 栽培할 경우, 鹽分을 비롯한 土壤鹽類의 影響을 받아, 水稻의 根群發達에 障礙가 일어난다는 것은 該간의 研究結果^{2,11)}로 어느정도 알려져 있으나, 土壤鹽度의 高低가 根群을 構成하는 各要素 즉, 冠根, 分枝根 및 根毛의 形成과 伸長에 대하여 어느 程度 影響을 미치는가 하는 點에 대해서는 잘 알려져 있지 않은 실정이다.

* 檀國大學校 生物學科

* Department of Biology, Dankook University, Cheonan 330, Korea.

¹⁾ 本 論文은 1982年度 文敎部 學術研究助成費에 의하여 研究되었음.

따라서 本 研究者는, 土壤鹽度가 서로 다른 干拓地에서 生育된 水稻의 根群을 採取하여, 그들 水稻의 根群을 構成하는 各 要素들을 數的으로 相互 比較 · 檢討함으로써, 水稻根群形成에 미치는 鹽害의 한 側面을 理解하고자 本 調査를 하였던 바 약간의 結果를 얻었기에 그 結果를 報告하는 바이다.

材料 및 方法

本 調査에 사용된 材料는 水稻 日本型 品種인 秋晴 벼로 하였으며 調査地는 京畿道 華城郡 長安面 所在의 作物試驗場 南陽出張所 圃場과 全羅北道 扶安郡 辛安面 所在의 湖南 作物試驗場 界火島出張所 圃場을 對象으로 하였다.

試料採取는 鹽害의 程度가 다른 郡, 鹽害의 程度가 甚한 處, 普通인 處, 그리고 輕微한 處 등 3 個地點을 設定하고, 各 地點에서 中庸인 生育狀(表 1)을 나타내는 個體를 採取하여 調査材料로 하였다.

水稻의 主要栽培法은 苗齡 5.3 葉 내지 5.5 葉期の 幼苗를 株當 3 苗씩 栽植密度는 $24 \times 21 \text{ cm}$ 로 하여 5 月 25 日에 移秧하였다.

施肥量은 各 試驗地 모두 10a當 窒素, 磷酸 및 加里를 各各 20-8-8 kg씩 주었으며, 分施方法은 窒素 50%와 磷酸 및 加里를 全量 基肥로 하고 나머지 窒素 30%는 分蘖肥, 20%는 穗肥로 주었다.

試料採取는 根群의 發達이 어느 정도 完成된 出穗初期에 實施하였으며 그 方法⁵⁾은 다음과 같다.

즉, 改良 Monolith(폭: 50 cm, 깊이: 50 cm, 두께: 10 cm)로 根群을 土壤과 함께 採取한 후 水道수로 水壓을 조절하여 根群이 흩어지지 않게 핀으로 固定하면서 土壤을 씻어내고 根群의 分布狀을 調査한 후 地上部와 함께 F.A.A로 固定하고 實驗室에서 各 生育區別로 株當 總冠根數, 伸長된 冠根數, 生長中止型 冠根數, 分枝根의 形成密度 및 根主의 形成樣相 등 調査하였다.^{2, 3, 9)}

結果 및 考察

1. 根群의 分布狀

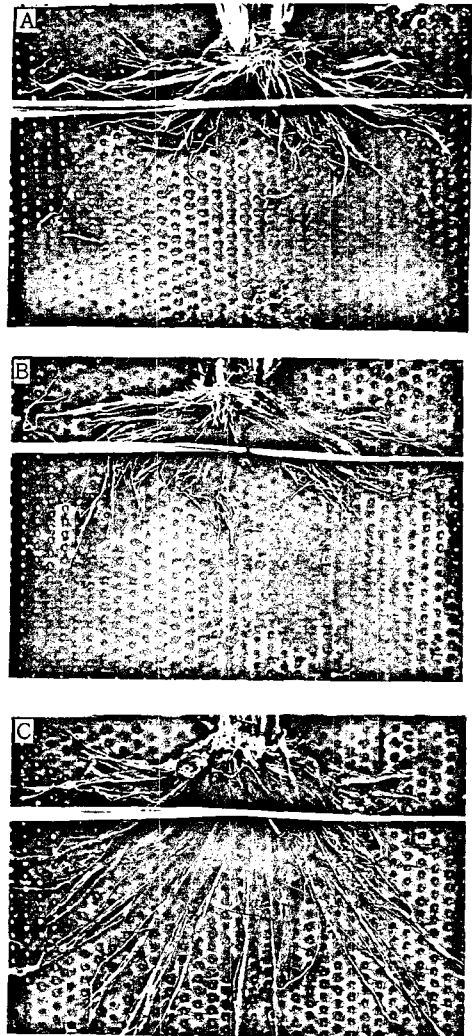
根群形成에 대한 鹽害의 影響을 檢討하기 위하여 根群의 土壤中의 分布狀을 改良 Monolith法으로 調査한 結果는 그림 1과 같다.

즉, 土壤 鹽度가 높아 鹽害를 많이 받은 干拓地에서 生育된 水稻의 根群은 鹽害가 적었던 干拓地에서

Table 1. The growth phase of the investigated rice plants*

Salt injury	Height (Cm)	Productive tiller number
Serious	63.2	12.3
Common	74.7	17.2
Slight	97.6	19.8

* An average of the 20 hills at the early heading stage.



A : Serious salt injury
B : Common salt injury
C : Slight salt injury

Fig. 1. The root systems of the rice plants in respective salt injury.

生育된 水稻에 비하여 株當 根群을 構成하는 1次根 (以下 冠根이라 함)의 絶對數가 적었으며, 또 鹽害를 많이 받은 根群은 鹽害를 적게 받은 根群에 비하여 淺根性을 나타냈다. 그리고 鹽害의 程度가 中間인 水稻의 根群은 冠根의 絶對數는 물론, 冠根의 分布 즉 伸長方向에 있어서도 中間의인 樣相을 나타냈다.

그런데, 여러 研究者들의 研究結果^{8, 10, 12)}에 의하면 土壤의 物理·化學的 性質은 그곳에서 生育하는 作物의 根群形成에 至大한 影響을 미치며, 특히 水稻의 경우 根群形成은 作土中の 溶存酸素의 多少 및 土壤孔隙의 發達, 그리고 土壤中の 生長阻害物質의 有無 등의 影響을 크게 받는 것으로 알려져 있다.⁹⁾

따라서 上述한 現象中, 특히 土壤鹽도가 높은 干拓地에서 生育된 水稻의 根群은 淺根性을 나타내는데 반하여, 低鹽度 干拓地에서 生育된 水稻의 根群은 深根性을 나타냈다는 事實은 다음과 같이 理解된다.

이와 같은 事實은 즉, 干拓地에서도 水稻의 根群發達은 前述한 바와 같이 土壤의 物理的 化學的 性質의 影響을 받지만, 이 경우 作土를 이루는 土壤의 化學的 性質보다는 物理的 性質, 특히 土壤透수가 根群의 伸長方向 즉 分布에 크게 影響을 미친 것으로 생각된다. 왜냐하면, 鹽害의 程度가 서로 다른 區들이 서로 隣接되어 있을 경우, 이들 各 區의 化學的 造成은 土壤의 堆積過程으로 보아 서로 비슷할 것이므로, 눈을 만드는 土木工事 過程에서 土壤透수가 이루어질 수 있는 與件이 造成된 곳(예를 들면, 원래 地帶가 낮아 주위로부터 土壤을 받아 들여 논이 된 곳)에서는 土壤透수에 따라 鹽分과 기타 根群發達 阻害物質이 流出되어 根群이 발달되고 또 土壤의 深層部까지 根群이 分布되는데 반하여, 그렇지 못한 곳(예를 들면, 원래 比較的 高地帶로서 土木工事 過程에 上土를 건어낸 곳)에서는 土壤透수가 不良하여 相對的으로 높은 鹽分을 갖게 되어 根群發達에 障礙가 일어나고, 또 根群도 作土의 表層部에 分布하게 되는 것으로

推察된다.

2. 根群을 構成하는 冠根數

各 根群을 構成하는 冠根數를 總冠根數, 伸長된 冠根數 및 伸長中止型 冠根數¹⁾ 등으로 나누어 比較·檢討하였던 바 表 2와 같은 結果를 얻었다.

株當 總冠根數는 鹽害를 많이 받은 根群을 이루는 總冠根數는 鹽害를 적게 받은 水稻의 總冠根數보다 絶對數가 적었으며, 또 鹽害의 程度가 普通인 水稻는 그 根群을 이루는 總冠根數도 그 中間值를 나타냈다.

그리고, 伸長된 冠根數를 各 處理區別로 보면, 鹽害를 많이 받은 水稻에서는 伸長된 冠根數가 鹽害를 적게 받은 水稻의 根群보다 적었으며, 鹽害의 程度가 普通인 區에서 採取한 水稻의 根群中 伸長된 冠根數는 그 中間值를 나타냈다. 또 總冠根中 伸長된 冠根의 比率도 같은 傾向 즉 低鹽度 土壤에서 生育된 水稻일수록 總冠根中 伸長된 冠根이 占하는 比率이 높았다.

또 株當 形成된 伸長中止型 冠根數인데, 이 경우에도 絶對數에 있어서는 高鹽度 土壤에서 生育된 水稻보다 低鹽度 土壤에서 生育된 水稻에 많은 伸長中止型 冠根이 많이 形成되었지만, 總冠根中 伸長中止型 冠根이 占하는 比率은 이와는 反對로 低鹽度 土壤에서 生育된 水稻보다 高鹽度 土壤에서 生育된 水稻에 높은 率의 伸長中止型 冠根이 形成되었다.

한편 各 根群을 形成하고 있는 冠根을 有效莖으로 나누어 다음과 같은 事實을 알 수 있었다. 즉, 有效莖 1個에 대한 總冠根數 및 伸長된 冠根數는 高鹽度 土壤에서 生育된 水稻보다 低鹽度 土壤에서 生育된 水稻가 많은 冠根을 形成하였지만, 伸長中止型 冠根數는 總冠根數나 伸長된 冠根數와는 反對로 低鹽度 土壤에서 生育된 水稻보다 高鹽度 土壤에서 生育된 水稻에 더 많이 形成되었다. 즉, 高鹽度 土壤에서 生育된 水稻는 低鹽度 土壤에서 生育된 水稻보다 根群

Table 2. The difference of crown root number in respective salt injury.

Salt injury	Total crown root number	Normal crown root number	Stunted crown root number	Root number/Productive tiller		
				Total	Normal	Stunted
Serious	1,105	590 (53.4%)	515 (46.6%)	92	49	43
Common	1,874	1,091 (58.2%)	783 (41.8%)	104	60	44
Slight	2,136	1,318 (61.7%)	818 (38.3%)	107	66	41

() : The rate of root formation respective unit.

註 1) 出根 후 1 cm 以內에서 伸長이 中止된 冠根

을 構成하는 總冠根數 및 伸長된 冠根數는 적고, 總冠根中 伸長中 止型 冠根의 比率이 相對的으로 增加하는 現象을 나타내었다.

이와 같은 現象은 著者 등의 研究報告³⁾와 一致하는 것이지만 根群을 構成하는 總冠根數는 主莖 및 分蘖莖의 各 要素에 形成된 冠根이 限定되어 있으므로 株當 有效分蘖莖數와 密接한 關係에 있는 것으로 推察된다.

3. 冠根의 要素別 分布

冠根의 要素別 分布狀을 調査한 結果는 表 3과 같다. 이 경우, 分蘖莖에서 出根된 冠根은 主莖의 各 要素에 對應시켜 換算하였다.

먼저, 鹽害를 많이 받은 水稻의 根群을 構成하고 있는 冠根의 要素別 分布狀을 보면, 移秧後 生育初期에 出根하는 下位要素(IV-VII 要素)에서 出根된 冠根數는 他 處理區에 比하여 적었으며, 生育이 進行됨에 따라 要素別 冠根數도 增加하다가 第XII 要素에서 冠根數가 最大值가 되었다가 그후 急速히 減少하는 分布狀을 나타냈다.

또 鹽害를 輕微하게 받은 水稻의 根群을 構成하는 冠根의 要素別 分布狀은 移秧後 極히 初期에 出根하

그리고, 鹽害의 程度가 普通인 區에서는 根群을 構成하는 冠根의 要素別 分布狀이 鹽害를 심하게 입은 것과 鹽害가 輕微한 것의 中間的인 分布狀을 나타냈다.

즉, 鹽害를 받은 水稻의 根群은 鹽害의 程度가 輕微했던 水稻의 根群에 比하여 生育初期에 出根하는 下位要素에서부터 出根하는 冠根數가 적었으며, 이와 같은 傾向은 生育後期까지 나타나, 結果的으로 根群을 構成하는 總冠根數도 적은 現象을 나타냈다.

이와 같은 現象은 다음과 같은 結果로 생각된다. 즉, 水稻가 鹽害를 받으면 發根 및 出根量이 減少되고 出根된 冠根도 그 伸長量이 減少되어³⁾ 活着이 늦어지고, 또 地上部의 生育도 遲延되어 移秧後 出根하는 要素들 가운데, 특히 下位要素에서의 分蘖芽의 發達이 抑制되어 分蘖芽에서 出根하는 冠根이 적어,⁹⁾ 結果的으로 鹽害가 輕微한 곳에서 生育된 水稻의 根群에 比較하여 根群을 形成하는 冠根數가 적게 되는 것으로 推察된다.

한편, 鹽害를 받은 根群이 鹽害의 程度가 輕微한 水稻의 根群에 比較하여 淺根性을 나타내는 現象도 다음과 같이 理解된다. 즉, 下位要素에서 出根한 冠根과 上位要素에서 出根한 下位根은 作土의 深層部로 伸長하는데 반하여, 上位要素의 上位根은 作土의 表層部로 伸長하는 現象⁷⁾과 鹽害를 받으면 下位要素에서의 分蘖芽의 發達抑制으로 因한 下位要素에서 出根된 冠根의 減少로 作土의 深層部쪽으로 伸長하는 冠根數가 減少하는 現象을 考慮하면, 다음과 같은 推察이 可能하다 하겠다. 즉, 鹽害를 받으면 水稻根群이 淺根性을 나타내는 現象은 前述한 바와 같이 土壤의 理化學的인 性質에도 그 影響을 받지만, 下位要素에서의 分蘖芽의 減少로 作土의 深層部쪽으로 伸長할 冠根이 減少된데 반하여, 上位要素에서는 比較的 分蘖芽가 發達함으로 거기서 形成된 上位根이 作土의 表層部로 伸長 發達한 結果 水稻의 根群이 淺根性으로 나타나는 것으로 理解된다.

Table 3. The distribution of crown roots in respective shoot unit. ※

Unit	Salt injury		
	Serious	Common	Slight
XIII	84	168	125
XII	203	261	368
XI	192	381	448
X	165	304	346
IX	147	288	312
Ⅷ	111	183	210
VII	67	130	142
VI	46	59	78
V	32	38	46
IV	27	29	30
I-III	31	33	31
Total roots	1,105	1,874	2,136

※ Tiller's crown roots were corresponded with main stem's crown root.

는 要素를 除外하고는 要素別 冠根數가 他 處理區에 比하여 빠른 速度로 增加하는 分布推移를 나타냈으며, 第XI 要素에서 가장 많은 冠根이 出根되었고, 그후 冠根數가 減少하였다.

4. 分枝根의 形成

根群을 構成하는 總冠根數와 各 冠根의 要素別 分布推移의 調査에 이어, 各 處理區別로 各 要素에 出根된 冠根에 形成된 分枝根의 形成狀을 密度(冠根의 基部로부터 5-7cm部分)에 着眼하여 調査하였던 바 表 4와 같은 結果를 얻었다. 이 경우에도 分蘖莖에서 出根된 冠根에 形成된 分枝根은 主莖의 그 要素에 해당하는 要素에 對應시켜 換算하였다.

Table 4. The density of lateral roots in respective salt injury.*

Unit No.	Salt injury		
	Serious	Common	Slight
XII	25.5	24.7	25.3
XI	23.8	19.8	23.2
X	23.1	24.2	19.8
IX	23.5	20.4	19.2
VIII	19.5	21.8	18.1
VII	21.3	18.4	18.2
VI	18.9	18.1	17.5
V	18.1	17.5	16.3

Unit : number/cm.

Investigated portions were 5-7cm from the base of the crown roots.

表 4에서 알 수 있는 바와 같이 염해를 많이 받은水稻의 冠根에 形成된 分枝根의 密度가 鹽해를 輕微하게 받은水稻의 冠根에 形成된 分枝根의 密度보다 약간 높았으며, 또 鹽해의 程度가 中間程度인水稻의 冠根에 形成된 分枝根의 密度는 그 中間値를 나타냈으며, 이와 같은 傾向은水稻의 生育時期와는 큰 關係를 나타내지 않았다.

즉, 鹽해를 크게 받은水稻가 鹽해가 輕微했던水稻에 比하여, 分枝根의 密度가 약간 높은 現象을 나타냈는데, 이와 비슷한 現象은 著者 등의 研究報告^{2,9)} 즉 透水區나 熟畝區에서 生育된 冠根에 形成된 分枝根의 密度가 干拓畝에서 生育된 冠根에 形成된 分枝根의 密度보다 낮은 것과 一致하는 現象으로 理解되지만, 그 機作에 대해서는 現在로서는 알 수 없어 今後の 研究에 기대하는 바로, 여기서는 事實의 地적으로 끝내 고쳐 한다.

5. 根毛의 形成

鹽해의 程度나 서로 다른水稻의 根群을 構成하는 冠根에 形成된 根毛의 形成을 調査하여 表 5와 같은 結果를 알았다.

이 경우 根毛의 觀察은 根毛의 形成密度(表皮細胞 100個中 形毛가 形成된 表皮細胞의 比率)에 根毛長을 顯微鏡 밑에서 測定하였으며 그 具體的인 方法은 川田等⁶⁾의 報告에 準하였다.

즉, 鹽해를 크게 받은水稻의 冠根에는 鹽해가 輕微했던水稻의 冠根보다 根毛形成率이 낮고, 또 거기에 形成된 根毛의 길이도 짧은 傾向을 나타냈으며 鹽해의 程度가 그 中間인水稻의 冠根에서는 根毛의 形成樣相도 그 中間狀으로 나타났다.

Table 5. The formation of the root hairs in respective salt injury.

Salt injury	Rate of hair bearing epidermis(%)	Length of root hair (μm)
Serious	28	83
Common	38	134
Slight	41	191

Investigated portions were 5-7cm from the base of the crown roots.

이와 같은 現象은 根毛가 作物의 地下部의 表面積을 增加시키며,⁴⁾ 또 養·水分의 吸收에 重要な 機能을 갖고 있다는 점을^{1,13)} 考慮한다면, 鹽해를 이리킬 수 있는 土壤에서 栽培된水稻는 低鹽度 土壤에서 栽培된水稻에 比較하여水稻 生育에 不利한 立場으로 推察된다.

摘 要

干拓地에서 生育된水稻의 根群形成樣相을 調査하기 위해, 鹽해의 程度가 서로 다른 3區에서, 試料를 採取하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 高鹽地에서 生育한水稻의 根群은 低鹽地에서 生育된水稻의 根群보다 淺根性을 나타냈다.

2. 高鹽地에서 生育된水稻의 根群을 構成하는 冠根數는 低鹽地에서 生育된水稻의 根群을 構成하는 冠根數보다 적었다.

3. 各要素에서 出根된 冠根數도 高鹽地에서 生育된水稻가 低鹽地에서 生育된水稻보다 적었으며, 이와 같은 現象은 移秧後 出根하는 要素에서부터 나타났다.

4. 各處理區의 冠根에 形成된 分枝根의 密度는 高鹽地에서 生育된水稻가 低鹽地에서 生育된水稻보다 높은 傾向을 나타냈다.

5. 各處理區의 冠根에 形成된 根毛의 形成樣相은 高鹽地에서 生育된水稻가 低鹽地에서 生育된水稻에 比하여 根毛形成率이 낮고 또 根毛長도 짧은 傾向을 나타냈다.

引 用 文 獻

1. Cailloux, M. (1972) Metabolism and the absorption of water by root hairs. *Can. J. Bot.* 50: 557-573.

2. 鄭元一(1979) 干拓地에 있어서의 水稻根群 形成에 관한 研究. 韓作誌 24 (4): 12~18.
3. _____ · 金鳳九(1982) 干拓畚에서 生育된 水稻根群 形成의 品種間差에 대하여 韓作誌 27:218-222.
4. Dittmer, H.J.(1937) A quantitative study of the roots and root hairs of a winter rye plant(*Secale cereale*). Amer. Jour. Bot. 24: 417-420.
5. 川田信一郎 外 4人(1963) 水稻における根群の形態形成について, とくにその生育段階に着目した場合の一例. 日作紀 32:163-180.
6. _____, 石原邦(1959) 水稻根における根毛の形成について. 日作紀 27:341-348.
7. _____, 片野學(1976) 水稻冠根の土壌中における伸長方向について. 日作紀 45:471-483.
8. _____ · _____(1977) 水稻冠根の伸長方向並びに分枝根形成に及ぼす 水管理の影響. 日作紀 46:543-557.
9. 金鳳九 · 鄭元一(1982) 干拓地에서 生育된 水稻의 根群發達에 미치는 물 管理의 影響에 관한 研究. 韓作誌 27:223-228.
10. Kramer, D.T.(1969) Plant and soil water relationship: A modern synthesis. McGraw-Hill, New York.
11. 任桐彬外 3人(1967) 干拓地에서 水稻 및 其他作物의 耐鹽性에 관한 研究. 科學技術處(Code No. 66-27).
12. 三浦肆玖樓(1933) 排水地と停滯水地との稻における 水稻の根の發育關係, 日作紀 27:218-222.
13. Rosene, H.F.(1943) Quantitative measurement of velocity of water absorption in individual root hairs by a microtechnique. Plant Physiol. 15:588-607.