

염화알루미늄 處理가 벼 幼苗生長 및 體內 成分含量에 미치는 影響

呂守甲* · 金相國* · 李相哲**

Influence of Aluminum Chloride on Growth and Chemical Components of Rice Seedling

Soo Kab Yeo*, Sang Kuk Kim* and Sang Chul Lee**

ABSTRACT: The experiment was carried out to determine Al tolerance ranges of two rice cultivars(Ilpumbyeo and Hyangmiby eo) during germination and early growth. The amount of 0, 300, 600 and 900ppm Al were treated in the germination media.

Plant height and root length of rice cultivars were decreased significantly with Al concentration. The reduction of growth was more remarkable in root than in shoot. Germination rates in all Al concentrations were decreased comparing with untreated control. Two rice cultivars were not different in Al concentrations. As Al concentration was increased, chlorophyll content were decreased. Ca and Mg contents in 300ppm of Al treatment were sharply increased.

Free proline contents of both rice cultivars grown at the 300, 600, and 900ppm of Al treatments were increased only in the 3 days after Al treatments.

Key words : Rice, Al tolerance, Germination, Starch, Sugar, Inorganic elements, Free proline.

地殼의 約 15% 以上이 Al_2O_3 으로 構成되어 있는데 Al에 의한 作物의 被害는 主로 pH가 5.5 以下인 酸性土壤에서 溶解度가 增加되어 作物이 Al을 매우 빠르게 吸收하기 때문인 것으로 알려져 있다¹³⁾. 한편 作物의 重金屬 被害는 外國에서 많은 實例를 겪었고 우리나라에서도 自然狀態의 重金屬, 廢鑛으로 因한 重金屬, 農藥의 使用에 따른 重金屬 等に 依한 食品 및 農耕地의 汚染이 增加되고 있다^{8,12)}. 重金屬의 汚染源은 工場廢水, 鑛山廢水, 都市污水 등이 있으며, 工場廢水 및 鑛山廢水 等에는 구리, 亞鉛, 카드뮴, 니켈, 크롬, 水銀 등이 있으며 都市污水에는 구리, 亞鉛 등이 主로 含有되어 農耕地에 汚染이 되면 作物을 汚染시키

거나 生育에 害作用을 誘發하기도 한다^{2,3,7,17)}. 벼의 重金屬 研究는 1970年代 初부터 始作되어 구리, 亞鉛, 카드뮴, 납 등의 作物에 對한 汚染을 輕減하기 爲해 Kim et al.⁹⁾은 石膏와 물管理를 通하여 重金屬 吸收를 輕減시켰고, Kim et al.¹⁰⁾은 畚土壤에 있어서 石灰施用으로 카드뮴 吸收를 輕減시켰고, Kim et al.¹¹⁾은 植物生長調整劑인 kinetin을 벼 種子에 浸種處理하여 구리의 毒性을 輕減시켰다고 報告하였다. 栽培技術을 通한 重金屬 被害對策은 主로 有害 重金屬을 不溶化시켜 作物의 重金屬 吸收를 적게 하는 方法이 利用되고 있다. 土壤中의 有害 重金屬을 不溶化시키는데는 一般적으로 湛水栽培를 하거나 還元物質을 施用

* 慶北農村振興院(Kyungbuk Provincial RDA, Taegu 702-320, Korea)

** 慶北大學校 農科大學(Coll. of Agric., Kyungpook Nat'l Univ., Taegu 702-701, Korea)

〈'96. 12. 9 接受〉

하여 土壤의 Eh를 낮추는 方法, 石灰質 肥料를 施用하여 pH를 높이거나 水酸化物로 轉換하는 方法, 磷酸 物質을 施用하여 磷酸化物로 不溶化시키는 方法, 有機物을 施用하여 有機 金屬鹽으로 不溶化시키는 方法, 제오라이트 및 벤토나이트 등과 같은 粘土鑛物에 吸着시키는 方法, 反轉耕耘, 客土 및 削土를 하여 重金屬 濃度를 稀釋하는 方法 등의 物理·化學的인 方法과 重金屬類를 多量吸收하는 植物을 栽培하여 除去하는 生物學的인 消去法 등이 利用되고 있다¹⁵⁾. 環境障害에 耐性인 品種의 育種에 利用될 수 있는 素材의 提供을 위해서도 遺傳資源의 環境適應에 關한 形質發現의 種內 變異를 把握한다는 것은 매우 重要하다고 생각되어진다. 本 研究는 Al을 處理한 水稻의 發芽 期間中 幼植物의 生長 및 植物體內 成分含量의 變化를 檢討하고자 遂行하였다.

材料 및 方法

本 實驗의 材料로 慶尙北道 農村振興院 北部試驗場(安東)에서 1996년에 栽培한 香米벼 1號와 一品벼 2品種을 使用하였다.

벼種子의 消毒은 種子 50g을 스포탁 乳劑(韓國 三共) 1ml를 蒸溜水 1ℓ에 넣은 後 24時間동안 常溫에 放置한 後 蒸溜水로 5回 洗滌한 種子를 petridish에 濾過紙(No. 2, Whatman) 1枚를 깔고 petridish(φ 9cm)當 30粒씩 置床한 다음 $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ (Junsei 製) 300, 600 및 900ppm 溶液을 15ml씩 添加하였으며 對照區는 蒸溜水(pH 6.9 ± 1) 15ml를 加하여 溫度 $30 \pm 1^\circ C$, 相對濕度 $70 \pm 5\%$ 의 生長室에서 每日 午前 10 時에 發芽率을 調査하였고 試驗區 配置는 完全任意配置 5 反復으로 하였다.

1. Al 處理에 따른 벼 發芽 및 幼苗의 生育特性

Japonica 品種인 一品벼와 Indica 品種인 香米벼 1號를 實驗材料로 하여 Al 濃度를 0, 300, 600 및 900ppm의 4水準으로 하여 置床 後 7日째에 草長, 根長, 發芽率을 調査하였다.

2. 植物體의 葉綠素 含量 測定

葉綠素 含量은 Cock et al.⁴⁾의 方法에 따라 抽出한 後 652nm에서 吸光度를 測定하여 總 葉綠素 含量을 調査하였다.

3. 澱粉 및 糖 含量 測定

澱粉과 糖測定은 Cock et al.⁴⁾의 方法에 準하여 生體試料를 蒸溜水로 깨끗이 洗滌한 後 $60^\circ C$ 에서 乾燥시킨 다음 막자사발로 粉碎한 試料 1g에 80% EtOH 90ml을 添加하여 $84^\circ C$ 가 維持되는 恒溫水槽에 30分동안 放置한 後 15,000rpm에서 10分間 遠心分離를 3回 反復하여 上澄液을 糖 分析試料로 使用하였으며 殘餘物은 澱粉分析을 위한 試料로 使用하였다.

糖含量은 試料 5ml를 volumetric flask에 넣고 anthrone 溶液 10ml을 添加하여 끓는 물 위에서 約 7.5分동안 反應시킨 後 얼음水槽에 保管하여 分光光度計(630nm)로 測定하였다.

澱粉含量은 試料에 蒸溜水 2ml을 添加하여 끓는 물위에 15分間 放置한 後 9.2N perchloric acid 2ml을 添加하고 蒸溜水로 最終 부피가 10ml 되게 하여 遠心分離한 上澄液은 따로 保管하고 殘餘物에 4.6N perchloric acid를 2ml 添加하여 15分間 攪拌시킨 後 蒸溜水로 다시 10ml되게 만들어 遠心分離를 하여 9.2N perchloric acid의 上澄液과 混合한 다음 蒸溜水로 50ml되게 채우고 上記의 糖分析과 同一한 方法으로 分析하였다.

4. Al, Fe, Ca, Mg 및 Mn 含量 測定

植物體의 重金屬 含量은 植物體를 乾燥機($80^\circ C$)에서 風乾한 것을 30mesh 체로 通過시킨 後 乾燥粉末 1g을 分解液(perchloric acid 90ml, H_2SO_4 5ml, H_2O 55ml) 10ml을 添加하여 分解한 다음 原子吸收 分光光度計로 測定하였다.

5. 遊離 proline 含量 測定

遊離 proline含量은 Bates의 方法¹⁾을 變形하여 $-78^\circ C$ 의 冷凍庫에 保管中인 生體試料 0.5g을 3% sulfosalicylic acid 10ml로 均質化시킨 後, 濾過紙(No. 2, Whatman Int'l Ltd, England)로 濾過시킨 抽出液 2ml을 發色溶液[acetic acid 5ml, ninhydrin 溶液 5ml(125mg ninhydrin,

3ml acetic acid, 6M phosphoric acid 2ml)]과 혼합하여 恒溫水槽(100℃)에서 1時間 동안 熱湯하여 식힌 다음 다시 冷藏室에서 反應을 停止시킨後 toluene 8ml을 試驗管에 넣어 抽出液과 混合하여 20秒동안 強하게 흔들어 준 다음 分光光度計로 吸光度(520nm)를 測定한 後 標準品 遊離 pro-line의 檢量線을 作成하여 定量하였다.

結果 및 考察

1. Al 處理에 따른 生育特性

벼 發芽中 Al 濃度別 生育特性을 나타낸 것이 表 1이다. 일품벼의 경우 草長은 無處理가 3.7cm 였는데 Al의 濃度가 增加할수록 草長의 伸長이 減少하여 Al 900ppm의 경우 0.9cm로 매우 低調한 生育現象을 보였다. 향미벼1호에서도 일품벼와 같은 傾向이었다. 根長의 경우 두 品種 모두

Al의 濃度가 增加할수록 生育이 低調하였는데 Al 600ppm以上에서는 根長의 伸長이 急激히 減少하는 傾向을 보여 Al 600ppm 以上에서는 生育이 不可能한 것으로 判斷되었다.

한편 發芽率은 일품벼와 향미벼1호 모두 Al의 濃度가 增加함에 따라 發芽率의 急激한 減少를 보였는데 특히 Al 600ppm에서 急激한 減少를 보이는 것으로 나타났다.

2. 葉綠素 含量

葉綠素 含量의 Al 濃度에 따른 變化는 表 2와 같다. 葉綠素 含量은 일품벼, 향미벼1호 모두 Al 300 ppm處理에서는 對照區와 差異가 없었으나 600 ppm以上에서는 對照區에 비해 有意하게 減少한 것으로 나타났다. 그리고 Al의 濃度에 따른 葉綠素 含量의 差異는 供試品種 모두 Al 900ppm에서 가장 낮은 含量을 보였는데 Kim et al.¹¹⁾이 重金

Table 1. Growth characteristics of different Al concentrations in two rice cultivars

Cultivars	Treatments	Plant height(cm)	Root length(cm)	Germination rate(%)
Ilpumbyeo	Untreated control	3.7 ^a	3.7 ^a	93 ^a
	Al 300 ppm	3.0 ^b	0.7 ^b	89 ^b
	Al 600 ppm	2.1 ^c	0.1 ^c	22 ^c
	Al 900 ppm	0.9 ^d	0.1 ^c	8 ^d
Hyangmibyeo 1	Untreated control	3.4 ^a	2.4 ^a	96 ^a
	Al 300 ppm	2.5 ^b	0.4 ^b	83 ^b
	Al 600 ppm	0.9 ^c	0.1 ^c	28 ^c
	Al 900 ppm	0.4 ^d	0.1 ^c	19 ^d

Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level into one cultivar according to DMRT.

Table 2. Chlorophyll content on different Al concentrations in two rice cultivars

Cultivars	Treatments	Chlorophyll content(mg /g fresh wt.)
Ilpumbyeo	Untreated control	1.41 ^a
	Al 300 ppm	1.38 ^a
	Al 600 ppm	1.21 ^b
	Al 900 ppm	1.04 ^c
Hyangmibyeo 1	Untreated control	0.71 ^a
	Al 300 ppm	0.69 ^a
	Al 600 ppm	0.66 ^b
	Al 900 ppm	0.54 ^c

Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level into one cultivar according to DMRT.

Table 3. Starch and sugar content at different Al concentrations in two rice cultivars

Cultivars	Treatments	Starch [↓]		Sugar [↓]	
	% of untreated control			
Ipumbyeo	Al 300 ppm	11 ^c		0.48 ^a	
	Al 600 ppm	16 ^b		0.31 ^b	
	Al 900 ppm	22 ^a		0.26 ^c	
Hyangmibyeo 1	Al 300 ppm	14 ^c		0.45 ^a	
	Al 600 ppm	25 ^b		0.30 ^b	
	Al 900 ppm	34 ^a		0.21 ^c	

Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level into one cultivar according to DMRT.

[↓] Starch and sugar were analyzed for whole rice plant including root, seed and shoot, and sampled at the 7 days after treatment.

屬인 구리 處理시 일품벼보다 統一型 品種인 향미벼1호에서 葉綠素 含量이 더 減少하였다는 報告와 孫等¹⁵⁾이 삼강벼와 동진벼의 幼苗期에 葉綠素 含量의 減少가 一般型 品種보다 統一型 品種이 多少 減少하였다는 報告와 類似한 結果를 보였다.

3. 澱粉 및 糖 含量

Al의 濃度에 따른 發芽中 幼植物의 澱粉과 糖 含量을 보면 表 3과 같다. 일품벼와 향미벼1호 모두 Al 300, 600 및 900 ppm 處理시 無處理에 比較하여 澱粉 含量이 낮았는데 이는 Al이 毒性을 나타내어 發芽를 阻害하여 種자 中 澱粉의 分解가 억제 되었기 때문인 것으로 推測되었다.

4. 植物體의 重金屬과 無機成分의 含量

벼 品種間 Al 濃度에 따른 植物體內의 重金屬과 無機成分의 含量을 살펴보면 表 4에서 보는 바와 같이 일품벼에 있어 無處理보다 Al의 濃度가 增加함에 따라 Al 600ppm까지는 植物體內의 重金屬 蓄積이 增加하다가 Al 900ppm에서는 오히려 減少하는 傾向을 보였다.

한편 Ca, Mg, Fe 및 Mn의 植物體內의 含量을 보면 두 品種 모두 Al 300ppm에서 Ca와 Mg의 含量은 無處理에 비해 急激한 增加를 보였으나 Al 600 및 Al 900ppm에서는 無處理에 비해서는 增加하였으나 Al 300ppm보다는 다소 減少한 傾向을 보여 Al 300ppm 處理에서 Ca와 Mg 含量이 急激히 增加한 結果에 대한 解析이 不可能하여 追後 이에 대한 研究가 遂行되어야 할 것으로 判斷

Table 4. Al content on different Al concentrations in two rice cultivars

Cultivars	Treatments	Inorganic element contents (ng/g dry wt.)				
		Al	Ca	Mg	Fe	Mn
Ipumbyeo	Untreated control	48 ^d	18 ^d	10 ^d	22 ^d	28 ^d
	Al 300 ppm	2,901 ^c	66 ^a	78 ^a	106 ^c	89 ^c
	Al 600 ppm	3,694 ^a	50 ^b	55 ^b	211 ^b	97 ^b
	Al 900 ppm	3,511 ^b	37 ^c	43 ^c	304 ^a	101 ^a
Hyangmibyeo 1	Untreated control	51 ^d	22 ^d	17 ^d	19 ^c	24 ^d
	Al 300 ppm	2,116 ^c	79 ^a	86 ^a	87 ^b	90 ^c
	Al 600 ppm	2,866 ^a	61 ^b	59 ^b	88 ^b	107 ^b
	Al 900 ppm	2,745 ^b	48 ^c	31 ^c	108 ^a	143 ^a

Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level into one cultivar according to DMRT.

Table 5. Changes of free proline content on different Al concentrations in two rice cultivars

Cultivars	Treatments	Free proline content ($\mu\text{mole} / \text{g}$ fresh wt.)			
		1 DAT ^b	3 DAT	5 DAT	7 DAT
Ipumbyeo	Untreated control	2,230	2,238 ^c	2,211	2,218
	Al 300 ppm	3,318	4,761 ^b	3,114	3,006
	Al 600 ppm	3,364	4,984 ^{ab}	4,763	4,618
	Al 900 ppm	3,369	5,160 ^a	4,822	4,139
Hyangmibyeo 1	Untreated control	2,400	2,391 ^c	2,349	2,391
	Al 300 ppm	3,461	5,914 ^a	3,161	3,063
	Al 600 ppm	3,477	5,910 ^a	4,915	3,872
	Al 900 ppm	3,491	5,811 ^b	4,761	4,019

Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level into one cultivar according to DMRT.

^b Days after treatment of Al.

되었다.

Fe와 Mn은 無處理에 비해 Al의 濃도가 增加할수록 急激한 增加를 보였는데 이는 Haynes⁴⁾가 Al의 濃도가 增加할수록 Ca와 Mg의 濃도가 急激히 減少한 反面에 相對的으로 Fe와 Mn含量은 增加하였다는 報告와 類似한 結果를 보였다.

5. 遊離 proline 含量

벼 品種間 Al 濃도에 따른 遊離 proline 含量의 變化를 살펴 보면 表 5와 같다. 일품벼의 경우 無處理에 있어서는 發芽日數別 差異를 보이지 않았으나 發芽後 1日째는 Al의 濃도가 增加함에 따라 有利 proline의 含量도 增加하였으며 特히 發芽後 3日째에는 急激한 含量의 增加를 보였는데 이는 Kim et al.¹¹⁾이 벼 種子에 kinetin 浸種處理時 구리 60ppm에서 發芽後 3日째 急激한 含量의 增加를 보였다는 報告와 類似하였다. 한편 發芽後 5日과 6日째에는 3日째보다 다소 減少하는 傾向이었는데 이는 향미벼 1호의 경우도 이와 類似한 結果를 보이는 것으로 나타났다.

摘 要

本 實驗은 벼 種子에 Al을 0, 300, 600 및 900ppm으로 處理하여 發芽中 Al에 對한 벼의 草長, 根長, 發芽率 等の 生育特性, 葉綠素 含量, 澱

粉, 糖 및 遊離 proline含量 等の 變化를 일품벼와 향미벼 1호를 供試하여 檢討한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 草長과 根長은 Al의 濃도가 增加할수록 伸長이 減少하였는데 뿌리의 伸長抑制가 보다 顯著하였다. 發芽率은 일품벼와 향미벼 1호 모두 Al의 濃도가 增加함에 따라 發芽率의 急激한 減少를 보였다.
2. 葉綠素 含量은 品種間 뚜렷한 差異를 보였고 두 品種 모두 Al의 濃도가 增加할수록 含量이 減少하는 傾向을 보였다.
3. 식물체의 澱粉과 糖含量은 Al 처리시 對照區에 비해 含量이 減少하였다.
4. 植物體의 重金屬과 無機成分의 含量은 일품벼에 있어 無處理보다 Al의 濃도가 增加함에 따라 Al 600ppm까지는 植物體內의 重金屬 蓄積이 增加하다가 Al 900ppm에서는 오히려 減少하는 傾向을 보였고, Ca, Mg, Fe 및 Mn의 植物體內의 含量은 두 品種 모두 Al 處理時 無處理에 비해 Al 處理時 急激한 增加를 보였다.
5. 無處理에 있어서는 發芽日數別로 proline 含量이 差異가 없었으나 Al 處理의 경우 發芽後 1日째는 Al의 濃도가 增加함에 따라 遊離 proline의 含量도 增加하였고 特히 處理後 3日째에는 急激한 含量의 增加를 보였다.

LITERATURE CITED

1. Bates L.S. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39:205-207.
2. Bingham F.T, Page A.L, Mahler R.J and Ganja T.J. 1975. Cadmium accumulation of plant grown on a soil treated with a cadmium-enriched sewage. *J. Environ. Qual.* 4:207-211.
3. Chaney R.L. 1978. Crop and food effects of toxic elements in sludge and effluents in recycling municipal sludges and effluent on land. *Nat. Assoc. State Univ. and Land-Grant Colleges*, Washington D.C. 129-141.
4. Cock J.H, Gomez K.A, Yoshida S and Forno D.A. 1976. Laboratory manual for physiological studies of rice. Vol. 3. IRRI. Los Banos, Philippines. pp. 43-49.
5. Haynes R.J. 1982. Effects of liming on phosphate availability in acid soils. *Plant and Soil* 68:289-308.
6. Institute of Agricultural Science RDA. 1985. Injury analysis of crops in environmental pollution. pp. 12-13.
7. Kim B.J. 1987. Studies on the effects of several amendments on the uptake of Cd, Cu, and Zn by rice plant. *Korean J. Environ. Agric.* 6(1):25-30.
8. _____, Ha Y.L, Kim J.O and Han K.H. 1978. Influence of toxic heavy metals on germination of rice seeds and growth of rice seedling. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 11(2):119-126.
9. Kim J.O, Ha Y.L and Kim B.J. 1978. Studies on the effects of irrigation control and gypsum on the Cd uptake by different species of rice plant. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 11(2):113-118.
10. Kim K.S. 1980. Effect of Gypsum treatments on Cd uptake of rice plant in paddy soils. *Chungbuk National Univ.* 6:179-190.
11. Kim S.K, Lee S.C, Min G.G, Lee S.P and Choi B.S. 1996. Effects of seed soaking of kinetin on alleviating copper toxicity during germination in rice. *Korean J. Crop Sci.* 41(4):465-474.
12. Kirkham M.B. 1975. Uptake of cadmium and zinc from sludge by barley grown under from different sludge irrigation regimes. *J. Environ. Qual.* 4:423-426.
13. Mengel J and Kirkby E.A. 1987. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Bern, Switzerland. pp. 592-593.
14. Sato Tadashi. 1993. Collection, conservation and evaluation of rice genetic resources. *J. of Plant Biology*, symposium. 48-58.
15. Sohn T.K. 1992. Biochemical effects of ABA and GA₃ on the growth of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. Dept. of Agronomy, Coll. of Agric., Kyungpook National Univ. pp.10-12.
16. Suzuki S, Diuangsih N, Hyodo K and Soemarwoto O. 1978. Cadmium, copper, and zinc in rice produced in Java. *Ecology and Development* 6. Inst. Ecology, Padjadaran Univ. Bandung, Indonesia. pp. 29
17. Tsuchiya K. 1969. Causation of auch-auch disease, Part I, Nature of the disease. *Keio J. Med.* 18:181-194.