

土壤中 砒素의 行動과 水稻의 砒素吸收에 依한 被害生理 生態에 關한 研究

Ⅲ. 물管理가 水稻의 砒素吸收 및 生育에 미치는 影響

李 敏 孝** · 林 秀 吉*

(1986. 9. 15 접수)

Behaviors of Arsenic in Paddy Soils and Effects of Absorbed Arsenic on Physiological and Ecological Characteristics of Rice Plant

Ⅲ. Effect of Water Management on As Uptake and the Growth of Rice Plant at As Added Soil

Min Hyo Lee**, Soo Kil H. Lim*

Abstract

A pot experiment was conducted to find out the effect of water management on the growth and uptake of arsenic and inorganic nutrients of rice plant at As added soil.

The arsenic were added to soil at the levels of As 0, 10, 50, 100 and 150 ppm, respectively. Water management was done with two ways: intermittent irrigation from ten days after transplanting, and continuous submersion until harvest.

Higher soil As levels increased As content in plant but reduced growth rate. Arsenic content in plant was considerably reduced with intermittent irrigation compared to continuous submersion. Rice growth showed also same trend.

With increasing As levels in soil, N content in plant was increased but P, K, Ca, Mg, SiO₂, Fe and Mn content in plant were tend to be decreased. These inorganic nutrients in plant were also much absorbed in continuous submersion compared to intermittent irrigation.

Soil pH was slightly increased with increasing As levels in soil while soil Eh has no relationship with soil As levels. On the other hand, soil pH was higher in the treatment of continuous submersion than that of intermittent irrigation but soil Eh showed reverse trend.

With increasing As levels in soil, water soluble-As and Ca-As fractions in soil tend to be increased with continuous submersion, but these fractions has no tendency with intermittant irrigation.

*高麗大學校 農科大學 (College of Agriculture, Korea Univ., Seoul, Korea)

**農業技術研究所 (Institute of Agricultural Sciences, Suweon, Korea)

序 論

自然中에 存在하는 砒素는 $-3, 0, +3, +5$ 價^(1,2)로 알려져 있으나 一般的으로 많이 存在하는 形態는 5價이며 土壤이 還元時 生成되는 As^{+3} 는 酸化狀態의 As^{+5} 에 比하여 溶解度가 4-10倍 더 높아 作物에 對한 毒性도 As^{+3} 가 As^{+5} 보다 더 크다고 하였다⁽³⁾.

한편 砒素는 土壤中에서의 行動樣狀이 磷酸과 類似하며 土壤에 存在하는 砒素는 1/3이 置換態로 되어 있고 此外 大部分은 Fe, Al 및 Ca이온과 結合하여 複雜한 化合物을 形成하며⁽⁴⁾ 植物에 對한 毒性은 土壤中 水溶性 砒素含量程度에 따라 크게 좌우된다고 하였다^(5,6).

前報에서는 土壤에 砒素를 濃度別로 處理하고 물管理를 常時澆水 條件으로 하여 水稻를 栽培했을 때 土壤別 水稻 生育 및 砒素吸收 程度를 調査한데 이어 本報에서는 物管理를 調節하여 土壤의 酸化, 還元程度를 달리함으로써 水稻의 砒素被害 輕減效果를 究明하고자 物管理를 常時澆水와 間斷澆水로 處理하여 植物에 吸收되는 砒素含量과 生育程度를 調査하고 아울러 物管理에 따른 土壤中 砒素의 形態別 含量分布와 植物의 砒素吸收 및 生育과의 關係를 함께 檢討하여 얻은 몇 가지 結果를 報告코져 한다.

材料 및 方法

1. 供試土壤

水原市 塔洞에 위치한 奮土壤(新興統)의 表土를 使用하였으며 그의 化學的 性質은 表 1과 같다.

2. 砒素의 土壤處理 및 水稻栽培方法

風乾시킨 土壤 3.5kg에 砒素를 重量比로 0, 10, 50, 100, 150 ppm이 되게 $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$ 로 各各 處理하고 다시 窒素, 磷酸, 加里를 成分量으로 15 : 9 : 10 kg/10a의 2倍量을 尿素, 過石, 鹽化加里로 1.02g, 2.8 g, 0.73g/pot 施用하여 土壤과 잘 混合한 後 1/5000 a wagner pot에 各各 充填시키고 澆水하였다. 追肥는 移秧後 15日에 尿素 0.61g을 施用하였다. 供試作物로 水

稻(曙光벼)를 澆水後 5日에 35日苗를 4株 1本씩 1984年 6月 30日에 移秧하여 45日間 栽培하였으며 處理當 3反覆으로 試驗을 遂行하였다. 物管理는 常時澆水區와 間斷澆水區로 두었으며 間斷澆水區는 移秧後 15日부터 表層(5cm-10cm)의 水分含量이 平均 9% 될 때까지 斷水하였다.

3. 水稻體의 砒素含量 및 無機養分 含量分析

根과 莖葉에서의 砒素含量分析은 第二報인 砒素의 土壤處理에 依한 水稻의 砒素吸收 및 生育에 미치는 影響에 관한 試驗과 同一한 方法으로 行하였으며 이들 部位別 無機成分含量分析은 試料를 濕式分解하여⁽⁷⁾ 窒素는 Kjeldahl法으로, 磷酸은 Ammonium vanadate로 發色시켜 比色定量하였으며 칼리, 칼슘, 苦土, 鐵 및 망간은 原子吸光分析法으로, 硅酸은 重量法으로 各各 測定하였다.

4. 土壤中 砒素形態別 含量分析 및 土壤 pH, Eh測定

土壤中 砒素形態別 含量分析은 風乾시키지 않은 포트內의 土壤 3g을 100ml 遠心分離管에 秤取하고 第一報의 土壤中 砒素分別定量法에 準하여 浸出된 液을 ICP法⁽⁸⁾과 AgDDC法⁽⁹⁾으로 砒素含量을 各各 測定하였으며 별도로 砒素分別定量을 위해 使用된 同一量의 土壤을 105°C에서 2時間 乾燥하여 水分含量을 求하여 砒素含量을 算出하였다.

土壤 pH는 meter (Fisher-42型)를 使用하여 硝子電極法으로 測定하였으며 土壤 Eh는 白金電極을 포트의 一定部位에 꽂고 Eh meter로 測定하여 溫度를 補正하였다.

結果 및 考察

1. 水稻體의 砒素吸收

物管理 方法에 따른 水稻體의 砒素吸收 程度를 究明하기 위하여 水稻를 間斷澆水 및 常時澆水 處理하여 栽培한 結果는 表 2와 같이 常時澆水區가 間斷澆水區에 比해 莖葉 및 根中 砒素含量이 높았으며 土壤中 砒素處理濃도가 높아질수록 이들 두처리 모두 根中 砒素含量은 크게 증가하였으나 莖葉中 砒素含量은 土壤中

Table 1. Some chemical characteristics of soil used

pH (1 : 5H ₂ O)	O.M (%)	CEC (me/100g)	av. P ₂ O ₅ (ppm)	Exch. cations (me/100g)			Texture
				K	Ca	Mg	
5.7	2.1	10.7	71	0.28	3.9	1.4	Loam

Table 2. Arsenic contents in the shoots and the roots of rice plants with different As levels and water managements at 45 days after transplanting

(unit: ppm)

As treatment (ppm)	Intermittent irrigation		Continuous submersion	
	Shoot	Root	Shoot	Root
0	0.17	17.9	0.19	12.6
10	1.16	23.4	2.86	170.4
50	2.83	94.9	6.84	700.1
100	6.64	170.4	16.9	958.6
150	5.13	375.7	14.9	1038.8

砒素 100 ppm 濃度까지는 그 含量이 增加하나 그 以上の 濃度에서는 減少되었다. 이와같이 常時灌水區가 間斷灌水區에 比해 植物體中 砒素含量이 높은것은 田中等⁽⁹⁾ 및 岩村等⁽¹⁰⁾의 水稻體 砒素吸收는 常時灌水區가 間斷灌水區 보다 크게 높았다는 報告와 一致하며 이는 土壤中 砒素가 酸化狀態에서는 As^{+5} 로 存在하나 還元狀態에서는 As^{+3} 에 比해 溶解度가 높은 As^{+3} 로 變하면서^(2,3) 植物에 吸收되기 容易한 狀態로 되었기 때문으로 생각된다.

또한 土壤中 砒素處理 濃도에 따른 植物體 根 및 莖

葉中 砒素含量은 第 2 報에서 水稻體 部位別 砒素含量과 類似的한 傾向으로 土壤中 砒素濃度가 높아짐에 따라 根中 砒素含量은 크게 增加하나 莖葉中 含量은 土壤中 砒素濃度가 100 ppm 以上에서 減少하는 것은 根의 砒素 過多蓄積에 依한 根의 機能弱화에 기인되는 것으로 思料된다.

2. 水稻生育 및 體內 無機養分含量變化

砒素處理濃度別 水稻의 生育沮害 程度는 그림 1에서와 같이 土壤中 砒素濃度가 增加됨에 따라 乾物生産率

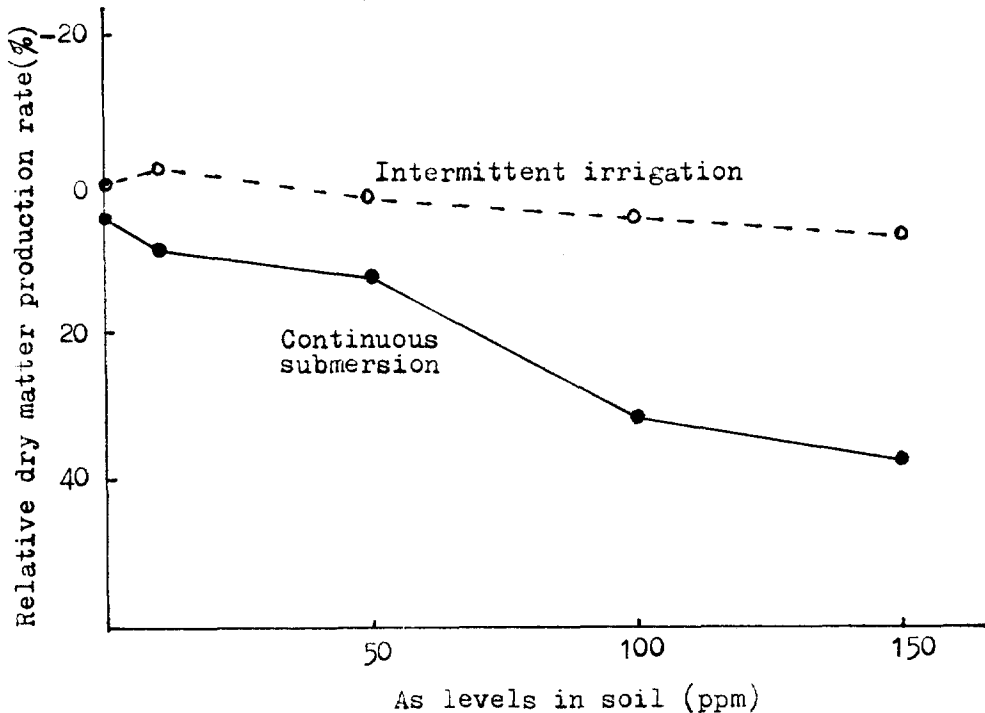


Fig. 1. Changes of relative dry matter production rate with different soil As levels and water managements at 45 days transplanting

Table 3. Inorganic nutrient contents in shoots and roots of rice plant with different Soil As levels and water managements at 45 days after transplanting

Water manag.	Plant organ	As treat. ($\mu\text{g/g}$)	N	P	K	Ca	Mg	SiO ₂	Fe	Mn
			%						ppm	
Intermittent irrigation	Shoot	0	1.09	0.25	2.50	0.21	0.22	2.73	307.7	1184.2
		10	1.04	0.23	2.42	0.23	0.21	2.68	276.5	1118.4
		50	1.07	0.23	2.41	0.20	0.20	2.76	370.6	994.2
		100	1.18	0.23	2.30	0.16	0.19	2.92	435.3	712.0
		150	1.25	0.20	2.38	0.16	0.19	2.56	288.3	707.8
	Root	0	0.76	0.17	1.50	0.12	0.19	6.80	5354	475.2
		10	0.64	0.18	1.26	0.19	0.18	6.05	4935	492
		50	0.75	0.15	1.26	0.07	0.18	11.6	4516	413
		100	0.82	0.15	1.11	0.05	0.17	11.0	4612	380
		150	0.88	0.16	1.12	0.05	0.15	12.0	4419	390
Continous Submersion	Shoot	0	1.18	0.30	2.53	0.24	0.24	3.56	494	1703
		10	1.27	0.29	2.52	0.27	0.24	3.41	454.2	1538
		50	1.36	0.25	2.40	0.24	0.24	3.25	405.9	1111
		100	1.38	0.23	2.61	0.22	0.22	3.10	552.9	1169.6
		150	1.44	0.20	2.36	0.22	0.21	2.61	447.1	804.1
	Root	0	0.60	0.22	1.14	0.09	0.17	26.14	13064	504
		10	0.58	0.23	1.25	0.07	0.19	25.12	12581	425
		50	0.80	0.22	0.93	0.14	0.16	12.08	16451	586
		100	0.81	0.21	0.68	0.12	0.09	10.1	9355	420
		150	0.82	0.21	0.67	0.16	0.10	9.0	12839	542

Above results mean average of 3 replications.

은 낮아졌고 間斷灌水區에 비해 常時灌水區에서 더 크게 낮아졌다. 이와같이 間斷灌水區에 비해 常時灌水區에서 乾物生産量이 크게 낮은 것은 이들 處理間植物體 砒素吸收程度의 差異에 기인된 것으로 생각된다.

土壤中 砒素濃度の 增加에 따른 根 및 莖葉中 無機 養分含量은 表 3과 같이 常時灌水區가 間斷灌水區에 비해 이들 無機養分含量이 全般的으로 높은 편이며 土壤中 砒素濃도가 增加함에 따라 窒素는 이들 두 處理 모두 根 및 莖葉에서 그 含量이 增加하나 그外 成分들은 減少하는 傾向이며 이중 P, K, Ca, Mg 成分들은 그 含量이 뚜렷이 減少하였다. 이와같이 土壤中 砒素濃도가 增加됨에 따라 植物體中 大部分의 無機養分含量이 減少되는 것은 水稻根의 砒素 過多蓄積에 의한 根의 養分吸收障害現象으로 보여지며 이와는 달리 窒素는 土壤中 砒素濃도가 增加됨에 따라 根과 莖葉에서 그 含量이 모두 增加하는 것은 窒素는 土壤 및 植物體中에서 加里와 서로 拮抗作用^(11,12)을 하기 때문에 본

試驗에서도 土壤中 砒素濃도가 增加됨에 따라 加里 含量이 뚜렷이 減少하므로써 窒素는 그 含量이 오히려 增加된 것으로 보인다.

한편 土壤中 砒素濃度の 增加에 따른 莖葉中 이들 無機養分含量은 一部 成分을 除外한 大部分이 뿌리에서 吸收한 含量에 比例하여 增加하는 傾向이었다.

3. 土壤 Eh 및 pH

물管理 및 土壤中 砒素濃도에 따른 土壤 Eh 및 pH는 表 4와 같이 土壤 Eh는 間斷灌水區에 비해 常時灌水區에서 크게 낮았으며 砒素處理濃도에 따라서는 두 處理 모두 뚜렷한 傾向은 없었다. 한편 土壤 pH는 間斷灌水區에 비해 常時灌水區에서 多少 높았으며 土壤中 砒素濃度の 增加에依해서도 多少 높아지는 경향이 있었다. 이와같이 土壤中 砒素濃度の 增加에 따라 土壤 pH가 다소 높아지는 것은 土壤에 處理한 砒素가 Na鹽으로 土壤中에서 Na가 As와 解離되면서 結合한 OH

Table 4. Redox potential and pH in soil with different water managements and soil As 45 days after transplanting

As treatment (ppm)	Intermittent irrigation		Continuous Submersion	
	Eh	pH	Eh	pH
0	460	6.30	-20	6.80
10	410	6.32	-20	6.87
50	420	6.45	-30	6.89
100	500	6.52	-35	6.92
150	425	6.60	-30	6.97

의 再解離에 의해서 pH가 상승한 것이 아닌가 推定된다.

4. 土壤中 無機態 砒素의 形態別 分布

移秧後 45日에 水稻體를 收穫한 後 pot 狀態의 土壤으로 土壤中 無機能 砒素를 分別定量하였으며 그림 2는 土壤中 砒素濃度와 水管理에 따른 無機態砒素의 分布 程度를 나타내었다.

土壤中 砒素濃度가 增加함에 따라 水溶性 砒素는 間斷灌水區에서는 土壤中 砒素 150 ppm區에서만 微量이 分布하고 있는 反面 常時灌水區에서는 그 分布比가 土壤中 砒素濃度가 增加함에 따라 점차 增加하고 있으며 또한 Ca-As는 間斷灌水區에서는 別다른 傾向이 보이지 않으나 常時灌水區에서는 그 分布比가 增加하였다. 한편 Al-As와 Fe-As는 土壤中 砒素濃度와 水管理에 따

라 別다른 傾向이 없었다.

小山等⁽¹³⁾은 灌水狀態로 水稻를 栽培한 後 土壤中 無機態砒素의 分布를 調査한 結果 Ca-As는 土壤中 砒素濃度가 增加함에 따라 그 分布가 增加한 反面 Al-As와 Fe-As는 土壤中 砒素濃度와 別다른 關係가 인정되지 않았다고 하였으며 本 試驗에서도 같은 傾向을 나타내었다. 한편 作物의 砒素吸收 및 生育에 가장 큰 影響을 주는 水溶性 砒素(Ws-As)^(5,6)는 土壤中 砒素濃度가 增加함에 따라 常時灌水區에서는 그 分布가 增加한 反面 間斷灌水區에서는 高濃度區에서만 微量存在하는 것은 土壤中 砒素는 酸化狀態에서는 溶解度가 比較的 낮은 As⁵⁺로 存在하나 還元狀態에서는 溶解度가 높은 As³⁺로 轉換되기 때문으로 생각된다.

要 約

물관리 方法에 따른 水稻의 砒素吸收 및 生育에 미치는 影響을 究明하기 爲해 土壤에 砒素의 濃度를 달리하고 水管理를 常時灌水와 移秧後 10日 부터 間斷灌水하여 試驗한 結果는 다음과 같다.

- 1) 水稻體의 砒素吸收는 土壤中 砒素處理區 모두 常時灌水區에 비해 間斷灌水區에서 뿌리 및 莖葉中 砒素含量이 크게 抑制되었고 水稻의 生育도 常時灌水區에 비해 間斷灌水區에서 그 被害가 크게 輕減되었다.
- 2) 土壤中 砒素濃度가 增加할수록 莖葉 및 뿌리中 無機成分含量은 크게 減少하는 傾向이나 窒素含量은 增加되었으며, 間斷灌水區에 비해 常時灌水區에서 이

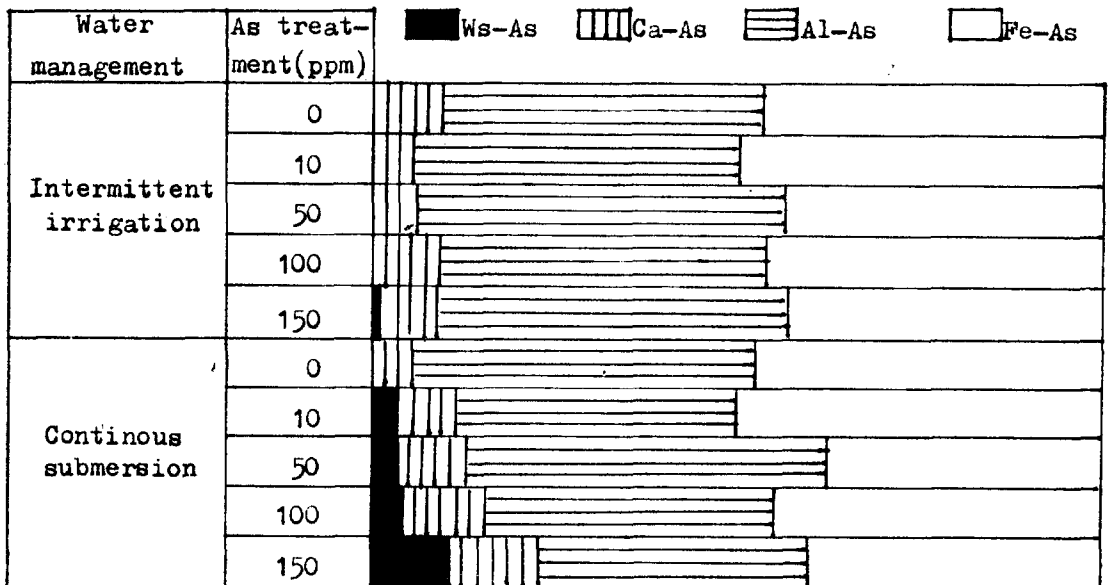


Fig. 2. Distribution of As fractions of soil with different As levels and water managements

들 無機養分含量은 더 높았다.

3) 土壤中 砒素濃度가 增加함에 따라 土壤 pH는 增加하는 傾向이나 土壤 Eh는 別차이가 없었으며, 常時 湛水區에서는 間斷湛水區에 比해 土壤 pH는 높아지나, 土壤 Eh는 낮아졌다.

4) 물管理에 依한 土壤中 砒素形態別 分布는 土壤中 砒素濃度가 높아짐에 따라 常時湛水區에서는 水溶性 砒素(Ws-As)와 Ca-As가 增加하는 傾向이나 間斷湛水區에서는 別다른 傾向이 없었다.

參考文獻

1. Canje, T.J., and D.W. Rains. (1982) : Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Second edition. P. 1385
2. Albert, W.B., and C.H. Arndt. (1932) : The concentration of soluble arsenic as an index of arsenic toxicity to plants. South Carolina Agr. Exp. Sta. Ann. Rep. 44, 47
3. Brenchley, W.E. (1914) : On the action of certain compounds of zinc, arsenic, and boron on the growth of plants. Ann. Bot. 28, 283
4. Misra, S.G., and R.C. Tiwari. (1963) : Studies on arsenite-arsenate system: Adsorption of arsenate. Soil Sci. Plant Nutr. 9, 10
5. Greaves, J.E. (1934) : The arsenic content of soils. Soil. Sci. 38, 355
6. Huang, P.M. (1975) : Retention of arsenic by hydroxy-aluminium on surfaces of micaceous mineral colloids. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39, 271
7. 栽培植物分析測定法(1976) : 作物分析法 委員會編, p. 188
8. 조태형, 정갑수, 손성완, 박근식, 박종명(1984) : 가금사료중의 유해물질 잔류량조사. 가축위생연구보고서, p. 7
9. 田中彰, 上田弘美, 西尾 一雄(1976) : 水稻に 對する 公害に 關する 研究, 第10報, ひ素, カドミウムにおぼす 影響について 鳥取縣 農業試驗場報告, 16, 33
10. 岩村 紅美子(1976) : 農作物의 砒素吸收と 砒素障害對策に 關する 研究, 神奈川縣 農業總合研究所報, 116, 87
11. 李敏孝, 金奎植, 金福榮(1985) : 畜産廢水에 對한 水稻被害 輕減試驗, 農技研報告書(化學部編) p. 32
12. 山崎傳, 1969. 微量要素と多量要素, 博文社, p. 56
13. 小山雄生, 栗野 博夫, 澁谷 政夫(1976) : 土壤中의 Asと 水稻生育との 關連に 關する 研究(第一報) —As 化合形態と 水稻生育阻害について—. 日土肥誌. 47(3), 85