

作物의 一次的 災害防止 要件으로서의 多要因 均衡調節 概念

朴 天 緒*

Multifactor Balance Concept as a Primary Countermeasure for Environmental Stresses of Crops

Chon Suh Park*

ABSTRACT

The primary countermeasure for environmental stresses of crops grown in Korea would be to maintain top soil content of available B for upland crops and Si for low land rice in balance with other nutrient elements such as N, P and K, so as to maintain those nutrient balances in plants. Development of standard levels of elements in soils for balances uptake of those elements by plants are needed under the multinutrient factor balance concept using the soil test results.

緒 言

우리나라에서의 3要素 肥料 需給狀況은 1968年 自給率 38%에 不過하던 것이 1981년에는 加里肥料을 除外한 需要肥料의 全量을 自給하기에 이르렀고 1982年 以後에는 國內肥料工業의 活潑한 發展에 힘입어 需要量의 50~100%를 超過生産 輸出하기에 이르렀다.¹⁴⁾ 이에 따라 政府統制下에서 農業協同組合이 一定價格에 引受 適正價格으로 農協組織網을 通해 農家에 供給하던 肥料供給體系가 不遑間 自由販賣制度로 轉換될 段階에 있다.^{12,13)} 肥料의 自由販賣制度가 實現되면 값싼 肥料가 充分量 供給될 展望이어서 限定된 耕地에서 所得이 높은 作物을 連作하여 所得을 높이고자 하는 農家에서는 자칫 過用으로 因한 環境災害의 愚慮가 커질 것으로 豫想된다. 即 3要素 施肥量이 增大하면 이들 成分中의 一部는 耕土層에 過多集積되어 水質이나 土壤의 汚染源이 될 뿐 아니라 土壤中에서의 供給에 依 存度가 높은 加里, 珪素 및 各種 微量元來의 供給은 보다 큰 制限要素가 되어 作物의 健全한 生育을 阻 害할 憂慮가 크다. 作物體가 強健하지 못하면 病蟲 害나 氣象災害는 보다 甚化될 것이며 이에 對處하기

위해 보다 많은 投資를 要할 뿐 아니라 品質도 低下 되어 農家所得增大에 적지 않은 障礙가 될 것이며 生産環境이나 生活環境도 크게 損傷시킬 憂慮가 크다. 일단 損傷된 環境을 復舊하는에는 실로 많은 時間과 投資가 所要된다는 것을 認識한다면 보다 科學的인 施肥管理技術을 開發 實踐할 수 있게 하므로 서 耕土層에 無機成分의 不足이나 過多蓄積이 일어 나지 않게 하는 것이 當面 要件이라 하겠다.

本論에서는 우리나라 耕地에서 供給되는 量이 全 般的으로 不足한 것으로 알려져 있는 田作地의 礫 素와 畚作地의 珪素를 中心으로 이들 成分의 植物體 內에서의 生理的 役割에 關한 國內外 研究 結果를 要約 提示하고 이들 役割과 作物災害 誘發과의 關聯 性을 檢討한 다음 이들 成分의 不足에 對處한 보다 科學的인 方案에 對한 所見을 提示해 봄으로서 作物 災害研究에 多少나마 參考가 되기를 바라마지 않는다.

本 論

우리나라 既耕地에서 供給되는 無機植物 營養成 分中 3要素 成分 外에 크게 不足되는 것은 田作地 에서는 礫素(B)³⁶⁾ 畚作地에서는 珪素(Si)³⁷⁾ 로

* 麥類研究所(Wheat and Barley Research Institute, RDA, Suwon 440-440, Korea)

알려진지 오래 되었다. 이 두 성분은 흔히 植物體 내에서 特定有機化合物을 構成하는 成分元素가 아니면서도 植物體의 健全한 生育에 至大한 影響을 미치는 共通點을 가지고 있으며 이런 點에서는 3要素 成分의 하나인 加里(K) 成分과도 같다. 그러나 加里成分은 植物體內 各種 酵素活性和 關聯이 있다는 것이 많이 研究되어 있지만 B와 Si에 關해서는 世界的으로 研究가 不進한 狀態에 있으며 이는 그 不足程度가 K成分만큼 深刻하지 않기 때문일 것이다. 有機化合物의 組成成分이 아닌 이런 成分들의 또하나의 共通點은 K成分의 경우와 같이¹⁸⁾ 各種 環境災害에 對한 抵抗性を 增大시켜 보다 健全한 植物生育에 큰 役割을 한다는 事實이 우리나라에서도 많이 알려져 있다. 따라서 有效 B와 Si의 天然供給량이 極히 限定되어 있는 우리나라에서 農業研究者들에게 特히 作物의 災害生理研究에 興味를 가진 이들에게는 이들 成分의 植物體內的 役割이나 環境災害와의 關聯성에 크게 關心을 모아 봄직한 價値가 있고 이를 契機로 하여 世界的인 새로운 知識을 發掘할 수도 있을 것이다.

1. 硼素(B)와 作物災害와의 關聯性

가. 有效硼素의 天然供給能

土壤中の 總 硼素含量은 20 ~ 200 ppm 範圍에 있으나 植物이 吸收利用할 수 있는 有效硼素는 熱水可溶硼素로서 0.4 ~ 5.0 ppm 範圍에 있다고 하며⁹⁾ 一般作物의 健全生育에 所要되는 有效土壤 硼素含量은 0.5 ppm 内外라 한다.⁴⁾

有效硼素의 形態는 주로 $B(OH)_3$ (硼酸)이며 이것은 一般的 土壤酸度 範圍에서는 解離되지 않기 때문에 土壤膠質物에 吸着이 어렵고 따라서 溶脫이 容易하여 우리나라와 같은 濕潤地帶에서는 不足되기 쉽고 砂漠地帶와 같은 乾燥地域에서는 表層土에 過多集積되어 作物生育에 有害할 수도 있다. 이것은 硼酸이 水溶液中에서 OH^- 의 受容體로 作用하여 $B(OH)_4^-$ 와 H^+ 로 解離하며 이때의 解離恒數가 9.0으로서 매우 커서 pH 값이 높아야만 陰이온으로 土壤에 吸着이 可能하기 때문이다.³⁴⁾ 即 $B(OH)_4^-$ 의 吸着量은 pH 9.0일 때 最高에 이르며¹⁵⁾ $H_2PO_4^-$ 나 HSO_4^- 의 吸着에서와 같이 土壤粒子나 化合物의 吸着表面의 OH基와 置換, 固定되는 것으로 짐작되고 있다. 即, OH^- 의 濃도가 높은 媒質에서는 Borate-Diol 複合體로 吸着 固定되어 作物에 B不足을 誘發할 憂慮가 있다는 것이다.⁵⁷⁾ 또 有機物含量이 많

은 土壤에서는 一般的으로 硼素供給量도 많은데 이는 有機物 表面의 $-COOH$ 基가 硼酸을 縮合 保存할 것이기 때문일 것이라 한다.^{29, 54)} 이와같은 有效硼素의 動態는 우리나라 調查 結果³⁶⁾에서도 짐작할 수 있으며 우리나라 田作地의 有效硼素가 不足한 것도 其 環境條件에서는 當然하다 하겠다. 이때문에 우리나라에는 오래전부터 硼素不足症이 많았을 것이나 처음으로 報告된 것이 1917년의 사과와 縮果病³²⁾일 것이다. 그러나 보다 科學的으로 縮果病의 原因이 硼素缺乏症이라고 確認된 것은 1940년대初 罹病사과의 葉分析 結果일 것이다(李春寧, 日本 九州大學 卒業論文, 1967, 著者와의 對談에서).

우리나라에서는 春秋季에는 매우 乾燥한 것이 常例이며 春季에 出穗 登熟하는 보리의 異常不稔現象으로 여겨지는 “벌보리”의 發生이 알려져 있었으며 이것이 硼素缺乏症으로 確認된 것^{11, 35)}은 1960年前後라 하겠다. 即 오래전부터 “벌보리”라는 말로 전해지던 部分的 不稔現象이 거의 보리이삭의 全部가 不稔現象으로 나타나서 그 原因을 究明해야만 할 必要가 있게 되었고^{11, 35)} 그후 全國 規模의 有效硼素含量 調查³⁶⁾ 契機가 되었다. 보리의 部分的 不稔現象인 “벌보리”는 주로 春季의 早拔被害에 起因된 B缺乏이었고 1960年代 前後의 極甚한 不稔現象의 出現은 石灰質肥料과 3要素 肥料의 充分한 施用과 아울러 早拔被害까지 複合되어 일어난 極甚한 B缺乏 現象이었다 하겠다. 이와 같이 B要求量이 가장 적은 作物에 屬하는 보리에서조차 強酸性 土壤을 改良하기 爲한 石灰施用과 3要素의 適量施用으로 極甚한 B不足 現象을 보인 點에서 B要求量이 가장 많은 作物에 屬하는 사과를 비롯한 거의 모든 田作物에 B缺乏이 問題될 것이기 때문에 全國 各地 262個 農家圃地 試料에 對한 熱水可溶硼素를 分析하였고 그 結果 全國의 有效硼素含量 範圍는 0.01 ~ 0.59 ppm이었으며 平均 0.147 ppm에 不過했고 모든 田作物에 安全한 含量 水準이라고 알려진 0.5 ppm⁴⁾ 以上은 3個 圃場 뿐이어서 거의 99%의 田作地가 B缺乏地라고³⁶⁾ 判斷되었다. 그後 여러 田作物에 對한 B缺乏症이 報告되었고^{25, 26, 27, 48)} 硼素含有肥料의 公定規格이 告示되어 現在 生産 供給되고 있다.¹⁴⁾

그러나 이들 含硼素肥料의 보다 安全하고 科學的인 施肥技術의 開發普及은 아직 未洽한 狀態에서 各種 作物 生育環境 變化에 對한 科學的 對應策은 앞으로의 研究에 期待할 수밖에 없다. 이와 같은 科學

의 對應策은 植物體에 出現되는 異常現象의 窮極의 原因을 把握하고 關聯成分의 植物體內 含量, 他成分과의 均衡, 그리고 植物體에 吸收되는 過程에서의 耕土中の 含量과 其他 共存成分들과의 拮抗 및 相助作用 등이 보다 具體的으로 把握될 必要가 있다. B의 供給이 全般的으로 不足한 우리나라에서는 災害研究에 있어서 B의 不足對應策이 第一次의 課題라고 하겠다.

나. 植物生理面에서의 硼素의 役割

有效硼素의 形態는 $B(OH)_3$ 라 하지만 그 吸收機作은 아직 分明치 못하다. 많은 이들이 B는 植物根에 受動的으로 吸收되어 water free space나 細胞壁에서 複糖類와 複合體를 形成함으로써 可逆的 吸着이 일어날 뿐이며 能動的으로 吸收된다 해도 그 量은 極微量에 不過할 것으로 믿고 있다.³⁰⁾ 이것은 B의 植物體內 集積部位가 下位보다는 上位組織 部位이고 組織間 移動이 極히 어려워서 缺乏症狀은 恒常 生長點에서만 出現된다는 이러한 點에서 B는 蒸散流에 실려 導管을 통해서 受動的으로 吸收 移動되는 것이라 判斷되기 때문이다. 그러나 棉花에서는 篩管을 통한 移動도 可能하다³¹⁾는 報告가 있으므로 作物別로 吸收經路를 研究해 볼 必要가 있다.

B의 植物體內 吸收集積量은 花粉, 柱頭 子房 等 生殖器官에 많아서 莖葉部位의 約 2倍나 많은데 이것이 生長點이기 때문인지 또는 이 部位의 B要求量이 많은 것인지는 아직 分明치 않다. 이것은 B가 必須元素로 알려지진 半世紀가 넘도록 生理代謝에서의 B의 一般의 機能이 아직 分明해지지 못했으며 菌類나 藻類와 같은 通導組織이 없는 微生物에서는 B의 必須性에 對한 證據가 아직 없을 뿐 아니라 오히려 代謝活動을 抑制하는 現象을 보이는 수도 있다.³²⁾

B의 生理的 役割에 關한 古典의 概念으로서 B가 高度의 極性인 糖類分子와 結合함으로써 非極性화시켜 糖의 膜質 通過를 促進시킨다는 것³³⁾이 있으나 轉移가 容易한 糖으로 밝혀진 蔗糖과 B와의 反應이 極히 微微하다는 點에서 現在는 B가 蔗糖合成과 有關하다고 믿고 있다.³⁴⁾

近來에는 新生分裂組織에서 活潑한 核酸代謝, 炭水化合物合成, 光合成, 蛋白質代謝 細胞膜質의 正常化面에서의 B의 生理的 役割을 찾고자 하는 傾向이 두드러지다. 이는 B缺乏症狀이 根端이나 植物體 上端의 新生分裂組織의 發育阻害로 나타나기 때문이다. 即, Albert¹⁾는 B가 RNA의 必須組成成分인 uracil

과 같은 N-base 合成에 關與한다 하고 Birumbaum 等⁵⁾은 uracil의 生合成 中間生成物인 erotic acid나 uracil 自體를 B缺乏植物에 添加하여 症狀發見이 輕減되는 事實을 報告함으로써 B가 核酸代謝에 關與한다는 有利한 證據를 提示했다. 한편 Hundt 等¹⁷⁾은 B缺乏 해바라기의 核酸에 P-32가 結合하지 못하는 事實에서 B가 核酸代謝에 關與함을 確認했다.

Uracil은 Ribosome과 같은 RNA 組成成分을 生成하는데 必須成分일 뿐 아니라 蔗糖 生成에 必須的인 助酵素 uridine diphosphate glucose (UDPG)의 前驅物質이다. B缺乏 植物體에서는 同化生成 糖類의 轉移가 안 되고 生成部位에 集積되는 現象이 觀察되는데 이는 UDPG의 前驅物質인 uracil의 生成이 阻害되기 때문이라 解析된다.³⁰⁾

Johson과 Albert¹⁹⁾는 B缺乏 토마토 根端에서 먼저 RNA 含量이 減少한 다음 伸長이 停止되는데 이에 RNA 基質인 thymine guanine, cytosine 等を 添加하면 B缺乏症狀이 發現되지 않았다고 한다. Robertson과 Loughman⁵³⁾은 B缺乏 植物에서는 P-32가 nucleotide에 結合하는 率이 떨어지는 것을 보고 B가 核酸代謝와 關聯이 있다고 하였다.

Hundt 等¹⁷⁾은 B缺乏 해바라기의 뿌리와 莖葉에서 NO_3-N 의 還元과 아미노酸 合成이 阻害되는 證據로서 NO_3-N 가 集積되는 事實과 이에 少量의 B添加로 P-32가 재빨리 DNA나 RNA에 結合 同化되는 事實에서 B가 蛋白質 合成에 有關하다고 하였다.

Pollard 等⁵⁰⁾은 B缺乏 植物根에 B를 添加함으로써 代謝 關聯 成分 이온들의 吸收移動이 재빨리 復活되는 事實에서 B가 無機成分이온 吸收와 關聯되는 特殊 細胞膜質 成分의 正常的인 生成과 活性化에 關係하며 이는 B가 polyhydroxy 化合物과 反應하여 膜質의 이온 吸收 調整能을 갖게 되기 때문일 것이라 하였다. Hirsch 等⁴⁶⁾도 B가 植物膜質의 正常機能 發揮에 必須的인 成分이며 해바라기 잎의 B缺乏 症狀은 細胞膜質의 變質이었다고 하였다. 우리나라에서 觀察된 B缺乏 해바라기 花冠下部 約 10cm에 發生하는 굵은 橫行龜裂이나 B缺乏 셀러리 줄기의 가는 縱行龜裂도 細胞膜質의 非正常的인 變質 때문이라 하겠다.

B와 植物 hormone 生成과의 關聯性에 對해서 Wagner와 Michael⁶⁰⁾은 B缺乏 해바라기 뿌리의

cytokinin 生成이 阻害되었다는 것이 있는가 하면 Crisp 等⁷⁾ 과 같이 B缺乏 상추의 生長點 變色原因은 Auxin의 一時的 活性增大였으며 B缺乏 동부(Cowpea) 뿌리의 生長點 變色原因은 Auxin의 過多集積이었다는 것⁶⁾도 있다. 卽 Coke와 Whittington⁶⁾은 B가 IAA oxidase의 活性阻害物質과 結合하여 이 酵素系를 保護하는 作用을 하므로서 IAA 生成量 調節機能이 維持되는 것인데 B缺乏 植物에서는 IAA 生成 調節 機能이 없어지기 때문에 IAA가 過多集積할 것이라던 것이다. Shkolnik(1974)⁵⁶⁾도 B의 植物體內에서의 一般의인 役割을 論함에 있어 B缺乏 植物의 變色原因은 一次的으로 Auxin과 Phenol類의 集積이라고 하였다. 그러나 Dugger(1983)⁸⁾는 B缺乏과 IAA 過多症과는 같지 않다는 意見이다.

우리나라에서 B缺乏 植物에서 觀察되는 叢生現象, 花粉管 生長阻害로 誘起된다고 알려져 있는 보리, 알팔파 등의 不稔現象 低溫期, 사탕무우, 상추, 배추 生長點의 變色現象, 膜質成分의 變質에 起因된다고 생각되는 莖皮部의 龜裂現象 등은 前述한 B의 役割과 關聯이 있을 법 하나 具體的으로 그 原因을 追究한 研究은 없는 것 같다.

다. 作物의 硼素缺乏과 災害 發生과의 關聯性에 對한 所見

우리나라 土壤과 같이 強酸性이어서 石灰 要求量이 많고 有效硼素供給能이 極히 낮은 곳에서 旱拔의 頻度가 큰 春秋季에 田作物을 栽培코저 할 때에는 거의 모든 作物에서 一時的이거나 潛在的 硼素缺乏이 誘發될 것이 確實하다. 그러나 이러한 潛在的 B缺乏은 病蟲害나 旱拔被害 등 可視의 原因으로만 解析되고 그 對策이 講究될 뿐 窮極의 原因은 알지 못하고 지나치는 수가 많은 것 같다. 어떤 現象이 出現하더라도 그의 研究에 從事하는 사람은 窮極의 原因을 究明하여 그 原因을 除去하는데 힘써야 가장 效果의 이고 經濟的인 對處 技術을 提示할 수 있음은 當然하다. 만일 旱拔이란 氣象條件에 依해서 出現한 B缺乏이 原因이 되어 生育遲延, 出荷遲延 收量 減少, 品質 低下, 病蟲害 多發, 防除費 增大 등 一連의 所得 減少가 誘發될 憂慮가 있을 때는 一次的으로 硼素의 供給을 試圖해 보는 것이 가장 값싼 對策이 될 것이며 보다 經費가 크게 드는 灌水는 그 다음 차례가 되어야 할 것이다.

B缺乏에 依해서 誘發되는 病害의 例를 들어보면 사과 的縮果病³²⁾을 위시해서 배추의 心腐病⁴⁸⁾, 포

도의 黑腐病²⁵⁾ 등이 우리나라에서 報告되었고 사과 的 新梢枯死²⁶⁾ 뽕나무의 新梢 凍枯死 現象도 觀察되었으며 外國에서는 감자의 바이러스病과 有關하다는 報告도 있다. 감자의 바이러스病은 진딧물의 密度와 保毒蟲率이 關聯이 있음은 常識化 되어 있다. 또 진딧물의 發生密度가 높아지는 것은 春秋季의 旱拔과 密接한 關係가 있음도 農業者에게는 常識化되어 있다. 旱拔이 長期化되면 B缺乏으로 不稔麥 發生이 甚하고 해바라기의 花冠이 切斷되는 것도 오래전에 經驗한 바 있으며 이것이 B缺乏 때문임도 알려져 있다. 이와 같은 우리나라에서 觀察된 災害의 原因이 硼素의 植物體內에서의 役割과 關聯을 지어 所見을 論하여 보고자 한다.

바이러스 발생과 밀접한 진딧물의 密度 상승은 硼素缺乏으로 먹이가 豊富해지기 때문일 것이라 推理할 수 있다. 卽 硼素缺乏에서는 細胞膜質이 變質弱화되어 吸汁 昆蟲의 吸汁이 容易할 것이며 蛋白質 炭水化物 등의 中間生成物의 集積이 많아져서 吸汁 昆蟲의 먹이로서 適切할 것이고 B缺乏으로 黃變된 生長點에 誘引되기도 쉽기 때문이라고 推理하기에 어렵지 않다. 이와 같은 現象은 진딧물 뿐 아니라 他 吸汁害蟲이나 病菌 等에도 適用되는 現象일 것이며 植物體 細胞를 保護하는 細胞成分의 變質弱화는 氣溫障得, 風害 등 氣象災害에 對한 抵抗力을 弱화시킴으로서 災害를 深化시킨 憂慮도 排除할 수 없다고 생각된다. 우리나라와 같이 有效硼素供給力이 極히 낮고 強酸性이어서 多量의 石灰施用을 要함으로 石灰施用에 의한 pH가 矯正된 後에는 有效硼素의 固定이 促進되어 有效 B含量은 더욱 낮아지며 春秋季의 乾燥氣候로 因한 硼素의 固定 等으로 B供給能은 極限으로 低下될 與件이다. 따라서 多量의 石灰施用을 要하는 作物일수록 또 硼素要求量이 많은 作物일수록 B缺乏에 依한 減收, 品質低下 病蟲害 및 氣象災害 誘發 現象이 甚할 것이 確實하다. 따라서 作物 管理 過程에서 有效硼素의 供給能과의 關聯性을 念頭에 두어야 할 것이며 植物, 土壤, 氣象, 病蟲害 등 여러가지 特性 相互間的 關聯性을 考慮한 施肥管理 技術이 研究 確立되어야 할 것이고 이렇게 함으로서만 田作物 災害는 最少化될 것이다.

2. 珪素(Si)와 作物災害와의 關聯性

가. 珪素의 天然供給能

珪素는 거의 모든 土壤礦物의 組成成分으로서 地殼의 總珪素含量은 酸素 다음으로 豊富한 元素이다.

이 때문에 珪素가 作物生育에 不足되리라고 짐작하기는 어렵고 따라서 植物生育에 미치는 影響에 대해서도 關心을 기울이는 研究者가 적어 아직 그 必須性에 對한 研究도 極히 드물다. Si도 B와 같이 植物體內 有機化合物과 化合하는 元素가 아니라는 點에서 그 生理的 役割에 關해 研究하는 데도 어려움이 크다. Si의 必須性에 對한 研究로서는 Miyake等(1978)^{3D}이 Si를 完全缺除한 水耕液에서 토마토를 栽培하면 生育이 甚히 抑制되고 結實이 안된다는 것을 報告한 것 外에는 別로 없다.

그러나 世界 3大 作物의 하나인 水稻에서는 總乾物生産量의 10% 以上의 SiO₂를 吸收하여야 健全한 生育을 할 수 있다는 點에서 우리나라를 비롯한 日本, 中國等 水稻 栽培地域에서는 相當한 關心이 쏠리고 있으며 Si는 水稻에 關한 限 農耕的 必須元素로 取扱하여야 한다는 主張도 있다.

Si의 天然供給量은 豊富하다지만 作物이 吸收利用할 수 있는 有效 SiO₂는 總 SiO₂ 含量의 萬分의 一에도 達할 못된다. 韓國, 日本과 같이 長期間 水稻를 連作해 왔고 多肥, 多收技術이 發達하여 Si의 收奪量이 많았고 充分한 灌水로 溶脫量도 많았던 地域에서는 耕土中 有效 SiO₂ 含量이 100ppm 內外에 不過하여 珪酸質 肥料의 施用效果가 顯著하다.

韓國에서는 1950年代부터 鎭滓를 비롯한 含珪酸資材의 水稻 增收效果 試驗을 遂行해 왔으며 1963年부터는 畜土壤의 肥沃度 增進을 爲한 組織的인 大規模의 現地 圃場試驗과 植物體 및 土壤分析을 통한

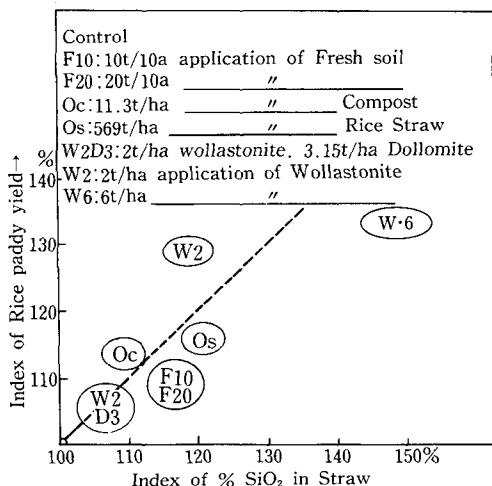


Fig. 1. Yield of paddy influenced by increased SiO₂ uptake due to various soil improvement practices. (1967-8)

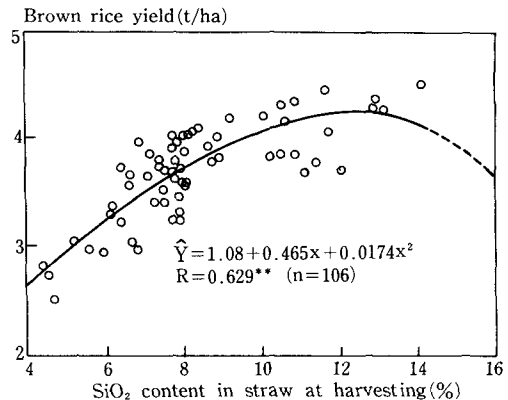


Fig. 2. Relation between brown rice yield and SiO₂ content in straw at harvesting stage (IAS, O.R.D. 1970).

本格的인 研究에 着手하였었다. 이들 成績을 總整理 評價하는 過程에서 우리나라 水稻의 低收原因의 하나가 珪酸吸收量이 적기 때문이며(그림 1, 2), Si 吸收量이 적은 原因은 耕土中の 有效珪酸含量이 적기 때문인 것이 分明해졌었다.³⁷⁾ 卽 當時의 一般的인 3要素 施肥水準 N-P₂O₅-K₂O : 10-6-8 kg/10 a 일 때는 當時의 獎勵品種의 收量을 極大化하는데 必要한 耕土中の 有效 SiO₂ 含量은 130 ppm 이어야 하며 이것은 日本에서의 研究結果와도 一致함을 알 수 있었다. 이와 같은 基準이 設定되었으므로 全國 規模의 有效珪酸含量 分布狀況을 把握할 必要가 생겼고 全國 365個 農家圃場의 耕土 試料를 採取 分析한 結果 有效 SiO₂의 含量 範圍는 19~300 ppm 平均 78 ppm 이었고 充分하다고 判斷되는 基準值 130 ppm 에 미치지 못하는 試料數가 總調査 試料數의 94%가 되어서 珪酸石灰肥料의 生産供給이 水稻增收의 一次的 要件임을 알게 되었다.³⁷⁾ 또한 珪酸石灰의 벼 增收效果는 N나 K의 施用量과 交互作用이 顯著하여(그림 3, 4) Si, N, K의 適切한 施肥均衡을 調節하면 水稻의 劃期的 增收이 可能한 것으로 判斷되어 그 均衡調節 施肥方法 研究에 注力하였고 그 結果 多要因 均衡調節 概念^{41,42,43,45)} 이 設定되었다. 이와 같은 一連의 研究結果를 土臺로 韓國政府는 1970年부터 本格的인 珪酸-石灰 生産供給에 注力하여 1974년에는 前年度 供給量보다 2배나 되는 7萬7千屯을 生産 國庫 50%, 地方費 20%, 모두 70%의 政府補助로 農民에게 供給하기 始作하였다. 珪酸石灰肥料의 供給量은 처음으로 米穀의 自給生産을 達成했던 1977

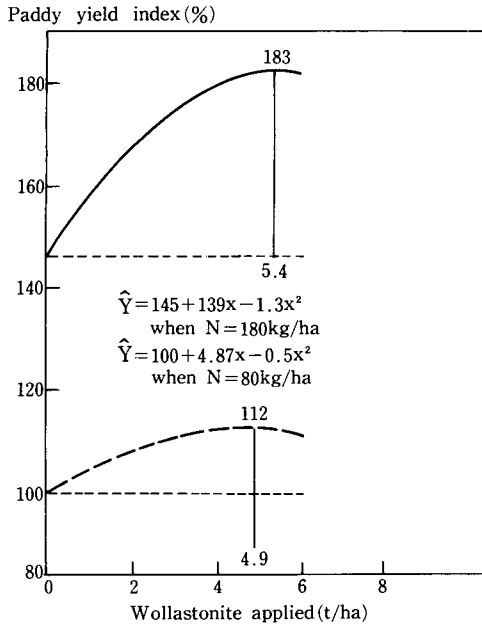


Fig. 3. Effects of wollastonite and different doses of nitrogen in terms of paddy yield index (Pot Exp. Ava. SiO₂; 29 ppm).

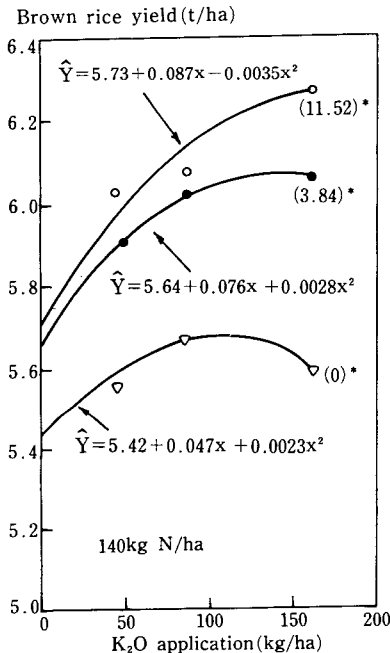


Fig. 4. K₂O and Silicate Interaction.
* Figures in () are the amount of Calcium silicate (Wollastonite) application, MT/ha.

년에는 30萬屯에 達했으며 多少의 起伏은 있으나 1987年 現在까지도 같은 供給水準이 維持되고 있

어 1970~1987年間 總供給量은 18年間에 約 400萬屯에 이르고 있다.¹⁴⁾ 이와 같이 珪酸-石灰 供給量이 增加되었음에도 不拘하고 全國 畚土壤의 平均 有效珪酸含量은 20年前의 그것과 別差異가 없는 것으로 報告되고 있다. 이는 其間 多肥, 多收性 品種의 開發普及과 多收技術의 普及으로 收奪量도 그만큼 많았기 때문이라 하겠으며 特히 水稻에 對한 基本施肥量이 過去의 것보다 40~50% 增加되었기 때문에 有效 SiO₂ 含量 基準도 約 200 ppm 水準이어야 한다고 보면 우리나라 畚土壤의 有效珪酸供給能은 아직도 크게 不足한 狀態라고 할 수 있다.

나. 珪素의 土壤中 動態와 生理的 機能

作物에 吸收 利用될 수 있는 有效珪素의 要件은 可溶性이어야 한다는 것이다. 可溶珪素는 土壤의 一般的인 酸度範圍인 pH 2.0~9.0에서는 monosilicic acid 即 Si(OH)₄의 形態인데 이 濃도가 約 2 mM에서는 SiO₂와 平衡을 이룬다고^{5D)} 하며 pH 값이 9.0 以上인 條件에서는 Si(OH)₄가 脫水素化 되어 SiO₂로 된다는 것²⁰⁾이다. 또 耕土中の 酸化 Fe(鐵) 또는 Al의 濃도와 pH 값에 따라 Si(OH)₄의 吸着固定量이 달라지기 때문에 有效珪素의 供給能이 이들 條件에 따라서도 支配된다. 即 有效 Si의 吸着固定量은 pH 값이 9.5일 때 가장 많고 이보다 낮거나 높아질 수록 적어지며 Al이 Fe보다 固定能이 크다.²¹⁾ 따라서 Jones等^{2D)}은 有效 Si 供給能 判斷方法으로서 浸出이 容易한 Si/Al比 또는 Si/Fe比를 使用할 것을 提案하고 벼의 Si 吸收量이 이들 비가 클수록 많았다고 하였다. 우리나라에서는 畚土壤의 有效珪酸檢定에 使用되는 浸出液으로 pH 4.0으로 調節된 N-NaOAC 緩衝液을 使用하고 있는데 이는 土壤中 Al의 溶解도가 낮으면서 Si의 溶解度も 낮은 pH의 最低값이라 할 수 있다. 또 新干拓畚土壤에서는 一般的으로 有效珪酸含量이 많은데 이는 Na含量이 많은 海水의 影響으로 Na-膠質物이 많고 pH값이 높아 Si의 吸着固定에 依한 保存效果 때문이라 하겠다. 우리나라에서 使用되는 珪酸資材中 鑛滓가 珪石灰石보다 增收效果가 적은 것은 鑛滓中에 含有되어 있는 Al이나 Fe가 有效珪酸의 固定과 關聯이 있어 벼의 珪酸吸收量을 低下시키기 때문이라 解析된다. 또 우리나라 耕土中の 有效珪酸含量이 낮은 理由中의 하나는 Si/Al비가 낮은 土壤粘土인 1:1 格子型 粘土含量이 많기 때문이라 하겠다. 따라서 2

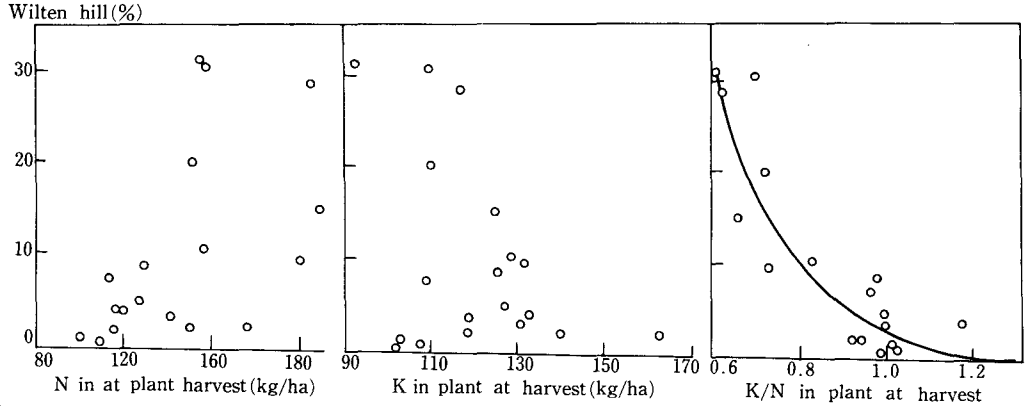


Fig. 5. Relationship between K/N nutrient status in plant and percentage of green wilt hills (IAS, 1978 field experiment on the N sources and their method of application for variety Milyang 23).

: 1 格子型 粘土礦物含量이 많은 客土資料의 客土效果가 클 것은 有效珪酸 供給面에서도 當然하다 하겠다.

植物에 잘 吸收되는 有效 Si의 形態는 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 라고 하지만 그 吸收機作에 對해서는 蒸散流에 따라 受動的으로 吸收된다는 意見과 特定作物에서는 能動的으로 吸收한다는 意見이 對立하고 있다. 燕麥의 蒸散量과 Si 吸收量이 密接한 關係가 있다는 點에서 Si 吸收는 受動的 吸收라고 하고 크림슨 크로버에서는 Si 吸收量이 蒸散量과 關係없이 적은 點에서 根系表面 또는 内部에 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 의 浸入을 抑制하는 作用이 있기 때문일 것이라 하는 이²⁰⁾가 있는가 하면 水稻나 小麥, 大麥과 같은 麥類에서는 蒸散量에서 算出되는 Si 吸收量보다 越等히 많이 吸收된다는 點에서 能動的 吸收를 한다고 믿고 있는 이들도 있다.^{3, 59)} 이들은 水耕液에 添加한 SiO_2 濃度를 0.75, 30, 162 ppm으로 하고 水稻 小麥, 大豆를 栽培하면서 蒸散量과 SiO_2 吸收量을 調査하여 蒸散流를 따라 受動的으로 吸收한다고 假定 算出한 SiO_2 量과 實際로 作物이 吸收한 量과를 比較하였다. 이와 같이 算出한 SiO_2 量에 對한 實際 吸收한 量의 倍率을 보면 水耕液에 添加한 SiO_2 量이 많을 수록 그 倍率이 어느 作物에서나 減少한다. 그러나 水耕液의 SiO_2 濃度別 倍率의 變動 範圍는 水稻에서 約 3~5.5 倍, 小麥에서는 0.9~5.5 倍 그리고 大豆에서는 0.1~1.3 倍로서 作物間에 顯著한 差異가 있다. 即 水稻에서는 供給 水耕液中 SiO_2 濃度가 162 ppm인 가장 높은 경우에도 蒸散流에 隨伴하여 受動的으로 吸收하였다고 假定한 SiO_2 吸收量 보다도 約 3 倍나 많은 SiO_2 를 吸收하였음

으로 水稻는 SiO_2 要求量도 많고 이를 能動的으로 吸收하는 作物이 分明하며 小麥은 SiO_2 要求量은 水稻보다 적지만 能動的으로 Si를 吸收한다 하겠고 大豆는 Si 要求量이 極히 적어서 供給 SiO_2 濃度 0.75 ppm에서도 1.3 倍 밖에는 吸收하지 않는 作物이라 하겠다.

植物根에서 吸收된 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 는 導管을 통해서 地上部 外皮細胞로 移動 不定型의 SiO_2 또는 Opal phytolith의 形態로 沈澱하되 細胞壁 成分과 密接한 結合體를 形成하거나 共有結合形態⁵⁵⁾로 Si-cellulose 二重層을 形成하여 不良環境으로부터 植物體를 保護하는 役割을 할 것⁶³⁾으로 짐작하고 있다. 即 Raven(1983)⁵²⁾은 Si가 導管細胞壁에 沈澱됨으로서 蒸散量이 吸收量보다도 많을 때 생기는 導管의 壓縮을 防止하는 構造維持的 役割을 한다고 하며 Yoshida⁶³⁾(1960)는 Si가 水稻의 蒸散量을 크게 減少시키는 役割이 있음으로 旱拔이나 其他 水分 吸收阻害 環境條件에 견디게 할 것이라고 하였다.

Si가 生化學的으로 植物의 必須元素라는 證據는 明確하지 않으나 Weiss와 Herzog(1978)⁶⁴⁾는 Si도 B와 마찬가지로 Lignin 合成과 關聯이 있어 Lignin 前驅物質인 Caffeic acid와 같은 O-phenol類와 反應하여 1~2 個 또는 여러개의 Si가 結合한 phenol 複合體를 形成한다는 것이다. Jones(1978) 등²²⁾도 小麥 根細胞에서 Si가 없으면 Lignin 含量이 減少하고 phenol類 含量이 增加함을 觀察하였다. Lignin은 微生物이 浸하기 어려운 有機成分으로서 土壤有機物의 主要 構成成分으로 알려져 있으며 珪酸石灰를 連用한 畚土壤 耕土의 有機

물 함량이 증가하는傾向을 보이는理由가 Lignin 生成에 Si가 關與하기 때문일 것으로 解析되어 興味롭다.

Si의 代謝研究가 가장 많이 이루어진 것은 Diatom에서일 것이며 Werner와 Roth(1983)⁶²⁾는 Diatom에서의 아미노酸이나 蛋白代謝에는 Si가 決定的 役割을 한다고 하였다. 作物에 있어서의 Si 代謝研究를 한다면 그 첫번째 對象作物은 어느 作物이나 成分보다도 Si 吸收量이 많은 水稻일 것이다. 그리고 珪酸供給이 充分한 水稻葉은 그렇지못한 것보다 生育後期の 葉色이 濃綠色인 點에서 N代謝와 關聯이 있음직 하다. 近來에는 水稻 生葉 表面에서 N가 揮散 損失된다는 事實이 알려져 있고 이 損失 N量은 珪酸石灰供給量이 增加할수록 減少된다는 事實을 結露水 分析을 통해서 짐작할 수 있었으며⁴⁴⁾ 이것이 Si가 N代謝와 關聯이 있기 때문일 것이라는 假設을 完全히 無視할 수는 없을 것이다.

다. 好珪酸性 作物의 災害와 珪酸供給能과의 關聯性에 對한 所見

好珪酸性 作物은 大體로 禾本科에 屬하는 作物이며 이에 水稻, 麥類, 옥수수 등 世界 3大 禾穀類와 牧草 등이 있어 農耕上 매우 重要한 作物들이다. 이들 禾本科作物은 一般的으로 珪酸吸收量이 많고 多少의 差異는 있으나 珪酸을 能動的으로 吸收하지만 그 生化學的 役割보다는 不良한 生育環境에 對한 抵抗力과 關聯이 있는 것으로 알려져 있다. 이들 作物에 對한 珪酸의 供給效果는 大部分 水稻와 麥類 등에서 認定되고 있지만 近來에는 禾本科 牧草에서도 增收效果가 認定되고 있다. 이들 效果에 대한 原因은 主로 病蟲害, 氣象災害 등에 對한 抵抗力의 增大라고 判斷되며 其 抵抗機作에 對한 所見을 既知의 研究 結果에서 推理해 봄으로서 作物 災害 研究에 多少나마 參考할 수 있기를 바란다.

우리나라의 가장 重要한 禾穀類인 水稻의 生産量을 크게 支配하는 病害는 稻熱病이라고 생각되기 때문에 稻熱病과 珪酸供給과의 關聯性부터 論함이 順序일 것 같다. 稻熱病의 抵抗性에 關해서는 많은 研究가 遂行되어 耐病性品種 育成에 注力하는 한편 抵抗性의 種類도 여러가지 用語로 表現되고 있는 것 같다. 이들 用語中에 環境變異와 關聯이 있는 것들은 圃場抵抗性 Adult Resistant 등이라고 생각된다. 問外漢의 立場에서 이들 抵抗性의 意味를 나름대로 解析해 보면 圃場抵抗性이란 幼苗檢定이나 室內檢定에서는 罹病性이면서도 圃場에서는 耐病性이거나 그

罹病性의 程度가 달라지며 反對로 抵抗性으로 檢定되었던 品種이 圃場에서 罹病性으로 나타나 圃場에서의 抵抗性과 其他 檢定에서의 抵抗性에 差異가 있다는 것으로 理解된다. 이것이 事實이라면 農耕學者의 立場에서는 稻熱病의 抵抗性과 關聯되는 植物體內 Si/N比의 變動이 耕土의 Si와 N의 供給均衡에 따라 달라질 것이기 때문에 當然한 것이라 할 것이다. 稻熱病은 氣溫이 높으면 發病이 적고 低溫이면 發病이甚하여 冷溫에서 發病한 것을 冷稻熱病이라 하는 수도 있는 것 같다. 이것도 高溫에서는 耕土의 有效珪酸供給과 吸收가 促進되고 低溫에서는 이와 反對現象이 나타나는데³⁷⁾ 反해서 N의 吸收量은 氣溫變動에 依한 差異가 적기 때문이라고 서슴없는 解明을 할 것이다. Adult Resistant는 幼苗期에는 稻熱病에 弱한 것이 相當히 成長한 後에는 抵抗性을 보인다는 것으로 解析된다. 이것도 水稻體內의 Si/N比의 生育時期別 變動狀況을 잘 알고 있는 農耕學者에게는 當然之事로 생각할 것이다. 水稻體內의 Si 蓄積量은 生育이 進行될수록 增加하는 反面 N의 濃度는 漸減하는 것이기 때문이다.

稻熱病 以外的 各種 細菌性 病害의 抵抗性에서도 깨치무늬病의 경우와 같이 Si와 N의 吸收量比와 關聯이 있음직 하다. 有效珪酸 供給量이 지나치게 많은 反面 3要素 施肥量이 적은 東南亞 地域國家들에서는 白葉枯病이나 斑枯病이 加里 施肥로 크게 發病이 抑制된다고 하는데¹⁸⁾ 이는 Si와 K의 拮抗作用 때문일 것이며 우리나라와 같이 Si 供給이 不足한 地域에서는 Si의 供給이 이들 發病에도 抵抗力을 나타낼 것으로 짐작된다.

Si와 關聯이 있는 蟲害抵抗性으로는 이화명충과 잎응애에 對한 報告⁶³⁾가 있으며 稻體內 Si/N比의 增加로 因한 機械的 被害防止 效果로 보는 이들이 많다. 그러나 國際米作研究所(IRRI)의 한 報告에서는 이화명충卵의 孵化抑制效果도 觀察된 바 있음으로 이 方面의 研究도 興味로울 것이다.

氣象災害에는 低溫 및 高溫 障礙, 風害, 旱害 등을 들 수 있다. 이들 氣象災害는 主로 物理的 障礙이며 植物體內 Si/N比가 큰 條件에서는 表皮細胞와 Si가 結合하여 厚層을 形成⁶³⁾ 保護한다는 點에서 充分한 Si의 供給效果가 期待된다.

氣溫障礙의 原因은 各種 物質代謝를 營爲하는 細胞質의 適正溫度 維持가 어려운데 있다고 하겠으며 Si가 表皮細胞와 2重層을 形成하고 있으며 氣溫의 極端의 變動이 있다 해도 2重層 内部 細胞質의 溫

度變異는 적은 것이다.

風害는 倒伏과 같은 機械的 障蔽와 蒸散量 增大로 인한 脫水나 低溫障蔽가 複合되어 일어날 것으로 判斷된다. 植物體內 Si/N比의 增大로 인한 倒伏 減少 效果는 많이 알려져 있으며 冷潮風地帶에서 豫想되는 脫水 低溫障蔽의 具體的인 實態는 보다 研究를 要한다고 하겠다.

旱害의 原因은 細胞質의 脫水로 인한 障蔽라고 할 수 있을 것인데 Si/N比를 높여 Si-表皮細胞膜 層을 두껍게 하면 水稻의 蒸散量의 1/3이 減少한다는 報告⁶³⁾로도 珪酸의 旱害 輕減 效果를 豫想할 수 있다. 最近 우리나라 禾本科 草地에 珪酸石灰를 施用함으로써 30%의 增收效果를 觀察한 것은 水分經濟的 面에서만도 說明이 可能하다 하겠다.

우리나라에서 흔히 觀察되는 北方型 禾本科 牧草의 夏枯現象은 高溫障蔽와 過濕 또는 根活力의 低下 등이 複合된 現象이라고 豫想되며 여기에서도 植物體內的 Si/N比를 向上시키면 輕減할 수 있을 것이다. 即 植物體內 Si/N比가 커지면 高溫 障蔽의 輕減 外에도 葉의 直立化로 透光率이 向上되어 下位 葉의 同化促進과 同化產物의 根部移動이 促進되어 根活力이 向上되고 葉面의 過濕水分의 蒸發散이 促進되어 下位 葉의 枯死나 各種 病害發生이 輕減될 것으로 期待되기 때문이다.

또 近來에는 牧草生産量을 增大시키기 爲해 多肥 栽培가 盛行되고 있으며 牧草에 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 過多集積되고 이런 牧草를 給與한 家畜은 健康이 損傷된다고 한다. 이를 防止하는 方法으로 값비싼 磷酸質 肥料를 多量 施用하여 同種 陰이온의 拮抗作用으로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 吸收量을 減少시킨다고 하는데 값비싼 磷酸質 肥料 代用으로 珪酸石灰의 利用可能性도 排除할 수 없다.

以上에서 論議한 各種 災害와 Si와의 關聯性은 主로 植物體의 Si/N比가 適正水準으로 調整되었을 때만 有效하다는 事實을 銘心하여야 하며 그 適正水準은 對象作物에 따라 다르다는 것은 말할 必要도 없다. 또 植物體內 Si/N比를 調整하고자 할 때는 Si나 N의 吸收量이 土壤中的 이들 成分 뿐 아니라 其他 有效成分들의 濃度均衡 또는 供給均衡에 따라 支配된다는 것이다. 即 植物體에 吸收되는 어느 無機成分도 吸收過程에서 他成分들과 相互間 拮抗作用 또는 相助作用에 의해 그 吸收量이 影響을 받는 것이 現實적으로 把握된 自然現象인 것이다. 따라서 어느 作物의 遺傳的 生産能力을 極大化

시키기 爲해 必要한 各種 無成分의 吸收量과 各成分間의 含量均衡을 維持하기 爲해서 吸收媒體인 耕土中の 이들 成分의 供給能과 供給量 均衡을 調節할 수 있는 技術이 現代의 施肥技術이라 할 수 있다. 이러한 技術概念을 多要因 均衡調節 概念이라고 ^{41,42,43,45)} 水稻에 對한 N施肥 適量 推定 模型式의 例를 들면 N施肥 適量은 耕土中の 有效珪酸, 有機物 置換性 K, Ca, Mg, Na 含量의 函數式에서 推定된다는 것이다.^{46,47)} 이것은 極히 初步的 示圖에 지나지 않으며 앞으로는 보다 많은 試驗 研究가 이루어져서 보다 科學的인 施肥方法이 開發되면 農業公害 豫防은 勿論 生産性 向上에 크게 도움이 될 것으로 展望된다.

結 論

우리나라에서의 作物 災害生理 研究에 있어서는 第一次으로 檢討되어야 할 課題가 田作地에서는 有效硼素, 畚作地에서는 有效珪酸의 充分한 供給方案이며 이를 爲해서는 作物의 種類別로 그 適正吸收量과 作物體內 各成分均衡을 維持하기 爲해 耕土成分의 供給能과 有效成分의 供給能 均衡을 調節할 수 있는 施肥技術의 研究確立이 必要하다. 이를 爲해서는 作物別로 健全 生育 植物體內的 各種 成分含量 基準을 設定하고 그에 到達할 수 있는 供給基準 設定이 必要하다. 即 作物別로 生育에 必須的인 成分要因들을 均衡적으로 吸收시키기 爲한 耕土中에서의 이들 成分의 供給均衡을 調節할 수 있는 施肥基準의 開發 活用이 必要하다 하겠다.

REFERENCES

1. Albert, L.S. 1968. Induction and antagonism of boron-like deficiency symptoms of tomato plants by selected nitrogen-bases. *Plant Physiol.* 43(S) : 51-15.
2. Amberger, A. 1975. Protein biosynthesis and effect of plant nutrients on the process of protein formation. In: *Fertilizer Use and Protein Production*, p.75-89. Int. Potash Inst. Bern.
3. Barber, D.A. and Shone, M.G.T. 1966. The absorption of silica from aqueous solutions by plants. *J. Exp. Bot.* 17 : 569-578.

4. Berger, K.C. 1949. Boron in crops and soils. *Adv. Agron.* : 321-351.
5. Birunbaum, E.H., Dugger, W.M. and Beasley, B.C.A. 1977. Interaction of boron with components of nucleic acid metabolism in cotton ovules cultured in vitro. *Plant Physiol.* 59 : 1034-1038.
6. Coke, L. and Whittington, W.J. 1968. The role of boron in plant growth. IV. Inter-relationship between boron and indolyl-acetic acid in the metabolism of bean radicles. *J. Exp. Bot.* 19 : 295-308.
7. Crisp, P., Collier, G.F. and Thomas, T.H. 1976. The effect of boron on tipburn and auxin activity in lettuce. *Sci. Hort.* 5 : 215-226.
8. Dugger, W.M. 1983. Boron in plant metabolism. In : *Inorganic Plant Nutrition, Encycl. Plant Physiol. New Series Vol. 15B (A. Läuchli and R.L. Bielecki, Eds.)* p. 626-650. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
9. Gauch, H.G. and Dugger, W.M. 1953. The role of boron on the translocation of sucrose. *Plant Physiol.* 28 : 457-487.
10. Gupta, U.C. 1979. Boron nutrition of crops. *Adv. Agron.* 31, 273-307.
11. 韓基確·吳旺根·朴天緒. 1961. 大麥의 不稔實과 硼素의 効果에 關하여. (第1報) 韓農化誌 2 : 5-7.
12. 韓國土壤肥料學會. 1986. 肥料自由販賣에 關한 考察. 韓土肥學會. 水原 19p.
13. _____. 1987. 肥料自由販賣에 關한 실태지움. _____. _____. 30p.
14. 韓國肥料工業協會. 1988. 肥料年鑑. 韓肥料工業協會. 서울. 332p.
15. Hingston, F.J., Posner, A.M. and Quirk, J. P. 1972. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. *J. Soil.* 23 : 177-183.
16. Hirsch, A., Pengelly, W.L. and Torrey, J. G. 1982. Endogenous IAA levels in boron-deficient and control root tips of sunflower. *Bot. Gaz.* 143 : 15-19.
17. Hundt, I., Schilling, G., Fischer, F. and Bergmann, W. 1970. (G) Investigations of the influence of the micro-nutrient boron on nucleic acid metabolism. *Thaer-Arch.* 14 : 725-737.
18. International Potash Institute. 1976. *Fertilizer Use and Plant Health : Pocd. 12th Colg.*
19. Johnson, D.L. and Albert, L.S. 1967. Effect of selected nitrogen bases and boron on the ribonucleic acid content, elongation and visible deficiency symptoms in tomato root tips. *Plant Physiol.* 42 : 1307-1309.
20. Jones, L.H.P. and Handreck, K.A. 1965. Studies of silica in the oat plant. III. Uptake of silica from soils by the plant. *Plant and Soil* 23 : 79-96.
21. _____ and _____. 1967. Silica in soils, plants and animals. *Adv. in Agronomy* 19 : 107-149.
22. _____, Hartley, R.D. and Jarvis, S. C. 1978. Mineral content of forage plants in relation to nutritional quality-silicon. *Ann. Rep. of Grassland Res. Inst.* p.25-26.
23. Keren, R., Bingham, F.T. and Rhoades, J. D. 1985. Plant uptake of boron as affected by boron distribution between liquid and solid phases in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48 : 297-302.
24. _____, Gast, R.G. and Bar Yosef, B. 1981. pH-dependent boron adsorption Na-montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45 : 45-48.
25. 金鍾天. 1969. 葡萄(amphell early 品種)에 發生되는 果肉黑變現象의 誘起原因 및 防除에 關한 研究. 農試研報 12-2 : 1-28.
26. _____·卞在均. 1969. 開墾丘陵地의 사과苗木에 發生되는 新稍枯死現象의 原因究明試驗. 韓園藝學會誌 5-1 : 1-6.
27. 金圭來·卞在均·金鍾天. 1969. 복숭아 나무의 硼素缺乏現像에 關한 調查 研究. 農試研報 12-2 : 29-34.
28. Lee, S.G. and Arnoff, S. 1967. Boron in Plants : A biochemical role. *Science* 158 :

- 798-799.
29. Mahler, R.L., Hammel J.E. and Harder, R. W. 1985. The influence of crop rotation and tillage methods on the distribution of extractable boron in Northern Idaho Soils. *Soil Sci.* 139 : 67-73.
 30. Mengel, K., E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition, IPI Bern, Switzerland.
 31. Miyake, Y. and Takahashi, E. 1978. Silicon deficiency of tomato plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 24 : 175-189.
 32. 中田覺五郎・瀧元清透. 1917. 華果の縮果病に關する研究. (豫報). 朝鮮總督府. 勸業模範場研究報告. 2號 : 1-56.
 33. Oertli, J.J. and Richardson, W.F. 1970. The mechanism of boron immobility in plants. *Physiol. Plant.* 23 : 108-116.
 34. Parfitt, R.L. 1978. Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agron.* 30 : 1-50.
 35. 朴天緒. 1963. 不稔麥 發生地에 있어 微量元素의 施用이 大麥稔實率에 미치는 影響. 農試研報 6-1 : 11-21.
 36. _____・朴來正. 1966. 우리나라 田作物栽培地帶土壤의 有効硼素含量에 關한 研究. 農試研報 9-1 : 163-174.
 37. _____. 1970. 한국 논토양 가리흙(作土)의 유효규산함량과 규산질 비료의 효과와의 관계, 유효규산 함량분포 및 시용량에 관한 연구. 農試研報 13(식환) : 1-29.
 38. _____・宋在夏・金泳燮・李春寧・崔榮淳. 1971. 濕沓에 對한 改良劑의 效果와 有効改良劑의 水稻增收原因에 關한 研究. 韓土肥誌 4-1 : 13-19.
 39. Park, C.S. 1970. Boron Problems on Soil and Plant (1) *J. KSSSF*, Vol. 3-1 : 67-71.
 40. _____. 1971. Boron Problems on Soil and Plant (2) *J. KSSSF*, Vol. 4-1 : 121-131.
 41. _____. 1975. The micronutrient problems of Korean Agriculture. In : *Proc. of Internat. Symp. Commemorating the 30th Anniversary of Korean Liberation* (Nat. Acad Sci. Rep. Korea, ed.) p.847-862, Seoul
 42. Park, C.S. 1979. Fertility management of Flooded Rice Soil : A proposal to minimize the Biological Production Potential-Performance Gap of High yielding varieties. *J. KSSSF*, Vol. 12-3 : 153-167.
 43. 朴天緒. 1982. 農業生産基盤으로서의 土壤資源의 保存管理. 韓國農業科學協會 심포지움. 123-143.
 44. _____・許範亮・李基尙. 1982. 水稻品種 曙光벼의 葉面揮散 $\text{NH}_3\text{-N}$ 損失量에 미치는 珪酸 石火의 影響. 月堂 回甲論文集 : 137-140.
 45. Park, C.S. 1983. Chemical factors of soil associated with the prediction models for fertilizer need of N and K in flooded rice based on multinutrient factor balance concept. *KSSSF*. Vol. 16-3 : 210-222.
 46. _____. 1984. A prediction Model for fertilizer nitrogen need for flooded rice based on some chemical factors of top soil. *Chung pas 61st Birth Memorial*, 220-230.
 47. _____. 1984. Predication Models for N and K fertilizer application on wet rice based on chemical analysis of top soil. *FFTC. Book Series. No. 27.*
 48. 朴尙根・采基元. 1965. 硼素가 배추 生育에 미치는 影響. 農試研報 8-1 : 125-130.
 49. Pilbeam, D.J. and Kirkby, E.A. 1983. The physiological role of boron in plants. *J. Plant Nutr.* 6 : 563-582.
 50. Pollard, A.S., Parr, A.J. and Loughman, B.C. 1977. Boron in relation to membrane function in higher plants. *J. Exp. Bot.* 28 : 831-841.
 51. Ponnampuruma, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.* 24 : 29-96.
 52. Raven, J.A. 1983. The transport and function of silicon in plants. *Biol. Rev.* 58 : 179-207.
 53. Robertson, G.A. and Loughman, B.C. 1974. Reversible effects of boron on the absorption and incorporation of phosphate in *Vicia faba* L. *New Phytol.* 73 : 291-298.
 54. Russell, E.W. 1973. *Conditions and Plant Growth*, 10th Edition, Longman.
 55. Schwarz, K. 1973. A bound from of silicon in glycosaminoglycans and polyuronides. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 70 : 1608-1612.

56. Shkolnik, M.Y. 1974. General conception of the physiological role of boron in plants. *Physiol. Rastanii* 21 : 140-150.
57. Sims, J.R. and Bingham, F.T. 1968. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials: II. Sesquioxides. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32 : 364-369.
58. Venter, H.A. van de and Currier, H.B. 1977. The effect of boron deficiency on callus formation and ^{14}C translocation in bean (*Phaseolus vulgaris*) and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) *Am. J. Bot.* 64: 861-865.
59. Vorm, van der, P.D.J. 1980. Uptake of Si by five plant species as influenced by variation in Si supply. *Plant and Soil* 56 : 153-156.
60. Wagner, H. and Michael, G. 1971. (G) Effect of a varied nitrogen supply on the synthesis of cytokinins in roots of sunflower. *Biochem. Physiol. Pflanzen (BPP)* 162 : 147-158.
61. Weiss, A. and Herzog, A. 1978. Isolation and characterization of a silicon-organic complex from plants. In: *Biochemistry of Silicon and Related Problems*. G. Bendz and I. Lindqvist, Eds p.109-127.
62. Werner, D. and Roth, R. 1983. Silicia metabolism. In: *Inorganic Plant Nutrition, Encycl. Plant Physiol. New Series, Vol. 15B* (A. Läuchli and R.L. Bielecki, Eds.) p. 682-694 Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo
63. 吉田昌一. 1960. 植物の珪素營養をめぐる二、三の問題. *日土肥誌* 31 : 42-48.