

## 強還元・低酸素濃度・低酸化還元電位水溶液の作成装置 —水稲の還元状態に対する反応を研究する試み—

飯村 敬二・笹原 健夫

山形大学農学部

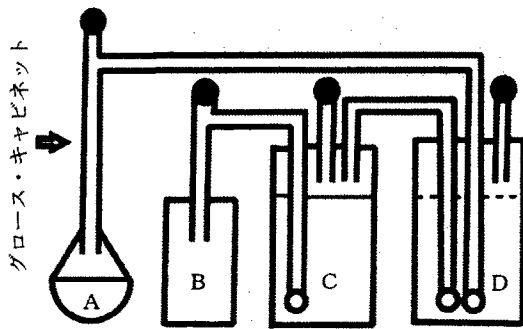
**要旨**：直播栽培の場合も、移植栽培の場合もイネの根系は還元状態に晒される。また、還元とともに、硫化水素の害作用も受ける。しかし、還元（低酸化還元電位）状態を安定的に、再現性あるように作出することは必ずしも容易ではない。本研究では、窒素ガスを水溶液に通気することにより、他の要素を変えることなしに、安定的に  $-150\sim 180$  mV の低還元状態の水溶液を作出する装置を考案した（煮沸しても、溶存酸素除去できないため  $+100$  mV）。なお、本装置では必要により硫化水素ガスも添加が可能である。本装置は、現段階ではイネ幼植物の低還元・硫化水素に対する反応の研究に使用可能である。したがって、当面は幼植物の還元に対する生理反応、直播栽培との関連で発芽初期段階の還元抵抗性に関する品種間差異などを研究するのに適している。ただし、現段階でも幼芽部分も還元状態に晒され、幼根の生育が抑制される問題がある。しかし、この点は水溶液表面を境にして、幼芽部分を大気（酸素）に晒すことが可能である。さらに、今後窒素ガスと硫化水素の供給体系を改良すれば水耕栽培などにも利用可能である。

**キーワード**：イネ，酸化還元電位，窒素ガス，直播栽培，硫化水素ガス

イネは、トウモロコシ、コムギとともに三大穀物の一つである。イネは、浮稲、深水稲から陸稲まで多様な栽培形態が存在するが、主要な栽培形態は「水田」で栽培される「水稲」である。従って、トウモロコシおよびコムギが典型的な「畑作物」であるのに対して、「水稲」は水生植物 (aquatic plant) の一種である。地球上の作物の分布を決定している環境要因は、大気中および土壌中の水分含量であり、その多寡に影響するのは「降水量」である (小田, 1971)。水稲は、水生植物の特性を有することによって、三大穀物の中では、作物の分布を決定づける第一義的に重要な要因である「水」の「束縛」から解放された作物である。

イネが水田で栽培されるための第一の利点は、作物の成長にとって第一義的に重要である「水分」不足に陥らないことである。第二の利点は、水の高い比熱 ( $=4.1815$  J/g/K (1気圧) : 大気  $=1.006$  J/g/K (1気圧)) によって寒冷から保護されることである。さらに、水田生態系にも多くの利点がある。すなわち、有機物の分解が緩慢であるため長期間肥沃度が高く維持されること、土壌が湛水によって還元状態になるため窒素成分がアンモニア態 ( $\text{NH}_4^+$ ) となり土壌粒子に吸着・保持されることなどである。

水稲の水生植物の特徴は、葉の気孔→鞘葉→茎→根に至る「通気組織」の形成のためである (有門, 1955; 川合・内宮, 1999)。しかし、通気組織の発達にも関わらず、水田の強還元・低酸化還元電位 (Eh) は、水稲の生育に害作用を及ぼす。すなわち、湛水によって、土壌微生物による酸素消費 (遊離酸素, 硝酸態化合物, 鉄・マンガン化合物, 硫酸化合物の順で消費される (高井, 1999a, b, c, d) ために土壌が強還元・低酸化還元電位状態となる。そのため、植物体の成長に必要な ATP, 各種養分などを効率の悪いアルコール発酵系によって獲得せざるを得ない。このような水稲生育上好ましくない点は、栽培技術的に対応し、一定の成果を上げてきた。すなわち、湛水直播栽培ではカルパー (各種の過酸化カルシウム) コーティング (太田・中山, 1970; 笹原, 1994), 生育が進んだ段階では「中干し」などの方法で土壌中への酸素の供給が行われてきた。しかし、強還元・低酸化還元電位に対する品種選抜の特性検定法は、確立されていない。本研究では、水田の強還元・低酸化還元電位に対する水稲品種・系統の選抜に関する基礎研究を進めるため、簡便な強還元・低酸化還元電位水溶液を生成する装置を作成し、酸化還元電位の変動を検討した。



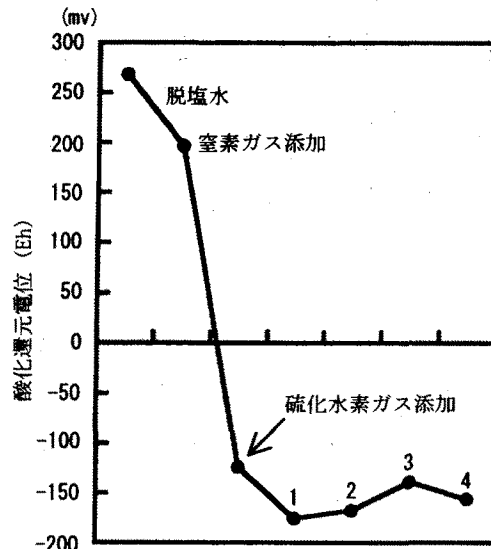
第1図 強還元・低酸素濃度溶液の生成装置.

- A: 固体  $H_2S$  (加熱によって  $H_2S$  ガス発生)
- B: 液体窒素
- C: ピロガロール (1%) 水溶液
- D: 強還元水溶液 (ナイロン・メッシュ=波線に材料を置床)
- : 液胞発生球
- : 圧力調節弁

### 装置の特徴と概要

装置の概要は第1図に示したが、その要点は、次のようである。

- 1) 市販の液体窒素 (B) をアルカリ性ピロガロール水溶液 (C) に通気し、残存酸素を吸収させたのち、処理水溶液 (D) に通気し、処理水溶液中の酸素を窒素で置換する。窒素ガスの通気は、酸化還元電位の低下に効果的である。
- 2) 水田は、土壤微生物による酸素消費によって還元状態となる。しかし、脱塩水を煮沸しても溶存酸素を除去できないため、酸化還元電位 100 mv 以下に低下させることは不可能である。水田土壌を水溶液に入れて、自然条件下と同じように土壤微生物による酸素消費は、酸化還元電位の低下をもたらすが再現性は極めて低い。
- 3) 本装置をグローブ・キャビネットなどに入れることによって、温度条件と酸化還元電位を組み合わせた実験が可能である。
- 4) 自然条件下の水田においても発生する硫化水素 (A) を通気し、処理水溶液の状態を水田に近い状態に再現する。ただし、硫化水素の添加は酸化還元電位を低下させることにはつながらないので、不必要なら添加中止が可能である。



第2図 窒素ガスの添加による酸化還元電位の変動.

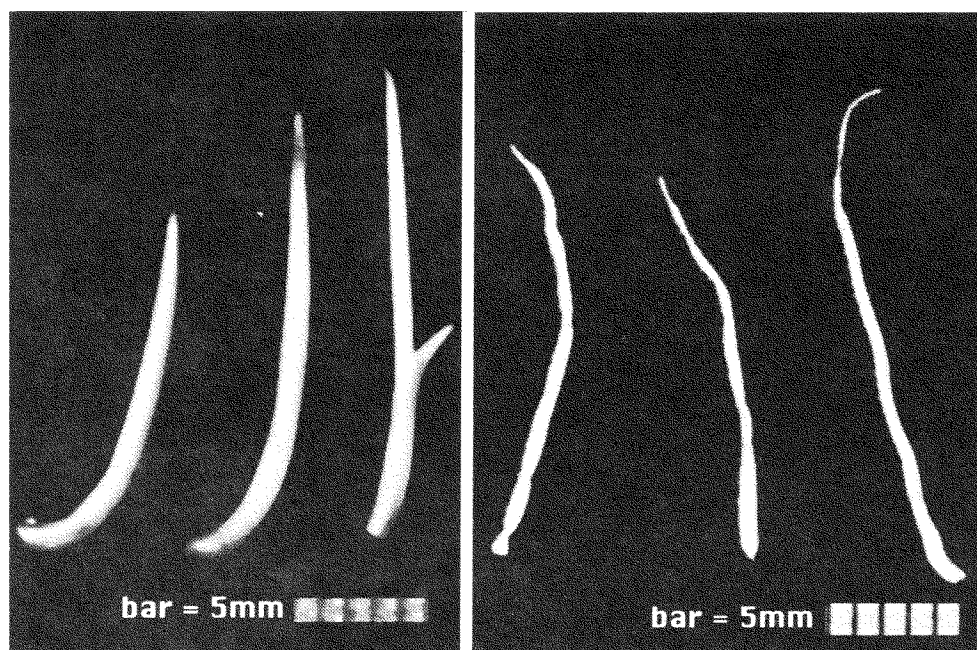
(20°C)

注: 図中の数字は、硫化水素ガス添加後の経過時間各 Eh 測定点の標準誤差は、記号内に含まれる。

- 5) 本装置を用いて、処理水溶液 (D) の酸化還元電位 (Eh) を測定した結果を第2図に示した。Eh = -150 ~ -200 mv の値は、長期間にわたって維持可能である。ただし、このような強還元状態に長期間晒すことは幼植物の成長に有害である。

### 本装置の問題点

- 1) 処理水溶液 (D) は、無酸素状態に近いいため、種子をナイロン・メッシュに直接播種した場合、根源基の発育がほぼ完全に抑制され、幼芽のみが伸長・生育する(第3図)。
- 2) 今後、本装置を改良して、(D) のナイロン・メッシュの上部が大気に晒されるようにする必要がある。この改良は必ずしも困難ではない。しかし、当面は一定の限られた時間内での還元処理に使用することが適当である。このような使用は、還元処理した場合の植物の遺伝的・生理的反応機作の解明などに利用が可能である。
- 3) 上記のような、茎葉部が大気に晒される装置の改良が行われれば、発芽から苗の生育初期段階での処理を通じて直播栽培用の系統・品種の選抜、さらに品種育成に使用することが可能となる。さらに、生育が進展した植物体の還元に対する遺



第3図 通常培地と還元培地での発芽試験における幼芽の成長。

注：

還元培地における処理(右)は、鳩胸状発芽後一週間行い、テトラゾリウムを用いて、リンゴ酸脱水素酵素の活性を調査した結果、幼芽に活性が認められた。還元培地では、発根が起こらないため、根に対する還元の影響を検討するためには通常培地で発根した後、還元培地での処理が必要である。あるいは、幼芽に対して酸素が供給されるように装置を改良する必要がある。

伝的・生理的反応機作の解明に利用可能である。

#### 引用文献

- 有門博樹 1955. 通気系の発達と耐湿性の関係. 日作紀. 23:285-286.
- 川合真紀, 内宮博文 1999. イネの種子根における通気組織形成と細胞死の機構. 根の研究 8:124-127.
- 小田桂三郎 1971. 耕地とは何か. 沼田真監修. 耕地の生態学. 築地書房, 東京. 6-13.
- 太田保夫, 中山正義 1970. 湛水条件における水稲種子の発芽におよぼす過酸化石灰粉衣処理の影響. 日作紀 39:535-536.

- 笹原健夫 1994. 太陽エネルギーと食糧生産3. 太陽エネルギー・水と作物. 農及園 69:726-730.
- 高井康雄 1961a 水田土壌の還元と微生物代謝(1). 農業技術 16:1-4.
- 高井康雄 1961b 水田土壌の還元と微生物代謝(2). 農業技術 16:51-53.
- 高井康雄 1961c 水田土壌の還元と微生物代謝(3). 農業技術 16:122-126.
- 高井康雄. 1961d 水田土壌の還元と微生物代謝(4). 農業技術 16:162-166.