

## 博士論文内容要約

種子冠水耐性の異なるダイズ品種の  
発芽に及ぼす低酸素・温度の影響

中 嶋 孝 幸

## 第1章 緒言

ダイズは、タンパク質に富みアミノ酸のバランスに優れる作物であり、油糧作物としての換金性にも優れることから、世界のダイズ生産・消費は飛躍的に増大している。FAOの統計では、2013年のダイズ単収は世界が約250kg/10aであるのに対し、日本は約155kg/10aと大きく差がある。ダイズの自給率を上げるためには、日本の単収を世界の単収に近づけることが重要である。日本のダイズ消費は、油用が約190万トン、食用が約90万トンであり、国産のダイズ(約20万トン)はほとんど全てが食用として使用されている。食用ダイズの加工特性として種子の吸水性が重要であることから、日本の栽培品種は優れた吸水性を持つ。しかしこの優れた吸水性は、過剰な水分条件下で、発芽に悪影響を及ぼす。特に日本のダイズ栽培では、播種期が梅雨時期であること、作付けの約85%が水田転換畑であることから、播種後の冠水により発芽不良が起きやすく、単収を制限する一因となっている。冠水害低減のために、播種前の種子の調湿技術や複数の播種法、地下水位制御システム(FOEAS)の利用が提案されているが、冠水耐性の遺伝的・耕種的改良の基礎となる冠水下におけるダイズの発芽メカニズムの解明はまだ十分ではない。

冠水時、土壤中の気相の減少や通気性の減少に加え、種子自身や土壤微生物の呼吸による酸素消費により、土壤中の酸素濃度が低下することから、種子は過剰な水分と低酸素の両方の影響を受ける。過剰な水分は種子の急激な吸水の原因となる。急激な吸水は種子内の組織にひずみをもたらし、子葉の脱落等の破壊をもたらすことが知られている。一方、低酸素に関しては、冠水中の発芽への酸素の影響として、冠水処理中の通気によりダイズ種子が発芽し、窒素だけを通気すると発芽しないことが報告されており、冠水下の酸素により発芽が影響される。しかし、冠水耐性が異なる品種間の低酸素環境下における発芽の良否について、まだ十分な研究が行われていない。まず、急激な吸水の影響を取り除き好適な水分条件下、低酸素だけによる発芽への影響について、検討する必要がある。遺伝資源として利用される品種 Peking は、食用には不向きであるが、冠水耐性が非常に高いことが知られている。この Peking と栽培品種を比較することにより、低酸素の発芽への影響と冠水耐性との関係を明らかにできると考えた。

本研究では、好適な水分条件下、種子冠水耐性の異なるダイズ品種の発芽に低酸素が与える影響を解明することを目的とした。

## 第2章 低酸素発芽装置の作成と低酸素環境下の発芽率

### 第1節 低酸素発芽装置の作成と冠水耐性の異なる品種の発芽率

種子が受ける低酸素の影響を評価するため、目的の酸素濃度に制御可能な発芽チャンバーを作成した。好適な水分条件の下、暗条件で3日間発芽チャンバー内の酸素濃度を一定に保ち、冠水耐性の異なる品種を用い、発芽試験を行った。

結果、酸素濃度  $80 \text{ mL L}^{-1}$  以下で発芽率が低下し、 $20 \sim 80 \text{ mL L}^{-1}$  の範囲で冠水耐性の高い Peking の発芽率が最も低くなり、低酸素環境下において、冠水耐性の高い品種は発芽率が低いことが明らかとなった。

### 第2節 低酸素発芽装置の改良と種子保存期間

前節の発芽チャンバー内の温度を確認したところ、室温と異なる温度であったことから、発芽チャンバー内の温度が目的の温度にコントロールできるように改良を加えた。前節で使用した種子とは保存期間が異なる種子を用いて試験を行った。

結果、酸素濃度  $80 \text{ mL L}^{-1}$  以下で発芽率が低下し、Peking の発芽率が最も低くなった。これは前節の結果と同じであり、保存期間に関係なく、低酸素環境下において、冠水耐性の高い品種は発芽率が低いことが明らかとなった。本章の低酸素環境下の発芽において、幼根の伸長が伴わないまま種皮が裂開する種子が観察されたこと、温度による発芽への影響が考えられたことから、次章でこれらについてさらに検討した。

## 第3章 低酸素環境下における発芽への温度の影響

幼根が  $2 \text{ mm}$  以上種皮から現れたものを発芽と定義し、幼根の伸長量を考慮した発芽ステージを設定した。この発芽ステージをもとに冠水耐性の異なる品種の発芽への温度の影響について精査した。発芽最適温度( $35^{\circ}\text{C}$  前後)から播種期の地温( $20^{\circ}\text{C}$  前後)に近い温度の範囲で3段階の温度( $20, 25, 30^{\circ}\text{C}$ )と、前章で品種間差の現れた  $20 \sim 80 \text{ mL L}^{-1}$  の酸素濃度を組み合わせ、暗条件に3日間において、冠水耐性の異なる品種の発芽の様相を比較した。その後大気水準の酸素濃度下におき、7日後に側根・根毛の出現した個体の数を調べ、この割合を低酸素解除後の成長の良否の判断に用いた。

酸素・温度処理終了後の調査の結果、 $20 \text{ mL L}^{-1}$  の酸素濃度では、全ての品種でほとんど発芽せず、酸素濃度  $40 \sim 80 \text{ mL L}^{-1}$  で品種間差が見られた。冠水耐性が最も高い Peking は、他の品種よりも発芽率が低く、温度が高くなるほど、顕著となった。冠水耐性が最も低いナカセンナリは低酸素環境下でも発芽率が高く、 $30^{\circ}\text{C}$  の時、他の温度より発芽率が低くなった。冠水耐性の違いにより種皮の裂開が異なり、冠水耐性

の高い Peking は温度に関わらず種皮の異常な裂開が少なく、冠水耐性の低いナカセンナリは温度が高くなるほど種皮の異常な裂開が多くなった。低酸素解除後の成長は、冠水耐性の高い Peking は温度・酸素濃度に関わらず悪化しにくかったのに対し、冠水耐性の低いナカセンナリは温度が高くなるほど悪化した。冠水耐性の低い品種においても 20℃の時、冠水耐性の高い Peking(20, 25, 30℃)と同様に、低酸素環境下において異常な裂開が少なく、低酸素解除後の成長が悪化しにくかった。以上のことから、低酸素環境において低温(20℃)や低酸素により発芽が遅れることが、低酸素解除後のほぼ正常な成長に結びついたと推察した。

## **第 4 章 発芽時の酸素吸収**

### **第 1 節 冠水耐性と発芽時の酸素吸収量との関係**

前章で低酸素環境において冠水耐性の高い Peking は発芽率が低かった。この原因は、酸素濃度が低かったこと、あるいは酸素量そのものが不足したことにある可能性が考えられた。そこで、発芽までに必要とする酸素の量(発芽時の酸素吸収量)と冠水耐性との関係を調査した。

結果、冠水耐性の高低と発芽時の酸素吸収量との間には有意な負の相関がみられ、冠水耐性の高い品種は発芽までに必要とする酸素の量が少ないことが明らかとなった。すなわち、低酸素環境下で冠水耐性の高い Peking の発芽率が低くなった原因は、酸素量の不足ではなく、種子内の酸素濃度が低いためであることが示唆された。

### **第 2 節 大気水準の酸素濃度を必要とする時期**

冠水耐性の高い Peking の発芽率が低くなった原因が種子内の酸素濃度が低いためであったことから、Peking の発芽には他の品種より高い酸素濃度が必要である。吸水開始から発芽までの酸素吸収速度は Phase1 と Phase2 の 2 つに分けられ、Phase1 では大気水準の酸素濃度が必要とされることが知られている。Peking の発芽に必要な高い酸素濃度は、Phase1 の開始に必要となる可能性がある。そこで吸水開始後に大気水準の酸素濃度を必要とする時期について調査した。

結果、冠水耐性の低いエンレイは吸水開始から 3 時間までの大気水準の酸素濃度で発芽を開始したのに対し、冠水耐性の高い Peking は、吸水開始から 6 時間までは酸素を必要とせず、6～9 時間後に大気水準の酸素濃度を必要とする時期があることが明らかとなった。

## 第 5 章 冠水耐性と種皮

### 第 1 節 種皮・糊粉層の一部切除と低酸素環境下での発芽

第 3 章の低酸素環境下の発芽試験の結果において、冠水耐性の異なる品種間で種皮の裂開に違いが見られた。種皮・糊粉層は、吸水において、冠水耐性の異なる品種間で透水性が異なることが知られている。低酸素環境における発芽率の品種間差にも種皮・糊粉層の酸素透過性が関与している可能性がある。そこで種皮・糊粉層の一部切除により、物理的な酸素透過性を高め、低酸素環境下での発芽率を比較した。

結果、種皮と糊粉層のそれぞれが酸素の透過を抑制していた。さらに冠水耐性の高い Peking は種皮・糊粉層による物理的な酸素透過抑制の他、生理的な酸素透過抑制や低酸素環境下における発芽阻害の可能性が推察された。

### 第 2 節 冠水耐性と種皮厚

種皮の酸素透過性や物理的な強度の一要因として、種皮厚について検討した。冠水耐性の異なる品種の種子横断面の画像を用い、種皮厚を測定した。

結果、冠水耐性の低い品種は、種皮の最も薄い部位において冠水耐性の高い品種より種皮が薄いため酸素透過性が高く、種子断面積も大きいことから種皮にかかる力も大きく、裂開しやすいと推察された。

## 第 6 章 総合考察

本研究の結果、酸素濃度  $80 \text{ mL L}^{-1}$  以下の低酸素により温度に関わらずダイズの発芽率が低下し、冠水耐性の高い Peking の発芽率の方が低くなること、しかし低酸素解除後の成長は、冠水耐性の高い Peking の方が悪化しにくいことが明らかとなった。冠水耐性の低い品種でも比較的低い温度 ( $20^{\circ}\text{C}$ ) の時、低酸素解除後の成長が悪化しにくかったことから、低酸素環境下における発芽の遅延が高い冠水耐性に寄与していることがわかった。そして発芽の遅延には、厚い種皮および糊粉層による物理的な酸素の透過抑制に一因がある可能性を示した。また種皮・糊粉層における生理的な酸素透過の抑制や低酸素環境下における発芽阻害物質の関与の可能性も本研究から推察されたが、これらについては、さらに研究を進める必要がある。

栽培品種のほとんどは冠水耐性が高くない。本研究において冠水耐性の低い品種でも低酸素解除後の成長が悪化しにくい結果となった  $20^{\circ}\text{C}$  は、東北地方の 6 月の地温に近い。この時期の冠水による発芽不良は、低酸素よりも急激な吸水の影響が大きい可能性がある。しかし 7 月播種や西南暖地等の地温が高いときは、低酸素に起因する発芽不良も起きる可能性があり、これに対する酸素透過性の低い種皮・糊粉層

の有効性が本研究により示唆された。採種用種子生産圃場における栽培方法等による水と酸素の透過性の低い種皮・糊粉層を持つ種子の生産技術や、冠水時に水と酸素の透過を抑制する種子コーティング技術を開発し、既存の技術と併用することにより、ダイズの発芽・出芽を安定させ、単収増加に寄与できると考える。

## 発表論文

本論文に関する著者の発表論文は以下の通りである。

- ・原著論文(査読あり)

中嶋孝幸・庄司琴美・国分牧衛 2014. ダイズ種子の冠水抵抗性と発芽時の酸素吸収量との関係. 日作東北支部報 57: 23-26.

Nakajima, T., Seino, A., Nakamura, T., Goto, Y. and Kokubun, M. 2015.

Does pre-germination flooding tolerant soybean cultivar germinate better under hypoxia conditions? Plant Prod. Sci. 18: (in press).

- ・原著論文(査読なし)

中嶋孝幸・長嶺あゆみ・国分牧衛 2010. 発芽前冠水抵抗性が異なるダイズ品種における低酸素濃度条件下での発芽率について. 日作東北支部報 53: 45-46.

- ・国際学会(査読なし)

Nakajima, T. and Kokubun, M. 2012. Does germination ratio under low oxygen conditions vary between cultivars with different pre-germination flooding tolerance in soybean? ASA, CSSA, and SSSA 2012 International Annual Meeting. Cincinnati, USA. Oct. 21-24.