

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780338

研究課題名(和文) 乾燥地の天水コムギ栽培における種子ハードニングの作用機構解明と適正技術開発

研究課題名(英文) Elucidation of mechanism and development of appropriate technology for seed hardening in rainfed wheat farming in drylands

研究代表者

辻 渉(TSUJI, Wataru)

鳥取大学・農学部・助教

研究者番号：60423258

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：乾燥地の天水農地における減収の主要因のひとつである出芽不良を改善するための種子予措技術として種子ハードニング(種子に一度吸水させ、再乾燥させてから播種する手法)がある。これに着目し、乾燥地の主要穀物であるコムギを対象に、種子ハードニングの効果の遺伝的差異、作用機構の解明、収量への影響について調査した。その結果、デュラムコムギと合成パンコムギでは出芽向上効果に遺伝的な差異があること、その効果にはジベレリンと α -アミラーゼが関与すること、播種後の降水が十分な場合は種子ハードニングを行っても子実収量の増加は認められないが、減少もしないことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Seed hardening is known as one of seed pretreatment techniques to improve poor seed germination and seedling emergence which are major limiting factors of crop grain yield in rainfed farming in drylands. In the present study, I investigated to elucidate the genetic differences for effects of seed hardening, the mechanism of seed hardening and the influence of seed hardening on grain yield in wheat which is major cereal crop in drylands. As the results, it was found that there are genetic differences for effects of seed hardening on seed germination and seedling emergence in durum and synthetic bread wheat, and gibberellin and α -amylase activity were concerned in the effects of seed hardening. In the condition of sufficient rainfall after sowing, in addition, it was found that seed hardening couldn't increase grain yield, but not decrease too.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：乾燥ストレス 種子予措 コムギ 乾燥地農業 適正栽培技術 ジベレリン α -アミラーゼ 国際情報交流

1. 研究開始当初の背景

乾燥地は元来、降水の絶対量が少ないため、作物の生産性が低い地域である。また、この地域は降雨が空間的・時間的に不均一であるため干ばつが頻発し、子実収量が激減して深刻な食糧不足が生じることも少なくない。IPCC 第4次評価報告書によると、アフリカ・中近東を中心とする乾燥地では近い将来、地球温暖化によって降水量が減少するとともに蒸発散量が増加するため干ばつの頻度がより高くなると予測されている。これに伴って食糧不足も加速する可能性が高いため、「食料危機」に対する方策を確立しておくことは世界的な喫緊の課題といえる。

これまで乾燥地農業において切り札として位置づけられてきた灌漑は、過度に依存すれば地下水や河川・湖沼水などの淡水資源を枯渇させ、不適切な管理を行えば土壌の塩類化・アルカリ化を引き起こして砂漠化を招くというリスクを内包している。また灌漑設備の設置には多額の投資を必要とするため、乾燥地を擁する多くの発展途上国ではその建設が困難である。これらの問題は、作物生産のような大規模で粗放的な栽培体系において特に顕著である。したがって、近い将来の「食料危機」に対応するためには灌漑以外の方策、すなわち作物自体の耐乾性を向上させる方策も確立しておく必要がある。これには栽培学的手法と育種・分子遺伝学的手法が考えられるが、後者では実用化された事例は多くない。

作物にとって出芽期は土壌乾燥ストレスに対して最も敏感な生育段階であり、子実収量に対して多大なる影響を与える (Loomis and Connor, 1998)。乾燥地では通常、雨季に入ったことを示す First rain もしくは Second rain の後に播種を行う。しかし、その後の降水が継続しない年も多く、この場合、作物は厳しい土壌乾燥ストレスに曝され、出芽が著しく制限される。これによって苗立ちが悪化し、最終的には収量が減少する。この問題に対処する栽培学的な種子予措技術として Seed hardening が提案された (Henckel, 1964)。これは播種前の種子に吸水させた後、それを元の重量まで乾燥させてから播種するという手法であり、各種の作物において土壌乾燥下で出芽率が向上する効果が認められているが、その効果に品種間の差異があるかを検討した報告は非常に少ない。これは、乾燥地においても非常に重要な作物であるコムギについても同様であり、ごく少数の品種を用いて検討した報告に限られている (Idris and Aslam, 1974; Jaiswal et al., 1997)。そのため、コムギにおいて Seed hardening による出芽の向上効果が普遍的なものであるかの結論は得られていない。

さらに、Seed hardening による出芽向上の作用機作についても未だに明らかになっていない。これまでに α -アミラーゼ活性の向上による貯蔵デンプンの分解促進、胚肥大の促

進、浸透調整作用を通じた吸水力の増大などの関与が報告されているが、発芽率との関係性は明瞭でない場合が多い。また、これらによって出芽に要する時間の短縮は説明できるものの、乾燥土壌下における発芽率向上は説明できない。さらに、 α -アミラーゼの活性に作用することが知られているジベレリンの影響についても不明のままである。

一方、作物は幼苗時に軽微な土壌乾燥ストレスに曝されると、その後のより強いストレスに対して耐性を示すことが知られており、これは Drought hardening と呼ばれている (Turner, 2003)。この考えに基づくと、Seed hardening はより早い生育段階、つまり種子に人為的に軽度の乾燥ストレスを与える手法と捉えることができ、幼苗期以降の乾燥ストレス耐性の発現や子実収量を増加させる可能性がある。しかしながら、そのような報告はほとんど見当たらない。

2. 研究の目的

本研究ではまず、Seed hardening による乾燥土壌における出芽の向上効果に遺伝的差異があるかについて、遺伝的背景が大きく異なる、もしくはほぼ同一の品種や系統を用いて検討することを目的とした。さらに、遺伝的差異が認められた品種・系統を対象にして Seed hardening の作用機構を明らかにするとともに、Seed hardening によって土壌乾燥ストレス下における苗立ちや収量が向上するかについても検討した。

3. 研究の方法

(1) Seed hardening 効果の品種間差異

遺伝的背景が大きく異なる、もしくはほぼ同一の品種・系統を供試材料にして、乾燥土壌条件下における Seed hardening による出芽向上効果に差異があるかを明らかにすることを目的とした。

遺伝的背景が異なるデュラムコムギにおける品種間差異

ICARDA (国際乾燥地農業研究センター) から分与されたデュラムコムギ 40 品種 (起源地に近い地中海沿岸諸国の在来 19 品種と ICARDA で育成された改良 21 品種) から無作為に選んだ 5 品種を、体積含水率を 1.5% から 7.0% まで 0.5% ごとに調整した砂質土壌に播種し、人工気象室内において 15 日間無灌水で栽培し、出芽率を経時的に調査した。

この結果に基づき決定した土壌体積含水率 6.0% の湿潤区 (圃場容水量) および 2.5% の乾燥区に対して、40 品種の Seed hardening 処理種子と無処理種子を播種し、出芽率を経時的に調査した。

さらに、Seed hardening 処理の効果に顕著な差異がみられた 2 品種 M1086 および Akbash を、体積含水率を $6.0 \pm 0.5\%$ (湿潤区) および $2.5 \pm 0.5\%$ (乾燥区) に維持した土壌で栽培した。経時的に草丈を調査するとともに、播種後 57、58 日目に携帯型光合成蒸散測定

装置を用いて最上位完全展開葉の光合成速度を測定した。

遺伝的背景が同じ合成パンコムギにおける系統間差異

合成コムギ3系統 (SYN8, SYN10, SYN15) とその親品種 Cham6 を供試材料とした。砂質土壌の体積含水率 2.0, 2.2, 2.4, 2.8% に相当するように浸透ポテンシャルを調整したポリエチレングリコール (PEG) 溶液に, Cham6 の hardening 処理種子と無処理種子を播種した。これを 12 の設定したインキュベータ内に置き, 発芽率を 14 日間調査した。次に, 処理間に顕著な差異が認められた体積含水率 2.0% の PEG 溶液に供試 4 系統の hardening 処理種子と無処理種子をそれぞれ 20 粒, 5 反復で播種し, 発芽率を経時的に調査した。

(2) Seed hardening の作用機構

Seed hardening の作用機構として, ジベレリン (以下 GA) と α -アミラーゼに着目し, GA が α -アミラーゼ活性に与える影響や外生 GA の投与効果について検討することを目的とした。

(1) において Seed hardening 処理の効果に顕著な差異がみられた SYN15 と SYN8 を対象に, 0, 10, 25, 50, 100, 200 ppm の GA₃ 溶液を種子表面にスプレーして GA₃ のみを吸収させる処理区を設けた。また外生 GA の投与効果を検証するために, hardening 処理時に 0, 10, 25, 50, 100, 200 ppm の GA₃ を投与する処理区も設けた。これらの種子および無処理種子それぞれ 40 粒を体積含水率 2.0% に調整した PEG 溶液に 6 反復で播種し, 12 の設定したインキュベータ内に置いて, 発芽率と α -アミラーゼ活性を経時的に調査した。

(3) Seed hardening が収量に与える影響

Seed hardening によって乾燥ストレス下におけるコムギの収量が増加するかを乾燥地の現地圃場において検証することを目的とした。

シリアにおける現地試験

シリアのアレッポ近郊にある ICARDA において, そこで育成されたパンコムギの合成六倍体同質遺伝派生 3 系統 (SYN-8, SYN-10, SYN-15) およびその親品種であるシリア在来の Cham6 を材料とした栽培実験を行った。これらの系統・品種の種子を 12 の水に 24 時間浸漬した後に再乾燥させた hardening 処理種子と無処理種子を準備し, 11 月 28 日および 3 月 3 日に ICARDA 圃場内に 3 反復の分割区法で播種した。これらを天水栽培し, 単位面積あたりの発芽数を測定した。栄養成長期にポロメーター (AP4, ΔT 社製, UK) を用いて, 11 月 28 日に播種した個体の最上位展開葉を対象に日中の気孔コンダクタンスを測定した。同時に, さらに, 赤外線温度計 (100.3ZL, Everest Interscience 社製, USA) を用いて草冠温度を測定した。収穫期に子実収量を

測定した。

中国における現地試験

中国の石家庄近郊にある中国科学院遺伝および発育生物学研究所生物資源研究所 Luancheng station において, パンコムギ 8 品種 (科农 199, 石麦 18, 石麦 15, 良星 66, 石新 811, 石新 828, 济麦 22, 石优 17) を材料に栽培実験を行った。これらの系統・品種の種子を 12 の水に 24 時間浸漬した後に再乾燥させた hardening 処理種子と無処理種子を準備した。これを station 内の圃場に 2 反復の分割区法で播種し, 天水栽培した。発芽率を経時的に調査するとともに, 登熟期に気孔コンダクタンス, および蒸散速度を推定できる草冠温度を測定した。また, 収穫期に地上部乾物重, 子実収量, 収量構成要素を測定するとともに, 収穫指数を算出した。

4. 研究成果

(1) Seed hardening 効果の品種間差異

遺伝的背景が異なるデュラムコムギにおける品種間差異

土壌の体積含水率 2.5% および 3.0% (初期萎凋点) では, hardening 処理によって出芽率が向上し, 特に 2.5% で顕著であった。一方, 2.0% (永久萎凋点) 以下では hardening 処理を行っても出芽しなかった。3.5% 以上では最終出芽率に影響しなかったものの, 出芽が 1 日程度早まる効果が認められた。

この結果に基づいて決定した土壌体積含水率 6.0% (湿潤区) および 2.5% (乾燥区) に調整した土壌において供試 40 品種の発芽率を調査した。その結果, 湿潤区では hardening 処理種子, 未処理種子ともに出芽率が高く, 顕著な品種間差異は認められなかった。一方, 乾燥区では hardening 処理により全ての品種の出芽率が向上し, その向上程度は品種間で異なる傾向が認められた。

この結果に基づいて選抜した hardening 処理の効果が高い品種 (M1086) と低い品種 (Akbash) を湿潤区および乾燥区で栽培したところ, Akbash の湿潤区および乾燥区, M1086 の湿潤区では, hardening 処理によって草丈が変化しなかったのに対し, M1086 の乾燥区では有意に高い値を示した。また, 光合成速度も草丈と同様に, M1086 の乾燥区においてのみ有意に増加した。

以上の結果, Seed hardening は厳しい乾燥土壌においてデュラムコムギの出芽を向上させる効果があること, その効果には品種間差異が存在すること, 出芽期以降の成長にも影響することを明らかにした。

遺伝的背景が同じ合成パンコムギにおける系統間差異

土壌の体積含水率 2.2% 以上に調整した PEG 溶液では, hardening 処理の有無に関わらず, 100% に近い発芽率を示したのに対し, 2.0% では処理区間に差異が認められた。この

体積含水率 2.0%での条件で供試 4 系統を調査したところ,hardening 処理による発芽率の向上程度に顕著な系統間差異が認められ,その程度は SYN15 が最も大きく,SYN8 が最小であった。

以上の結果,合成パンコムギにおいても,Seed hardening 処理が乾燥ストレス下における発芽を向上させる効果があり,遺伝的背景がほぼ同じ系統間でもその効果に差異があることがわかった。

(2)Seed hardening の作用機構

SYN15 では,無処理種子よりも「hardening 処理 + GA 0 ppm 区」と「hardening 無処理 + 種子表面に異なる濃度の GA をスプレーした各処理区」のほうが高い発芽率を示した。これに対し,SYN8 ではそのような顕著な処理間の差異は認められなかった。また,播種 48 時間後の α -アミラーゼ活性は発芽率とほぼ同様の傾向を示した。これらの結果は hardening 処理による発芽率の向上に,GA とそれが誘導する α -アミラーゼが関与することを示唆している。また,hardening 処理時に,外生 GA₃ を投与すると両系統とも発芽率が向上することが明らかとなったが,その濃度の影響は明確ではなかった。

これらの結果は,hardening 処理による発芽率の向上に,GA とそれが誘導する α -アミラーゼが関与することを示唆している。また,hardening 処理中に外生 GA₃ を投与すると,その濃度の影響は明確でないものの,系統に関わらず発芽率が向上することが明らかとなった。

(3) Seed hardening が収量に与える影響

シリアにおける現地試験

単位面積あたりの発芽数を測定したところ,播種時期に関わらず,いずれの系統においても Seed hardening による顕著な発芽の向上は認められなかった。これは播種後に大量の雨が降ったため,無処理種子でも高い発芽率を達成したことに起因すると考えられた。また栄養成長期における個体の最上位展開葉の日中の気孔コンダクタンスは合成コムギ系統では hardening 処理の有無による差異は認められなかったが,Cham6 では hardening 処理個体のほうが無処理個体よりも有意に高い値を示した。草冠温度については,気孔コンダクタンスの差異が認められた Cham6 も含め,いずれの系統においても処理間の差異は認められなかった。

中国における現地試験

供試した 8 品種のいずれにおいても Seed hardening による顕著な発芽の向上は認められなかった。これはシリアと同様に,播種後に大量の降雨があったため,無処理種子でも高い発芽率を達成したことに起因すると考えられた。登熟期における気孔コンダクタンス・草冠温度にも処理間の差異はなかった。

地上部乾物重,子実収量,収量構成要素,収穫指数はいずれの品種においても Seed hardening による有意な増加は認められなかった。しかしながら,有意でないものの,6 品種において,Seed hardening によって子実収量が増加する傾向が認められた。試験年の降水量が例年より少なく,乾燥ストレスの程度が厳しかったことを考え合わせると,Seed hardening は乾燥ストレス下のコムギの生育や子実収量を向上させる可能性があると考えられた。

以上の結果,播種期に降水量が多い場合は Seed hardening を行っても子実収量が増加しないが,減少もしないことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者,研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

辻 涉(TSUJI, Wataru)

鳥取大学・農学部・助教

研究者番号:60423258

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号: