

令和 6 年 5 月 18 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K05995

研究課題名(和文) イネおよびコムギの子実成長における塩耐性の解明と品種多様性

研究課題名(英文) Performance and genetic diversity of saline resistance for the grain filling in rice and wheat

研究代表者

小葉田 亨 (Tohru, Kobata)

島根大学・その他部局等・名誉教授

研究者番号：60186723

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：イネとコムギの登熟耐塩性をもたらす特性を明らかにしようとした。登熟期のイネを塩水に浸けると特に感受性品種の地上部重、粗玄米重と収穫指数が塩濃度上昇と共に低下し、品種に関わらず玄米重と収穫指数との間には地上部よりも密接な関係があった。また、穂首節への塩集積は耐塩性品種で低い傾向があった。穂培養法で培地の塩濃度を上げるとイネ、コムギとも子実重が低下し、コムギ41品種の低下率は正規分布した。以上から、土壌の塩濃度加は子実への同化産物の分配を低下させ、その程度には品種間差があること(イネ)、その差は穂への塩移行の低さ(イネ)と子実成長自体の塩抵抗性(イネとコムギ)が影響していることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今後の人口増加や温暖化が進む元での食料生産維持、拡大のためには塩害地、海水侵入地域への作物の作付けが必要である。主要作物であるイネとコムギは沿海部や乾燥地において塩害を受けており、子実生産で最も直接的影響を受ける登熟期における塩耐性の品種間差は十分明らかにされていない。従って、登熟過程に着目した本研究はこれらの登熟期の耐塩性を構成する要因とそれらが品種差に与える影響を明らかにしようとしており、今後の品種改良へ着目すべき形質を提言出来ることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：The objective was to identify traits associated with salt resistances of the grain filling under salt stress in rice and wheat. Four rice cultivars with different salt tolerance were grown in soils with different NaCl concentrations (0-100 mM). The grain weight, total plant dry weight, and harvest index decreased with increasing soil salinity particularly in sensitive cultivars and the grain weight highly correlated with harvest index than total plant dry weight. In salt-tolerant cultivars, the salt concentration in the internodes hardly increased. In salt-tolerant rice, the grain filling rate of detached spikelet less decreased than in salt-sensitive cultivars under high salt cultural solution, and in wheat the rate showed a wide frequency distribution. It was concluded that the grain filling rate in salt-tolerant cultivars was maintained under high salt concentration (rice and wheat) and tended to reduce salt absorption from the soil (rice).

研究分野：作物生産学

キーワード：イネ コムギ 塩害 耐塩性 登熟 穂培養法 塩集積

1. 研究開始当初の背景

塩害は世界の重要な基幹作物であるイネやコムギ生産に深刻な影響を与えている。さらに温暖化にともなう海面の上昇や降雨減少が塩害を増加させている。しかし、植物体内の吸収塩類による直接的な子実成長への影響、および塩への品種耐性はほとんどわかっていない。塩害条件下では植物器官の脱水と器官への塩集積による同化と子実成長への影響が同時に起こるため子実の塩耐性評価は大変難しく、子実成長の塩耐性は全く着目されてこなかった。そこで、本研究はイネとコムギにおける塩による子実成長阻害を、1.穂培養法を用いた子実成長の塩濃度反応、2.子実へ供給される塩濃度を低下させる塩排除機能の両面から子実成長の塩耐性とその遺伝的多様性を明らかにする。

2. 研究の目的

本研究の目的はイネおよびコムギにおいて従来着目されてこなかった子実成長における塩耐性の遺伝資源的多様性を、栽培的塩耐性の異なる品種とそれらの染色体断片置換系統のイネおよび塩害のしばしばおきるトルコ共和国のコムギ品種を用いて、1. 申請者らが開発した穂培養法を用いた体内塩濃度に対する子実成長反応、および 2.子実への塩濃度供給を制限する要因である穂までの器官の塩の排除能の両面から明らかにしようとするものである。

3. 研究の方法

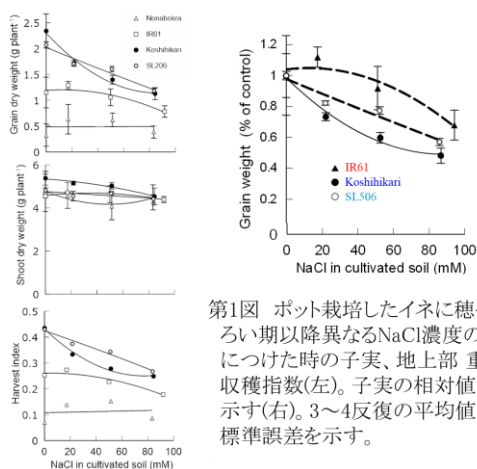
本研究は土壌塩類の子実への影響を二つの側面から明らかにするためにイネでは耐塩性と感受性および染色体断片置換系統の、コムギではトルコ共和国のコムギの(1) 塩濃度増加に対する子実成長反応の違いを、塩濃度を変えた培地で穂培養を行う、(2)吸収された塩類の塩排除能力による子実への塩供給濃度の低下を穂への最終的同化産物供給部である穂首の塩濃度から推定する。これらをイネについては共同研究者(平井)の保有する栽培的耐塩性が異なる品種と登熟の耐塩性に違いが予測される耐塩性品種の染色体断片置換系統で、コムギについてはチュクロバ大学農学部の研究協力者(Dr. Celaleddin Barutcular)とともにトルコ共和国における多様な品種を用いて (1)及び(2)比較する。

4. 研究成果

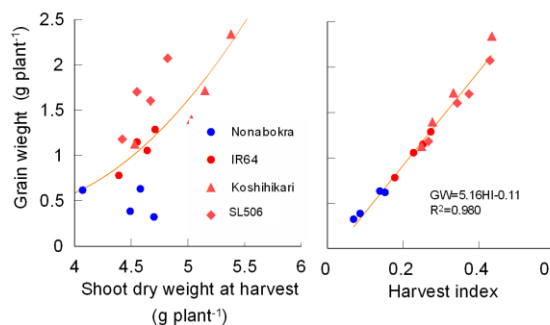
(1) イネ登熟における塩耐性の解明

① 塩水灌漑による物質生産、子実重、収穫指数への影響

登熟期の登熟の塩耐性の違いを耐塩性の異なるイネ 4 品種を用いて確認した。すなわち、塩感受性品種としてコシヒカリ、耐塩性品種として Nonabokura、コシヒカリへの Nonabokra の染色体断片導入系統 SL605、インデイカの耐塩性品種 IR64 である。育苗後、4 葉期に直径 5cm 高さ 15cm の塩ビパイプに容積 0.125L の水稲用育苗用土(グリーンソイル)を詰め 1 個体ずつ移植し、分けつを除いて主稈のみを淡水状態で育成した。穂揃い期から容器を異なる 4 種類の NaCl 溶液に入れて完熟期まで育成した。塩濃度計によって数日おきに株直下の塩濃度を測定し、濃度をみて塩水や水道水を加えた。そして、これらの濃度の測定期間中の平均値を求めた。その結果、土壌水の塩濃度は 0~90 mM 程度に変化した(第 1 図)。



第1図 ポット栽培したイネに穂ぞろい期以降異なるNaCl濃度の液につけた時の子実、地上部重、収穫指数(左)。子実の相対値を示す(右)。3~4反復の平均値と標準誤差を示す。



第2図 穂ぞろい期以降異なるNaCl濃度の液につけたイネの子実重と地上部重(左)、子実重と収穫指数(右)との関係。

この時、全ての品種の地上部の乾物重は塩濃度の増加と共に低下した。低下程度はコシヒカリが一番大きかった。子実重は Nonabokra を除いて塩濃度と共に低下し、0mM の相対値で比べると、コシヒカリの低下が大きく、IR64 が一番少なく次に SL506 であった。収穫指数は Nonabokra を除いていずれの品種でも低下し、コシヒカリの低下が一番大きかった。塩濃度増加下での子実重は地

上部重とは品種間では緩やかな正の関係があったものの品種内では関係はなかった(第2図). しかし, 子実重は収穫指数と塩濃度, 品種間を通して密接な正の関係があった. 以上から, 耐塩性の異なるとされる供試品種には登熟にも品種間差が見られ, これらの子実重の品種間差は塩による物質生産の低下以上に子実への同化産物の分配が低下するためであると見なされた.

② 穂首への塩集積の品種間差

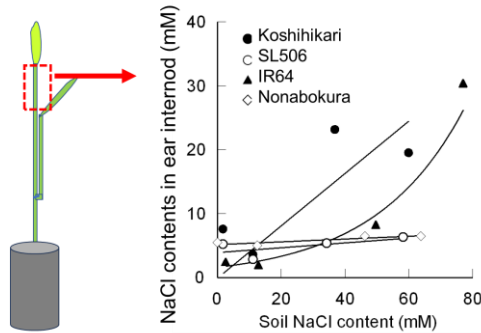
塩水条件下での穂への塩分吸収の品種間差を比較した. 塩水にポットを浸けた穂揃い後約2週間後, 穂首を 1.5 mL の密閉容器に採取し生体重(FW)を測定後, 90°C48 時間乾燥して乾物重(DW)を求めた. 乾物の塩濃度(SC, g g⁻¹)をイオンメーターによって測定した. これらから穂首を含む水分中塩濃度(C)を求めた.

$$C = SC / (FW - DW) \quad (1)$$

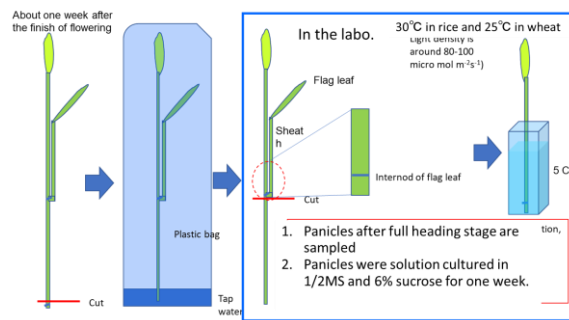
その結果, Nanobokra と SL506 の土壌塩濃度の増加によってほとんど穂首の塩濃度増加はなかったのに比較して Koshihikari と IR64 では増加が認められた(第3図).

③ 穂培養による培地塩濃度に対する子実生長反応の品種間差

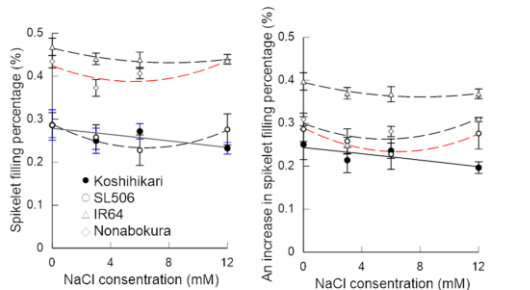
イネ6品種, コシヒカリ, SL506, IR62 耐塩性のインデイカ品種 IR64 と Nonabokura を2021年5月19日に苗箱に播種し, 6月17日に5葉期の苗を岡山大学農学部の水田に0.15×0.30 mで移植した. LP複合肥料(14-14-14)を8g m⁻²を移植前に施用した. 穂揃い後約1週間, 開花が終了した穂の稈を地際から採取し, 少量の水を入れたビニール袋に入れ実験室内で穂首節下から穂を水中で切り戻した. この穂を500mLのプラスチック容器に入れた1/2MS培地とシュクロース6%の培養液にNaClを0, 4, 6, 8 mM加えて基部を浸けた. この容器を30°Cの人工気象装置に設置した5°Cに設定した冷蔵庫に入れ1週間培養した(Kobata et al., 2001) (第4図). 培養液の塩濃度はイオンメーターによって測定した. その結果, コシヒカリとIR62の籾の充填率(粗玄米重/籾数×精玄米1粒重)は培地塩濃度が増えるにつれて低下したのに対して, 他の品種ではほとんど低下しなかった(第5図).



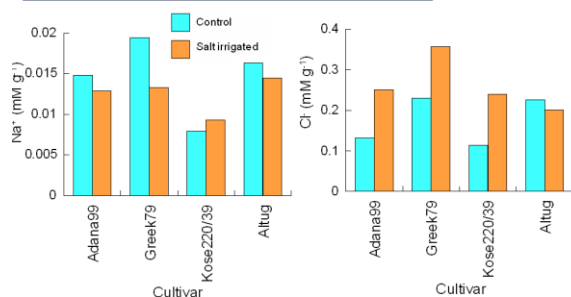
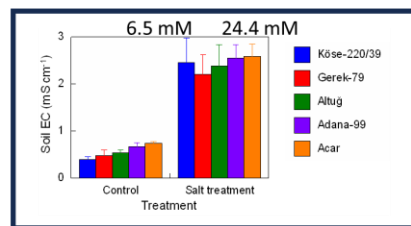
第3図 穂ぞろい期以降異なるNaCl濃度の液につけたイネの穂ぞろい後2週間における穂首の塩濃度。



第4図 穂培養法の方法. イネでは穂を30°Cでコムギでは25°Cで一週間培養した。



第5図 穂培養によるイネ子実の充填率の培地塩濃度に対する反応. 左は一日当たりの増加量, 右は増加量を示す. 3~4反復の平均値と標準誤差を示す.



第6図 圃場で穂ぞろい期以降異なるNaCl濃度の塩水を灌漑した時の土壌の塩濃度(上)とコムギ品種の開花後2週間における穂首節液につけたイネの穂ぞろいの塩濃度(下)。

(2) コムギ登熟における塩耐性の解明

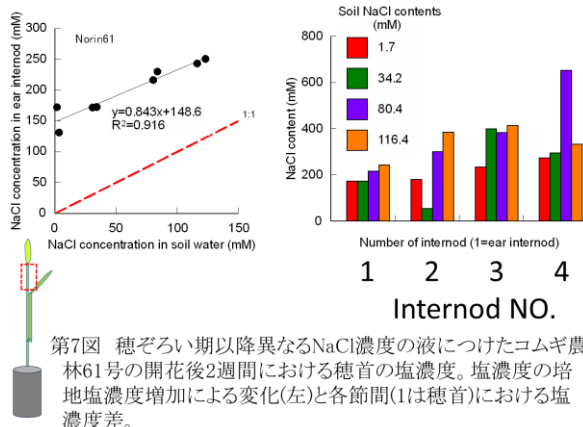
① 圃場条件における穂首への塩集積の品種間差

トルコのコムギ5品種をトルコ共和国アダナ市のチュクロバ大学付属農場で栽培した. 元肥として窒素 20 g m⁻², リン酸とカリを 8 g m⁻² 与えた圃場に, 500 g m⁻²のコムギ種子を播種した. 開花期後, 土壌 40 mM の NaCl 溶液を週に一度与える区と真水を与える区をもうけた. 数日おきにイオンメーターを土壌に差し込み土壌 EC を測定した. その結果, 土壌の塩濃度は対照区で 0.4~0.7mS

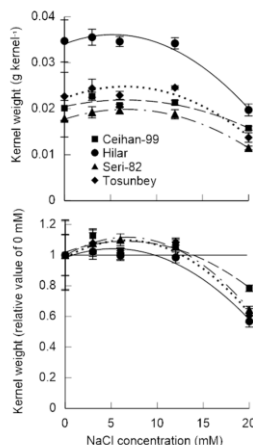
cm⁻¹ (6.5 mM 相当)であったのに対して塩水区は 2.5 mS cm⁻¹ (24.4 mM)に上昇した(第 6 図-上). 処理後約二週間目に穂首節を採取し-20℃で冷凍後 80℃で 24 時間乾燥後粉碎して無イオン水で希釈後 Na と Cl イオンを測定した. 穂節間の塩濃度は品種間で約二倍程度の違いがあったのに対して塩処理は Na イオンを増加させず, Cl イオンが 1.5~2 倍に上昇した(第 6 図-下). このように, 本試験程度の塩水処理は穂首 Na イオン塩濃度を増加させなかった. これは農林 61 号における塩水処理が穂首の塩濃度を上げるためには土壌の塩濃度が 50 mM 以上必要であることから(第 7 図)推定された.

② 穂培養による子実成長の塩濃度反応

アダナ市チュクロバ大学圃場に窒素 20 g m⁻², リン酸とカリを 8 g m⁻² 与えた圃場に, 500 g m⁻² のコムギ種子を播種した. 開花後, 穂を採取してイネと同様の方法で穂培養を行った. ただし, 穂は 25 °C に保たれ, 培地には 0~20 mM の NaCl を加えた. 2021 年にはトルコのコムギ 4 品種を栽培し穂培養した結果, 平均 1 粒重が低下始め, 低下しやすい品種とや

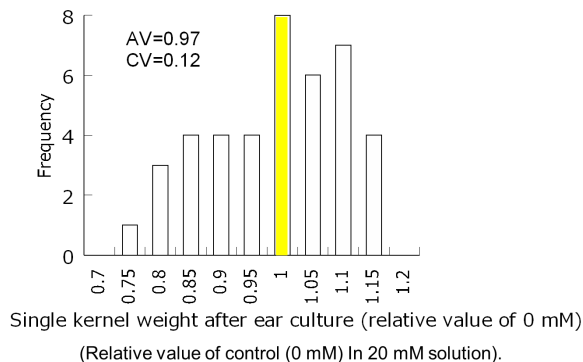


第7図 穂ぞろい期以降異なるNaCl濃度の液につけたコムギ農林61号の開花後2週間における穂首の塩濃度. 塩濃度の培地塩濃度増加による変化(左)と各節間(1は穂首)における塩濃度差.



第8図 穂培養したトルコのコムギの平均一子実重と培地の塩濃度. 4~5反復の平均値と標準誤差を示す.

やや低下しやすい品種が認められた(第 8 図). 2021 年にはトルコのコムギ品種 41 品種を穂培養し, 20 mM における 1 子実重の 0 mM の対照区に対する相対値は 0.75 から 1.15 の分布を示し品種間差があった(第 9 図)



第9図 穂培養したトルコのコムギ41品種の平均一子実重(培地塩濃度0に対する相対値)の頻度分布.

(3) 結論

以上から, イネの登熟期における土壌塩濃度の増加は物質生産と共に子実への同化産物の分配を低下させその程度には品種間差があること, その違いをもたらす理由の一つに穂に至る器官への塩集積の違いがあること, さらに塩濃度に対する登熟の阻害程度が品種で異なることが明らかになった. 登熟の塩耐性は品種によってどちらかが大きく寄与していた. コムギにおいては穂までの器官における塩集積の塩濃度による品種間差は明確に出来なかったものの登熟における品種間差は明確であった. イネの塩濃度に対する子実生長反応はコムギよりも感受性が高いとみられた.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 小葉田 亨, 富阪 康平, 篠永 美和, Shaobing Peng	4. 巻 90
2. 論文標題 イネ止葉における緑葉維持能力の多様性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本作物学会紀事	6. 最初と最後の頁 177-181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1626/jcs.90.177	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kakiuchi Jin, Kobata Tohru	4. 巻 480
2. 論文標題 Crop recovery efficiency of applied phosphorous under different nitrogen applications and the contribution of these two nutrients to seed production in soybeans	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 583 ~ 601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-022-05605-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mai Nguyen Sao, Hanh Dao Duy, Nakashima Mai, Kumamoto Kotaro, Thuy Nguyen Thi Thu, Kobata Tohru, Saitoh Kuniyuki, Hirai Yoshihiko	4. 巻 11
2. 論文標題 Identification and Validation of QTLs for Yield and Yield Components under Long-Term Salt Stress Using IR64 CSSLs in the Genetic Background of Koshihikari and Their Backcross Progenies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Agriculture	6. 最初と最後の頁 777 ~ 777
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agriculture11080777	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Nguyen Hien Thi Thanh, 山中 碩人, 小葉田 亨, 平井 儀彦, 齊藤 邦行
2. 発表標題 NERICAイネの蒸散と水利用効率に及ぼす土壤乾燥の影響
3. 学会等名 第255回日本作物学会講演会
4. 発表年 2022年 ~ 2023年

1. 発表者名 山中 碩人, Nguyen Hien Thi Thanh, 小葉田 亨, 平井 儀彦, 齊藤 邦行
2. 発表標題 NERICA イネの土壤乾燥に伴う蒸散低下率
3. 学会等名 第255回日本作物学会講演会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 N T T H Hien, H Yamanaka, T Kobata, Y Hirai and K Saitoh
2. 発表標題 Effects of water use efficiency on plant dry matter in NERICA and Japanese rice cultivars under drought conditions
3. 学会等名 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 富田 朝美, 齊藤 大樹, 福田 善通, 平井 儀彦, 齊藤 邦行, 小葉田 亨
2. 発表標題 インド型イネ品種IR64の遺伝的背景を有する染色体断片系統群における地表根発生と光との関係
3. 学会等名 第251回日本作物学会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上野 綾華, Hanh Duy Dao, 小葉田 亨, 齊藤 邦行, 平井 儀彦
2. 発表標題 コムギとオオムギの耐塩性の種間差および品種間差に関わる要因の解析
3. 学会等名 第248回日本作物学会講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	平井 儀彦 (Hirai Yoshihiko) (80263622)	岡山大学・環境生命科学研究科・教授 (15301)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	なし (Barutcular Celaleddin)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
トルコ	チュクロバ大学農学部			
トルコ	チュクロバ大学農学部			