

## キヌアの高塩耐性を支える3つのNa<sup>+</sup>排除輸送体

キヌアは高塩濃度環境でも生育可能な作物であるが、その塩耐性機構は十分に解明されていない。遺伝子型の異なるキヌア系統群間では、地上部におけるNa<sup>+</sup>蓄積量に大きな差が生じる。特に南部高地系統では、海水レベルの塩条件下でも地上部へのNa<sup>+</sup>侵入が強く抑制される。Na<sup>+</sup>輸送体遺伝子の発現が抑制されると地上部へのNa<sup>+</sup>蓄積が増加することから、これら輸送体が地上部へのNa<sup>+</sup>侵入抑制に関与することが示唆される。本成果は、キヌアの高い塩耐性を支える分子基盤を示し、塩害地農業に資する塩耐性作物開発の基礎知見を提供する。

キーワード：キヌア、遺伝子型、ナトリウム、輸送体

### 背景・ねらい

地球上には約1,700万km<sup>2</sup>もの塩害地域があり、今後も拡大が予測される。しかし、イネ、ダイズなど主要作物は塩害に弱く、塩害地域での収量減少が懸念される。キヌアは、優れた栄養特性と高塩濃度などの過酷な環境に対する高い適応性を併せもつ作物である。気候変動による地球環境の劣化が危惧される中で、将来、貴重な食料源となることが期待される。キヌアは、南米ボリビアのウユニ塩湖の周辺でも栽培されており、高塩濃度環境でも生育できる。しかし、キヌアのもつ高い塩耐性機構については、これまでよく分かっていない。これまでに、ウユニ塩湖周辺の過酷環境に適応した南部高地系統について高精度なゲノム配列情報を整備し、キヌア集団における多様性を網羅的に比較するゲノム解析基盤として活用できることを示した（令和6年度国際農林水産業研究成果情報 B02「アンデス高地で栽培化された高地型キヌア系統の高精度ゲノム配列情報」）。本研究では、遺伝子型によって分類された栽培地域が異なるキヌアの3種類の系統群（北部高地系統、南部高地系統および低地系統）を用いるとともに、これまで開発してきた分子レベルでの解析技術やゲノム情報を駆使して、キヌアがもつ高い塩耐性を支えるメカニズムを解明する。

### 成果の内容・特徴

- 3系統群（各6系統ずつからなる計18系統）のキヌア幼植物はいずれも高い塩耐性をもち、高塩濃度（海水レベルの塩濃度である600mM NaCl）条件下でも生育が維持される（図1）。
- 塩処理はK<sup>+</sup>蓄積量に影響することが知られているが、高塩濃度で処理したキヌア幼植物では、K<sup>+</sup>の蓄積量は根において顕著に減少する一方、地上部ではほとんど減少しない。キヌアは高塩濃度下においても、生育に必須なK<sup>+</sup>濃度を高く維持する能力を有している。
- 高塩濃度で処理したキヌア幼植物の子葉におけるNa<sup>+</sup>の蓄積量は、低地系統で最も多く、次いで、北部高地系統、ウユニ塩湖周辺の南部高地系統の順に少なくなる傾向を示す。また、地上部のNa<sup>+</sup>蓄積量の系

統による違いは、キヌアの地上部のNa<sup>+</sup>の取り込み量の違いに起因する（図2）。

- 3つのキヌアNa<sup>+</sup>輸送体遺伝子（*CqHKT1;1*、*CqHKT1;2* および *CqSOS1* 遺伝子）の発現量は、高塩濃度処理によって大きく変動しないが、3種類の系統群間で顕著に異なる。また、これら遺伝子の発現制御領域の配列には系統群間で違いがある。これらの発現量および発現制御の違いが、系統間にみられるNa<sup>+</sup>蓄積量、ひいては塩耐性の差に関与していると考えられる。
- CqHKT1;1*、*CqHKT1;2*あるいは*CqSOS1*遺伝子の発現が抑制されると、いずれの場合も地上部へのNa<sup>+</sup>蓄積量が増加する（図3）。このことから、これらの輸送体が地上部へのNa<sup>+</sup>侵入抑制に重要であることが示唆される。

### 成果の活用面・留意点

- キヌアにおけるNa<sup>+</sup>排除機構の一端を明らかにしたことにより、キヌアのもつ高い塩耐性機構の解明につながる。また、キヌアの塩耐性機構は、塩耐性作物開発の基礎知見となる。
- キヌア系統間におけるNa<sup>+</sup>排除を担う輸送体遺伝子配列の特異性が発現応答や輸送能などに影響を与える可能性を考慮する必要がある。

### その他

予算区分：交付金プロ[B1レジリエント作物（第5期）]、外部資金[地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)；ムーンショット型農林水産研究開発事業；科研費21H02158、22K05374、23KK0113、23K05192、23K18036、JP24H00499、24K08839、25H00935]

研究実施期間：2021～2025年度

研究担当者：小林安文、村田善則、小賀田拓也、永利友佳理（生物資源・利用領域）、藤田泰成（食料プログラム）、杉田亮平（名古屋大学）、藤田美紀（理化学研究所）、安井康夫（京都大学）

発表論文等：Kobayashi et al. (2025) *Front. Plant Sci.* 16: 1597647. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1597647>

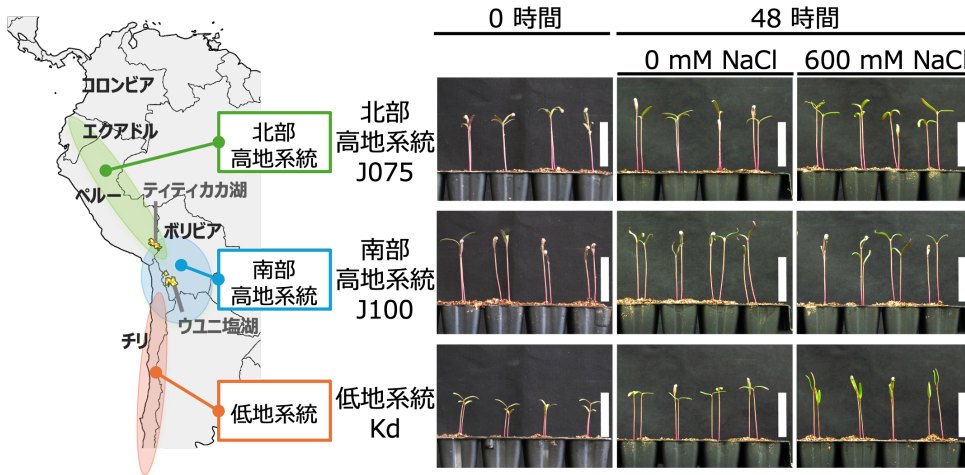


図1 海水レベルの塩濃度条件においてもキヌアの幼植物は生育できる

左は遺伝子型によって分類されるキヌア系統群が栽培されている地域を示す地図。また、各系統群の代表系統幼植物の処理開始時（0時間）および対照区あるいは高塩濃度処理で48時間栽培した時の写真を示す。写真中の白色バーは2 cm。

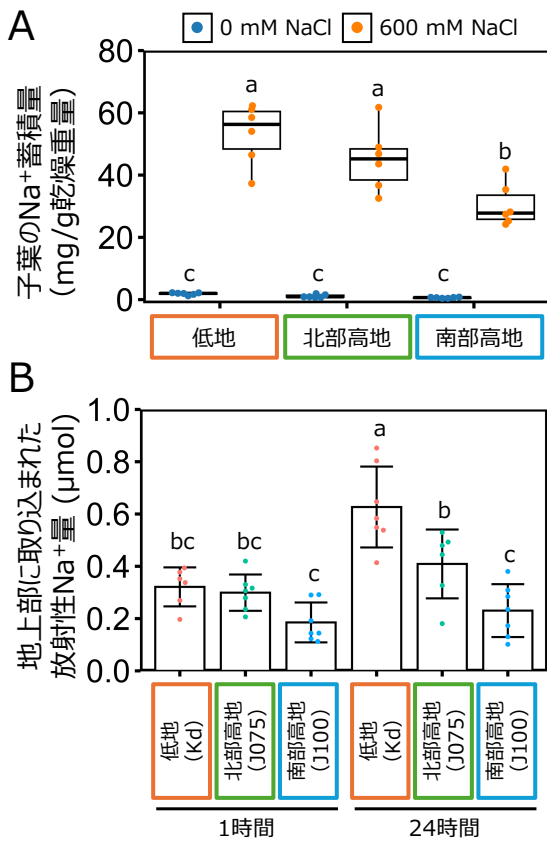


図2 キヌア地上部の Na<sup>+</sup>蓄積量は遺伝子型によって決まる

(A)キヌアの各系統群に属する6系統ずつの対照区または高塩濃度で48時間処理したときの子葉におけるNa<sup>+</sup>蓄積量。各点は各系統の平均Na<sup>+</sup>蓄積量。異なるアルファベットは有意差があることを表す ( $n=6$ , Tukey HSD 法,  $p < 0.05$ )。 (B)各系統群を代表する1系統を用い放射性Na<sup>+</sup>を加えた溶液で1または24時間処理したときの幼植物地上部に取り込まれた放射性Na<sup>+</sup>量。異なるアルファベットは有意差があることを表す ( $n=6$ または7, エラーバーはSD, Tukey HSD 法,  $p < 0.05$ )。

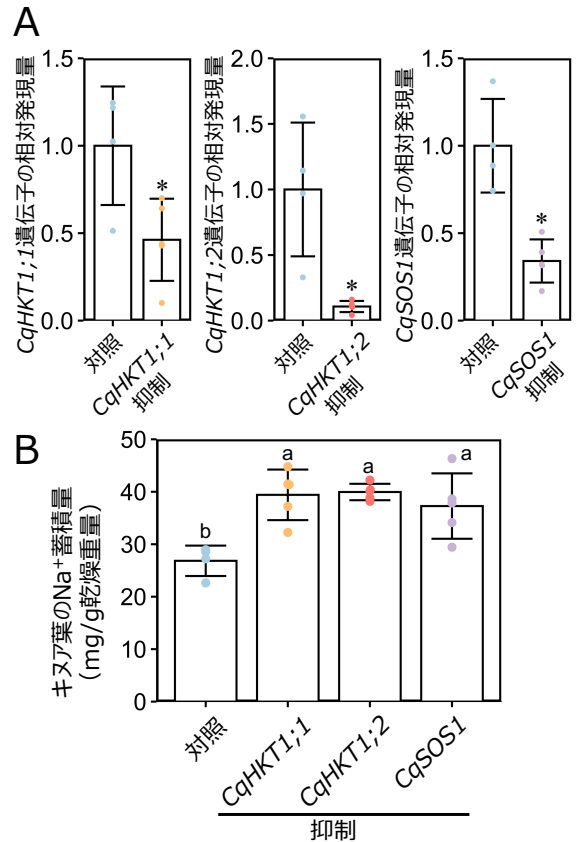


図3 3つのNa<sup>+</sup>輸送体遺伝子がキヌアの地上部のNa<sup>+</sup>分配に関与している

(A)ウイルスベクター法によるNa<sup>+</sup>輸送体遺伝子 *CqHKT1;1*, *CqHKT1;2*あるいは *CqSOS1*の発現抑制レベル。アスタリスクは有意差があることを示す ( $n=4$  または 5, エラーバーはSD, Student's *t*-test,  $p < 0.05$ )。 (B)各遺伝子の発現が抑制されたキヌアを300 mM NaClで3週間生育した際の葉のNa<sup>+</sup>蓄積量。異なるアルファベットは有意差があることを表す ( $n=4$ または5, エラーバーはSD, Tukey HSD 法,  $p < 0.05$ )。

図は Kobayashi et al. (2025) より CC BY 4.0 に従い転載/改変して作成  
© Author(s) 2025 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>