

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K05915

研究課題名(和文) ディープデータから読み解く：テンサイ耐病性獲得機構の解明

研究課題名(英文) Understanding disease resistance mechanism in sugar beet by deep data

研究代表者

臼井 靖浩 (Usui, Yasuhiro)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・中日本農業研究センター・上級研究員

研究者番号：20631485

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、フェノタイプの異なるテンサイ品種・系統が、周辺の生育環境に及ぼす影響について、以下のことが明らかになった。1) 群落表面温度は日中、品種・系統間差が生じていた、2) F1の群落表面温度は親系統より低い傾向を示した、3) 群落内の温湿度環境は、F1が親系統と比べ、低温高湿条件であった、4) 気孔コンダクタンスおよび蒸散速度には有意な系統間差が認められた、これらのパラメータはF1の方が親系統より大きかった、5) 純光合成速度の系統間差は判然としなかった。
F1の群落表面温度が親系統より低い傾向を示したのは、気孔コンダクタンスが大きいことで、蒸散速度も増大したことによるものと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、我が国のテンサイ研究において作物学、植物生理学、農業気象学的特徴が明らかになっておらず、いわば研究対象として未開の作物と言っても過言でない状況であったが、本研究により、群落表面温度が品種・系統によって異なり、その要因が気孔コンダクタンスや蒸散速度の違いにより生じていることを明らかにしたことにある。また、それらにヘテロシスの影響も及んでいる可能性を示唆する結果を得ることができた。

社会的意義としては、群落表面温度の違いを活用し、品種開発の選抜指標として応用が期待されるだけでなく、ハイスループットな選抜技術の開発にも役立つことが可能な点にある。

研究成果の概要(英文)： This study investigated phenotypic differences among genotypes of sugar beets in their growing environment. The following points regarding phenotypic diversity were revealed. 1) There were differences in canopy surface temperatures during the day among the genotypes. 2) Canopy surface temperatures of F1 genotypes tended to be lower than those of their parental lines. 3) Canopy interior temperature and humidity conditions were cooler and more humid in F1 than in the parental lines. 4) stomatal conductance (gs) and transpiration rate (E) showed significant varietal differences among the six genotypes, with F1 gs and E values tending to be higher than those of the parents. 5) Net photosynthetic rate showed significant varietal differences depending on the day.

The F1 canopy surface temperature tended to be lower than that of the parental genotypes, possibly due to its larger stomatal conductance and increased transpiration rate.

研究分野：農業気象

キーワード：群落表面温度 気孔コンダクタンス 蒸散速度 光合成速度 一代雑種(F1) 親系統 ヘテロシス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

北海道の基幹畑作物であるテンサイを栽培する上で、諸外国と比べて高温・多湿の栽培環境下において、収量減少に大きく関わる褐斑病等が頻発している。そのため、耐病性に関する有用な量的形質遺伝子座(QTLs)を特定し、耐病性品種開発が実施されている。しかし、褐斑病発生および耐病性獲得メカニズムについて、作物学、植物生理学、農業気象学的に明らかにされていないのが現状であり、耐病性獲得メカニズムを解明することで、加速度的な品種開発を行うことができる。テンサイは北海道の畑輪作体系上、欠かすことができない作物でありながら、ここ日本では作物学、植物生理学、農業気象学的特徴が明らかになっておらず、いわば研究対象として未開の作物と言っても過言ではない。

そこで、遺伝子×環境との相互作用を、作物学、植物生理学、農業気象学的側面から、テンサイの耐病性獲得機構に至る形態的特徴を明らかにしようと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、他の病害虫被害よりダメージが非常に大きく収量・糖分低下をもたらす褐斑病に対する耐病性の強弱が「葉に存在する気孔の形態によって異なるではないか？」との問いに対して、群落微気象および植物生理に関する詳細なデータ(ディープデータ)の取得・解析から明らかにする。

本研究の問いに対してテンサイ栽培環境における群落微気象および生育・生長に関するビッグデータの取得・解析から、ジェノタイプ、フェノタイプの違いによって群落微気象環境が異なることを見出したが、詳細なメカニズムは明らかになっていない。ただし葉に存在する気孔が大きく関与していること、一代雑種(F_1)系統は親系統と比べ群落温度が低いことから、「ヘテロシス効果によって気孔のサイズや開度が影響を受けている」可能性が見えてきた。そこで、本研究では、遺伝的背景の異なるテンサイ6系統(親3系統とそれらの F_1 の3系統)を用い、群落温度、気孔コンダクタンス、光合成パラメータにどのような違いが生じ、形態的特徴と耐病性強度へどのような影響を及ぼすか明らかにする。

3. 研究の方法

1) 群落表面温度および群落内外の気温・湿度の測定

フェノタイプの違いは、群落構造にも影響を与える。群落構造の差異は、群落に吸収される光や透過する入射光に影響を及ぼし、群落内外の気温・湿度、地温や土壌水分にも大きな影響を及ぼす。特に、群落形成下における群落表面温度や群落内外の気温・湿度といった生育を取り巻く環境の品種間差異を明らかにすることは、フェノタイプの違いによる気孔コンダクタンスの品種・系統間差を明らかにする第一歩となる。そこで本研究では、フェノタイプの異なるテンサイ品種・系統が、周辺の生育環境に及ぼす影響の品種・系統間差を、群落表面温度および群落内外の気温・湿度を対象に明らかにする。

2) 気孔コンダクタンス、蒸散速度および純光合成速度の系統間差

気孔の開度の大小で蒸散量が変化することが知られている。しかし、これまでにテンサイの気孔コンダクタンスの系統間差について、明らかにされていない。気孔コンダクタンスの品種・系統間差は、同時に光合成能についても重要な知見を与える。

本研究では、フェノタイプの異なる親系統(NK235BR, NK195BR, NK388)と一代雑種(F_1)(NK235BR×NK195BR, NK195BR×NK388, NK235BR×NK388)を供試材料とし、親系統の気孔コンダクタンスの大小が、 F_1 系統ではヘテロシス効果が光合成能獲得のために気孔のサイズや開度をどのように制御するのか、気孔コンダクタンス、蒸散速度および純光合成速度といったパラメータの測定を行い、その品種・系統間差を明らかにする。

上記1)および2)のパラメータ間および収量形質との相互関係を明らかにする。

4. 研究成果

1) フェノタイプの系統間差

葉数は F_1 が親系統より多く、草丈も F_1 が親系統より高い傾向を示した。群落内への光透過率は、 F_1 が親系統より低い値を示した。

2) 群落表面温度および群落内外の気温・湿度品種・系統間差

群落表面温度は日中、品種・系統間差が生じており、大気飽差(VPD)が大きい時間帯に品種・系統間差が大きくなった。3品種間では「モノヒカリ」>「北海みつぼし」>「アマホマレ」の順で群落表面温度が高かった。 F_1 の群落表面温度は親系統より低い傾向を示した、群落内の温湿度環境は、 F_1 が親系統と比べ、低温高湿条件であった。

3). 気孔コンダクタンスおよび光合成速度の系統間差

気孔コンダクタンスおよび蒸散速度には有意な系統間差が認められた。気孔コンダクタンスおよび蒸散速度 F_1 が親系統より高い値を示す傾向があり、おおむね「NK195BR×NK388」>「NK235BR×NK195BR」>「NK235BR×NK388」>「NK195BR」>「NK388」>「NK235BR」の順で高かった、純光合成速度の系統間差は判然としなかった。

F_1 の群落内の温湿度環境が、親系統より低温高湿条件となったのは、葉数が多く、草丈が高く、光透過率も低いことから F_1 は親系統より群落が大きく、群落構成が閉じていることが要因の一つであったと考えられた。

気孔コンダクタンスと群落表面温度との間に有意な相関関係がみられ、 F_1 の気孔コンダクタンスはが親系統より高い値を示す傾向が見られた。気孔コンダクタンスと蒸散速度の相関関係は、葉における蒸散量が群落表面温度の低下に寄与しており、それにとまって葉気温較差（群落表面温度から気温を引いた値）も低くなった。すなわち、 F_1 の方が親系統より葉温上昇を抑えることができるだけでなく、気孔からの CO_2 の取り込みにも有利に働いたものと推察された(臼井ら, 2022)。本研究では葉気温較差と気孔コンダクタンスの相関関係では、両者の間には負の相関関係があること(臼井ら, 2021, 2022)も明らかになった。また、群落表面温度の高い品種・系統は収量が低い傾向が見られたことから、気孔コンダクタンスおよび蒸散速度と収量形質を比較したところ、収量形質である根重および糖量に有意な相関関係が認められた。しかし、純光合成速度の系統間差は判然とせず、収量形質との相関関係は認められなかった(臼井ら, 2022)。

群落表面温度の測定は、放射温度計や熱画像カメラによって連続的かつ遠隔的な計測が容易にできるパラメータであるため、気候変動下における品種開発の選抜指標として応用が期待されるだけでなく、ハイスループットな選抜技術の開発にも役立てることが期待される(臼井ら, 2022)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 白井靖浩, 田口和憲, 平藤雅之	4. 巻 21
2. 論文標題 テンサイ一代雑種およびそれらの親系統の群落表面温度の系統間差	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 生物と気象	6. 最初と最後の頁 48～53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2480/cib.J-21-066	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 -

1. 著者名 白井靖浩, 田口和憲, 平藤雅之	4. 巻 62
2. 論文標題 テンサイ一代雑種およびそれらの親系統の気孔コンダクタンスおよび群落表面温度の系統間差とその相互関係	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 てん菜研究会報	6. 最初と最後の頁 1～10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 白井靖浩, 田口和憲, 平藤雅之	4. 巻 20
2. 論文標題 異なる特徴をもった3つのテンサイ品種の生育とその群落表面温度の品種間差 生物と気象	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 生物と気象	6. 最初と最後の頁 121～127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2480/cib.J-20-060	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 -

1. 著者名 白井靖浩, 田口和憲, 平藤雅之	4. 巻 61
2. 論文標題 時系列データに基づいたテンサイ一代雑種とその両親の生育比較	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 てん菜研究会報	6. 最初と最後の頁 7～14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 臼井靖浩, 田口和憲, 平藤雅之	4. 巻 22
2. 論文標題 テンサイ一代雑種およびそれらの親系統の個葉における気孔コンダクタンス, 蒸散速度および純光合成速度の系統間差	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 生物と気象	6. 最初と最後の頁 75 ~ 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2480/cib.J-22-075	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 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Yasuhiro Usui, Kazunori Taguchi, Masayuki Hirafuji
2. 発表標題 Understanding time-series dataset of growth, physiology, and micro-climate environment in sugar beet
3. 学会等名 Third International Workshop on Machine Learning for Cyber-Agricultural Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 臼井靖浩, 廣田知良, 田口和憲, 平藤雅之
2. 発表標題 テンサイF1および親系統における群落環境および生理的特徴の系統間差
3. 学会等名 グリーンテクノバンク・てん菜研究会第16回技術研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuhiro Usui, Tomoyoshi Hirota, Kazunori Taguchi, Masayuki Hirafuji
2. 発表標題 Genotype and environment interaction between F1s and their parents in sugar beet (<i>Beta vulgaris</i>)
3. 学会等名 5th International Plant Phenotyping Symposium (IPPS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 臼井靖浩
2. 発表標題 雑種強勢効果は、生育環境に影響を及ぼすか？
3. 学会等名 農学中手の会 第4回研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 臼井靖浩, 田口和憲, 平藤雅之
2. 発表標題 テンサイの生理的特徴の系統間差
3. 学会等名 日本農業気象学会2019年全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Usui, Kazunori Taguchi, Masayuki Hirafuji
2. 発表標題 Discovering new knowledge from ground truth time-series datasets of growth, physiology, and micro-climate environment in sugar beet (<i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>vulgaris</i>)
3. 学会等名 The XX CIGR World Congress 2022 (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 臼井靖浩, 田口和憲, 平藤雅之
2. 発表標題 テンサイ一代雑種およびそれらの親系統の生育特性比較
3. 学会等名 日本作物学会第254回講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

・谷原小学校で「地球温暖化とSDGsについて」をテーマに講演を行いました
https://www.naro.go.jp/project/research_activities/laboratory/carc/155245.html
・「地球温暖化と農業とSDGs ～ 地球温暖化と農業との関係を知り、SDGsについて考えてみよう」
https://www.naro.go.jp/project/research_activities/laboratory/carc/156017.html
社会貢献活動（アウトリーチ活動）として、小学校や市民講座で講演を行った。

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------