

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06327

研究課題名(和文) 葉の水損失と水ポテンシャルの関係に基づく野菜苗活着過程の栽培生理学的解明

研究課題名(英文) Analyze of rooting process of vegetable transplants based on relation between plant water loss and its water potential decreasing

研究代表者

小沢 聖 (Ozawa, Kiyoshi)

明治大学・研究・知財戦略機構(生田)・研究推進員(客員研究員)

研究者番号：40360391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：土壌のpF-含水比曲線に相当する概念を葉に適用し、葉が水を保持する潜在力が生育、収量に及ぼす影響を高温期に定植するキャベツ8品種で評価した。定植22日後までの生育は、気孔コンダクタンス(Cs)と葉水分保持率(LWHR)と負の相関にあり、これらから高い相関で推定できた( $r=0.98$ )。結球重は、式「結球重 = 収穫までの日数 / (LWHR × Cs)」で推定できた( $r=0.82$ )。生育、収量に及ぼすLWHRとCsの影響は大きく、一般知見と逆であった。とくにLWHRの向上は、耐乾性向上で知られるが、高温期でも十分灌水したキャベツでは生育、収量を抑制した。今後、異なる環境での解析が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

葉が保持する水の量と大気の水を引出す圧力との関係は、P-V Curveとして知られている。これまで水ストレスを受ける圧力範囲での葉水分保持率が高いことが耐乾性の向上に有利なことが森林生態学で解明されている。この概念を高温期に定植するキャベツに適用したところ、定植7日後の萎凋は予想通りに葉水分保持率の高い品種で少なかった。しかし、その後の生育は、葉水分保持率だけでなく気孔コンダクタンスも、低い品種ほど生育が優れるという従来と逆の知見が得られた。これらの品種では、午前に比べて午後蒸散が少なかった一方で、曇天が多かった期間の生育は劣った。P-V Curveの重要性を今後の研究で訴え続けたい。

研究成果の概要(英文)：The concept of soil water and pressure curve had introduced in the leaves of cabbages grown in an open field. Their growth and yield of eight cultivars were analyzed focusing leaf water holding ratio (LWHR) which is the exuded water ratio of plant upper fresh weight when the plant outer pressure increase from 6 bars to 8 bars in the pressure chamber. The wilting on 4 DAT was in the positive relation with LWHR. However, the growth after that day was in the negative relation with LWHR, and stomatal conductance (Cs). Head weight could be estimated by the equation "Head weight = Days until harvest / (LWHR X Cs)". The result was reverse relation with the normal understandings,

研究分野：作物環境制御

キーワード：キャベツ 生育・収量 トマト 水ほう症 葉水分保持能 プレッシャーチャンバー 気孔コンダクタンス P-V Curve

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

葉の木部圧ポテンシャル (P) と水分率 (V) の曲線は P-V Curve と呼ばれ、土壌での pF-含水比曲線に相当する。Scholander ら (1964) により提唱され、1970 年代からしばらく、森林生態学で水分生理の解析に広く利用された。体内水分の変化による物理的な吸水能力の変化などを解析でき、P の低下による V の低下 (V/P) が小さい樹種で、水分保持能 (Leaf Water Holding Capacity, LWHC) が高く、耐乾性が高いことが広く知られている。一方、草本作物でこの関係を利用した研究例は少なく、詳細な研究は見当たらない。草本作物の栽培環境での一般的な V の範囲では、V/P はハクサイ、キュウリなどで小さく、トマト、サツマイモなどで大きい。V/P の小さい作物で耐乾性が強く、耐乾性を高める育苗方法が V/P を下げるといふ仮説を研究開始当初考えた。そこで、この曲線の作物差、低温処理による硬化などの育苗環境が、この曲線を介した高温期に定植する苗の活着性に及ぼす影響を評価した。

しかし、1 年目の実験で、V/P が小さいハクサイで V/P が大きいキャベツより生育が悪いという仮説に反する結果が得られた。また、V/P に及ぼす低温処理の影響はみられず、生育は定温処理で抑制された。この結果から研究計画を全面的に見直し、LWHC との関係性を 2 年目にトマトの水ほう症と、3 年目にキャベツの生育、収量と解析した。

### 2. 研究の目的

#### (1) トマト水ほう症の品種間差に及ぼす LWHC の影響

トマトの水ほう症は体内水分の急激な変化による細胞のバーストで発生するとされている。Miyama and Yasui (2021) は、水ほう症の発生促進環境下での 12 品種の苗の被害程度が、Shoot/Root 率 (S/R) が高い品種ほど多いことを解明したが、これらの相関は十分には高くなく、他の要因の関与も考えられた。そこで、S/R と LWHC の複合要因が水ほう症被害の品種間差に及ぼす影響を解析する。

#### (2) キャベツの生育、収量に及ぼす LWHC の影響

秋作キャベツ 8 品種で LWHC が生育、収量に及ぼす影響を解析し、1 年目の実験結果を検証する。

### 3. 研究の方法

地表面で茎を切断した作物地上部を数時間十分に吸水させた後、プレッシャーチャンバーに装着し、任意の圧力間での茎断面からの出液重の地上部生体重に対する割合を、葉水分保持率 (LWHR) とした (写真 1)。図 1 にトマト 2 品種とキャベツ 1 品種の加圧圧力と LWHR の関係を示す。



写真1 LWHCの測定

#### (1) トマト水ほう症の品種間差に及ぼす LWHC の影響

2021 年 9 月 15 日に Miyama and Yasui (2021) が用いた 12 品種 (ハウス桃太郎、CF ハウス桃太郎、CF 桃太郎はるか、桃太郎ピース、桃太郎ホープ、サンロード、麗容、麗夏、麗旬、TY みそら 86、湘南ポモロンレッド、湘南ポモロンレッドゴールド) を、明治大学黒川農場で育苗培土を充填した 72 穴セルトレーに播種し、育苗して LWHC を求める材料とした。水ほう症の被害程度と S/R 率は Miyama and Yasui の実験データを用いた。

4 葉期に達した 10 月 24-25 日に、苗を茎の地際部で切断し、プレッシャーチャンバーに装填し、段階的に 0.6、0.8、1.0 MPa に段階的に加圧した。各品種 3-4 個体で、それぞれの加圧にともなう茎断面からの出液を吸水紙で受け、重量を測定した。0.6MPa から 1.0MPa に加圧して得られた総出液量に対する、0.6MPa から 0.8MPa の加圧での出液量を「低圧出液率」とした。

#### (2) キャベツの生育、収量に及ぼす LWHC の影響

1) 2022 年 8 月 6 日に図 3 に示す 8 品種を 72 穴セルトレーに播種し、気温 21℃、日長 12 時間、CO2 濃度 1100ppm に定値制御した苗テラスで育成した。4 から 5 葉期にあたる 9 月 10 日に各 4 個体を、明治大学黒川農場の圃場の畝間 1m の南北畝に株間 35 cm で定植し、N80ppm の OAT アグリオ A 処方培養液 4mm/d をドリップ灌水して育成した。4DAT (Days After Transplant) の 12:00 に萎凋指数 (Wilt4) を目視で、7DAT と 22DAT の土壌面被覆葉面積 (LA7, LA22) を画像解析で測定した。結球重を「金系 201」で 84DAT に、他の品種で 126DAT に収穫し測定した。収穫日の DAT を D と示した。日平均気温がキャベツの適温上限とされる 20℃を下回ったのは 10 月 2 日であった (図略)。

2) 同様に育成した 8 品種の苗を、9 月 7 日から 8 日に室温 21℃の実験室に搬入した。地表面で茎を切断し、地上部を十分に吸水させた後、プレッシャーチャンバーに装着した。圧力を

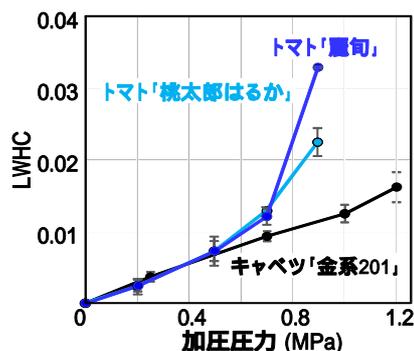


図1 加圧圧力とLWHCの関係の作物・品種間差

0.6MPa から 0.8MPa に上げた間の切断面からの出液重を、地上部重の減少で測定した。この出液重の地上部生体重に対する割合を、葉水分保持率 (LWHR) とした。

3) 8月 20 日に播種して同様に苗テラスで育成した 8 品種の各 3 個体を、9 月 20 日に自然光無加温ハウスに搬入し、直径 9cm のポットで十分に灌水して育成した。晴天日の 10 月 4 日の 10:00 から 12:00 に各個体で 2 回ずつ、上位 2 葉目の展開葉で気孔コンダクタンス (Cs) を Leaf Porometer で測定した。

4) 8 品種の LA と結球重に及ぼす Wilt, D, LWHR, Cs の影響を、相関関係で解析した。

#### 4. 研究成果

##### (1) トマト水ほう症の品種間差に及ぼす LWHR の影響

P-V curve には品種間差があった。被害度と低圧出液率および S/R 率との関係を、図 2 a と b に示す。これらは被害度と正の相関関係にあり、決定係数は低圧出液率 ( $R^2=0.53^{***}$ ) で S/R 率 ( $R^2=0.39^{**}$ ) より高かった。低圧出液率と S/R 率の関係は無相関 ( $R^2=0.09$ ) であったことから、双方は独立した要因といえた。そこで、回帰直線から各品種の低圧出液率における被害度を求め、実際の被害度との誤差を S/R 率で補正して推定した結果、高い相関 ( $R^2=0.72^{***}$ ) が得られた (図 2 c)。このことから、水ほう症被害度は、低圧出液率と S/R 率が低い品種で少ないといえた。定植後、全品種で低圧出液率は大きく低下した。

12 品種のうちで被害度が最も低かった「麗容」では低圧出液率と S/R 率の低さが、次いで被害度が低かった「湘南ポモロンゴールド」では低圧出液率の低さが、被害度の低さに寄与した。被害度が比較的 low だった「湘南ポモロンレッド」と「桃太郎ホープ」では S/R 率の低さが被害度の低さに寄与した。これらの結果を利用することで、育苗期に水ほう症被害の少ない品種を選定できるだけでなく、水ほう症の被害を抑制する栽培法の概念を提言できるといえる。

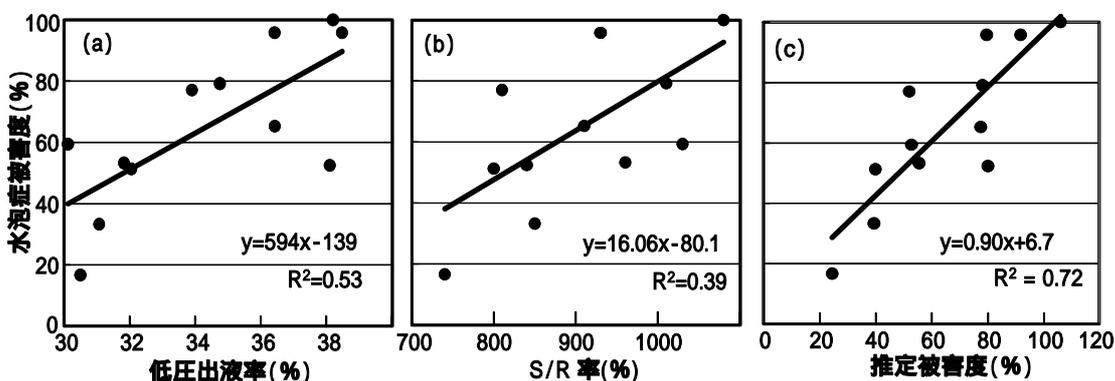


図 2 低圧出液率、S/R 率、推定被害度と水ほう症被害度との関係

表 1 各品種の水ほう症被害程度に及ぼす低圧出液率と S/R の寄与

品種	麗容	G	R	Mh	Sr	麗旬	Chm	TY	Hm	Cmh	麗夏	Mp
被害程度	17	33	51	52	53	59	65	77	79	96	96	100
低圧出液率比	0.05	0.11	0.23	0.96	0.20	0.00	0.76	0.45	0.55	0.75	1.00	0.97
S/R率比	0.00	0.32	0.18	0.29	0.65	0.85	0.50	0.21	0.79	0.56	0.56	1.00

品種記号: Hm)ハウス桃太郎、Chm)CFハウス桃太郎、Cmh)CF桃太郎はるか、Mp)桃太郎ピース、Mh)桃太郎ホープ、Sr)サンロード、TY)TYみそら86、R)湘南ポモロンレッド、G)湘南ポモロンゴールド

「低圧出液率比」と「S/R率比」は、全品種の低圧出液率と S/R 率の最小値を 0、最大値を 1 とし、各品種の値を比例配分して求めた。

##### (2) キャベツの生育、収量に及ぼす LWHR の影響

1) LA7 との相関は Cs とで最も高かった ( $r=-0.77^{**}$ , 図 1)。この回帰直線による推定誤差は Wilt4 とで最も高い相関係数が得られ ( $r=-0.31$ , 図 2), Cs および Wilt4 との関係から 8 品種の LA7 を高い相関で推定できた ( $r=0.82^{**}$ , 図 3)。LA22 と LA7 の差との相関は Cs とで最も高かった ( $r=-0.72^{**}$ , 図 4)。この回帰直線による推定誤差との相関は、LWHR とで非常に高く ( $r=-0.94^{***}$ , 図 5) Cs と LWHR との関係から 8 品種の LA22 と LA7 の差を非常に高い相関で推定できた ( $r=0.98^{***}$ , 図 6)。2) 結球重は、式「結球重 = D / (LWHR × Cs)」で高い相関で推定できた ( $r=0.82^{**}$ , 図 7)。3) 結球重が大きい「青龍」, 「冬ぐり」では LWHR が小さく、結球重が小さい「ふゆおこ」と「夢ごころ」では LWHR が大きかった (表 1)。

このように、生育、収量に及ぼす LWHR と Cs の影響は大きく、一般知見と逆であった。とくに LWHR の向上は、耐乾性向上で知られるが、本実験の高温期でも十分灌水したキャベツでは生育、収量を抑制した。今後、異なる環境での解析が必要である。葉水分保持率は作物生育において見

過ごされてきた重要な要因といえ、作物栽培生理学などでの広い認知が求められる。

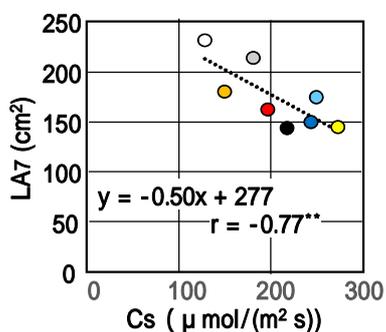


図3 CsとLA7の関係

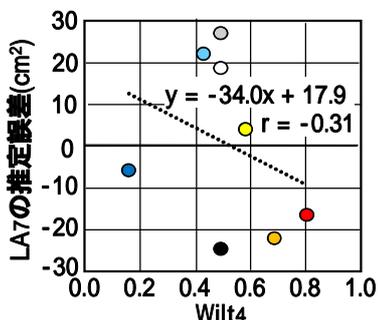


図4 Wilt4と、図1の回帰直線によるLAの推定誤差の関係

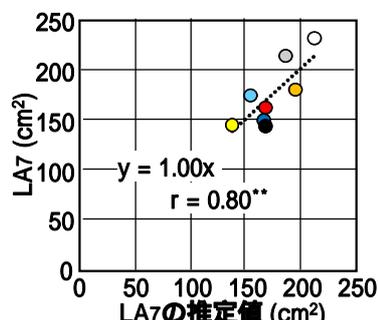


図5 LA7の推定値と実測値の関係

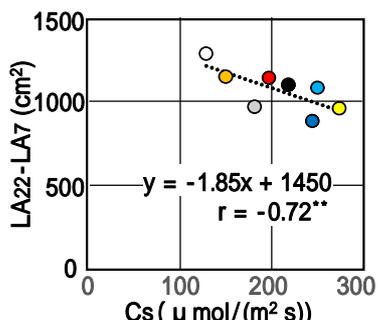


図6 Csと(LA22-LA7)の関係

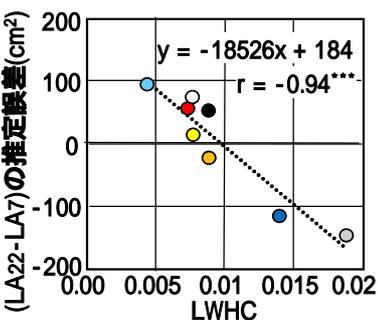


図7 LWHCと、図4の回帰直線による(LA22-LA7)の推定誤差の関係

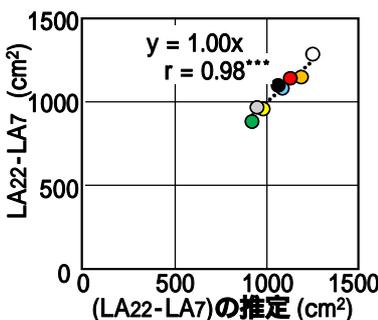


図8 (LA22-LA7)の推定値と実測値の関係

●青龍 ●冬ぐり ●ひなの ○金系201 ●冬のぼり ●彩音 ●夢ごころ ○ふゆおこ

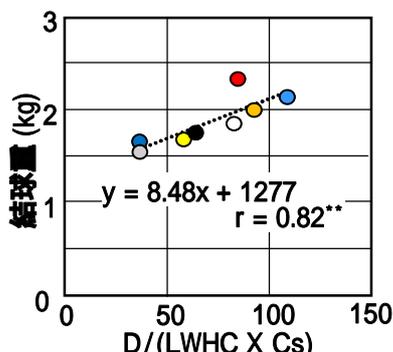


図9 D/(LWHC X Cs)と結球重の関係

表2 品種と、式の各変数の品種順の関係

品種	D	LWHC	Cs
青龍	1	2	4
冬ぐり	1	1	7
ひなの	1	6	2
金系201	8	3	1
冬のぼり	1	5	5
彩音	1	4	8
夢ごころ	1	7	6
ふゆおこ	1	8	3

品種: 結球重の大きい順

D: 大きい順

LWHCとCs: 小さい順

●青龍 ●冬ぐり ●ひなの ○金系201 ●冬のぼり ●彩音 ●夢ごころ ○ふゆおこ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小沢 聖・深山陽子
2. 発表標題 トマト水ほう症の品種間差に及ぼすPressure-Volume Curve (P-V Curve) の影響
3. 学会等名 日本農業気象学会2022年全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小沢 聖・蜷木朋子
2. 発表標題 キャベツの生育，収量に及ぼす水分生理的要因の影響
3. 学会等名 日本農業気象学会2023年全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 蜷木朋子・小沢 聖
2. 発表標題 キャベツの北向け栽培による高温被害対策
3. 学会等名 日本農業気象学会2023年全国大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 鮫島 良次	4. 発行年 2021年
2. 出版社 文永堂出版	5. 総ページ数 320
3. 書名 農業気象学入門	

〔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	蜷木 朋子  (Ninagi Tomoko)  (20759724)	明治大学・農場・特任講師    (32682)	

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