

スイカの3倍体品種「3Xブラックジャック」における灌水の影響

千吉良敦史*1・猪狩恵美*2・中村耕士

キーワード：スイカ，3倍体品種，畑地灌漑，「ブラックジャック」

I 緒 言

千葉県におけるスイカの生産額は78億円で全国第2位であり(千葉県, 2022), 夏季における露地野菜の重要品目である。本県の主要産地では, 黒ボク土の畑地において, パイプハウス栽培や露地トンネル栽培が行われている。トンネル栽培の出荷時期は5月中旬から7月中旬で, 主力は梅雨時期にあたる6月の中旬以降である(内田, 2000)。そのため, 定植後に梅雨を経過し, 安定した降雨があるため, 一般に灌水は実施されない。しかし近年では気候変動の影響で, 生育中に高温乾燥によるしおれが発生し, 収量及び品質の低下要因となることがある。高温及び乾燥対策として, 農業現場では灌水の必要性が検討されている。鳥取県では, 黒ボク畑の露地トンネル栽培において, 品質の向上及び増収などの効果が的確で簡明だったことから, 灌水技術が普及している(藤井, 1989; 衣笠, 2000)。藤井(1989)によると, pF2.0(深さ20cm)を目安に定植後から収穫10~15日前まで灌水することで(好天時の果実肥大期では2~3日に1回), 干ばつ年には無灌水区との比率で173%, 多雨の年にも124%の増収効果が認められた。

乾燥地帯では水分供給量が制限されているため, 灌水量削減に関するいくつかの研究があるが, 多くの場合, 灌水量を制限することで収量は低下することが明らかになっている(Erdem and Yuksel, 2003; Leskovar et al., 2004; Abdelkhalik et al., 2019)。スイカの果実糖度(°Brix)については灌水量を削減することによって, むしろ改善される事例が報告されている(Leskovar et al., 2004; Saraiva et al., 2017)。一方, 開花期の水不足により, 糖度が低下する事例がある(Erdem and Yuksel, 2003)。

また, 果肉の硬さや果皮の厚さ(皮厚)は, ポストハーベストに重要な役割を果たす形態的形質であり, 水管理

により反応しやすい(Kyriacou et al., 2018)。灌水量を減らすことにより, 果肉硬度の増加(Bang et al., 2004)や皮厚の減少(Leskovar et al., 2004)が報告されている。

以上のように, 灌水は果実品質に大きな影響を与える可能性があるため, 灌水技術の導入に際し, 果実品質の変化を明らかにする必要がある。特に糖度については, 正品出荷の判断基準となるほか, カット販売に伴い糖度表示されるケースがあるため重要である。本県においては, 農協等における糖度検査の際, 中心糖度11°Brix以上で正品とされることが多い。海外においても, 許容できる官能品質には10°Brix以上, 優れた官能品質には11°Brix以上が必要だとされている(Maynard et al., 2002; Kyriacou et al., 2016)。

3倍体の種無しスイカは日本の研究者が1940年頃に作出に成功したが, その後国内では広まらず, アメリカと台湾で研究が進み, 栽培面積を伸ばした(木原, 1973)。アメリカでは, スイカ生産に占める3倍体品種の割合が, 2003年の51%から2009年には85%へと劇的に増加した(McGregor and Waters, 2014)。近年では国内でも品種改良が進み, 食味の良い品種が栽培されるようになった。本県では, 「3Xブラックジャック」(ナント種苗(株), 以下, 「ブラックジャック」)が6月中旬~7月収穫における黒皮の3倍体スイカの優良品種として選定され, 県内での主要品種の一つになっている。果肉が硬く, カット販売への適性が高いことなどから高い需要がある。主に6月後半から7月収穫の露地トンネル栽培に利用される品種であるが, 国内では3倍体品種へ灌水を実施した研究事例は無い。3倍体品種では, 2倍体品種よりも灌水による果実の生長と品質に影響がない可能性が指摘されている(Leskovar et al., 2004)。また, 蒸発散量(Evapotranspiration)を目安に灌水を行った結果, 2倍体品種では灌水による糖度への影響は無かったが, 3倍体品種では収量が最大化する適度な灌水により糖度が減少する事例もある(Bang et al., 2004)。このため, 2倍体品種で確立された灌水技術であっても3倍体品種に直接応用できるとは言えない。

本研究では, 3倍体スイカに灌水をした結果引き起こされた生育と品質の変化について報告する。すでに灌水技術が導入されている鳥取県では, スイカにとって交配

2022年8月15日受領 (Received August 15, 2022)

2022年11月25日登載決定 (Accepted October 25, 2022)

*1 現 千葉県香取農業事務所

*2 現 千葉県千葉農業事務所

本報の一部は, 園芸学会平成31年春季大会(2019年3月, 川崎市)において発表した。

後2週間は果実の素質を決定する時期であり、重要灌水期間とされている(衣笠, 2000)。開花から13日までの長期の水切りは著しく果実肥大を抑制し、しかも変形果となったとされる(加藤ら, 1985)。Erdem and Yuksel (2003)によれば、スイカの収量の減少は栽培期間のいずれの時期の水不足によっても起こるが、開花期、果実成長期、受粉後の後期生育期の順で影響が強かった。また、灌水は収穫前20日までとされる(衣笠, 2000)。これらのことから、最初に受粉後の果実肥大前半期、次に受粉前の植物体の生育期にそれぞれ灌水試験を実施した。灌水をした結果、成熟のタイミングが変化し、収穫期に影響することが示唆された。

II 材料及び方法

試験は、千葉県農林総合研究センター水稲・畑地園芸研究所東総野菜研究室(旭市)の露地圃場及びパイプハウス圃場(両者とも典型淡色黒ボク土)において実施した。供試品種は、3倍体品種として、「ブラックジャック」を用い、一部の試験では「ひとつだねBear」((株)萩原農場, 以下、「ひとつだね」)を用いた。

2018年は、露地トンネル栽培において、受粉後の果実肥大前半期に灌水の有無について検討した。2019年はパイプハウス栽培において、受粉前の植物体の生長期に灌水回数の多少について検討した。

1. 露地トンネル栽培における受粉後の灌水

栽培を5月下旬定植と6月上旬定植の2時期に行った。施肥はすべて基肥とし、10a当たり施用量は、スイカ専用2号(5-7-3)200kg、硫酸カリ8kg、過リン酸石灰57kg及び苦土石灰60kgとした。10a当たり施肥分量は窒素10kg、りん酸24kg、加里10kgである。トンネルは、ベッド幅150cm、通路120cm、株間90cmとし(411株/10a)、グリーンマルチの上から0.1mm厚の農ビでトンネル被覆を行った。

5月下旬定植では2018年4月20日にユウガオ台木「かちどき2号」((株)萩原農場)を播種し、4月24日にスイカを播種した。5月1日に接ぎ木し、25日に施肥及びマルチングした。6月上旬定植では5月9日にユウガオ台木を播種し、5月11日にスイカを播種した。5月18日に接ぎ木し、6月5日に施肥及びマルチングした。

試験区として、両定植時期に3本ずつ、合計6本のトンネルを設置し(南北畝、長さ20~29m)、それぞれのトンネルに灌水有無の2区を設置した。灌水有区では、9mの灌水チューブ(エバフローA(三菱ケミカルアグリドリーム(株)))を各トンネルの南北いずれかからマルチ内中央に通した。

本葉6枚を残し摘心したスイカ苗をマルチ中央部から

20cm通路寄りに定植した。5月下旬定植では、5月28日に定植し、灌水無区の定植数は「ブラックジャック」を1区6~10株、「ひとつだね」を1区3株、灌水有区の定植数は「ブラックジャック」を1区4~5株、「ひとつだね」を1区3~4株とした。6月上旬定植では、6月7日に定植し、定植数は「ブラックジャック」を灌水両区に1区9~10株とした。灌水の影響を考慮し、灌水無区は灌水有区から1株開けた。なお、トンネルの残りのベッドは雄花用の2倍体品種の栽培に使用した。整枝方法は、子づる4本整枝2果どりとし、着果節位までは孫づるを摘心し、着果節位以降は放任とした。

5月下旬定植では6月25日に受粉を開始し、灌水有区では6月29日、7月3日及び7月9日に灌水を行った(1回8~9L/株目安)。6月上旬定植では7月9日に受粉を開始し、7月13日、7月17日及び7月22日に灌水を行った。一方、灌水無区は灌水チューブを設置していない。

受粉は人工受粉とし、2倍体の雄花「SA-75」((株)萩原農場)または「姫まくら」(丸種(株))を用いて4番花を目標に行った。着果後に1株2果となるように摘果した。

この後、5月下旬定植では7月18日、6月上旬定植では7月25日から日焼けを防ぐために遮光を開始した。遮光資材としてパスライト(ユニチカ(株))を使用し、収穫時までトンネル西側を遮光した。この際、収穫調査に供する株を決定し、選択外の区画は無遮光で栽培し、他の調査に供した。調査株は、両隣に株があり、1株2果着果した株とした。調査数は、5月下旬定植の「ブラックジャック」では灌水無区を1区2~5株(合計12株)、灌水有区を1区4~5株(合計13株)、「ひとつだね」では灌水無区を1区2~3株(合計8株)、灌水有区を1区1~3株(合計6株)とした。6月上旬定植(「ブラックジャック」)は灌水無区を1区3~6株(合計13株)、灌水有区を1区2~6株(合計13株)とした。着果不良等により1区当たりの調査株数にばらつきがあるが、灌水両区でおおむね同等の調査株数とした。

収穫時期は、早期と晩期の2時期とし、トンネル内に設置した温度計(地上15cm)の気温を目安とした。5月下旬定植では、7月30日~8月9日の間で早期収穫は受粉後35日(積算温度991°C)及び晩期収穫は40~41日(積算温度1,129°C)で収穫した。6月上旬定植では8月13~22日の間で早期収穫は受粉後34日(積算温度970°C)及び晩期収穫は40~41日(積算温度1,120°C)で収穫した。

これら2定植期×2収穫期の栽培試験のデータは別々に示すが、同様の試験設計であり、受粉後の灌水の効果を簡単に解釈するために6反復の単一試験として統計解析を行った。

2. 6月収穫のパイプハウス栽培における受粉前の灌水

間口5.4m、奥行40mの南北棟パイプハウス内に幅

150cmのベッドを2つ作成し、通路幅を120cmとし、1本を試験に供した（南北畝）。施肥はすべて基肥とし、10a当たり施肥量は、スイカ専用2号（5-7-3）130kg、化成8号（8-8-8）181kg、過リン酸石灰37kg及び苦土石灰60kgとした。10a当たり施肥成分量は窒素21kg、りん酸30kg、加里18kgである。栽培方法はトンネル栽培と同様である。

2019年1月16日にユウガオ台木「かちどき2号」を播種し、1月21日にスイカを播種した。28日に接ぎ木し、30日に施肥及びマルチングした。3月6日に株間85cmで定植した後、厚さ0.1mmの農ビフィルムでトンネル被覆した。4月22～26日に受粉し、6月7～20日の間に収穫を行った。それぞれの収穫時期は、早期が受粉後46日（積算温度1,020°C）、中期が51～52日（積算温度1,120°C）及び晩期が55～56日（積算温度1,250°C）とした。

試験区として、定植後から受粉まで（3月18日から4月15日、第5回）の灌水回数が異なる少灌水区と多灌水区の2区を設け、1回につき8～9L/株を目安とした灌水を、それぞれ2回及び6回行った。畝を南北に6分割し、少灌水区と多灌水区を交互に設置した（3反復）。マルチの下に2本の灌水チューブ（1本は塩ビ管と組み合わせ水が出ない部分を作成）を通すことで、灌水回数を調節した。試験区は、灌水器具設置の都合上、少灌水区が1区6～7株、多灌水区が1区5～8株とした。なお、灌水の影響を考慮し、少灌水区は多灌水区から1株分けた。果実の調査は、両隣に株があり、1株2果着果した株で行った。

3. 調査方法

果重は1株に2果着果した株で調査したが、スイカ出荷規格の最低重量に基づき、2.5kg以上の果実を着果とみなした。収穫、裂果及び落果などにより生育途中で1果と

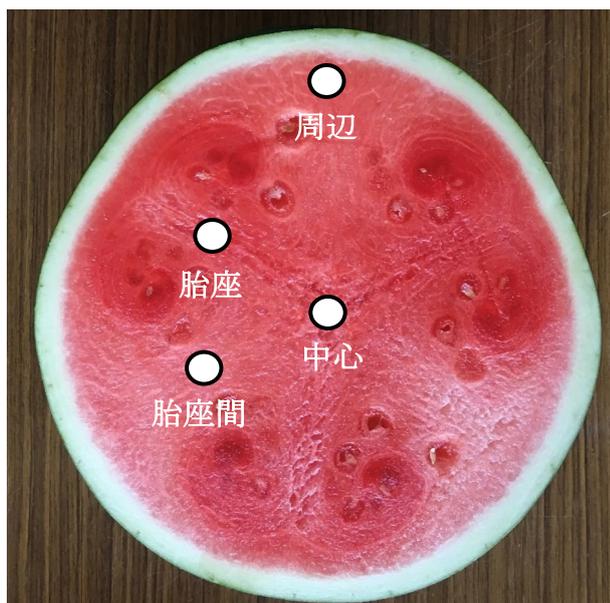


写真1 スイカの糖度調査位置
注) 胎座間は2か所計測した。

なった株については、1果の期間が収穫前1週間以内であれば想定し得る収穫期間差とみなして調査した。果重を調査した後、各区平均的な1～3果の果実をカットして皮厚を測定し、デジタル屈折計PR-101（Atago(株)）を用いて果汁から糖度として、可溶性固形分（°Brix）を調査した。糖度は、スイカを水平に切断し、中心部、胎座部、胎座間部2か所、周辺部の合計5か所を計測した（写真1）。果糖、ブドウ糖及びショ糖含量は、切断調査したものから中庸な大きさのスイカの中心部をくり抜いて果汁を抽出し、冷凍保存の後、解凍した果汁を100倍希釈したのち、0.45µmのメンブランフィルターを通し、測定試料とした。測定試料を、高速液体クロマトグラフ（RI検出器、カラム：Shim-pack SCR-101N（φ7.9×300mm）、カラム温度50°C、移動相H₂O、流速1.0ml/min）により測定した。

硬度は、水平に切断したスイカに、デジタルフォースゲージDS2-29N（(株)IMADA）で直径5mmの円柱谷状プランジャーを深さ1cmまで突き刺し、中心部の3か所及び胎座部3か所（しいなの上から計測）で計測した。

土壌pF値は、ベッド中央から20cm通路寄り（スイカと同じ位置）にpFメーターを設置して、地下20cm部分を測定した。

茎葉重は収穫調査の終了後に根元から切断し、区画ごとまたは株ごとに新鮮重を計測した。

4. 統計解析

本研究では、各試験区及び収穫期により調査数の偏りがあるため、可能な範囲でスイカ個別値を解析に供した。それによる疑似反復を防ぐため、統計解析では一般線形混合モデルを使用した。各調査項目を目的変数とし、灌水有無（または多少）と収穫時期を説明変数とした。灌水有無（または多少）と収穫時期はすべてカテゴリ変数とし、これらの交互作用も含めた。区間分散及び同じ区画の反復測定をそれぞれ説明するために、反復をランダム因子として含めた。ランダム因子は、基本的に、収穫時期の反復測定を灌水区画の中にネストし、単純な「ランダム・スロープ」モデルとした（Arnqvist, 2020）。ただし、上記の方法でランダム効果が推定不能である場合、区画ごとの平均値を使用し、灌水区画をランダム因子とするか、ランダム因子を省略した。

露地トンネル栽培の「ブラックジャック」では、胎座硬度、中心糖度及び胎座糖度については、スイカ個別値を用い、ランダム因子は収穫時期の反復測定を灌水区画（2試験区×6反復=12区画）の中にネストした。他の項目（果重、皮厚、中心硬度、周辺糖度、ショ糖、ブドウ糖及び果糖）では、ランダム効果が推定不能であったため、区画ごとの平均値を使用し、灌水区画をランダム因子とした。露地トンネル栽培の茎葉重については、収穫期の違いは無く、区ごとの平均値であるため反復をランダム因子と

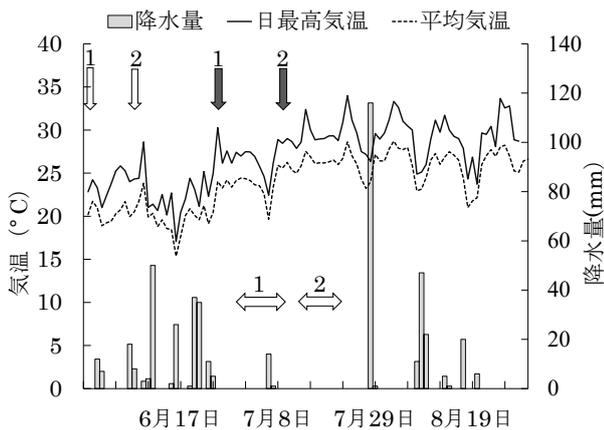
した。

「ひとつだね」では、収穫期を1回としたため、スイカ個別値を用い、灌水区画(2試験区×3反復=6区画)をランダム因子とした。ショ糖、ブドウ糖及び果糖については各区1個のデータであるため、茎葉重と同様に反復をランダム因子とした。

ハウス栽培では、スイカ個別値からランダム効果が推定できなかったため、区画平均値を使用した。中心糖度、胎座間糖度及び周辺糖度は灌水区画(2試験区×3反復=6区画)をランダム因子とし、一般線形混合モデルを使用した。他の項目についてはランダム効果が推定できず、反復間の差も小さかったため、一般線形モデル(2元配置分散分析)とした。

また、すべてのモデルについてQ-Qプロットを確認し、必要に応じて対数変換を行った。

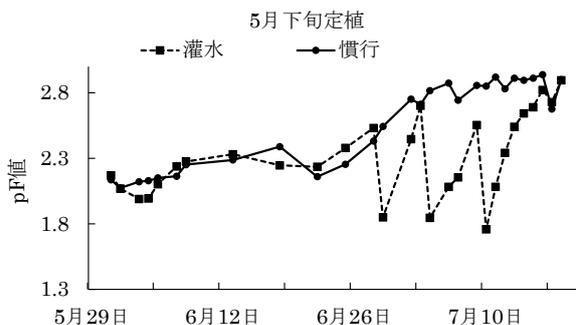
上記モデルから、Korner-Nievergelt et al. (2015) が概説した方法に従いベイズ法による分析を行い、95%CrI(確信区間: 0.95の確率で真の値を期待できる区間)を



第1図 生育期間中(5月28日~8月31日)の平均気温、日最高気温及び降水量

注) 1) 白抜きの下向き矢印は定植日, 黒の下向き矢印は受粉開始日, 両横向きの矢印は灌水期間を示す(1: 5月下旬定植, 2: 6月上旬定植)。

2) 東総野菜研究室(千葉県旭市)に設置した百葉箱での測定データを用いた。



算出した。事後分布を得るために、armパッケージ(Gelman and Su, 2021)のsim関数を用いて、2,000個の値をシミュレーションした。事後分布のシミュレーション値の50%と2.5%及び97.5%の値を、推定値とその95%CrIの下限及び上限として使用した。灌水区または多灌水区と収穫期に対応する変数からそれぞれ2,000個の適合値を計算することによって得られた値を灌水の効果とみなした。

解析はR4.2.1(R Core Team, 2022)を使用し、一般線形(混合)モデルにはlme4パッケージ(Bates, 2015)、作図にはggplot2(Wickham, 2016)パッケージを使用した。

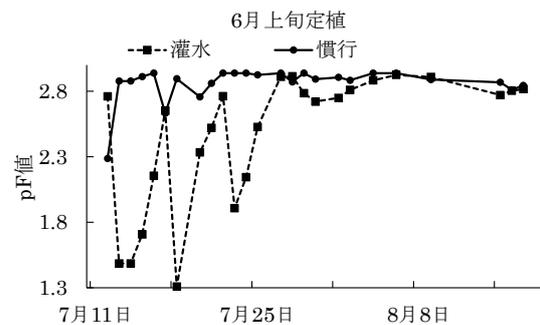
III 結果

1. 露地トンネル栽培における受粉後の灌水

本研究では、慣行栽培で灌水を行っていない地域における受粉後の灌水の果実品質への効果を示した。果実の調査は1株に2果着果した株のみで行った。5月下旬収穫の2果株の割合は、「ブラックジャック」の灌水無区が73%(19株/26株)、灌水区が87%(13株/15株)であり、「ひとつだね」の灌水無区が89%(8株/9株)、灌水区が64%(7株/11株)であった。6月上旬収穫(「ブラックジャック」)では、灌水無区が73%(22株/30株)灌水区が57%(16株/28株)と、灌水区でやや低い傾向であった。第1図に試験期間中の気象概況を示した。灌水を行った期間に、5月下旬定植では15mmの降雨があり、6月上旬定植では降雨は無かった。pF値は灌水無区では高く推移し、ベッド内土壌水分への降雨の影響は小さかった(第2図)。

(1) 「ブラックジャック」

第1表に「ブラックジャック」の試験区ごとの平均値を示し、第3図には調査個体の実測値、ベイズ法による平均値及び95%CrIを示した。第2表にはベイズ法により推定された灌水の効果について示した。葉茎重は灌水区で1.52kg(95%CrI: 0.33-2.64)増加した。果重には、灌水による明確な差は観察されなかったが、灌水区の晩



第2図 灌水実施前後の土壌pF値の推移。

注) マルチ中央から20cm通路寄り(スイカ定植位置と同じ位置)にpFメーターを設置し、地下20cm部分を測定。

第1表 トンネル栽培の「ブラックジャック」における灌水両区の収穫期ごとの生育と果実品質(2018年収穫)

試験区			茎葉重 (kg/株)	果重 (kg/個)	皮厚 (mm)	糖度 (°Brix)				硬度 (N)		糖含量 (g/L)			空洞果率 (%)	日焼果率 (%)
定植期	灌水	収穫期				中心	胎座	胎座間	周辺	中心	胎座	ショ糖 ²⁾	ブドウ糖	果糖		
5月 下旬	無	早期	8.5	8.3	15.6	15.6	12.7	12.6	10.8	4.2	3.3	40.0 (33%)	33.7	48.5	0	5
		晚期		8.5	14.1	14.1	13.4	13.1	11.1	3.6	2.7	52.0 (45%)	25.9	38.8	0	0
	有	早期	9.8	7.7	15.0	15.0	12.3	12.2	10.3	4.1	3.7	40.3 (33%)	32.5	48.5	0	16
		晚期		8.4	15.5	15.5	12.7	12.9	10.8	4.0	3.7	47.5 (43%)	24.0	40.0	0	14
6月 下旬	無	早期	4.8	8.0	13.8	13.8	12.4	12.5	9.7	4.6	3.5	28.4 (25%)	34.9	51.7	0	0
		晚期		7.9	12.6	12.6	12.6	12.3	9.9	4.4	3.4	36.1 (35%)	25.7	41.7	0	9
	有	早期	6.6	8.0	13.8	14.0	11.4	11.6	9.4	4.2	3.6	17.5 (18%)	29.5	48.9	0	0
		晚期		8.7	13.8	13.6	12.3	12.4	10.3	4.1	3.4	35.4 (33%)	27.4	45.8	0	8

注1) 数値は各区の平均値。

2) 括弧内の数値は糖含量に占めるショ糖比率。

第2表 トンネル栽培の「ブラックジャック」における灌水の効果

試験区	茎葉重 (kg/株)			果重 (kg/個)			皮厚 (mm)			中心硬度 (N)		
	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%
早期	1.52	0.33	2.64	-0.39	-0.97	0.23	-0.19	-1.55	1.08	-0.30	-0.71	0.14
晚期				0.43	-0.14	1.02	1.17	-0.15	2.48	0.02	-0.40	0.47
試験区	胎座硬度 (N)			中心糖度 (°Brix)			胎座糖度 (°Brix)			胎座間糖度 (°Brix)		
	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%
早期	0.31	-0.40	1.04	-0.74	-1.54	0.01	-0.65	-1.28	-0.03	-0.40	-1.10	0.24
晚期	0.46	-0.39	1.24	-0.45	-1.36	0.41	-0.06	-0.73	0.59	0.03	-0.70	0.71
試験区	周辺糖度 (°Brix)			ショ糖 (g/L)			ブドウ糖 (g/L)			果糖 (g/L)		
	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%
早期	0.00	-0.84	0.79	-6.75	-20.89	8.75	-4.25	-9.67	0.96	-2.83	-8.97	3.85
晚期	-0.06	-0.89	0.74	-2.56	-17.97	12.50	-0.06	-5.71	5.27	2.61	-4.09	9.00

注1) ベイズ法を用いてシミュレーションした2,000個の値について、灌水有無と収穫期に対応する変数からそれぞれ2,000個の適合値を計算することによって得られた値を灌水の効果とみなした。

2) 95% CrIは、ゼロを含まない場合、太字で示した。

期収穫では果重が増加した(第3図)。皮厚は、灌水により晚期収穫で1.17mm(-0.15-2.48)増加する傾向であった。また、皮厚は灌水無区の晚期収穫では低下するが、灌水有区は早期収穫と晚期収穫で同等であった。皮厚は果実の成熟の進行と関連しており、通常は成熟とともに低下する。草勢の強い台木を使用したときに皮厚が増加する現象が認められるが、成熟の遅れに由来する可能性がある(Kyriacou et al., 2018)。これらの結果から、灌水により明らかに果重が増加したとは言えないが、成熟のタイミングが遅れたことが示唆された。

中心硬度は、早期収穫では灌水による若干の低下傾向がみられるが、晚期収穫では差がなかった。胎座硬度は、灌水により若干増加する傾向であったが、ばらつきが大きく判然としなかった。果肉が崩れることはなく、硬度について、カット販売に影響するような差は無いと考えられた。

中心糖度は、早期収穫において、灌水によって-0.74°Brix(-1.54-0.01)と低下傾向であり、規格外品となる11°Brix未満の果実が4個発生した(第2表, 第3図)。胎座糖度は、早期収穫において、-0.65°Brix(-1.28-0.03)と低下した。また、中心糖度と胎座間糖度は、早期収穫でばらつきが大きくなった(第3図)。周辺糖度は灌水両区で大きな差は無かった。中心糖度、胎座糖度及び胎座

間糖度は、灌水有区の晚期収穫では増加し、灌水無区との差は小さくなった。

晚期収穫では、ショ糖含量は増加、ブドウ糖及び果糖含量は減少する傾向があったが、これはスイカの成熟に伴う変化であり、Kano. (1991)の結果と一致している。早期収穫では灌水により、ブドウ糖含量が-4.25g/L(-9.67-0.96)と減少傾向であり、Leskovar et al. (2004)に準ずる結果であったが、晚期収穫では灌水による差は無くなった。また、ショ糖及び果糖含量については、灌水有区の早期収穫でばらつきが大きくなった。

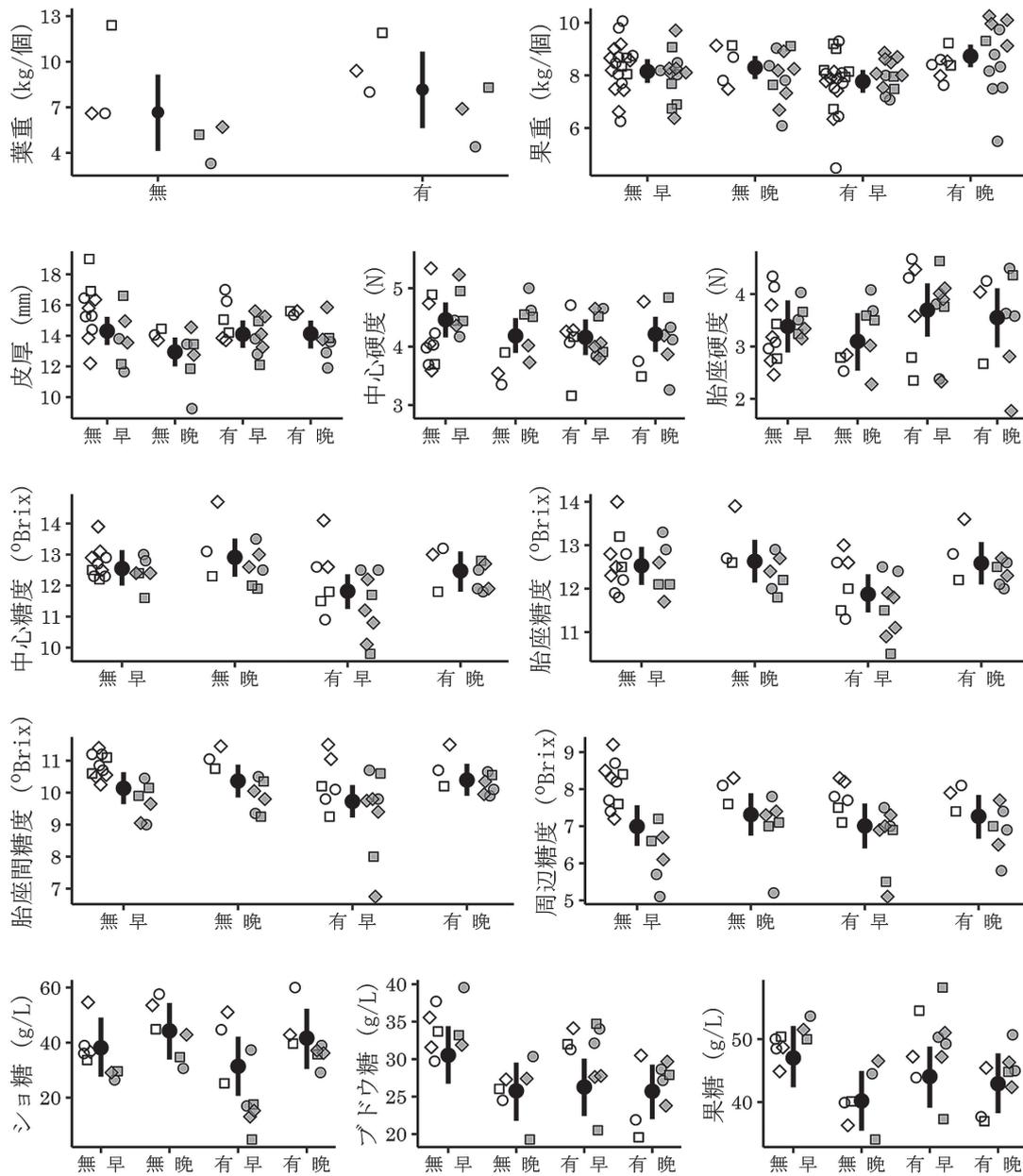
以上のように、果実への灌水の影響は早期収穫で顕著であり、晚期収穫では灌水の影響は小さかった。果重と糖度から考えると灌水無区では早期収穫の時点で収穫適期であると言えるが、灌水有区では果実が肥大し、糖度が向上しているため晚期収穫の時点が収穫適期である。このように、受粉後の灌水によって収穫適期にずれが生じたと考えられた。

(2) 「ひとつだね」

第3表に「ひとつだね」の試験区ごとの平均値を示し、第4図には調査個体の実測値、ベイズ法による平均値及び95% CrI, 第4表にはベイズ法により推定された灌水の効果について示した。「ひとつだね」では早期収穫(受粉後35日)の時点で、灌水による茎葉重、果重、皮厚、果肉

硬度及びシヨ糖含量への影響はほぼ認められなかった(第4図, 第4表)。糖度は灌水により全体的に若干の低下傾向があるが、大きな差はなかった。ブドウ糖と果糖は灌水でやや増加する傾向があったが、ばらつきが大きく判然としなかった。同時期の「ブラックジャック」と比較すると、シヨ糖比率が高く、成熟の早さが示唆された(第1表, 第3表)。灌水の影響を検討するためには、より早い時期の調査が必要かもしれない。灌水有区では

灌水後の果実肥大期に一部の株でつる枯れ病が発生した。また、空洞果率が灌水無区で44%、灌水有区で27%と高かった(第3表)。これらの結果から判断すると早期収穫(受粉後35日)の時点ですでに収穫期に達しており、灌水の影響は判然としなかった。灌水有区でも果重の低下は無く、糖度は十分に高く、空洞果が発生しているため、収穫を遅らせるメリットは無いと考えられた。



第3図 トンネル栽培の「ブラックジャック」における灌水両区の収穫期ごとの調査実測値と95%CrI
 注1) 白抜きの記号は5月下旬定植, グレーの記号は6月上旬定植であり, 同一の色と形状の記号は対応する反復(同一のトンネル)を示す。

- 2) 無は灌水無区, 有は灌水有区, 早は早期収穫, 晩は晩期収穫を示す。
- 3) 茎葉重は12区の区画ごとの株当たり重量, 果重は98個, 皮厚, 糖度及び硬度は48個, シヨ糖, ブドウ糖及び果糖は31個の果実を調査した。
- 4) 灌水有無と収穫時期を説明変数とした一般線形混合モデルから, ペイズ法を用いてシミュレーションした2,000個の値の平均値を黒丸で示し, 95%CrIをバーで示した。

第3表 トンネル栽培の「ひとつだね」における灌水両区の生育と果実品質(2018年収穫)

灌水	茎葉重 (kg/株)	果重 (kg/個)	皮厚 (mm)	糖度 (°Brix)				硬度 (N)		糖含量 (g/L)			空洞果率 (%)	日焼果率 (%)	
				中心	胎座	胎座間	周辺	中心	胎座	シヨ糖 ²⁾	ブドウ糖	果糖			
無	7.6	8.5	18.9	13.5	13.1	10.7	8.1	4.8	3.5	64.4	(53%)	22.6	35.6	44	0
有	6.4	8.5	18.3	13.1	12.8	10.1	7.8	4.7	3.4	58.2	(48%)	24.9	38.4	27	9

注1) 数値は各区の平均値。

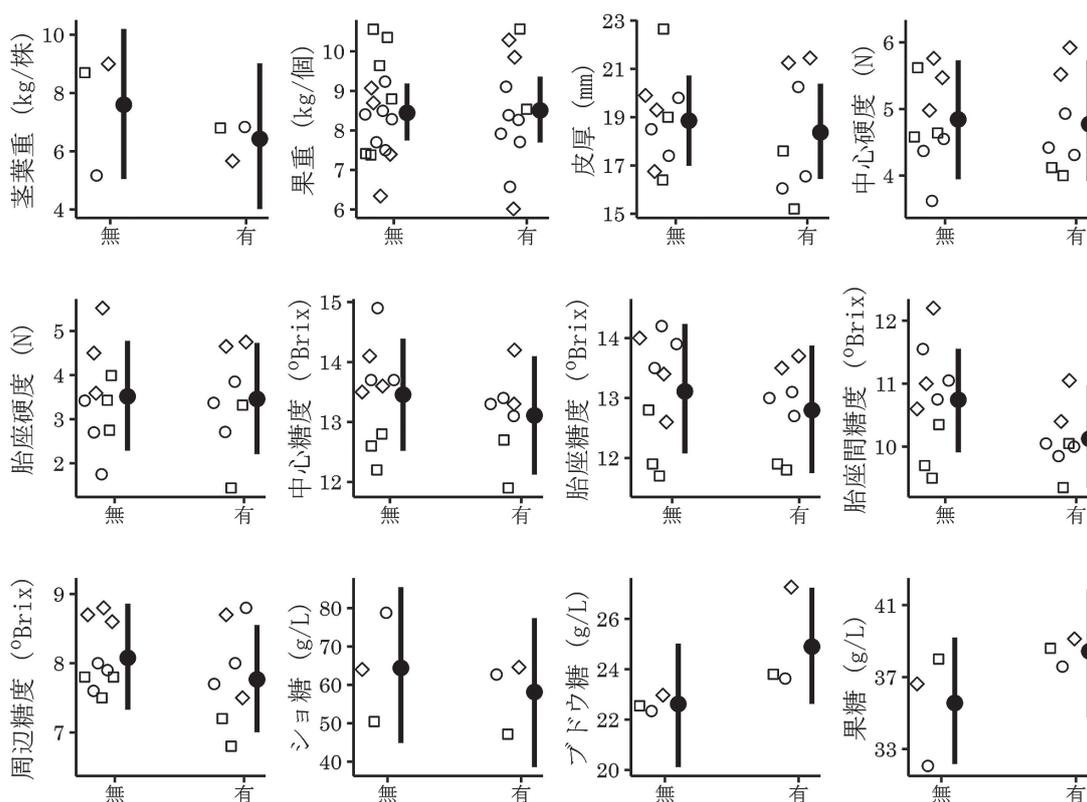
2) 括弧内の数値は糖含量に占めるシヨ糖比率。

第4表 トンネル栽培の「ひとつだね」における灌水の効果

葉重 (kg)		果重 (kg)		皮厚 (mm)		中心硬度 (N)		
効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%
-1.20	-4.91	2.50	0.06	-1.07	1.10	-0.49	-3.26	2.25
胎座硬度 (N)		中心糖度 (°Brix)		胎座糖度 (°Brix)		胎座間糖度 (°Brix)		
効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%
-0.06	-1.84	1.82	-0.35	-1.66	1.04	-0.31	-1.79	1.15
周辺糖度 (°Brix)		シヨ糖 (g/L)		ブドウ糖 (g/L)		果糖 (g/L)		
効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%
-0.31	-1.38	0.78	-6.26	-19.34	8.50	2.28	-0.50	4.88

注1) ベイズ法を用いてシミュレーションした2,000個の値について、灌水有無に対応する変数からそれぞれ2,000個の適合値を計算することによって得られた値を灌水の効果とみなした。

2) 95%CrIは、ゼロを含まない場合、太字で示した。



第4図 トンネル栽培の「ひとつだね」における灌水両区の調査実測値と95%CrI

注1) 同一の形状の記号は対応する反復（同一のトンネル）を示す。

2) 無は灌水無区，有は灌水有区を示す。

3) 茎葉重は6区の区画ごとの株あたり重量，果重は27個，皮厚，糖度及び硬度は16個，シヨ糖，ブドウ糖及び果糖は6個の果実を調査した。

4) 灌水有無を説明変数とした一般線形混合モデルから，ベイズ法を用いてシミュレーションした2000個の値の平均値を黒丸で示し，95%CrIをバーで示した。

2. 6月収穫のパイプハウス栽培における受粉前の灌水

第5図に灌水両区の灌水実施日とpF値の推移を示した。2果着果株の割合は少灌水区が85% (17株/20株) , 多灌水区が90% (18株/20株) と同等であった。

第5表にハウス栽培の「ブラックジャック」の試験区ごとの平均値を示し、第6図には調査個体の実測値、ベイズ法による平均値及び95%CrI, 第6表にはベイズ法で推定された灌水の効果について示した。茎葉重は、受粉開始前には写真2のように多灌水により旺盛に生育したが、収穫後の調査では若干重くなる程度となった。果重は少灌水区の中期収穫では果重のばらつきが大きく、平均0.78kg (-0.40-2.02) の増加とやや判然としなかったが、晩期収穫では1.22kg (-0.02-2.48) の増加傾向となった(第6表)。また、少灌水区の6kg未満の果実は10個と多かった(第6図)。これらのことから、果重は多灌水区で

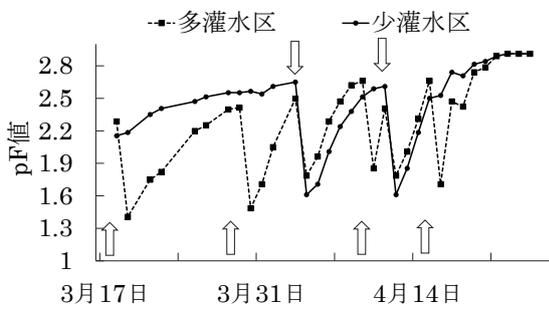
重かったと考えられた。

皮厚は、少灌水区では晩期収穫、多灌水区では中期収穫から小さかったことから、多灌水区では、成熟のタイミングが早まった可能性が示唆された。糖度は、中心糖度と胎座糖度については多灌水による影響は小さかった。胎座間糖度は多灌水により早期収穫で1.00°Brix (0.03-1.95) 増加し、周辺糖度は中期収穫で0.81°Brix (0.17-1.45) 増加した。これらの部位では、少灌水区は早期収穫から晩期収穫になるほど糖度が増加する傾向があるが、多灌水区では早期収穫から晩期収穫で糖度の変化は小さかった(第6図)。多灌水によって、スイカの周辺部まで糖が早く蓄積したことが示唆された。

一方、多灌水区の早期収穫では、ショ糖が-16.03g/L (-33.21-1.70) と減少する傾向があり、ブドウ糖が12.97g/L (4.29-21.99)、果糖が9.70g/L (0.29-18.86) の増加となり、ショ糖比率は15%と低かった(第5表、第6表)。

なお、早期収穫(受粉後46日)から晩期収穫(56日)までいずれも内部品質に問題はなかったが、晩期収穫では日焼果が4割発生した(第5表)。

以上のように、受粉前の灌水では多灌水により果実肥大が認められ、皮厚や糖度からは成熟が早まる傾向が認められたが、ショ糖含有率が低く、成熟速度については判然としなかった。



第5図 pF 値の推移

注1) 上向き矢印は多灌水区, 下向き矢印は多灌水区と少灌水区両方への灌水を示す。

2) マルチ中央から20cm 通路寄り(スイカと同位置)にpFメーターを設置し、地下20cm部分を測定。



写真2 4月15日における生育

(上段: 少灌水区, 下段: 多灌水区, 左: 北区画, 中央: 中区画, 右: 南区画)

注1) 写真内上端の株は花粉用雄花用品「SA-75」(赤線で示した)。

2) 2019年3月6日定植。

第5表 ハウス栽培の「ブラックジャック」における灌水両区の収穫期ごとの生育と果実品質 (2019年収穫)

試験区	灌水	収穫期	茎葉重 (kg)	果重 (kg)	皮厚 (mm)	糖度 (°Brix)			糖含量 (g/L)			日焼果率 (%)	空洞果率 (%)	
						中心	胎座	胎座間	周辺	ショ糖 ²⁾	ブドウ糖			果糖
少		早期		6.4	13.3	12.4	12.4	11.3	8.2	35.3 (29%)	29.3	55.5	0	0
		中期	3.3	6.5	13.1	12.9	12.4	12.0	8.2	38.8 (30%)	30.8	57.8	0	33
		晚期		7.4	12.2	13.0	12.7	12.4	9.2	50.1 (39%)	26.4	51.2	40	0
多		早期		7.1	14.3	13.0	12.9	12.3	8.6	19.3 (15%)	42.3	65.2	0	0
		中期	4.1	7.2	12.2	12.7	12.1	12.1	9.0	39.7 (32%)	27.6	56.0	14	0
		晚期		8.4	12.7	13.1	12.8	12.2	8.8	51.0 (39%)	27.0	53.0	38	0

注1) 数値は各区の平均値。

2) 括弧内の数値は糖含量に占めるショ糖比率。

第6表 ハウス栽培の「ブラックジャック」における灌水の効果

収穫期	茎葉重 (log (kg/株))			果重 (kg/個)			皮厚 (mm)		
	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%
早期				0.64	-0.60	1.93	1.03	-0.29	2.42
中期	0.43	-0.45	1.38	0.78	-0.40	2.02	-0.94	-2.27	0.47
晚期				1.22	-0.02	2.48	0.54	-0.71	1.84

収穫期	中心糖度 (°Brix)			胎座糖度 (°Brix)			胎座間糖度 (°Brix)			周辺糖度 (°Brix)		
	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%
早期	0.60	-0.15	1.37	0.43	-0.45	1.38	1.00	0.03	1.95	0.43	-0.19	1.06
中期	-0.24	-0.99	0.52	-0.31	-0.89	0.23	0.07	-0.88	1.01	0.81	0.17	1.45
晚期	0.22	-0.53	1.01	0.09	-0.44	0.62	-0.05	-1.07	0.91	-0.32	-0.91	0.32

収穫期	ショ糖 (g/L)			ブドウ糖 (g/L)			果糖 (g/L)		
	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%	効果	2.5%	97.5%
早期	-16.03	-33.21	1.70	12.97	4.29	21.99	9.70	0.29	18.86
中期	-2.80	-20.76	14.24	-1.20	-10.05	8.17	0.70	-8.61	10.22
晚期	0.39	-16.53	18.73	1.56	-7.09	10.77	3.01	-6.19	11.84

注1) ベイズ法を用いてシミュレーションした2,000個の値について、灌水有無と収穫期に対応する変数からそれぞれ2,000個の適合値を計算することによって得られた値を灌水の効果とみなした。

2) 95% Crlは、ゼロを含まない場合、太字で示した。

IV 考 察

以前の研究から、スイカでは一般に灌水により増収効果が認められるが、糖度の低下、ブドウ糖・果糖含有量の低下、皮厚の増加及び果肉硬度の低下などが起こる事例がある (Leskovar et al., 2004; Saraiva et al., 2017; Bang et al., 2004)。

本研究では、国内の非乾燥地帯の3倍体スイカにおいて、収穫期を2時期もしくは3時期とし、灌水の影響を調査した。ハウス栽培では、果実肥大に対する受粉までの灌水の重要性が示された。一方、トンネル栽培では受粉後の灌水により早期収穫の「ブラックジャック」では果実肥大の遅れ、糖度の低下などが観察された。晩期収穫の時点では灌水による大きな影響は無かった。スイカの水分要求量を満たし、生産量を最大化するための水分の要求量は250～550mmの範囲であるとされる (Leskovar, 2004)。本研究におけるトンネル栽培の栽培期間中の降雨量は、5月下旬定植で351mm、6月上旬定植で426mmと水分要求量を満たしていたと考えることができる。こ

の結果は、必要な水分要求量を満たしているのであれば、灌水が果実の収量や品質に影響を与えるというより、成熟速度に影響を与えることを示している。

露地トンネル栽培における「ブラックジャック」では、受粉後の灌水によってブドウ糖含量は低下する傾向があった。また、ハウス栽培において「ブラックジャック」の受粉前の灌水回数を増やすとブドウ糖と果糖が増加し、ショ糖比率が低下した。しかし、これらの結果は早期収穫の場合であり、晩期収穫の時点では差がなくなった。ショ糖、ブドウ糖及び果糖含量は受粉後の日数で変化しやすいので (Kano, 1991)、これらの結果も、灌水により一定の増減が起こるといふより、成熟速度に関連すると考えられる。

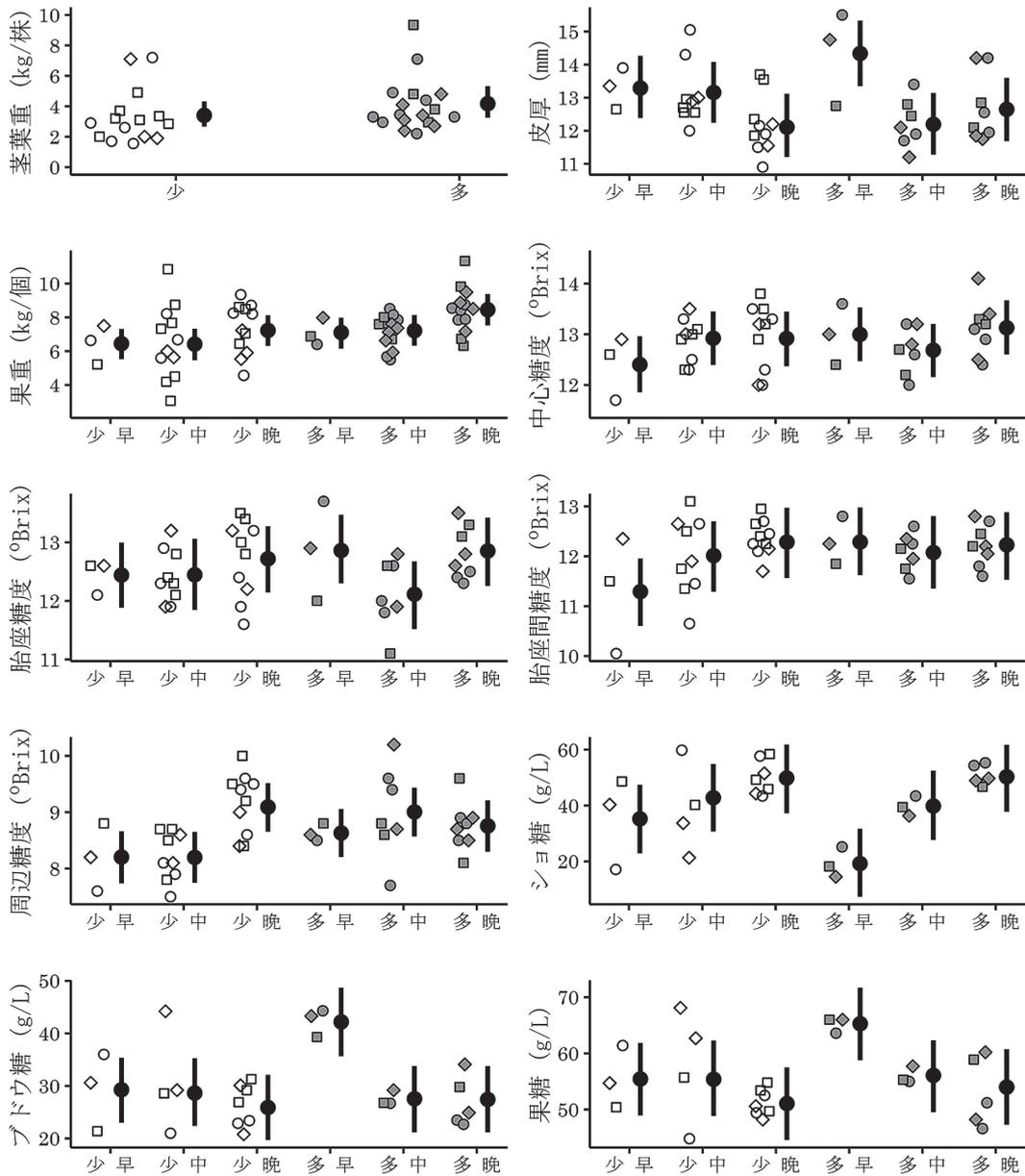
灌水により茎葉重が増加した結果から、成熟の遅れには、茎葉部の生育が大きく関わっていると考えられる。スイカは、草勢が強くなる台木に接ぎ木すると、成熟の遅れが観察される (Soteriou et al., 2014)。また、3倍体品種は一般に2倍体品種よりも茎葉が旺盛に生育する (Maynard et al., 2002; 中山, 2018)。これらのことから、灌水により必要以上に茎葉が生育することで、相

対的に果実への糖質等の分配などに影響する代謝機構のバランスが変化し、成熟が遅れたことが示唆される。

農業現場では収穫の遅延は日焼果、空洞果及び鳥獣害などのリスクが増大するために、収穫を遅らせることは少ない。灌水により収穫適期が遅れると、早期収穫による低糖度果の発生が危惧される。したがって、灌水の導入にあたっては、収穫期の決定に注意を要する。3倍体品

種に灌水を行う場合、たとえ高温で乾燥していたとしても茎葉部の生育などから灌水の必要性を判断する必要がある。

2倍体の大玉スイカでは一般に、トンネル内の積算温度で1,000℃程度で収穫される。本研究の結果から、「ブラックジャック」については収穫期を一般のスイカよりも4~5日程度遅らせること(積算温度で1,100℃)が灌水に



第6図 ハウス栽培の「ブラックジャック」における灌水両区の収穫期ごとの調査実測値と95%CrI

- 注1) 白抜き記号は少灌水区，グレー記号は多灌水区，同一の形状の記号は対応する反復を示す。
 2) 少は少灌水区，多は多灌水区，早は早期収穫，中は中期収穫，晩は晚期収穫を示す。
 3) 茎葉重は33株，果重は57個，糖度，硬度及び皮厚は40個，ショ糖，ブドウ糖及び果糖は25個の果実を調査した。
 4) 灌水多少と収穫時期を説明変数とした一般線形(混合)モデルから，ベイズ法を用いてシミュレーションした2,000個の値の平均値を黒丸で示し，95%CrIをバーで示した。
 5) 茎葉重の95%CrIは対数から逆変換した値。

よる糖度不足を防ぐために有効であると考えられた。成熟の遅れは灌水によらず降雨でも起こる可能性があり、「ブラックジャック」の在圃性の高さを考慮すると積算温度1,100°C程度で収穫することが望ましい。「ブラックジャック」では積算温度800°C程度以降に日焼けが問題になることがあるため、不織布等を用いて遮光することが有効である(千吉良, 2020)。なお、「ひとつだね」については、灌水による茎葉部と果実品質への影響は小さく、今回の結果からは、2倍体スイカと同程度の1,000°C程度が収穫適期であると考えられた。

スイカは一般に高温下の栽培では糖度が低下する(Kano, 2004)。今回の露地トンネル栽培の試験において、「ブラックジャック」と「ひとつだね」は、受粉後に高温で降雨が少ない状況にあっても十分な果重と糖度が確保できた。受粉までの生育期において、十分な降雨があったことが第一の要因であると考えられる。また、スイカ地上部のバイオマスが大きいと、葉の水分含有量を高く維持でき、乾燥に対する高い耐性につながる(Abdelkhalik et al., 2019)。茎葉が旺盛に生育する3倍体スイカの性質が、十分な果重と糖度が確保できた第二の要因であるかもしれない。

本研究では、灌水が3倍体スイカの収穫適期に影響する可能性があること、着果するまでに灌水を行い茎葉発達させる必要性が示されたが、露地トンネル栽培における適切な灌水のタイミングについて十分に言及できていない。茎葉が発達しやすい3倍体スイカの露地栽培においては、受粉前の灌水は着果率が低下する恐れがある。そのため、着果後の灌水が基本になると考えられる。

今後の研究では、適切な灌水時期の決定に資するため、茎葉部と果重の生育バランスと果実の成熟について明らかにする必要がある。例えば、葉の一部分から植物の水分状態を推定する指標である相対水分量(RWC: %)が有用である(Abd El-Mageed et al., 2016; Abdelkhalik et al., 2019)。また、OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index) 及びNDVI (Normalized Difference Vegetation Index) などの画像リモートセンシングによるスペクトル指標は半乾燥地域のスイカの水ストレスを推定するのに有効であることが示されている(Genc et al., 2011)。生育バランスから適切な灌水方法を判断し、適切な時期に収穫することで、より高品質なスイカを生産することができるようになるだろう。

V 摘要

千葉県のスイカのトンネル栽培では、近年灌水の必要性が検討されている。本研究では、3倍体スイカを用いて、積算温度を目安に2時期に分けて収穫し、灌水の影響を調

査した。その結果、「3Xブラックジャック」の積算温度1,000°Cの収穫では、灌水により茎葉重が重くなり、糖度が低下し、果実肥大が遅れた。積算温度1,100°Cの収穫で糖度が上昇し果実が肥大のしたことから、茎葉が必要以上に生育した結果、収穫適期が遅れた可能性が示唆された。また、「3Xブラックジャック」の収穫期を積算温度で1,100°C程度にすることが糖度不足を防ぐために有効であった。

VI 引用文献

- Abdelkhalik, A., N. Pascual-Seva, I. Nájera, A. Giner, C. Baixauli and B. Pascual (2019) Yield response of seedless watermelon to different drip irrigation strategies under Mediterranean conditions. *Agric. Water Manage.* 212: 99–110.
- Abd El-Mageed, T.A., W. M. Semida and M.H. Abd El-Wahed (2016) Effect of mulching on plant water status, soil salinity and yield of squash under summer-fall deficit irrigation in salt affected soil. *Agric. Water Manage.* 173: 1–12.
- Arnqvist, G (2020) Mixed models offer no freedom from degrees of freedom. *Trends Ecol. Evol.* 35: 329–335.
- Bang, H., D.I. Leskovar, D.A. Bender and K. Crosby (2004) Deficit irrigation impact on lycopene, soluble solids, firmness and yield of diploid and triploid watermelon in three distinct environments. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 79: 885–890.
- Bates, D., M. Maechler, B. Bolker and S. Walker (2015) Fitting linear mixed-effects models using lme4. *J. Stat. Softw.* 67 (1): 1-48.
- 千葉県 (2022) 千葉県農林水産業の動向. <http://www.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index> 最終アクセス 2022年8月10日.
- 千吉良敦史 (2020) 有望な黒皮品種「ブラックジャック」糖度不足と日焼け果の防ぎ方. *現代農業.* 99 (2): 133-137.
- Erdem, Y. and A. N. Yuksel (2003) Yield response of watermelon to irrigation shortage. *Sci. Hortic.* 98: 365–383.
- 藤井信一郎 (1989) 黒ボク畑トンネル栽培スイカのかんがい技術. *農業技術.* 44: 539-543.
- Gelman, A. and Y. Su (2021) arm: Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models. R package version 1.12-2, <https://CRAN.R-project.org/package=arm>. 最終アクセス 2022年7月30日.

- Genc, L., K. Demirel, G. Camoglu, S. Aşık and S. Smith (2011) Determination of plant water stress using spectral reflectance measurements in watermelon (*Citrullus vulgaris*). *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 11: 296-304.
- Kano, Y (1991) Changes of Sugar Kind and Its Content in the Fruit of Watermelon during Its Development and after Harvest. *Environ. Control in Biol.* 29: 159-166.
- Kano, Y (2004) Effects of summer day-time temperature on sugar content in several portions of watermelon fruit (*Citrullus lanatus*). *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 79: 142-145.
- 加藤 徹・福元康文・木下信三 (1985) スイカ果実の肥大・品質に及ぼす着果後の時期別施肥・灌水の影響について. *高知大学学術研究報告.* 34: 41-48.
- 木原 均 (1973) 小麦の合成木原均随想集. pp. 52-61. 講談社, 東京.
- 衣笠義人 (2000) 農業技術大系野菜編 4. 基 285-290. 農文協, 東京.
- Korner-Nievergelt, F., T. Roth, S. von Felten, J., Guélat, B. Almasi and P. Korner-Nievergelt (2015) Bayesian Data Analysis in Ecology Using Linear Models with R, BUGS, and Stan. 328pp. Academic Press, Massachusetts.
- Kyriacou, M. C., D.I.Leskovar, G. Colla and Y. Rouphael (2018) Watermelon and melon fruit quality: The genotypic and agro-environmental factors implicated. *Sci. Hortic.* 234: 393-408.
- Kyriacou, M. C., G. A. Soteriou, Y. Rouphael, A. S. Siomos and D. Gerasopoulos (2016) Configuration of watermelon fruit quality in response to rootstock-mediated harvest maturity and postharvest storage: Grafting, maturity and postharvest storage effects on watermelon quality. *J. Sci. Food Agric.* 96: 2400-2409.
- Leskovar, D., H. Bang, K. Crosby, N. Maness, A. Franco and P. Perkins-Veazie (2004) Lycopene, carbohydrates, ascorbic acid and yield components of diploid and triploid watermelon cultivars are affected by deficit irrigation. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 79: 75-81.
- Maynard, D. N., A.M. Dunlap and B.J. Sidoti (2002) Sweetness in diploid and triploid watermelon fruit. *Cucurbit Genet. Cooperative Rep.* 25: 32-35.
- McGregor, C. E. and V. Waters (2014) Flowering Patterns of Pollenizer and Triploid Watermelon Cultivars. *HortScience.* 49: 714-721.
- 中山 淳 (2018) 農業技術大系野菜編 4. 基 126 の 28-36. 農文協, 東京.
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, <https://www.R-project.org/>. 最終アクセス 2022年7月30日.
- Saraiva, K. R., T. V. D. A. Viana, F. M. L. Bezerra, S. C. Costa and R.S.Gondim (2017) Regulated deficit irrigation and different mulch types on fruit quality and yield of watermelon. *Rev. Caatinga.* 30: 437-446.
- Soteriou, G. A., M. C. Kyriacou, A. S. Siomos and D. Gerasopoulos (2014) Evolution of watermelon fruit physicochemical and phytochemical composition during ripening as affected by grafting. *Food Chem.* 165: 282-289.
- 内田重夫 (2000) 農業技術大系野菜編 4. 基 265-272. 農文協, 東京.
- Wickham, H (2016) ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org/> 最終アクセス 2022年7月30日.

Effect of irrigation on '3X Blackjack' triploid watermelon

Atsushi CHIGIRA*, Emi IGARI^{†1} and Koshi NAKAMURA^{†2}

Key words: Watermelon; Triploid cultivar; Field irrigation; 'Blackjack'

Summary

Irrigation is increasingly being considered for tunnel cultivation of watermelons in Chiba Prefecture. In this study, we harvested triploid watermelons at two different times based on their integrated temperature to investigate the effect of irrigation. The results showed that irrigation resulted in heavier leaf weight, lower sugar content, and delayed fruit enlargement in '3X Blackjack' when it was harvested at an integrated temperature of 1,000 °C. The higher sugar content and larger fruit size at an integrated temperature of 1,100 °C suggest that the optimal time for harvesting may have been delayed due to excessive leaf growth. When irrigating triploid cultivars, it is necessary to determine the need for irrigation based on leaf growth. It is also suitable to keep the harvest time of '3X Black Jack' at an integrated temperature of about 1,100 °C to prevent sugar deficiency.

* Present address: Chiba Prefectural Katori Agriculture Office

^{†1} Present address: Chiba Prefectural Chiba Agriculture Office

^{†2} Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center; 180-1, Okanezawa, Midori, Chiba 266-0014, Japan.