

令和 6 年 9 月 19 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03964

研究課題名(和文) リンゴ樹および樹園地土壌における長期高CO₂・高温の影響とその技術的適応策研究課題名(英文) Effect analysis and technical adaptation to long-term high CO₂ and temperature in apple tree and orchard soil

研究代表者

伊藤 大雄 (Ito, Daiyu)

弘前大学・農学生命科学部・教授

研究者番号：00333716

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,900,000円

研究成果の概要(和文)：屋外と同じ気温・CO₂濃度のA棟、屋外より気温が3度高いB棟、屋外より気温が3度・CO₂濃度が200ppm高いC棟の3棟のビニールハウスで、3品種・16樹のリンゴを4年間栽培した。B棟とC棟では萌芽から落葉までの期間が2週間長くなり、C棟の光合成速度はB棟より10%以上高かった。そのため樹の地上部生長量はC棟>B棟>A棟であったが、果実収量はC棟でA棟と同等、B棟はA棟より少なかった。B・C棟の収穫果実の糖度はA棟と同等だったが、硬度や酸含有量はA棟より低く、果皮の着色も劣った。B・C棟では土壌表面からのCO₂放出がA棟より多かったが、2年目以降は土壌有機物量の減少が見られなくなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「対照」「高温」「高温高CO₂」の3棟のビニールハウスで、3品種・16樹のリンゴを4年間栽培した。数十年後に想定される新たな気候の下で、リンゴ樹の萌芽・収穫・落葉日、生長量、光合成速度、果実の収量・品質や、リンゴ園土壌の物理・化学性、炭素・窒素動態がどのように変化するのか、その影響は灌漑管理や着果管理などの技術的適応策によってどの程度緩和できるのか明らかにすることが出来た。得られた知見は、数十年後を見据えたリンゴの品種開発やリンゴ栽培技術の改良に役立つ。

研究成果の概要(英文)：Sixteen apple trees consisting of three varieties were grown for 4 years in 3 greenhouses: GH-A, with the same temperature and CO₂ concentration as outdoors; GH-B, with a temperature 3 degrees higher; and GH-C, with a temperature 3 degrees higher and CO₂ concentration 200 ppm higher. The period from budding to defoliation was extended two weeks in GH-B and C, and the photosynthetic rate in GH-C was enhanced by more than 10% compared with that in GH-B. Accordingly, the above-ground growth of the trees was in GH-C > GH-B > GH-A. However, the fruit yield in GH-B and C was lower and almost the same, respectively, compared with that in GH-A. In GH-B and C, although the sugar content of the harvested fruits was comparable, the firmness and acid concentration were lower, and the skin coloration was inferior to those in GH-A. In GH-B and C, CO₂ was released more from the soil surface than GH-A, but the decrease in soil organic matter was no longer observed after the second year.

研究分野：農業気象学・果樹園芸学

キーワード：リンゴ 気候変動 フェノロジー 光合成 乾物生産 果実品質 土壌有機物・炭素動態 土壌窒素動態

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

気温は今世紀後半に現在より 3~4 上昇する可能性が高く、生育期間が延長して果実収量の増大に結びつく可能性、7 月の高温が花芽分化を抑制して翌年の開花不良につながる可能性、果実着色が阻害されたり収穫後の貯蔵性が低下する可能性などが指摘されている。しかしこれらは、圃場樹を長期間高温処理して確認した知見ではない。また CO₂ 濃度も、今世紀後半には現在より 200ppm 程度上昇する可能性が高い。作物の光合成速度は高 CO₂ 濃度下で一時的に増大するが、長期間高 CO₂ 環境に置かれた場合、水稲等では増大効果が低減する。しかし、リンゴの長期高 CO₂ 環境への応答は不明である。さらに、CO₂ 濃度と気温の上昇は、リンゴ園の土壌環境に複雑な影響を及ぼすと考えられる。以上のことから、高温・高 CO₂ 環境下でリンゴ栽培実験を長期間圃場規模で実施することが強く求められていた。

2. 研究の目的

リンゴの個体群レベルの長期気候改変実験を極めて低コストで実現することにより、21 世紀後半の高温あるいは高 CO₂ 環境下において、主要リンゴ品種の樹勢・光合成、果実の収量・品質とリンゴ園地の炭素・窒素・水分動態がどう変化するのか、その影響は灌水管理や着果管理などの技術的適応策によってどの程度緩和できるのかを解明する。「リンゴ生産者は今日から 21 世紀の地球温暖化にどう向き合うべきか」という緊急かつ実学的な問いに、幅広い学問分野から総合的に解答することを目指した。

3. 研究の方法

(1)【リンゴ樹】2015 年に 2 列×8 樹×3 反復で植え付けたリンゴ樹のミニ個体群を供試した。いずれの樹も台木は M.26 で、いずれの反復も樹列間 3m×樹間 2m、構成品種は「宮美ふじ」(以下「ふじ」、6 樹)、「つがる姫」(以下「つがる」、6 樹)ならびに「紅の夢」(4 樹)である。

(2)【環境制御】2018 年 10 月に、各ミニ個体群を内包するように 3 棟の独立したビニールハウス(A 棟、B 棟、C 棟)を建設した(写真 1)。A 棟は天井面のみポリオレフィンフィルムで被覆された雨よけハウスで、屋外と同一の気温と CO₂ 濃度に維持された。B 棟は換気装置と暖房装置を備えた半閉鎖棟で、気温を屋外 +3、CO₂ 濃度を屋外と同様に維持することを目指した。C 棟は換気装置、冷暖房装置と CO₂ 発生器を備えた半閉鎖棟で、気温を屋外 +3、CO₂ 濃度を屋外 +200 ppm に維持することを目指した。B 棟と C 棟では、自作のプログラムを用いてハウス内外の気温と CO₂ 濃度を 1 分毎に計測・監視しつつ、冷暖房装置、換気扇、CO₂ 発生器の ON/OFF と側窓の開閉を制御した。プログラムは現場で制御成績を確認しながら改良を重ね、完成後にはハウス内の気温分布を調査した。また、いずれのハウスも中央で 2 分して標準灌水区と多灌水区を設けた。標準灌水区では 4~7mm の灌水を 1 週間に 2 回、50mm の灌水を 2 か月に 1 回実施して年間降水量の 0.8 倍程度、多灌水区では毎回標準灌水区の 1.5 倍を灌水して年間降水量の 1.2 倍程度の灌水量とした。なお、以上の環境制御の実施期間は 3 月 15 日~12 月 5 日とし、冬期間はハウスの側面と屋根面を開放して、制御を中止した。



写真 1 供試したビニールハウス (右から A 棟、B 棟、C 棟)

(3)【園地管理】開花後 60 日以内に摘果を行い、1 樹当たり着果数を 45 果 (2019 年)、50 果 (2020 年)、100 果 (2021 年) あるいは 80 果 (2022 年) に調整した。剪定は冬季だけでなく夏季にも 1~2 回実施した。化学肥料は施用しなかったが、植え付け時に 5 トン/10a の有機物を施用した。草刈りは 5~11 月に年 6 回実施した。

(4)【フェノロジー】毎年リンゴ樹毎に、春季の発芽日、展葉日、開花日、満開日、落花日ならびに秋季の落葉日を調査した。

(5)【地上部乾物生産量】「ふじ」と「つがる」の冬季剪定枝、夏季剪定枝葉、着色管理で摘除した葉、秋季の自然落葉、摘果果実、収穫果実を全て回収して新鮮重を計測し、その一部は乾燥して乾物割合を調査した。また毎年 11 月に幹の基部周囲長、頂端周囲長と樹高を計測するとともに、冬季剪定後に全側枝の基部直径と長さを計測して、幹と側枝の乾物重を推定した。さらに、草刈り時には 1m²×18 力所から刈草を採取して乾燥し、乾物重を計測した。

(6)【収穫時果実品質 (ふじ, つがる)】満開後の経過日数や果実の外観をもとに予想した最適収穫日の 8~12 日前から 4 日後にかけて、3~5 日間隔で 4~5 回、1 樹当たり 3 個の果実を採取した。採取した果実は 1 個ずつ新鮮重を計測した後、果肉の硬度、果汁の糖度と酸含有量、赤道面の蜜入り指数を測定した。さらに、果こう方向から写真撮影を行い、果皮着色指数を判定した。3 回目または 4 回目の調査日には、後日調査に供する果実だけを残して、全果実を一度に収穫した。収穫した全ての果実に対して、新鮮重と果皮着色指数を測定するとともに、非

破壊検査装置により糖度と蜜入り指数を計測した。

(7)【収穫時果実品質（紅の夢）】各棟の「紅の夢」を毎年10月下旬に一斉に収穫し、全果実について果皮の着色指数と斑点障害発生指数を判定した。また各棟から40果を選定し、果汁糖度を測定するとともに、赤道面で切断して果肉の着色指数を判定した。

(8)【貯蔵後の果実品質（ふじ）】2021年に収穫した平均的な重量の果実を各棟から15果選び、2の冷蔵庫に貯蔵した。約60、90、120、150日後に順次取り出し、糖度、酸含有量、硬度、蜜入り指数を調査した。

(9)【光合成速度】長期間高CO₂環境に置かれたリンゴ葉の光合成特性を解明するため、B棟とC棟の「ふじ」と「つがる」の新梢葉を1樹あたり3枚選び、2020年（少着果年）と2021年（多着果年）の6、8、10月に、様々な光強度とCO₂濃度の下で光合成速度を測定した。

2020年に、側窓閉鎖時におけるB棟およびC棟のCO₂吸収/放出量を、ハウス内外のCO₂濃度差や換気量などから計算し、棟間で比較した。

(10)【土壌の物理性・化学性】毎年9月（2019年は5月）に、各棟の多数地点から表層土壌を採取し、25下の土壌呼吸量、微生物バイオマス炭素量等を調査した。試料の一部は粗大有機物（POM）と有機・無機複合体形成有機物（MAOM）に分画し、それぞれの有機物ならびに窒素含有量を分析するとともに、NaClO酸化法で赤外線吸収スペクトルを測定した。

(11)【土中の窒素および水・熱・CO₂動態】各棟の標準灌水区と多灌水区1カ所ずつの定点において4深度より2週間毎に土壌間隙水を採取し、pH、アンモニウムイオン、硝酸イオン濃度等の季節・年次変動を追跡した。また、土壌間隙水採取地点の体積含水率を30分間隔で自動計測した。

標準灌水区画の土壌間隙水採取地点における深さ15cmと40cmに赤外線ガス分析計を埋設し、土中CO₂濃度を連続測定した。また2020年10月と2021年5月には、各棟地表面のCO₂放出速度を、樹周囲と通路（樹列間）に分けて計測した。観測された体積含水率、地温とCO₂濃度を気温と灌水履歴から説明できる、リンゴ園水・熱・CO₂動態モデルの開発に取り組んだ。

4. 研究成果

(1)【環境制御】B棟およびC棟の環境制御プログラムは、数回の改良を経て2019年10月に完成した。2020～2021年のB棟およびC棟の気温を30分毎に区切って見ると、いずれの時間帯も屋外より $2.4 \pm 0.8 \sim 3.6 \pm 0.8$ 高く、目標（屋外+3）に沿った気温制御が達成された。一方、30分毎に見たC棟の昼中（9～15時）の平均CO₂濃度は、屋外より133～185ppm高まったが、目標濃度（屋外+200ppm）を下回った（図1）。これは、C棟の冷房能力が不足しており、CO₂濃度より気温の制御を優先して側窓を開放したためである。朝方（6～9時）と夕方（15～18時）の平均CO₂濃度は概ね目標通りに制御された。2019年にB棟およびC棟内の気温分布を調査したところ、水平方向の気温勾配は認められず、気温分布の均一性が確認された。

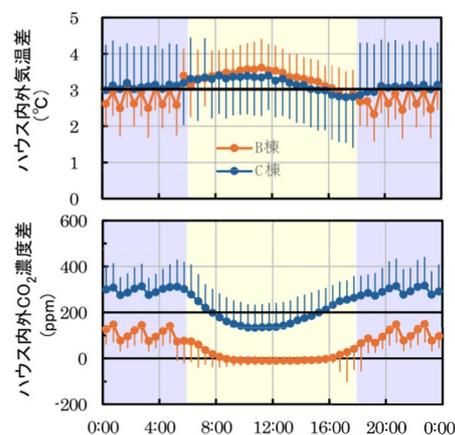


図1 B・C棟における気温とCO₂濃度の時間帯別制御状況

(2)【フェノロジー】3 加温されたB棟のリンゴ樹

の発芽日と開花日は、A棟に比べてそれぞれ平均7日および12日前進した。またB棟の落葉日は平均8日遅延した。モデル計算によると、冬期間も3の加温が行われた場合、発芽日は更に7日、開花日は更に3日前進し、落葉日は更に5日遅延すると考えられた。C棟における高CO₂濃度処理は、B棟に比べて開花日と落花日を1～2日遅延させた以外、フェノロジーにほとんど影響を及ぼさなかった。

(3)【地上部乾物生産量】いずれの棟でも、リンゴ樹の地上部乾物生産量は成長に伴って経年的に増大したが、いずれの年でもC棟>B棟>A棟、かつ多灌水区画>標準灌水区画であり、高CO₂、高温、多灌水による乾物生産量の増大が認められた（図2）。但し、多灌水の効果は2020年以降平均13%から3%に、高温の効果も2021年以降平均25%から7%に減少した。

一方高CO₂の効果は一貫して13～15%で安定的に認められた。果実への乾物分配率は高温処理（B棟）によって激減し、高温+高CO₂処理

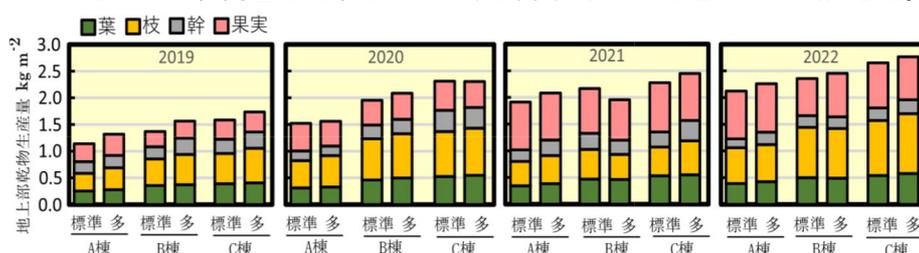


図2 各棟各区におけるリンゴ樹の器官別乾物生産量の推移

(C棟)によっても回復しなかった。そのため、B棟の果実収量は平均でA棟の84%(ふじ)あるいは100%(つがる)にとどまり、C棟の果実収量もA棟の101%(ふじ)あるいは104%(つがる)となって、地上部乾物生産量の増大に見合った果実収量は得られなかった。下草の乾物生産量は、リンゴ樹の成長に伴って光環境が悪化し、経年的に減少した。2020年以降、B棟やC棟のリンゴ樹がA棟より繁茂したため、下草乾物生産に対する高温効果はマイナス、高CO₂効果はほぼゼロで推移したが、灌水効果はリンゴ樹以上に認められた。

(4)【収穫時果実品質(ふじ、つがる)】B・C棟における「つがる」の収穫は、暦日ではA棟より約10日早く、満開後日数ではA棟と同等の日数で実施した。しかし「ふじ」の収穫は、果皮の着色や糖度の増大が遅れたため、暦日でA棟より平均8日、満開後日数では20日遅く実施した。両品種とも、B・C棟では果実成熟期における硬度と酸度の低下速度がA棟より大きかったことから、温暖化後は収穫適期の幅が減少すると考えられた。B棟の両品種の収穫果実は、A棟に比べて新鮮重、酸含有量、硬度と果皮着色指数が減少する傾向にあった(図3)。更に「ふじ」では蜜入り指数の減少が認められた。C棟の収穫果実は、B棟に比べて新鮮重が平均で15g(つがる)あるいは37g(ふじ)増大し、「ふじ」ではB棟で減少した蜜入り指数が回復した。しかしそれ以外に高CO₂濃度の有意な影響は認められなかった。以上の結果から、将来気候下では果実の品質が総じて低下すると示唆された。

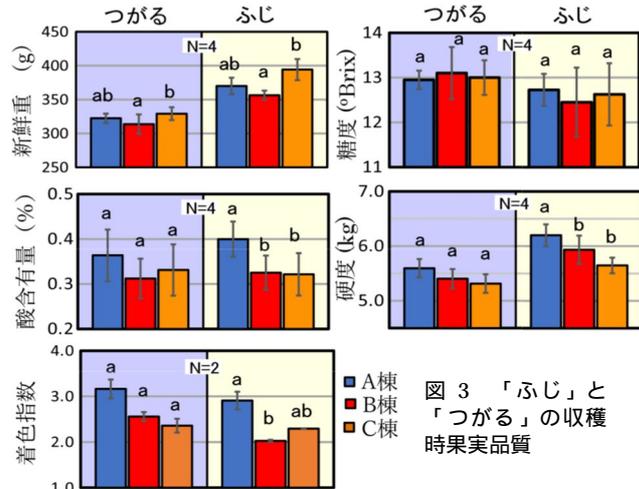


図3 「ふじ」と「つがる」の収穫時果実品質

(5)【収穫時果実品質(紅の夢)】高温(B棟)および高温+高CO₂濃度(C棟)は、果皮ばかりでなく、赤肉品種「紅の夢」の果肉着色も著しく阻害した。また、高温及び高温+高CO₂濃度は、果実糖度には影響しないが、「紅の夢」に特異的に発症するコルクスポット様斑点障害を著しく増大させた(表1)。なお果肉着色には年次間の差も認められ、収穫前30日間の日射量が果肉着色に関与することが示唆された。

表1 「紅の夢」の収穫時果実品質

| ビニールハウス | 果皮の着色指数 | 果肉の着色指数 | 糖度(°Brix) | 斑点障害発生指数 |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| A棟(対照) | 3.68 ± 0.13 a | 1.70 ± 0.26 a | 14.3 ± 0.46 a | 0.96 ± 0.38 a |
| B棟(高温) | 2.90 ± 0.54 b | 0.77 ± 0.20 b | 14.1 ± 0.06 a | 1.75 ± 0.55 b |
| C棟(高温高CO ₂) | 2.74 ± 0.19 b | 0.98 ± 0.32 b | 14.2 ± 0.3 a | 1.75 ± 0.53 b |

平均値 ± 標準偏差。異なるアルファベットはBonferoni検定で有意差あり。

(6)【貯蔵後の果実品質(ふじ)】いずれの棟の果実も、150日間の貯蔵中に硬度と酸含有量が経時的に低下したが、糖度は維持された。硬度と酸含有量の低下速度はB棟で最も低く、C棟がこれに次ぎ、A棟で最も高かった。また、A棟とC棟では貯蔵中に蜜入り指数が経時的に低下したが、B棟では低下が見られなかった。これらの結果はB棟果実の貯蔵性の高さを示唆するが、B棟果実は他の棟より貯蔵開始時の平均果実重や蜜入り指数が低かったためである可能性があり、更なる検討が必要と考えられた。

(7)【光合成速度】CO₂濃度600ppmで測定したC棟葉の飽和光下光合成速度は、同一条件で測定したB棟葉の飽和光下光合成速度と比較して、2020年は平均6%、2021年は平均4%低く、C棟ではとりわけ少着果条件下で光合成速度が下方制御されることが確認された。また、光合成の下方制御は10月より6、8月に顕著に認められた(図4)。

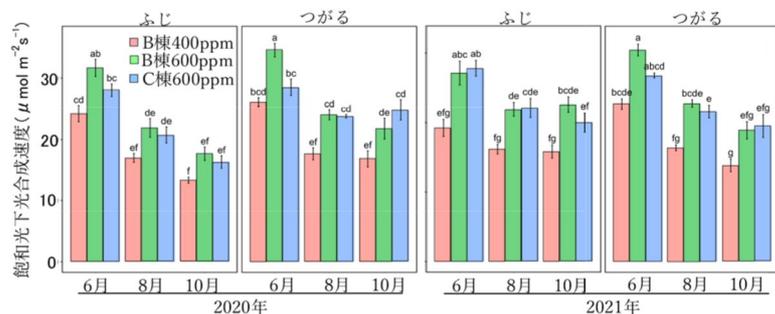


図4 異なるCO₂濃度下で測定したB棟・C棟個葉の飽和光下光合成速度

光-光合成曲線やCO₂-光合成曲線を作成して棟間で比較した結果、下方制御の原因は、ルビスコ活性の低下とRuBP再生速度の低下の双方に起因する光合成能力の低下であると示唆された。C棟では気孔開度の低下も確認されたが、下方制御の直接原因にはなっていないと考えられた。C棟では光合成速度が下方制御されたものの、CO₂濃度

400ppm で測定した B 棟の飽和光下光合成速度より 25% (2020 年) あるいは 33% (2021 年) 高く、将来は高 CO₂ 濃度による光合成速度の増大が相応に期待できると考えられた。

全生育期間を通じた C 棟の総光合成量は B 棟を 18% 上回った。C 棟における光合成促進は 8 月以前の強光時 (晴天日の正午前後) に顕著に認められた (図 5)。一方、全生育期間を通じた C 棟の生態系呼吸量 (植物体の呼吸量 + 土壌微生物の呼吸量) は、B 棟を 4% 上回った。

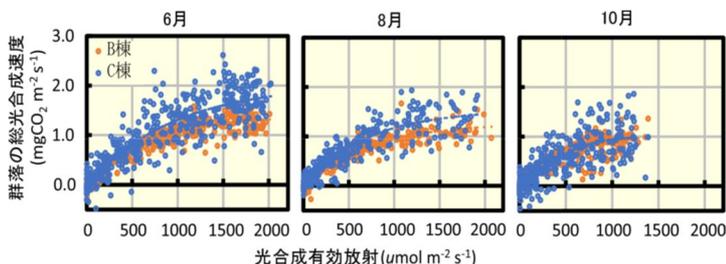


図 5 B 棟および C 棟の季節別群落光 - 光合成曲線 (2020 年)

(8) 【土壌の物理性・化学性】 2019 年から 20 年にかけていずれの棟でも急激な土壌有機物分解が起こり、有機態炭素量が減少した。その減少は B 棟と C 棟で顕著であった。しかし 2020 年以降、A 棟では有機態炭素量が引き続き減少傾向で推移したのに対し、B 棟と C 棟では豊富なリター供給に支えられて、POM 画分 (B 棟) あるいは POM・MAOM 両画分 (C 棟) の土壌有機物量が回復した (図 6)。窒素量においても同様な傾向が見られた。赤外線吸収スペクトル測定から、C 棟では 2022 年に MAOM 画分で分解程度の低い有機物の蓄積が示唆された。微生物バイオマス炭素量においても、2020 年まで各棟で減少した後、B 棟と C 棟で回復傾向が認められた。2021 年以降、B 棟と C 棟の微生物バイオマス炭素当りの土壌呼吸量 (微生物呼吸量) は A 棟を下回るようになり、微生物が利用できる易分解性有機物の減少が示唆された。

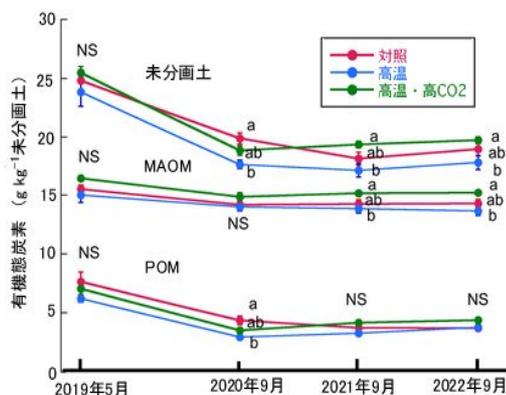


図 6 各棟における表層土壌の有機態炭素量の経年変化

(9) 【土中の窒素および水・熱・CO₂ 動態】 深さ 15cm における体積含水率は、いずれの棟でも経年的に増大し、最終年には C 棟 > B 棟 > A 棟であった (図 7)。リンゴ樹の成長に伴う土壌面蒸発量の抑制に加え、C 棟における気孔閉鎖による蒸散量の減少などが年次変化や棟間差の原因と考えられた。一方、アンモニウムイオン、亜硝酸イオン、硝酸イオン濃度は、いずれの棟でも盛夏期に増大する季節変動を見せながら経年的に減少し、総じて C 棟 < A 棟 < B 棟であった。経年的な減少は土壌表面への刈草由来の窒素供給量が経年的に減少したため、C 棟で最も低いのは C 棟のリンゴ樹の育成が旺盛で硝酸イオンの多くが樹に取り込まれたためと考えられた。土壌間隙水の pH はいずれの棟でも経年的に増加し、最終的には C 棟 > B 棟 > A 棟であったが (図 7)、これは硝酸イオン濃度の動態を反映した結果と考えられた。

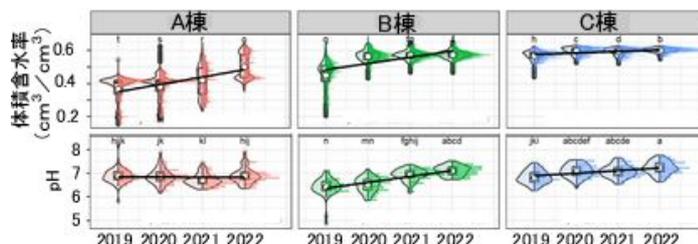


図 7 各棟における体積含水率と土壌間隙水 pH の経年変化 (深さ 15cm・標準灌水区)

土中 CO₂ 濃度はいずれの棟でも地温や灌水に対する応答を見せながら経年的に増大する傾向が見られた (図 8)。また深度 15cm より 40cm で高く、棟間で比較すると総じて C 棟 > B 棟 > A 棟であった。地表面 CO₂ 放出はいずれの棟でもリンゴの根量が多い幹周囲の方が通路より多く、落葉等リター供給後の 5 月の方が 10 月より多かった。棟間で比較すると、10 月は C 棟 > B 棟 > A 棟であったが 5 月は B 棟 > A 棟 > C 棟であった。水・熱・CO₂ 動態モデルは、骨格を設定して適切なパラメータ値を探索した。現在も継続して改良に取り組んでいる。

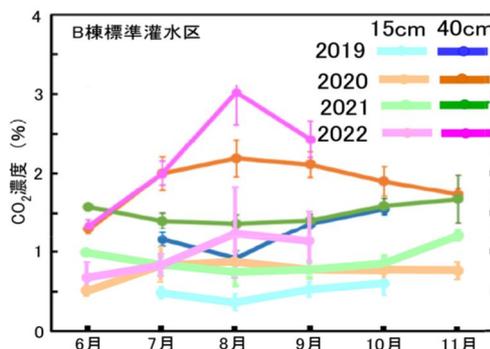


図 8 土中 CO₂ 濃度の月別・年別変動 (B 棟)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 加藤千尋・遠藤明・伊藤大雄・石田祐宣 | 4. 巻 149 |
| 2. 論文標題 気温および大気中二酸化炭素濃度の上昇が津軽地域リンゴ園における土中CO2動態におよぼす影響 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 土壌の物理性 | 6. 最初と最後の頁 37-46 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34467/jssoilphysics.149.0_37 | 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 伊藤大雄・石神靖弘・荒川修・石田祐宣 | 4. 巻 4 (9) |
| 2. 論文標題 高温・高CO2環境がリンゴ生産に及ぼす影響 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 アグリバイオ | 6. 最初と最後の頁 64-66 |
| 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 無 |
| 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 Md Rakibul Hassan and Daiyu Ito | 4. 巻 79 |
| 2. 論文標題 Down-regulation of photosynthesis in apple leaves under elevated CO2 concentration: a long-term field study with different fruit load | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Agricultural Meteorology | 6. 最初と最後の頁 49-57 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2480/agrmet.D-22-00021 | 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20件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 伊藤大雄・Hassan, R. ・青山正和 |
| 2. 発表標題 リンゴ園における土壌窒素収支の経年変化と高温高CO2環境による影響 |
| 3. 学会等名 日本農業気象学会東北支部大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 荒川修・日里恭一・伊藤大雄・Hassan Rakibul |
| 2. 発表標題 高温と高CO2環境がリンゴの果実品質に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 園芸学会令和3年度秋季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Daiyu Ito |
| 2. 発表標題 Soil carbon dynamics in the apple orchard under the changing climate |
| 3. 学会等名 International online symposium on soil C and N dynamics by land use, management and climate changes (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 伊藤大雄・日里恭一・Hassan, R. |
| 2. 発表標題 気候変動による高温および高CO2環境がリンゴ園の物質生産に及ぼす影響(予報) |
| 3. 学会等名 日本農業気象学会東北支部大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Md Rakibul Hassan, Daiyu Ito |
| 2. 発表標題 Photosynthesis down regulation of apple trees after long term exposure of elevated CO2 concentration |
| 3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Daiyu Ito, Md Rakibul Hassan, Sachinobu Ishida, Yasuhiro Ishigami |
| 2. 発表標題 The effect of long-term elevated CO2 concentration on the carbon budget of apple population |
| 3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Chihiro Kato, Akira Endo, Daiyu Ito, Sachinobu Ishida |
| 2. 発表標題 Effects of elevated air temperature and CO2 concentration on soil CO2 dynamics in an apple orchard |
| 3. 学会等名 JpGU 講演大会 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 伊藤大雄・石神靖弘・石田祐宣 |
| 2. 発表標題 CO2収支解析に基づくビニールハウス内リンゴ個体群の光合成速度の評価 |
| 3. 学会等名 日本農業気象学会東北支部令和元年度大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 伊藤大雄 |
| 2. 発表標題 気候変動に伴うリンゴ‘ふじ’の休眠覚醒日、発芽日および開花日の経年変動予測 |
| 3. 学会等名 日本農業気象学会2019年度大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加藤千尋・花岡美来・遠藤明・佐々木長市・伊藤大雄 |
| 2. 発表標題 津軽地域の灰色低地土りんご園における土中CO2ガス濃度変動 |
| 3. 学会等名 2019年度農業農村工学会大会講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Arakawa, O., Nissato, K., Ito, D., and Hassan, R. |
| 2. 発表標題 Effect of the increment of air temperature and CO2 concentration on the ripening of apple fruit under the changing climate |
| 3. 学会等名 31st International Horticultural Congress (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hassan, M.R. and Ito, D. |
| 2. 発表標題 Dry matter production and partitioning of an apple tree in response to elevated temperature and CO2 |
| 3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology 2023 (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ito, D. and Hassan, M.R. |
| 2. 発表標題 Tree phenology and grass production of an apple orchard under elevated temperature and CO2 |
| 3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology 2023 (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ito, D., Hassan, R., Arakawa, O. and Nissato, K. |
| 2. 発表標題 Change in the date of harvesting and the quality of harvested fruits for apple trees cultivated under high temperature and CO ₂ |
| 3. 学会等名 The 4th Asian Horticultural Congress (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 遠藤 明・加藤千尋・伊藤大雄 |
| 2. 発表標題 高温・高CO ₂ 環境下におけるリンゴ樹群落ハウス土壌環境の経年変化の特徴 |
| 3. 学会等名 第72回農業農村工学会大会講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 青山正和・伊藤大雄 |
| 2. 発表標題 高温処理および高温・高CO ₂ 処理を施したビニルハウス内におけるリンゴ栽培下での4年間の土壌有機物変化 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会2023年度大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 伊藤大雄・Hassan, M.R.・日里恭一 |
| 2. 発表標題 高温および高CO ₂ 濃度がリンゴ品種「紅の夢」の果肉・果皮着色と果実品質に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 園芸学会令和4年度秋季大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 青山正和・伊藤大雄 |
| 2. 発表標題 高温処理および高温・高CO2処理を施したビニルハウス内におけるリンゴ栽培下での土壌有機物の変化 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会2022年度大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masakazu Aoyama and Daiyu Ito |
| 2. 発表標題 Changes in particulate and mineral-associated organic matter and microbial biomass in apple orchard soils under elevated temperature and CO2 concentration conditions over four years |
| 3. 学会等名 9th international symposium on the interactions of soil minerals with organic matter and microbes (国際学会) |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kato, C., Endo, A. and Ito D. |
| 2. 発表標題 Soil respiration in an apple orchard in Tsugaru region under high air temperature and high atmospheric CO2 conditions |
| 3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2024 (国際学会) |
| 4. 発表年 2024年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| <p>査読中論文</p> <p>Endo, A., Kato, C., Ito D. and Aoyama, M.: Effects of enriched CO2, temperature, and irrigation on soil properties in greenhouse apple tree cultivation. Nutrient Cycling in Agroecosystems.</p> <p>Hassan, M.R., Arakawa, O., Nissato, K. and Ito D.; Changes in the harvesting window and quality of apple fruit cultivated under long-term high temperature and CO2. Scientia Horticulturae.</p> |
|---|

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 | 叶 旭君 (Ye Xujun) (10708168) | 弘前大学・農学生命科学部・教授 (11101) | 研究開始時は弘前大学・農学生命科学部・准教授 |
| 研究分担者 | 石神 靖弘 (Ishigami Yasuhiro) (50361415) | 高崎健康福祉大学・農学部・准教授 (32305) | 研究開始時は千葉大学・大学院園芸学研究科・助教 |
| 研究分担者 | 青山 正和 (Aoyama Masakazu) (60150950) | 弘前大学・農学生命科学部・客員研究員 (11101) | 研究開始時は弘前大学・農学生命科学部・教授 |
| 研究分担者 | 加藤 千尋 (Kato Chihiro) (60728616) | 弘前大学・農学生命科学部・准教授 (11101) | 研究開始時は弘前大学・農学生命科学部・助教 |
| 研究分担者 | 荒川 修 (Arakawa Osamu) (70184265) | 弘前大学・農学生命科学部・客員研究員 (11101) | 研究開始時は弘前大学・農学生命科学部・教授 |
| 研究分担者 | 遠藤 明 (Endo Akira) (70450278) | 弘前大学・農学生命科学部・教授 (11101) | 研究開始時は弘前大学・農学生命科学部・准教授 |
| 研究分担者 | 森谷 慈宙 (Moritani Shigeoki) (30539870) | 弘前大学・農学生命科学部・准教授 (11101) | 2018年度のみ研究分担者として参加。研究開始時は弘前大学・農学生命科学部・助教 |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 | 石田 祐宣 (Ishida Sachinobu) (60292140) | 弘前大学・大学院理工学研究科・准教授 (11101) | 研究開始時は弘前大学・大学院理工学研究科・助教 |

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 |
|---------|---------|
| | |