

高温・高 CO₂ 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

Characteristics of the interannual behavior in the soil environment of apple tree vegetation greenhouses under high temperature and high CO₂ environment

○遠藤 明*・加藤千尋*・伊藤大雄*・青山正和*
Akira ENDO*, Chihiro KATO*, Daiyu Ito*, Masakazu Aoyama

1. はじめに

近年、人間活動に起因する世界的な気候変動が、平均気温や大気中 CO₂ 濃度の上昇の形で顕著に表れている。これまで世界中で実施されてきた FACE (Free-Air CO₂ Enrichment [開放系大気 CO₂ 増加]) 実験では、水稻、穀類、豆類などの作物が対象であった。したがって、リンゴなどの果樹を対象にした研究では、温室内リンゴ樹群落の光合成速度の評価(伊藤ら, 2020)、高温・高 CO₂ 環境がリンゴ園の物質生産に及ぼす影響(伊藤ら, 2021; 伊藤ら, 2022)、高温・高 CO₂ 環境がリンゴ園の土壌中 CO₂ 動態に及ぼす影響(加藤ら, 2021)の少数の報告に留まっている。今後、地球温暖化の加速的進行に伴い、果樹の栽培適地が北方へ遷移することが予想されており、早めに果樹栽培の気候変動対策を講じる必要がある。そこで、著者らは、将来の気候を模した半閉鎖系リンゴ樹群落の栽培土壌を対象に、気温と大気中 CO₂ 濃度の上昇が土壌水分・地温・無機イオン組成等の土壌環境形成に及ぼす影響を 4 年間のモニタリング調査によって検討した。本講演要旨中では土壌水 pH の経年変化の特徴に限定し、土壌水分等の特徴については当日の学会発表の中で示す。

2. 材料および方法

(1) 調査試験区の概要: 調査対象試験区は、弘前大学農学生命科学部附属生物共生教育研究センター藤崎農場リンゴ園(土性 SiL, 飽和透水係数 10⁻⁵~10⁻⁴ cm/s オーダー)に建設した、将来の地球温暖化の大気環境を想定した 3 棟のリンゴ樹群落ビニールハウスである。気候改変実験に至るまでの流れを表 1 に示す。各棟は、雨除けの屋根のみでリンゴ樹群落を覆った A 棟(対照区)、外気温+3°C に設定した B 棟(高温区)、外気温+3°Cかつ大気中 CO₂ 濃度+200 ppm に設定した C 棟(高温・高 CO₂ 区)である(図 1A)。さらに、各棟の内部を標準灌水区(以下, STD 区)と多灌水区(以下, ABD 区)に分け、吊り下げ式スプリンクラーを用いて、灌水期間の 4~11 月に地下水を週 2 回散水した(図 1B)。STD 区における散水量は、4~11 月に 4~7 mm/回であり、ABD 区では STD 区の 1.5 倍の設定量を散水した。さらに、灌水期間の奇数月の中旬を目途に、STD 区と ABD 区において、それぞれ 50 mm と 75 mm を特別散水量として灌水した。灌水期間における STD 区および ABD 区の設定散水量は、弘前市の年平均降水量のそれぞれ約 80% と 120% 相当の量に基づくものである。

(2) 土壌環境の測定: 2019 年 4 月に多機能土壌センサー(STE, Meter)を、STD 区の 5, 15, 40 cm 深および、ABD 区の 15, 40 cm 深に埋設し、体積含水率と地温を 30 分間隔で自動測定した。また、各試験区の 5, 15, 40 cm 深に土壌水採取管(藤原製作所製)を埋設し、隔週で土壌間隙水を吸引採取した(70 cm 深は 2020 年 4 月に追加埋設)。土壌水の採取時期は 2019~2022 年の 3 月下旬~12 月上旬である。採取試料液の水質測定項目は pH, EC, 陰・陽イオン種濃度であり、それぞれガラス電極法、交流二極法、イオンクロマトグラフ法により測定した。

(3) 統計処理: 各試験区における深度別の体積含水率・地温・水質測定結果を対象に、R (Ihaka and Gentleman, 1996)を用いて Tukey-Kramer 法による多重比較検定

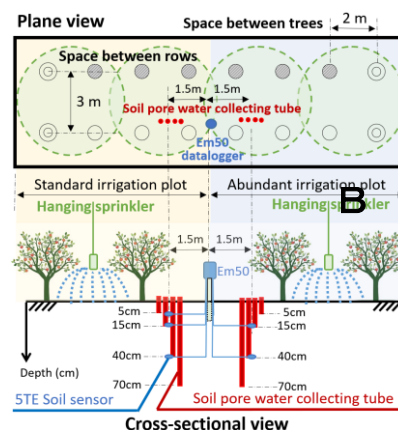


図 1 ビニールハウスの概観 (A) と試験区の概要 (B)
Fig. 1 Overview of the greenhouse (A) and test plot (B)

表 1 リンゴ群落の管理
Table 1 Management of apple vegetation

| 西暦 | 圃場・植栽管理 |
|------|----------------------------|
| 2014 | 堆肥の散布 |
| 2015 | リンゴ樹の定植 [樹間 2m × 列間 3m] |
| 2018 | ビニールハウスの建設 [各棟 8 樹 × 2 列] |
| 2019 | 環境制御開始 |

*弘前大学農学生命科学部 *Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University

キーワード: リンゴ樹群落, 気候変動, 高温・高 CO₂ 環境, 土壌水 pH

($p < 0.05$)を行った。気候改変実験を実施した2019～2022年と土壌環境測定結果を、それぞれを説明変数と目的変数として単回帰分析を行い、環境制御開始以降の各試験区における土壌環境の変遷の特徴を把握した。

3. 結果および考察

土壌懸濁液のpHは5.94～6.88の範囲(平均値6.31±標準偏差0.20)にあり、一般的なリンゴ園土壌の適正pHの範囲にあった(グラフ非掲載)。図2に各試験区における土壌水pHの等値線図を示す。各試験区の土壌水平均pHは6.77～7.07の範囲にあり土壌pHよりも高く、明瞭な深度依存性は認められなかった。図3に各試験区における土壌水pHの経年変化を示す。A棟STD区を除き、2019年と2022年のpHとの間に有意差が認められ、年経過とともにpHが増加した。特に、B棟STD区の年増加pHは約0.25と高かった。一方、非加温のA棟ではpHの年変動が小さかった。2015年のリンゴ樹の定植から2022年12月までの間、リンゴ樹の成長促進に伴い、根圏における糖、アミノ酸、有機酸などの分泌量は年々増加していると推察される。植物根から分泌されるカルボキシル基をもつ有機酸は、配位子交換反応によって土壌中の鉱物粒子に吸着する際、OHが土壌水側へ脱着することが平舘(1999)により報告されていることから、下草を含めたリンゴ樹根量が多い土壌表層では、この要因によるpHの増加が推察される。また、植物によるアニオン吸収の総和 ΣA がカチオン吸収の総和 ΣC を超えると、植物は根圏へアニオン(OH-)を放出する。特に、無機態窒素である NO_3^- を多く吸収するような植物においては $\Sigma A > \Sigma C$ の大小関係になることが多く、その結果、根圏のpHが高くなることが松本(1991)やBrady and Weil(2013)により報告されている。本研究においてもB棟STD区のpHが急増する2020～2021年にかけて、多量の NO_3^- を吸収した痕跡が、 NO_3^- 濃度の急減傾向として確認された(グラフ非掲載)ことに加えて、加藤(未発表)はB棟STD区の土壌中 CO_2 濃度が経年的な増加傾向にあることを明らかにした。また、Teramoto et al.(2016)が、長期的な温暖化が土壌有機炭素分解による CO_2 排出量を増加させることを実験的に示したことから、このB棟STD区における顕著なpHの増加は、土壌有機炭素の分解が経年的に顕著化している痕跡と推察される。

4. おわりに

著者らはリンゴ樹群落ビニールハウス内において4年間にわたる気候改変実験を実施し、高温・高 CO_2 環境下において土壌水pHの顕著な経年上昇を確認し、この土壌水pHの増加要因が、果樹根からの分泌物と土壌基質との間の吸脱着応答や、果樹根や下草根のアニオン吸収にあると推察した。高温・高 CO_2 環境の相違により、土壌水pHの他にも、地温、体積含水率、EC、無機イオン組成などにも多大な影響を及ぼすことが予想されるため、早急に解析していくことが課題である。

謝辞： 本研究は科研費(18H03964, 21H02303)の助成を受け実施した。弘前大学農学生命科学部の卒業生(後藤健太郎氏、刃地将史氏、大和創太氏、佐藤[旧姓 福士]桃花氏、齊藤 快氏、姚 娜氏)には、4月上旬から12月上旬の間、隔週で土壌水採取に協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

引用文献： 伊藤ら(2020)：東北の農業気象, **64**, 31-32, 伊藤ら(2021)：東北の農業気象, **65**, 19-20, 加藤ら(2021)：土壌の物理性, **149**, 37-46, 伊藤ら(2022)：東北の農業気象, **66**, 17-18, Ihaka and Gentleman(1996)：J. Comp. Graph. Stat., **5**, 299-314, 平舘(1999)：化学と生物, **37**(7), 454-459, 松本(1991)：土肥誌, **62**(5), 563-572, Brady and Weil(2013)：The nature and properties of soils, 14th Ed., 加藤(未発表)：B棟STD区の土壌中 CO_2 濃度の観測結果, Teramoto et al.(2016)：Sci. Rep., **6**, 35563.

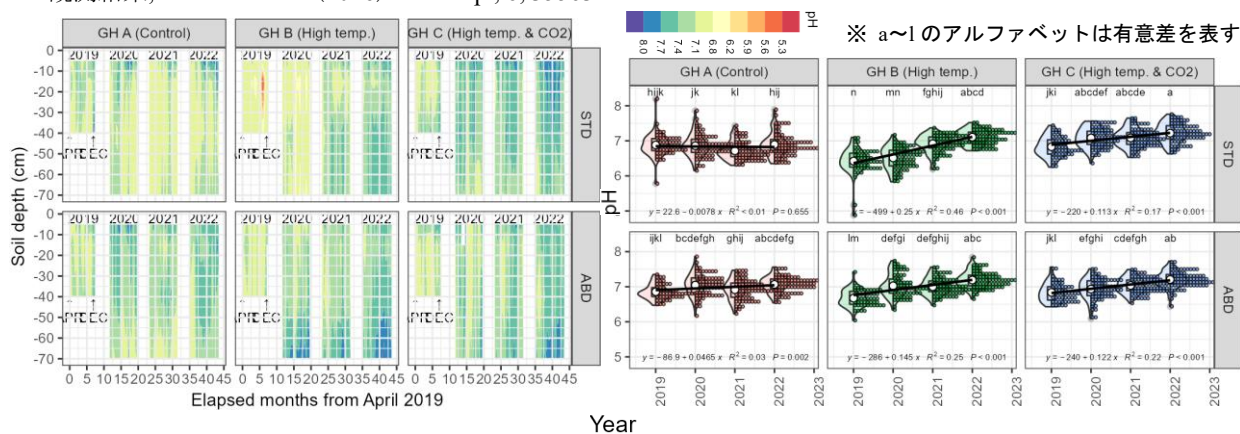


図2 土壌水pHの等値線図
Fig.2 Isopleths of soil water pH

図3 土壌水pHの経年変化(○印は平均値)
Fig.3 Interannual behavior of soil water pH (○: average pH)