

	デムンバギブリラ
氏名	DUMBUYA GIBRILLA
本籍（国籍）	シエラレオネ共和国
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	連研第811号
学位授与年月日	令和4年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当課程博士
研究科及び専攻	連合農学研究科 生物生産科学専攻
学位論文題目	Effect of elevated soil temperature on productivity of tuber and legume crops under cool climate (寒冷地における地温上昇がイモ類・マメ類作物の生産性に及ぼす影響)
学位審査委員	主査 岩手大学教授 下野 裕之 副査 岩手大学助教 松波 麻耶 副査 山形大学教授 程 為国 副査 弘前大学教授 石川 隆二

論文の内容の要旨

Increasing global temperature has been threatening crop production in the world. However, there is a huge bias of information on the effects of global warming on crop production among regions as limited information is available for developing countries especially in Africa with poor infrastructure and experimental equipment, even though developing countries are more seriously and directly affected by global warming. Crops grown in the field can experience increase in aboveground and root-zone temperatures independently, but scarce information is available on the effects of root-zone temperature for crop species with different sink positions. Firstly, I overviewed the current understanding of the effects of global warming on crop productivity in chapter 1, and then evaluated the effect of different colors of plastic mulch to simulate elevated soil temperature with relatively low cost in chapter 2. This method was used to evaluate the effect of elevated soil temperature on tuber and legume crops in 3 years field experiments using sweet potato and soybean as model species in a cool climate, respectively in chapters 3 and 4. General discussion on the future perspective of crop production under global warming was on chapter 5.

In chapter 2, mulching system to control soil temperatures was tested in the field at Iwate University, Japan. For sweet potato, three colors of polyethene films (green, black, and white color) gave temperature ranged of 21~24°C especially during vegetative stages (to ca. 60 days after transplanting). The temperature increase was expressed as a function of solar radiation, with 0.22~0.47°C increase in soil temperature per 10 MJ m⁻² increase in solar radiation. However, the magnitude of increase in soil temperature decreased with canopy development. Similarly, for soybean, mulching system successfully produced soil

temperature ranged of 19~26°C especially during early vegetative stages (to ca. 60 days after sowing). The result indicated the effectiveness of using this method to simulate elevated soil temperature especially during vegetative stages with low cost using solar energy.

In chapter 3, the effect of elevated soil temperature was tested on sweet potato with belowground harvestable sink position. Elevated soil temperature promoted vegetative growth - number of leaves, leaf area development, and chlorophyll content. Despite the faster growth of vegetative organs at increasing soil temperatures, there was no significant difference on tuber fresh yield at maturity. Number of tubers was smaller for high soil temperatures and individual tuber weight was greater than low soil temperature. This result was consistently observed over 2 years, indicating the less responsiveness of tuber crops to global warming.

In chapter 4, the effect of elevated soil temperature was tested on soybean with aboveground harvestable sink position, that are differ in terms of sink size - determinate or indeterminate types, and N source from soil or atmosphere - nodulated and non-nodulated type. First, in the experiment using determinate and indeterminate soybean, elevated soil temperature promoted vegetative growth - number of branches and nodes, leaf area and phenology. However, the magnitude was differed by cultivar types, and greater responsiveness was observed for indeterminate with greater sink size than determinate types. In contrast to sweet potato, the effect of soil temperature on vegetative growth was carried over to influence final yield in soybean, with significant increase in yield due to the higher total number of flowers and pods under elevated soil temperature. There was significant interaction of soil temperature × cultivar on final yield. Second, in the experiment using nodulated and non-nodulated soybean, similar response was observed in final yield. The magnitude of increase was greater for nodulated than non-nodulated type. The results indicated that higher sink capacities with supporting N requirement is the key phenotype to promote positive impact on soybean under elevated soil temperatures.

In conclusion, the 3-years field experiment using tuber and legume crops confirmed that, mulching systems are useful to evaluate different crop-temperature response with low cost. Positive impacts of increasing soil temperatures were observed only for soybean through sink formation processes with stimulated N supply from nodules, but not for sweet potato within the tested soil temperature range of 24~30°C in a cool climate of Iwate, Japan.

地球温暖化による世界的な気温上昇は、世界の安定的な作物生産を脅かす。しかし、昇温が作物生産に与える影響については、地域によって大きな偏りがある。アフリカを中心とした発展途上国は地球温暖化の影響をより深刻かつ直接的に受けているにもかかわらず、インフラや実験設備が整っていないため、温暖化が作物生産に及ぼす影響に関する情報が極めて限定的である。畑作物は、地上部温度と根圏温度がそれぞれ独立して上昇するが、収穫対象の位置が異なる作物種の根圏温度の影響については不明な点が多く残されている。

本博士論文の第1章では、地球温暖化が作物の生産性に及ぼす影響について概観し、第2章では圃場栽培実験での地温上昇を低コストで再現するために、異なる色のプラスチックマルチの効果を評価した。第3章および第4章では、冷涼気候下でのサツマイモとダイズをモデルとした3年間の圃場実験において、プラスチックマルチを用いた地温上昇がイモ類とマメ科作物の生産性に与える影響をそれぞれ評価した。第5章では、地球温暖化による昇温下での作物生産の将来的な展望について総論を述べた。

第2章では、プラスチックマルチを用いた地温制御の効果について圃場条件下で検証した。サツマイモでは、3色のポリエチレンフィルム（緑、黒、白）を用いることで、栄養生長期（移植後約60日まで）の地温を21~24℃の範囲で制御した。日射量が10 MJ m⁻²増加するとともに地温は0.22~0.47℃上昇した。しかし、地温上昇の程度は作物群落の発達とともに減少した。ダイズにおいても、同じプラスチックマルチを用いることで、特に生育初期（播種後約60日まで）の地温を19~26℃に制御した。これらの結果から、異なる色のプラスチックマルチを用いれば、太陽エネルギーを利用して低コストに地温を制御できることが明らかとなった。

第3章では、地下に収穫部位があるサツマイモを対象に、地温上昇の影響を検証した。地温上昇は、葉数、葉面積、クロロフィル含量などを増加させた。地温上昇に伴い、栄養器官の生長が早まったにもかかわらず、成熟期の塊茎の生産量には有意な差がなかった。塊茎の数は地温が高いほど少なく、個々の塊茎重量は地温が低いほど多かった。この結果は2年間一貫して観察され、イモ類の地球温暖化に対する反応性が低いことを示した。

第4章では、地上部に収穫部位があるダイズを対象に、シンクの大きさが異なる有限・無限伸育型および根粒の着生・非着生系統のダイズを用いて地温上昇の影響を検証した。まず、有限伸育型と無限伸育型を用いた実験では、地温上昇により、枝数・節数、葉面積、フェノロジーなどの栄養生長が促進された。しかし、その程度は品種によって異なり、無限伸育型では有限伸育型に比べて、シンクサイズの増大程度が大きかった。サツマイモとは対照的に、ダイズでは地温が生長に及ぼす影響が最終的な収量にまで影響を及ぼし、地温が高いほど花と莢の総数が多くなるため、収量が有意に増加した。収量には地温×品種に有意な交互作用があった。次に、根粒の着生・非着生系統を比較した実験では、収量の増加程度は、根粒着生系統の方が非着生系統よりも大きかった。これらの結果から、地温上昇下でダイズ生産性を高めるためには、優れたシンクキャパシティとそれに伴う窒素供給能が重要であることが示された。

結論として、イモ類とマメ科作物を用いた3年間の圃場実験により、プラスチックマルチは低コストで様々な作物の温度反応を評価するのに有効であることが確認された。岩手県の冷涼な気候の下では24~30℃の地温範囲において、サツマイモには地温上昇による収量への効果は認められず、一方で、ダイズでは根粒からの窒素供給が促進されるシンク形成プロセスを経て収量が増加することが明らかとなった。

論文審査の結果の要旨

地球温暖化による世界的な気温上昇は、世界の安定的な作物生産を脅かす。しかし、昇温が作物生産に与える影響については、地域によって大きな偏りがある。アフリカを中心とした発展途上国は地球温暖化の影響をより深刻かつ直接的に受けているにもかかわらず、インフラや実験設備が整っていないため、温暖化が作物生産に及ぼす影響に関する情報が極めて限定的である。畑作物は、地上部温度と根圏温度がそれぞれ独立して上昇するが、収穫対象の位置

が異なる作物種の根圏温度の影響については不明な点が多く残されている。

まず、プラスチックマルチを用いた地温制御の効果についてサツマイモとダイズの圃場条件下で検証した。3色のポリエチレンフィルム（緑、黒、白）を用いることで、栄養成長期（移植後約60日まで）の地温を19~26℃の範囲で制御した。日射量が1MJ m⁻²増加するごとに地温は0.07~0.12℃上昇した。地温上昇の程度は作物群落の発達とともに減少した。これらの結果から、異なる色のプラスチックマルチを用いれば、太陽エネルギーを利用して低コストに地温を制御できることが明らかにした。

次に、地下に収穫部位があるイモ類作物としてサツマイモを対象に、地温上昇の影響を検証した。地温上昇は、葉数、葉面積、クロロフィル含量などを増加させた。地温上昇に伴い、栄養器官の成長が早まったにもかかわらず、成熟期の塊茎の生産量には有意な差がなかった。塊茎の数は地温が高いほど少なく、個々の塊茎重量は地温が低いほど多かった。この結果は2年間一貫して観察され、イモ類の地球温暖化に対する反応性が低いことを示した。

さらに、地上部に収穫部位があるマメ類作物としてダイズを対象に、シンクの大きさが異なる有限・無限伸育型および根粒の着生・非着生系統のダイズを用いて地温上昇の影響を検証した。まず、有限伸育型と無限伸育型を用いた実験では、地温上昇により、枝数・節数、葉面積、フェノロジーなどの栄養成長が促進された。しかし、その程度は品種によって異なり、無限伸育型では有限伸育型に比べて、シンクサイズの増大程度が大きかった。イモ類のサツマイモとは対照的に、ダイズでは地温が成長に及ぼす影響が最終的な収量にまで影響を及ぼし、地温が高いほど花と莢の総数が多くなるため、収量が有意に増加した。収量には地温×品種に有意な交互作用があった。次に、根粒の着生・非着生系統を比較した実験では、収量の増加程度は、根粒着生系統の方が非着生系統よりも大きかった。これらの結果から、地温上昇下でダイズの生産性を高めるためには、優れたシンクキャパシティとそれに伴う窒素供給能が重要であることが示された。最後に、本研究で得られた2つの作物種を用いた試験結果をもとに、他のイモ類・マメ類作物の適応温度域との関係から将来の作物生産について総合的な議論を行った。

結論として、イモ類とマメ科作物を用いた3年間の圃場実験により、プラスチックマルチは低コストで様々な作物の温度反応を評価するのに有効であることが確認された。岩手県の冷涼な気候の下では19~26℃の地温範囲において、サツマイモには地温上昇による収量への効果は認められず、一方で、ダイズでは根粒からの窒素供給が促進されるシンク形成プロセスを経て収量が増加することが明らかにした。

本研究は、気候変動下での影響評価をプラスチックマルチを用いることで低コストで達成できること、またイモ類とマメ類での応答性の違いから今後の温暖化への適応策を検討する基礎となり、将来の世界の食料生産の発展に資する成果である。

本審査委員会は、「岩手大学大学院連合農学研究科博士学位論文審査基準」に則り審査した結果、本論文を博士（農学）の学位論文として十分価値のあるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

1. Gibrilla DUMBUYA, Habtamu Assega ALEMAYEHU, Md Mehedi HASAN, Maya MATSUNAMI and Hiroyuki SHIMONO (2021). Effect of soil temperature on growth and yield of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) under cool climate. *Journal of Agricultural Meteorology* 77(2):118-127.