

称号及び氏名	博士(緑地環境科学)	Naznin Most Tahera
学位授与の日付	平成22年3月31日	
論文名	Development of a Plant Culture System for Producing Garlic Bulbs and Roots as a Food Stuff Containing Medicinal Ingredients, Ajoenes (薬用成分アホエンを含有する食材としてのニンニク鱗茎 および根を生産する栽培システムの開発)	
論文審査委員	主査 北宅 善昭 副査 前中 久行 副査 小田 雅行 副査 渋谷 俊夫	

論文要旨

Garlic is one of common vegetables used as a spice and a medical herb in the world. The medicinal activities of garlic are attributed to ajoene that is a sulfur-rich compound and derived from heated garlic through the conversion of alliin and alliin. The objective of this study was to develop a hydroponic system with an adequate controlled environmental condition for producing garlic and ajoene efficiently. The results obtained are as followings;

1) A hydroponic culture system was developed for producing garlic and the growth rate and the ajoene content in plants were compared with those grown in a soil culture system. Garlic plants in the both culture systems were grown in a growth chamber under an artificial lighting with white fluorescent lamps at air temperatures of 25°/21°C (light/dark), relative humidity of 75/90% (light/dark), a

photosynthetic photon flux density (PPFD) of $450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and a 12-h photoperiod. Plants were grown on styrofoam boards and hanging in tanks filled with nutrient solution in the hydroponic culture and on commercial soil filled in containers in the soil culture. Ajoene content in each plant part was determined after heated in rice oil. Fresh weights of newly developed bulbs, roots and leaves in the hydroponic culture were 22.1, 65.8 and 36.5 g/plant, respectively, and were 3.5, 3.1 and 2.3 times, respectively, greater than those in the soil culture two months after planting. Ajoene contents in bulbs, roots and leaves in the hydroponic culture were 14.4, 11.6 and 7.8 mg/plant, respectively, and 4.1, 4.1 and 2.7 times, respectively, higher than those in the soil culture. Garlic plants grown in the hydroponic culture were more vigorous and contained more ajoene than those grown in the soil system.

2) Effects of environmental conditions on growth and ajoene contents of garlic plants cultured hydroponically were investigated. Garlic plants were cultured in a growth chamber under artificial lighting basically at air temperatures of $25^{\circ}/21^{\circ}\text{C}$ (light/dark), relative humidity of 75/90% (light/dark), and a photoperiod of 12 h d^{-1} for 2 months.

Light Intensities The growth and ajoene contents of garlic plants cultured with PPFDs ranging from 75 to $450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ were investigated. The fresh and dry weights of the whole plant increased with increasing PPFDs. Dry weights in bulbs, leaves and roots at PPFD of $450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ were 9.6, 5.5 and 10.0 times, respectively, greater than those at PPFD of $75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The transpiration rate, leaf conductance and the leaf chlorophyll concentration at PPFD of $450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ were 1.6, 2.1 and 1.3 times, respectively, greater than those at PPFD of $75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Ajoene contents in bulbs, leaves and roots at PPFD of $450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ were 14.9, 9.5 and 16.7 times, respectively, greater than those at PPFD of $75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Plants at higher levels of PPFD showed greater growth rates and greater ajoene contents.

Aeration Regimes in Rooting Solution The growth and ajoene contents of garlic plants cultured hydroponically with different aeration regimes were compared in order to investigate effects of dissolved O_2 levels on these parameters. The four aeration treatments including 12 h dark aeration (12h-D), 12 h illuminated aeration

(12h-L), or 24 h aeration (24h) with air pumps, or without aeration (Control) were applied. Dissolved O₂ concentrations increased in the order, 24h > 12h-L > 12h-D > Control. Fresh and dry weights, and ajoene contents in plants increased by increasing the levels of dissolved O₂. The dry weight of bulbs, leaves, and roots in 24h were 2.8-, 4.9-, and 7.7-times greater, respectively, than those in Control. Ajoene contents in bulbs, leaves and roots in 24h were 6.5-, 5.2-, and 11.2-times greater, respectively, than those in Control. Garlic plants grown at higher levels of dissolved O₂ showed higher growth rates and greater ajoene contents.

Atmospheric CO₂ Levels The growth and ajoene contents in garlic plants cultured with atmospheric CO₂ levels ranging from 400 to 900 μmol mol⁻¹ were investigated. Fresh and dry weights of each parts of garlic plants increased with increasing CO₂ levels. Dry weight in bulbs, leaves and roots at 900 μmol mol⁻¹ were 1.8, 1.6 and 2.0 times, respectively, greater than those at 400 μmol mol⁻¹. Ajoene contents in bulbs, leaves and roots at 900 μmol mol⁻¹ were 2.3, 2.6 and 2.6 times, respectively, greater than those at 400 μmol mol⁻¹. Garlic plants grown at higher levels of CO₂ showed higher growth rates and greater ajoene contents.

3) The possibility of hydroponic garlic culture integrated with fish culture was evaluated to increase the food production in a limited space. Three treatments including garlic culture only (G), garlic culture with tilapia fish culture (GT) and tilapia fish culture only (T) were applied and growth of plants and fish and water quality were monitored. Dry weights of bulbs, leaves and roots were 1.4, 1.6 and 1.6 times, respectively, greater in GT than in G. Ajoene contents in newly developed bulbs, leaves and roots were 2.6, 2.2 and 2.4 times, respectively, greater in GT than in G. The specific growth rate of fish in GT were 1.3 times greater than in T. It was confirmed that the fish supplied additional nutrients including nitrogen compounds to garlic plants and plants kept the water quality suitable for fish growth. Garlic and fish can be grown well in the integrated culture system with mutual benefit.

In conclusion, garlic plants cultured hydroponically under the adequate

controlled environmental condition grew well and contained high level of ajoene in a short period throughout the year. The roots of garlic plants cultured hydroponically contained ajoene, and were expected to be a healthy food, as are the bulbs. It was also confirmed that the combined culture of garlic with fish promoted food production in a limited space.

審査結果の要旨

ニンニクは、古くから薬用あるいは香辛料として利用されてきた。ニンニクに含まれるイオウ化合物の allicin (アリシン) は、加熱処理により ajoene (アホエン) となり、様々な薬効を示すことが知られている。本研究では、このような有用成分を含有するニンニクの鱗茎および根を効率的に生産するシステムの構築を目的として、ニンニクの水耕栽培方法を開発し、成長および有用成分生成を促進する環境条件を求めた。

第2章では、新たに開発した水耕栽培方法で育成したニンニクの成長および加熱後のアホエン含有量を、土耕栽培で育成したものと比較した。水耕栽培では、ニンニク鱗片を用いて、タンクに貯めた培養液 (大塚A処方) 上に浮固定した発泡スチロール板の植え穴に植え、土耕栽培では、コンテナに充填した市販の園芸用培地に植えた。栽培試験は人工気象室内で行い、培地以外の環境条件は、肥料組成を含めて両栽培法で等しくした。人工気象室内の環境条件は、気温25/21℃ (明期/暗期)、相対湿度75/90% (明期/暗期)、光合成有効光量子密度 (PPFD) 450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明期時間12時間とし、光源には白色蛍光灯を用いた。

2ヶ月の栽培試験の結果、水耕栽培でのニンニクは旺盛に成長し、鱗茎、根および葉の生体重は、それぞれ22.1、65.8、および36.5 g/plantとなった。植物体全体の乾物生産速度は土耕栽培の約2倍であり、特に根の成長速度が高く、根の乾物重および長さは土耕栽培に比べて約4倍となり、根の本数および直径は約1.5倍となった。水耕栽培で育成した場合、ニンニクの根の乾物重は、鱗茎の約3倍となった。また水耕栽培での鱗茎、根および葉のアホエン含有量は、土耕栽培でのそれらに比べて、それぞれ4.1、4.1および2.7倍となった。水耕栽培で育成した場合、根のアホエン濃度は、鱗茎のその約1/2であったが、根に含有されるアホエン全量は鱗茎のそれとほぼ等しくなった。以上、水耕栽培は土耕栽培に比べて、植物体、特に根の成長およびアホエン生成を促進することを明らかにした。また、水耕栽培で育成したニンニクの根は白色であり、食味、食感が優れており、臭気が少なく、新規の食材として有望であることを提言した。

第3章では、環境制御下でのニンニク水耕栽培において、根の成長およびアホエン生成を促進するための光強度、大気中のCO₂濃度および養液の溶存酸素濃度について検討した。

その結果、PPFD75~450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の範囲では、ニンニクの成長速度およびアホエン濃度はPPFDの上昇に伴いほぼ直線的に増加した。PPFDが75から450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ に上昇すると、鱗茎、根および葉の乾物重は、それぞれ9.6、5.5および10倍となり、またアホエン含有量は、それぞれ14.9、9.5および16.7倍となった。

大気中へのCO₂富化に関する実験において、CO₂濃度400~900 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ の範囲では、ニンニクの成長速度およびアホエン濃度はCO₂濃度の上昇に伴いほぼ直線的に増加した。CO₂濃度が400から900 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ に上昇すると、鱗茎、根および葉の乾物重は、それぞれ1.8、1.6および2倍となり、またアホエン含有量は、それぞれ2.3、2.6および2.6倍となった。

養液中への送気により溶存酸素濃度を変化させた実験では、溶存酸素濃度の上昇により、ニンニクの成長速度およびアホエン濃度は増加した。溶存酸素濃度が4 mg L^{-1} (無送気)から8 mg L^{-1} (連続送気)に上昇すると、鱗茎、根および葉の乾物重は、それぞれ2.8、4.9および7.7倍となり、またアホエン含有量は、それぞれ6.5、5.2および11.2倍となった。また、明期の養液中への送気は、暗期の送気に比べて、ニンニクの成長およびアホエン生成を促進した。

このような成長およびアホエン生成を促進する条件では、葉のCO₂吸収速度およびクロロフィル濃度が高くなっていた。本研究の条件範囲では、PPFD450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、CO₂濃度900 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ の条件で養液中に連続送気することにより、2ヶ月の栽培でニンニクは収穫可能となった。

第4章では、ニンニク水耕栽培の養液と魚類の飼育水を共有することで、ニンニク栽培と魚類養殖を統合するシステムについて検討した。魚類として、途上国での重要な養殖魚種であるティラピアを供試した。魚類飼育水中に蓄積する排泄物および飼料残渣由来の窒素化合物およびその他の塩類は、魚類にとっては有害であるが、ニンニクにとっては有用な栄養塩である。実験の結果、ニンニクが窒素化合物およびその他塩類を吸収することにより、ニンニク、ティラピア相互の成長が促進されることを実証した。この成果は、農水産分野における水利用の効率を高めるとともに、限られた空間での集約的食料生産技術となり得る。

第5章の総合考察では、以上の研究結果を総括し、また葉での光合成促進により、鱗茎や根の成長、およびアホエン生成が促進されるメカニズムについて考察した。

本研究では、従来、細くて硬いために食用にはならなかったニンニクの根を、機能的食材として注目したところに新規性があり、環境制御下での水耕栽培により根が高速で成長し、さらに鱗茎同様にアホエンを生成することを明らかにした。この生産方法は、従来のニンニク鱗茎や茎葉部の生産と比べて、また施設農業における他の葉菜類や

果菜類の生産と比べて、実用化技術としての優位性があり、施設利用型都市近郊農業の発展に大きく寄与すると考えられる。また、ニンニク栽培と魚類養殖を統合するシステムは、途上国における食料生産の向上に寄与すると考えられる。よって、最終試験の結果と併せて、博士（緑地環境科学）の学位を授与することを適当と認める。