

ウルトラファインバブル水の灌水がサザンハイブッシュブルーベリーの幼木における乾物分配および窒素吸収に及ぼす影響

誌名	園芸学研究
ISSN	13472658
著者名	Lai, Y.C. 尾形, 凡生 浜田, 和俊
発行元	園芸学会
巻/号	21巻1号
掲載ページ	p. 11-16
発行年月	2022年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ウルトラファインバブル水の灌水がサザンハイブッシュブルーベリーの幼木における乾物分配および窒素吸収に及ぼす影響

Lai, Yi-Chun^{1a}・尾形凡生^{2b}・浜田和俊^{2*}

¹高知大学大学院総合人間自然科学研究科 783-8502 高知県南国市物部

²高知大学農林海洋科学部 783-8502 高知県南国市物部

Effects of Ultrafine Bubble Water Irrigation on Dry Weight Allocation and Nitrogen Absorption of Young Southern Highbush Blueberry

Yi-Chun Lai^{1a}, Tsuneo Ogata^{2b} and Kazutoshi Hamada^{2*}

¹Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, Monobe, Nankoku, Kochi 783-8502

²Faculty of Agriculture and Marine Science, Kochi University, Monobe, Nankoku, Kochi 783-8502

Abstract

To clarify the effects of ultrafine bubble (UFB) water irrigation on dry weight (DW) allocation and nitrogen uptake efficiency of pot grown two-year-old ‘O’Neal’ southern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.), a destructive investigation and ¹⁵N-tracer method were carried out. The trees were irrigated with UFB water or tap water daily by hand irrigation. ¹⁵N-labeled ammonium sulfate was applied on April 19, May 25, and July 24 during the 2018 growing season, and the labeled trees were destructively harvested 2 weeks later for DW measurements, atom% of ¹⁵N, and N content of each of the plant organs. The first destructive investigation showed no difference in DW of each organ between treatments; however, the ¹⁵N content of fine roots was significantly higher with UFB treatment. The second and third destructive investigations showed the significant promotion on not only underground but also aboveground organ DW allocation with UFB treatment. The ¹⁵N content of the third destructive investigation showed a consistent result with an increase of DW with UFB treatment. In July, DW and ¹⁵N content of underground organs and summer shoot were significantly higher, resulting in a significant elongation of the total shoot length per tree. These results suggest that UFB treatment promoted nitrogen absorption and further supports the growth of aboveground organs. We have demonstrated for the first time that UFB water irrigation can enhance the physiological activity of roots, thus improving nitrogen absorption, in blueberry.

Key Words : fine root, nitrogen distribution rate, physiological activity, shoot elongation

キーワード : 窒素分配率, 細根, 生理活性, 新梢伸長

緒言

ブルーベリー (*Vaccinium* spp.) は、浅根性で根が主に地下0.4 mまでに集中し (Bryla・Strik, 2007), また根毛を欠くひげ根であるため養水分の吸収力および伸長力が弱いとされている (Holzapfelら, 2004). そのため、ブルーベリーは肥料由来の窒素吸収効率が8~35%の範囲で他の果樹よりも低い傾向が示されている (Retamales・Hanson, 1989; Throop・Hanson, 1997). 窒素吸収効率の向上は、樹体の生育促進、生産コストの削減および環境への悪影響の軽減につながる事がリングゴで報告されている (Morrisら, 2018). 一方で、窒素吸収効率が低ければ、過剰な窒素が流亡し、

環境への負荷および経営コストの浪費が懸念される。特にブルーベリーの幼木は、緩衝となる貯蔵器官が充実していないため根系への過少および過剰施肥に対して成木よりも敏感であることが報告されている (Bañadosら, 2006). 従って、ブルーベリーの幼木育成には、根系の早期拡大および細根の生理活性の向上が重要なポイントと考えられる。

近年農業分野において、ファインバブル (FB) 水の生理活性効果に関する研究が多く行われている。特に気体をFB化することにより、液体中に多量の気体を溶かすことができる (久保, 2020) ことが注目される。FBは、直径1~100 μmのマイクロバブル (MB) およびさらに細かい直径1 μm以下のウルトラファインバブル (UFB) に分類されている。Park・Kurata (2009) は、MB水を利用したレタスの水耕栽培において比表面積が大きい微細なMBが根に豊富に付着したことにより、根の表面に直接酸素を供給することで根の成長が促進し、収量が増加したことを報告している。また、氷室 (2016) はFB水処理により土耕栽培のイチ

2021年4月12日 受付。2021年6月11日 受理。
本報告の一部は園芸学会平成31年度春季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: hamadaka@kochi-u.ac.jp

^a現在: (株)アグリコミュニケーションズ

^b現在: 龍谷大学農学部

ゴ、ナス、トマトにおいて11～24%の収量増加効果を報告している。一方、Mochizukiら(2019)は、UFB水処理によりトマトの生育初期および16時間日長の低同化条件下で地上部乾物生産を向上させることを報告している。このようにFB水が植物の成長、特に収量および乾物生産を向上させることがいくつか報告されているが、ブルーベリーを含む果樹に適用された事例は見当たらない。

サザンハイブッシュブルーベリーは根の呼吸が旺盛で酸素要求量が高く、低酸素状態に弱い(Korcak, 1983)ことから、UFB水の灌水により根域への酸素供給によって、根の成長および生理活性を促進できれば、根系における窒素吸収効率を向上させ、地上部の成長も促進されると考えられる。特にUFB水の灌水によってブルーベリー幼木の早期成長の促進および育苗期間の短縮ができれば、大苗育成技術として活用することが期待されている。

そこで本研究では、UFB水の灌水処理がサザンハイブッシュブルーベリー2年生樹の成長期間中の乾物分配、窒素吸収効率および各器官への窒素分配に及ぼす影響を明らかにするために生育調査、解体調査および ^{15}N トレーサー法により調査した。

材料および方法

高知大学物部キャンパスにおいて22L容ポットに栽植されている2年生サザンハイブッシュブルーベリー(*Vaccinium corymbosum* L.) ‘オニール’を30樹供試した。培養土はピートモスと鹿沼土を1:1の割合で混和したものをを用いた。2018年3月の処理開始前に、供試樹の弱い枝および徒長枝を剪定し、同じ樹形になるように調整した。花芽数もほぼ同数になるように摘蕾した。

供試樹は2018年3月23日に無加温ガラス室に搬入し、15樹ずつに分け、水道水を灌水する対照区およびUFB水を灌水するUFB区の2処理区を設けた。UFB水の製造は気液混合せん断方式によるUFB生成装置(Buvitas HYK-20-SD, (株)Ligatic)により生成した。製造条件は、一旦水道水をタンクにくみおき、大気を $3\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ で取り込み15分間稼働し、約100L製造した。UFB水は3日ごとに新しく製造した。2018年3月23日から9月3日まで毎日手灌水を行い、日灌水量はいずれも1樹当たり約0.7Lであった。

^{15}N 標識硫酸アンモニウム(5 atom%)は1樹当たり10gを100mLの水道水に溶かして、生育の揃った樹体を選び、1回目は4月19日(幼果期)に、2回目は5月25日(収穫前)に、および3回目は7月24日(栄養成長中期)に各処理3樹ずつに施用した。また、 ^{15}N 標識硫酸アンモニウムを施用しなかった樹は緩効性肥料IB化成S1号(N:P₂O₅:K₂O=10:10:10%, 全国農業協同組合連合会)を1樹当たり30gで施用し、次の ^{15}N トレーサー法の試験樹として維持した。

樹体の解体は、 ^{15}N 標識硫酸アンモニウムを施用した各3樹について施用2週間後の5月3日(1回目)、6月8日(2回目)および8月6日(3回目)に実施した。樹体の地上部

は旧枝、新梢、葉、果実、芽に分けて採取した。特に3回目の解体調査において二次伸長した枝について節ごとに計測した。つまり、春枝(1st)の先端から発生した夏枝を2ndとして、以下3rd、4th、5thに分けた。

本試験では根のサイズは便宜的に3段階に直径の太さで分類した。それぞれ太根(>2.0mm)、中根(0.5～2.0mm)、細根(<0.5mm)に分けて採取した。調査は、樹体各器官の乾物重、 ^{15}N 濃度(^{15}N atom% excess)、全窒素含量、新梢長、葉面積について行った。 ^{15}N 濃度分析では、各器官を乾燥・粉碎した後に高知大学海洋コア総合研究センターで元素分析/同位体比質量分析装置(EA/IRMS)(DeltaPlus Advantage, Thermo Finnigan社)を使用して分析した。

葉面積は1樹当たり約50枚の葉を採取し、デジタルカメラで撮影して画像解析ソフトImageJ(Abramoffら, 2004)により測定した。葉面積を測定後、個葉乾物重を調査し、さらに比葉面積(specific leaf area, SLA)、葉面積当たりの葉重(leaf mass per area, LMA)を以下により算出した。

$$\text{SLA} = \text{個葉面積 (cm}^2\text{)} / \text{個葉乾物重 (g)}$$

$$\text{LMA} = \text{個葉乾物重 (g)} / \text{個葉面積 (cm}^2\text{)}$$

処理期間中の成長解析のため、3回の解体調査結果を通じて、解体日(t1)の地上部総乾物重(W1)から解体日(t2)の地上部総乾物重(W2)を基に1日当たりの個体成長率(plant growth rate, PGR)、相対成長率(relative growth rate, RGR)を以下により算出した。

$$\text{PGR} = (W2 - W1) / (t2 - t1)$$

$$\text{RGR} = (\ln W2 - \ln W1) / (t2 - t1)$$

なお、各時期の樹体に吸収された ^{15}N は、石川(2009)の方法に準じ、施肥窒素の吸収量(A)、 ^{15}N 寄与率(B)、施肥窒素の利用率(C)を以下により算出し、評価した。

$$A = \text{試料中の全窒素量} \times D / E$$

$$D = \text{試料中の}^{15}\text{N excess}\%, E = \text{施肥窒素中の}^{15}\text{N excess}\%$$

$$^{15}\text{N excess}\% = ^{15}\text{N atom}\% - ^{15}\text{N 天然存在率 (0.366}\%\text{)}$$

$$B = A / \text{試料中の全窒素量} \times 100 = D / E \times 100$$

$$C = A / \text{施肥窒素量} \times 100$$

結 果

1. 乾物分配

解体調査の結果(第1表)によれば、1回目の解体調査において総乾物重では処理区間で差はわずかであったが、2回目と3回目ではいずれも総乾物重はUFB区で対照区の約1.36倍であった。各器官の乾物重をみると、2回目の解体調査以降、葉と細根の乾物重がUFB区で有意に増加した。

地下部の器官別乾物重の割合において、対照区の細根では5月の調査時において51%だったのが6月では42%、8月では37%に減少した。一方、UFB区の細根では5月調査時の41%から6月に48%に増加し、8月では42%と3回の解体調査を通じて、UFB区では細根の乾物重割合を維持することができた。

Table 1. Effects of UFB water application on the total dry weight and the aboveground, underground dry weight ratio in each organ of 2-year-old southern highbush blueberry ‘O’Neal’ on 3 destructive harvest dates. n=3.

Date	Treatment	Total DW (g · plant ⁻¹)	Aboveground DW (g · plant ⁻¹)					Underground DW (g · plant ⁻¹) ^y			
			Old branch	Shoot	Leaf	Fruit/Bud	Total	Thick root	Medium root	Fine root	Total
3-May	Control	24.9	9.8 (55.0) ^z	0.9 (5.1)	5.3 (29.7)	1.8 (10.2)	17.8	1.9 (26.8)	1.6 (22.5)	3.6 (50.7)	7.1
	UFB	27.3	10.2 (53.8)	1.0 (5.1)	6.7 (35.2)	1.1 (5.9)	18.9	3.2 (38.1)	1.8 (21.4)	3.4 (40.5)	8.4
8-Jun	Control	43.6	10.7 (31.3)	5.6 (16.4)	16.8 (49.1)	1.1 (3.2)	34.2	3.3 (35.1)	2.2 (23.4)	3.9 (41.5)	9.4
	UFB	59.5	14.0 (30.5)	7.1 (15.5)	23.8* (52.0)	0.9 (2.0)	45.8	4.4 (32.1)	2.8 (20.4)	6.5** (47.5)	13.7
6-Aug	Control	57.8	9.6 (21.1)	17.2 (37.7)	18 (39.6)	0.7 (1.6)	45.6	5.7 (46.7)	2.0 (16.4)	4.5 (36.9)	12.2
	UFB	78.9	10.7 (16.5)	23.6 (36.3)	29.3* (45.1)	1.4 (2.1)	65.0	5.9 (42.5)	2.2 (15.8)	5.8* (41.7)	13.9

^z Numbers inside () indicate DW ratio (%) of aboveground and underground organs.

^y Thick root: root diameter >2.0 mm; Medium root: 0.5–2.0 mm; Fine root: <0.5 mm.

*, ** Significant by t-test ($p < 0.05$ and $p < 0.01$).

2. 春枝および夏枝の成長

3回の解体調査をとおして、処理区間で新梢への乾物分配には差がなかった(第1表)が、総新梢長は成長期間中増加し、8月の解体調査では1樹当たりの総新梢長はUFB区で約1000 cm/樹に対して対照区では約800 cm/樹でUFBによって有意に長くなった(第1図)。また、3回目の解体調査において春枝および二次伸長した夏枝数および長さを第2図に示した。処理区間で春枝(1st)の長さとは有意差がなかったものの、UFB区の夏枝(2nd)では長さが有意に長く、以降に発芽した夏枝(3rd~5th)も長い傾向であった。

3. 葉面積および乾物重に基づく成長解析

葉面積および乾物重に基づく成長解析結果を第2表に示した。葉面積当たりの葉重(LMA)は、5月および6月の

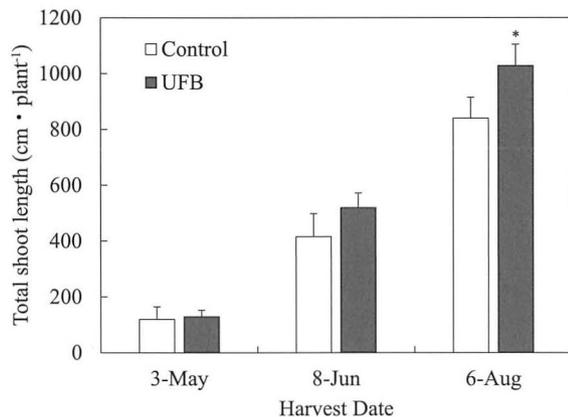


Fig. 1. Effects of UFB application on the total shoot length (cm · plant⁻¹) of 2-year-old southern highbush blueberry ‘O’Neal’ on 3 destructive harvest dates. Vertical bars represent ± SD of means. n=3.

* Significant by t-test ($p < 0.05$).

解体調査ではUFB区のLMAの値が有意に大きくなった。また、相対成長率(RGR)においては、6月から8月にかけてUFB区が有意に高かった。

4. 時期別の¹⁵N濃度

5月における各器官の¹⁵N濃度(第3図A)では、UFB区の新梢および細根の¹⁵N濃度は対照区より高かったが、6月の解体調査(第3図B)においては、UFB区の全器官で¹⁵N濃度は対照区と有意差がなかった。しかしながら、8月の解体調査(第3図C)では、UFB区において地下部の¹⁵N濃度が有意に高かった。さらに地上部の特に夏枝により多くの¹⁵Nの蓄積がみられた。

5. 窒素吸収効率

第3表に各時期の全窒素含量、¹⁵N標識肥料由来の窒素含量および窒素吸収効率の変化を示す。成長につれて全窒素含量は両処理ともに増加した。肥料由来の窒素含量は、6

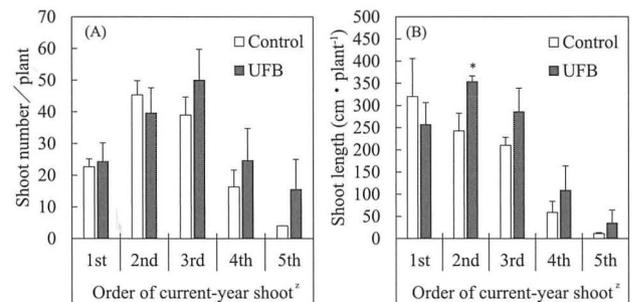


Fig. 2. Effects of UFB application on shoot number (A) and length (B) of each order of current-year shoots per plant of 2-year-old southern highbush blueberry ‘O’Neal’ on 6-Aug 2018. Vertical bars represent ± SD of means. n=3.

* Significant by t-test ($p < 0.05$).

^z Shoots were cut from basal to distal sides at nodes. The 1st node represents spring shoots; 2nd–5th nodes represent summer shoots.

Table 2. Effects of UFB water application on sampled leaf area and dry matter-based growth analysis of 2-year-old southern highbush blueberry ‘O’Neal’ on 3 destructive harvest dates. n=3.

Date	Treatment	Leaf area (cm ² · leaf ⁻¹)	SLA (cm ² · g ⁻¹)	LMA (g · m ⁻²)	PGR ^z (gW · plant ⁻¹ · day ⁻¹)	RGR ^z (gW · gW ⁻¹ · day ⁻¹)
3-May	Control	6.9	147.7	69.4		
	UFB	7.1	132.8	77.0**		
8-Jun	Control	10.7	139.3	73.7	0.454	0.018
	UFB	10.5	128.1	80.8*	0.745	0.025
6-Aug	Control	11.2	127.1	87.0	0.194	0.005
	UFB	14.0	119.1	86.4	0.326	0.021**

*, ** Significant by t-test ($p < 0.05$ and $p < 0.01$).

^z PGR and RGR were calculated between two successive harvest dates (PGR and RGR on 8-Jun were calculated between 3-May and 8-Jun; PGR and RGR on 6-Aug were calculated between 8-Jun and 6-Aug).

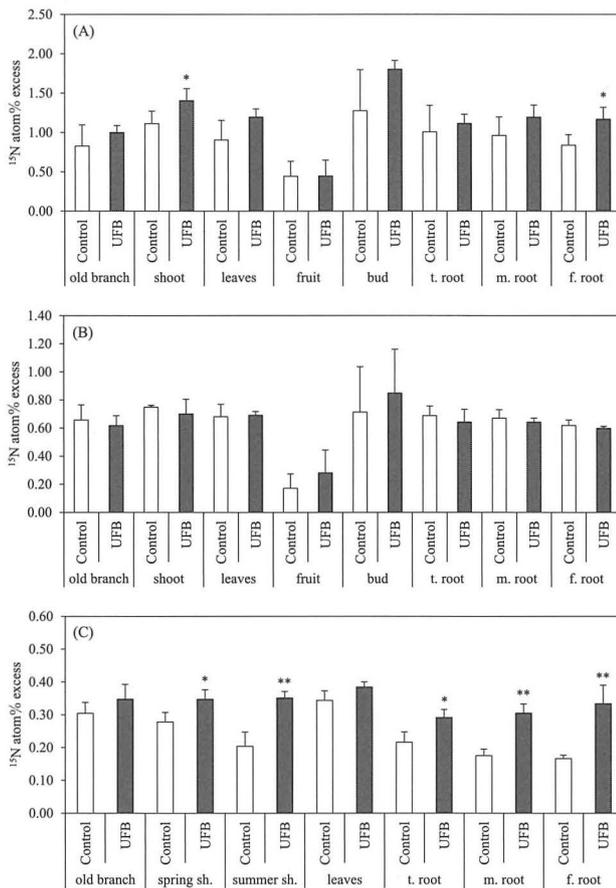


Fig. 3. ¹⁵N atom % excess of each blueberry organ on 3 destructive harvest dates in May (A), June (B), and August (C) by UFB and H₂O irrigation. Vertical bars represent ±SD of means. n=3.

sh. = shoot, spring sh. = 1st node, summer sh. = 2nd–5th node, t. root = thick root (root diameter >2.0 mm), m. root = medium root (0.5–2.0 mm), f. root = fine root (<0.5 mm).

*, ** Significant by t-test ($p < 0.05$ and $p < 0.01$).

月の解体調査では地下部において、8月の調査では地下部および地上部においてUFB処理によって有意に増加した。また、時期別の窒素吸収効率は、対照区ではそれぞれ3.1, 4.3, 3.4%と6月に増加して8月には減少する傾向がみられたが、UFB区では4.4, 5.5, 5.9%と増加し続けた。

考 察

2年生サザンハイブッシュブルーベリー‘オニール’樹の成長期間中の5月、6月および8月に解体調査した結果、UFB処理は6月(処理77日後)と8月(処理136日後)の細根乾物重を対照区よりも顕著に増加させたとともに、細根乾物重の割合を向上させた(第1表)。浜田ら(2017)によれば、UFB水を灌水することで土壌の溶存酸素濃度は水道水灌水よりも高く維持されることが報告されている。根圏の酸素濃度は作物の成長に大きく影響することはよく知られている。例えば、水耕栽培の養液の溶存酸素濃度が増加するにつれて、トマトとキュウリの各器官の乾物分配と総乾物重が増加することが報告されている(郭・橘, 1997)。また、土耕栽培では地中灌漑システムにおける通気水の灌水によりパインアップルとエダマメの生産性を向上したことが報告されている(Bhattaraiら, 2004; Dhungelら, 2012)。本研究で用いた2年生のブルーベリーにおいては、UFB水の灌水によって根圏の酸素濃度が向上したことによって処理77日以降の根量、特に細根量が増加することが示唆された。

一方、地下部のみならず地上部においてもUFB水灌水の影響がみられた。6月および8月の解体調査においてUFB区の葉の乾物重は有意に増加し(第1表)、8月の解体調査で行った新梢分析においては総新梢長が対照区より一樹当たり約20%長くなり(第1図)、夏枝の伸長が促進された(第2図)。これらの結果は、UFB処理により地上部の栄養成長が促進されたことを示しており、トマト(Mochizukiら, 2019; 山本ら, 2016, 2017)、スギコンテナ苗(奥田・山瀬, 2019)、コマツナ(Ebinaら, 2013)の報告と一致した。奥田・山瀬(2019)はUFB処理によるスギコンテナ苗の成長促進は根が充実することで根から地上部への物質輸送力が上昇したためであると指摘している。本研究においても、UFB処理により細根量が増加したことが、地上部の成長促進に関与していると推察される。

葉面積および乾物重に基づく成長解析の結果では、UFB処理では処理41日後には単位面積当たりの葉重(LMA)が

Table 3. Effects of UFB water application on underground and aboveground organs' total nitrogen content, fertilizer-derived nitrogen, and absorption efficiency of 2-year-old southern highbush blueberry 'O'Neal' on 3 destructive harvest dates. n = 3.

Date	Treatment	Total N content (mg)			Fertilizer-derived nitrogen (mg)			Absorption efficiency (%)
		Above-ground	Under-ground	Total	Above-ground	Under-ground	Total	
3-May	Control	238	101	339	46.1	19.8	65.9	3.1
	UFB	270	113	383	65.2	28.4	93.6	4.4
8-Jun	Control	643	168	811	68.6	23.3	91.8	4.3
	UFB	860	240	1099	83.7	32.0*	115.7	5.5
6-Aug	Control	1246	254	1500	60.7	10.7	71.4	3.4
	UFB	1669	320	1989	104.3*	21.6*	125.9*	5.9

* Significant by t-test ($p < 0.05$).

有意に大きくなった (第2表). 一般的に LMA は葉の厚さと正比例することがよく知られている (Niinemets, 1999). UFB 処理により成長初期における個葉への栄養蓄積の向上は, Mochizuki ら (2019) のトマトでの報告と同じような傾向がみられた. 葉の厚さの増加は, 葉面積当たりの光合成速度を向上することが Fan ら (2013) により報告されている. つまり, 個葉単位でみると成長初期には UFB 区がより高い光合成効率を有している可能性がある.

一方, 本研究では UFB によって 6~8 月においても RGR が高く維持された. この結果は, UFB によって初期のみに RGR が促進された Mochizuki ら (2019) のトマト実生苗での報告と異なった. RGR は乾物蓄積の相対速度を示す値である. 一般的に, 生育期間の短い草本植物の RGR は, 開花に至るまでの初期生育量が大きく, 純同化率も高かったが, 時間経過とともに低下する傾向にある (北, 1987; 松井ら, 1981). 本試験のブルーベリーでは, 6~8 月に旺盛な二次伸長も確認されたことから, RGR への反応がトマトとは異なる結果になったと考えられる.

植物体に豊富に含んだ元素の同位体 (^{14}C , ^{32}P , ^{15}N) をトレーサーとして栄養素の吸収, 転流および動態を調査することができる (Polomski・Kuhn, 2002). また, トレーサー法によった吸収速度は栄養素の吸収速度の相対値として表すことができ, 根量および根の活性と密接な比例関係にあると考えられる (山室, 1989). 本研究では, 5 月における各器官の ^{15}N atom% excess は細根および新梢において UFB 区で有意に増加した (第3図A). 一方, 解体調査によれば UFB 区の細根乾物重は対照区と差がなかったことは, 5 月の時点では UFB 処理によって根量が増加するよりも根の活性が向上したことを示唆している. しかしながら, 5 月の結果とは対照的に, 6 月では細根を含むすべての器官において ^{15}N atom% excess は両処理区間に有意差がなかったものの, 肥料由来の窒素含量が地下部で有意に増加したこと (第3表) が, 6 月における細根の成長促進を裏付けている. 8 月 (第3図C) では, UFB 区の地下部における各器官の ^{15}N atom% excess が有意に高くなり, 地上部への窒素の転流も多くなった. 8 月の結果に基づけば, UFB 区では細根のみならず中根と太根においても ^{15}N 含量は顕著な増加

が認められた. これは, 長期間の UFB 処理の影響によって根量の増加および根の活性が向上したためであると考えられる. また, 2 回目以降両処理区ともにすべての器官の ^{15}N atom% excess は漸減傾向を示したが, これは ^{15}N 処理前に施用した緩効性肥料があったため, 施肥窒素の吸収に伴って各器官中の ^{15}N 濃度を希釈したと考えられる (石川, 2009).

UFB 区的全窒素含量および肥料由来窒素含量が3回の解体調査を通じて増加したことに対して, 対照区の肥料由来窒素含量は6月に増加して8月には減少する傾向がみられた (第3表). 一般的にブルーベリーにおいて栄養成長中期から, 新梢成長の停止に伴い, 植物体の窒素要求量および根の窒素吸収力は低下していく (Throop・Hanson, 1997). しかし, 本研究では UFB 処理によって, 特に3回目の調査において地下部のみならず, 地上部の肥料窒素含量は有意に増加した (第3表). 本研究は長期間の UFB 処理によって窒素吸収効率および蓄積量を高く維持できることを示唆している.

本研究の結果から, UFB 水の灌水によるブルーベリーの幼木を対象として, 地上部と地下部の成長および窒素吸収の促進効果が確認された. 近年, 日本国内におけるブルーベリーの生産や果実需要の増加に伴い, 高品質の苗の生産が必要となることが推測される. 特に高品質の果実の生産および収量の安定を図るには, ブルーベリー樹の充実した根系が不可欠であると考えられる (伴, 2014). UFB 水はブルーベリーの幼木における根系拡大および新梢伸長を促進させることによって大苗育成の実用技術として活用できることが期待される.

摘 要

ウルトラファインバブル (UFB) 水の灌水が, ポット植えの2年生サザンハイブッシュブルーベリー 'オニール' の乾物分配と窒素吸収効率に及ぼす影響を明らかにするため, 生育調査, 解体調査および ^{15}N トレーサー法を実施した. UFB 水灌水区と水道水灌水区を設けて, 毎日手灌水を行った. ^{15}N 標識硫酸アンモニウムは, 2018 年の成長期間中にそれぞれ4月19日, 5月25日, 7月24日に施用し, 2週

間後に解体調査を行った。1回目の解体では、各器官の乾物重に処理間で差がなかったにも関わらず、細根の ^{15}N 寄与率はUFB処理で有意に高かった。2回目と3回目の解体では、UFB処理により地下部だけでなく地上部の乾物重も有意に増加した。3回目の解体では、UFB水による乾物重の増加と ^{15}N 寄与率の増加に一貫した結果が示され、特に地下部と夏枝では乾物重と ^{15}N 含量が著しく増加した。最終的にUFB水により1樹当たりの総新梢長は約200 cm伸長促進した。これらの結果は、UFB処理により窒素吸収が促進され、地上部の新器官の生育に利用されたことを示唆している。本研究は、UFB水の灌水がブルーベリーの根の生理活性を向上させ、窒素吸収を向上できることを初めて明らかにした。

引用文献

- Abramoff, M. D., P. J. Magalhães and S. J. Ram. 2004. Image processing with ImageJ. *Biophotonics International* 11: 36–42.
- 伴 琢也. 2014. ブルーベリーの品種の変遷と最近の研究動向. *園学研*. 13: 185–191.
- Bañados, M. P., B. Strik and T. Righetti. 2006. The uptake and use of ^{15}N -nitrogen in young and mature field-grown highbush blueberries. *Acta Hort.* 715: 357–364.
- Bhattacharai, S. P., S. Huber and D. J. Midmore. 2004. Aerated subsurface irrigation water gives growth and yield benefits to zucchini, vegetable soybean and cotton in heavy clay soils. *Ann. Appl. Biol.* 144: 285–298.
- Bryla, D. R. and B. C. Strik. 2007. Effects of cultivar and plant spacing on the seasonal water requirements of highbush blueberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 132: 270–277.
- Dhungel, J., S. P. Bhattacharai and D. J. Midmore. 2012. Aerated water irrigation (oxygenation) benefits to pineapple yield, water use efficiency and crop health. *Adv. Hort. Sci.* 26: 3–16.
- Ebina, K., K. Shi, M. Hirao, J. Hashimoto, Y. Kawato, S. Kaneshiro, T. Morimoto, K. Koizumi and H. Yoshikawa. 2013. Oxygen and air nanobubble water solution promote the growth of plants, fishes, and mice. *PLOS ONE* 8: e65339.
- Fan, X-X., Z-G. Xu, X-Y. Liu, C-M. Tang, L-W. Wang and X-I. Han. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Sci. Hort.* 153: 50–55.
- 郭 世栄・橋 昌司. 1997. トマトおよびキュウリ幼植物の生長と無機栄養に及ぼす培養液の溶存酸素濃度の影響. *園学雑*. 66: 331–337.
- 浜田和俊・木下圭祐・太田和成・尾形凡生・三宅理沙・和田信良. 2017. ウルトラファインバブル水がブルーベリーの栄養成長、果実品質および果実収量に及ぼす影響. *園学研*. 16 (別1): 101.
- 氷室昭三. 2016. ファインバブルの生物学的応用. *混相流*. 30: 10–18.
- Holzzapfel, E. A., R. F. Hepp and M. A. Mariño. 2004. Effect of irrigation on fruit production in blueberry. *Agric. Water Manage.* 67: 173–184.
- 石川 啓. 2009. ウンシュウミカン樹における春肥の施用時期が樹体の窒素吸収に及ぼす影響. *園学研*. 8: 19–25.
- 北 宜裕. 1987. トマト半促成栽培における生長解析. *神奈川園試研報*. 34: 22–26.
- Korcak, R. F. 1983. Root respiration and soil aeration status of blueberries (*Vaccinium* SP.). *J. Plant Nutr.* 6: 283–289.
- 久保和弘. 2020. ファインバブルの機能特性. *日本家政学会誌*. 71: 124–128.
- 松井鑄一郎・中村三夫・渡辺栄吉・大藪哲也・加藤善二. 1981. エダマメの生育収量に及ぼすマルチングの影響. *岐阜大農研報*. 45: 277–288.
- Mochizuki, Y., T. Zhao, W. Kanematsu, T. Kawasaki, T. Saito, A. Ohyama, A. Nakano and T. Higashide. 2019. Application of a growth model to validate the effects of an ultrafine-bubble nutrient solution on dry matter production and elongation of tomato seedlings. *Hort. J.* 88: 380–386.
- Morris, M., N. D. Swarts, C. Dietz and D. C. Close. 2018. Uptake efficiency and internal allocation of nitrogen in apple trees. *Acta Hort.* 1217: 53–60.
- Niinemets, Ü. 1999. Research review. Components of leaf dry mass per area—thickness and density—alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. *New Phytol.* 144: 35–47.
- 奥田 淳・山瀬敬太郎. 2019. スギコンテナ苗の生育に与えるファインバブルの効果. *日本緑化工学会誌*. 45: 185–187.
- Park, J-S. and K. Kurata. 2009. Application of microbubbles to hydroponics solution promotes lettuce growth. *HortTechnology* 19: 212–215.
- Polomski, J. and N. Kuhn. 2002. Root research methods. p. 447–488. In: Y. Waisel, A. Eshel and U. Kafkafi (eds). *Plant roots: the hidden half*, third edition. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Retamales, J. B. and E. J. Hanson. 1989. Fate of ^{15}N -labeled urea applied to mature highbush blueberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 920–923.
- Throop, P. A. and E. J. Hanson. 1997. Effect of application date on absorption of ^{15}N by highbush blueberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122: 422–426.
- 山本純之・西川 仁・櫻井伸樹・前田重雄・西原一寛・林孝洋. 2016. トマト幼苗の生長に及ぼすウルトラファインバブル施与の影響. *園学研*. 15 (別2): 160.
- 山本純之・西川 仁・櫻井伸樹・前田重雄・西原一寛・林孝洋. 2017. トマト根系へのウルトラファインバブルの作用過程と施与による影響. *園学研*. 16 (別1): 101.
- 山室成一. 1989. ^{15}N トレーサー法による水稻根の活力診断. *土肥誌*. 60: 445–450.