

## 研究助成実施報告書

助成実施年度	2020 年度
研究課題（タイトル）	都市構造物を利用した植物栽培環境の創出
研究者名※	宮内 樹代史
所属組織※	高知大学 農林海洋科学部 准教授
研究種別	研究助成
研究分野	都市環境工学
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

( ) は、報告書提出時所属先。

## 大林財団 2020 年度研究助成実施報告書

所属機関名 高知大学  
申請者氏名 宮内 樹代史

研究課題	都市構造物を利用した植物栽培環境の創出
<p>(概要) ※最大 10 行まで</p> <p>都市部での植物栽培空間を容易に創出することを目指し、被覆面の一部を建築物壁面で置き換えるプラスチックフィルム温室を提案した。まず対象となる建築物周辺の光環境の計測を行った結果、北面を除き東西南面で植物栽培が可能な光量子量が得られた。そこで、対象建築物東側面に小規模実験温室を設置し、温室内で植物栽培を行うとともに環境計測を行った。冬季夜間の温室内気温は外気に比して 2~4℃ 高く推移し、栽培環境としてはやや厳しいものであったが、昼間は 10℃ 以上高くなる場合もあり、対照温室と比較して昼夜間の温度差が大きい結果となった。試験品目としてトマト、イチゴ、ブルーベリー、ユズを無加温栽培したところ、いずれも対照温室（加温あり）と同等の生育を示した。特にブルーベリーにおいては、露地栽培に比して開花時期が 1~2 カ月早まり、早期収穫、収量増加の可能性が認められた。以上のことから、提案した温室は都市部での植物栽培空間として活用できることが示唆された。</p>	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>近年、都市や周辺地域での新たな植物栽培が注目を集めている。植物工場に代表される都市型農業は、大消費地に近く輸送コストがかからないため、迅速に生産物を供給できることや、場所を選ばず屋内での栽培・生産が可能であるなどの大きな利点を持っている。しかし、植物工場（完全人工光型）は莫大な設置コストに加え、栽培環境を維持するための空調や照明のランニングコストも大きく、一般の参入は困難である。そこで、植物工場のような高額な投資を必要とせず、簡易な手法での植物栽培空間の創出が望まれる。平地の乏しい日本において、都市環境を有効活用することは農業における重要なテーマのひとつでもある。</p> <p>そこで、本研究では都市環境での植物栽培空間を容易に創出することを目的として、被覆資材の一部を建築物壁面で置き換えるプラスチックフィルム温室を提案した。被覆資材は栽培植物を夜間の温度低下から保護する一方で、主な熱損失面となるため、被覆資材を建築物壁面で置き換えることで温室の保温性能の向上が期待される。被覆資材を壁体で置き換える点で、提案した温室は、我々が過去に開発した棚田石垣を利用した園芸ハウスと同等の構造である。この温室での植物栽培の可能性を示すことは、都市環境における新たな植物栽培空間の構築に繋がる。建築物壁面を活用して都市環境に創出された植物栽培空間は、都市住民への農作物供給や住民の交流及び憩いの場となるなど、幅広い機能を持つことが期待される。</p>	

### 1) 建築物壁面の植物栽培への利用可能性調査

植物栽培空間を創出するための都市構造物として、一般のコンクリート製建造物の壁面を検討した。高知大学物部キャンパス内の実験施設棟（コンクリート製2階建）を対象とし、その周辺の光環境を調査した。実験温室は建築物東側の壁面を利用して試作したが、建築物の東西南北面での光環境（日射量、光合成有効光量子束密度）、気温、壁面温度を計測し、設置条件の確認を行った。

### 2) 壁面利用温室の試作

計測した光環境を基に検討した結果、晴天日の建築物東西南側面での光合成有効光量子束密度（以後、光量子量とする）は  $1,500 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  に達し、東側面での1日あたり積算光量子量が  $32.0 \text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$  であったことから、植物の栽培条件を満たしていると判断し、建築物東壁面に隣接させて試験温室を設置した。

試作した壁面利用温室は、通常の園芸用パイプハウスの半分の構造である。建物壁面を頂点とし、パイプハウスのアーチ資材を利用し、栽培空間を確保した。建物から3mを境界（間口）とし、壁面に沿って奥行きをとる構造とした。また、アーチ部分に展張するビニールは、一般的な園芸ハウスで広く用いられているPOフィルムとした。このような条件で7/26に壁面利用温室の外観が完成した。その後、順次、温室内部及び周辺根への防草シートの設置、計測機器の設置作業を行った。図1に試作した壁面利用温室の外観を示す。



図1 壁面利用温室の外観

### 3) 壁面利用温室の環境計測

壁面利用温室での環境計測項目は、上記の建築物周囲の光環境に加え、植物の培地温度、ビニール被覆面の温度、地温等を計測した。一方、熱流センサーを用い、壁面、被覆面、床面への熱流束を計測し、熱収支を解析した。温度環境や熱収支の解析結果から、実験温室の保温性能を調査した。また、光環境については実験温室内の分光分布も調査し、対照温室との差異がないか確認を行った。

### 4) 壁面利用温室での植物栽培特性

壁面利用温室での植物栽培が可能であることを確認するために、下記の品目について栽培試験を行った。

#### ① トマト (*Solanum lycopersicum* L.)

壁面温室での作物栽培実験として、トマトのプランター栽培を行い、対照温室での栽培結果と比較した。対照温室は間口 8 m、奥行 20m、軒高 2m、棟高 4m のガラス温室である。ガラス温室では、プランターを用いて土耕栽培を行った。側窓、天窗ともに、25°Cを上回った際に自動開閉を実施し、夜間は 12°C設定で 2021 年 11 月 5 日から暖房機を稼働させた。定植日は 11 月 10 日、品種は中玉トマト“フルティカ”、及びミニトマト“CF 千果”である。施用した養液は、OAT ハウス 1 号と OAT ハウス 2 号 (OAT アグリオ) を A 処方で濃縮原液を作製し、それぞれ 1 : 1 の比率で EC 濃度を生育初期は、800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、生育中期は、1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、収穫期は、1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  で調整し、給液を行った。生育調査の項目は、草丈、葉長、葉幅、茎径、花数、未熟果数、SPAD 値等であり、品質調査項目として、糖度、酸度、糖酸比も合わせて計測した。

#### ② イチゴ (*Fragaria × ananassa*)

壁面温室での作物栽培実験としてイチゴのプランター栽培を行い、対照温室 (間口 6m、奥行 10m、軒高 2m、棟高 3.5m、被覆資材 PO、F クリーン) で栽培されたイチゴと比較した。対照温室では、8°C設定で暖房機を稼働した。定植日は 10 月 12 日、品種は“紅ほっぺ”である。トマトで使用したものと同等の培養液を調整し、給液を行った。EC 値は、600~800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、で調整を行った。生育調査の項目は、草丈、葉幅、葉長、葉数、SPAD 値である。生育調査は 8 週間の平均値を算出した。品質調査項目として、果実重量、糖度、酸度、糖酸比も併せて計測した。

#### ③ ブルーベリー (*Vaccinium virgatum*) 及びユズ (*Citrus junos*)

7.2°C以下の低温遭遇時間 23 時間の 11 月 24 日 (以下 11 月区とする) と同 703 時間の 1 月 25 日 (以下 1 月区とする) に、休眠打破剤 (シアナミド、商品名 CX-10、日本カーバイド工業株式会社) を 3 年生ラビットアイブルーベリー‘ブライトウェル’樹全体に噴霧した後に壁面利用温室ならびに対照温室に 4 樹ずつ搬入した。対照温室はイチゴ栽培で使用したものと同等の温室である。

一方、11 月 23 日にセルトレイにユズ種子を各温室で 98 種子ずつ播種した。以降、定期的に調査・観察を行った。

### 1) 建築物周囲の光環境計測結果

図2に晴天日の建築物周囲の光量子量の推移を示す。計測の結果、南面、東面、西面の光量子量は最高で $1,500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上の値を示した。また、1日当たり積算光量子量は東西南北面でそれぞれ32.0、23.7、44.1、6.8  $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ となり、北面を除いて一定程度の光量子量が確保できることが明らかとなった。一般に建築物南面は採光面であるため、壁面利用温室を建設する際に利用できない可能性が高いが、北面以外では壁面温室内での栽培が可能であることが確認された。また、東面の光環境で栽培可能な作物品目を検討するために、光量子量を施設園芸における代表的な栽培品目であるトマト、イチゴの光飽和点と比較した。ナス科のトマトの光飽和点7万ルクスは $1,267 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ に相当し、同じ果菜類であるバラ科のイチゴの光飽和点2万ルクスは、 $362 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ に相当する。このことから、東面、西面に壁面ハウスを建設しても、トマト、イチゴの栽培は可能であると考えられた。

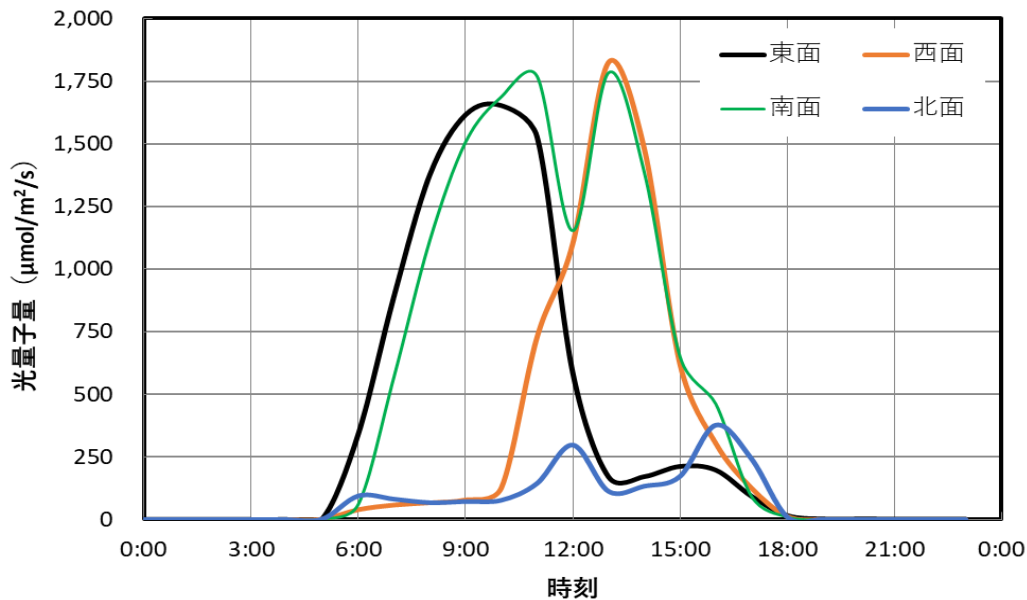


図2 建築物周囲の光量子量の推移 (9/1)

### 2) 壁面利用温室の概要

設置した壁面利用温室は、上述のとおり高知大学物部キャンパス内の実験施設棟東側に隣接させて設置した(図1)。温室は南北棟であり、西面は建築物壁面に接しており、東面と屋根面が採光部となっている。温室構造としては床面積 $17.7 \text{m}^2$ 、壁面積 $12.75 \text{m}^2$ 、棟高 $2.55 \text{m}$ 、軒高 $1.55 \text{m}$ 、間口 $3.5 \text{m}$ 、奥行き $5 \text{m}$ となっている。東側面は巻き上げ式の換気用側窓を装備し、温室へは南北の妻面に設置した開閉式ドアから出入りする。また、西面で建築物と接する箇所の一部に隙間を埋めるための発泡スチロール製断熱資材を設置した。

温室内での栽培試験は酷暑季を避け、秋季から開始したが、温室内昇温抑制のために屋根面への散水チューブの設置を行った。図3に温室内部の状況と散水チューブの設置状況を示す。散水によるハウス内気温の昇温抑制効果は $4\sim 5^\circ\text{C}$ 程度であった。



図3 温室内部の状況と散水チューブ設置状況

### 3) 壁面利用温室の環境計測結果

図4に厳寒期における壁面利用温室内外気温の推移を示す。日中の温室内気温は外気温よりも $10^{\circ}\text{C}$ 程度高い値となった。一方、夜間は温室内外気温の差は小さい温室内気温が $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 高い値で推移した。また、温室内相対湿度は日中 $30\%$ 付近で推移し、温室外湿度より $10\%$ 程度高い値を示した。夜間は $80\%$ 付近で推移し、温室外湿度より $10\%\sim 15\%$ ほど高くなった。この結果から厳寒期であっても温室内気温は安定して外気より高い値を示しており、冬季においても壁面利用温室での作物栽培が十分可能であることが示唆された。

また、被覆表面温度については直達放射の影響により上昇し、午前 $9:00$ に $25^{\circ}\text{C}$ 、 $10:00$ に $30^{\circ}\text{C}$ を超える高温となり、最大 $34.2^{\circ}\text{C}$ まで上昇した。 $13:00$ 過ぎから下降に転じ $25^{\circ}\text{C}$ を下回った。壁面温度については、 $9:00$ 頃は約 $32^{\circ}\text{C}$ を示し、 $10:00$ には $35^{\circ}\text{C}$ を超える高温となり、最大 $36.6^{\circ}\text{C}$ まで上昇した。被覆表面の熱流束は、夜間はマイナスで推移し、 $8:00$ 頃からプラスに転じ、最大 $109.6\text{W}/\text{m}^2$ まで上昇した。その後下降に転じ $-134\text{W}/\text{m}^2$ まで低下した。熱流束は概ねこの傾向で推移し、夜間は温室内から温室外へと熱が流れ、日中は逆に温室外から内部に向けて熱が流入していることが確認された。

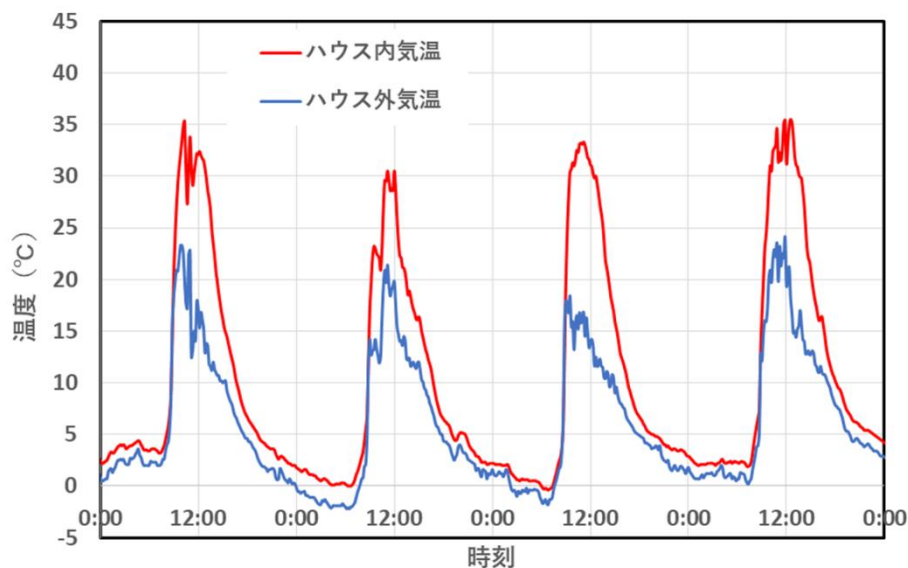


図4 厳冬期における壁面利用温室内外気温の推移 (1/1~4)

図5に暑熱対策として行った屋根散水の有無による温室内外の熱画像を示す。散水の有無により、最大5.4℃の差が生じた。日照条件の良い西南暖地の太平洋岸では、冬季においても温室内気温が30℃を超えることは多々あり、安価な水源を確保することができれば、この散水による昇温抑制手法は効果的であると考えられる。

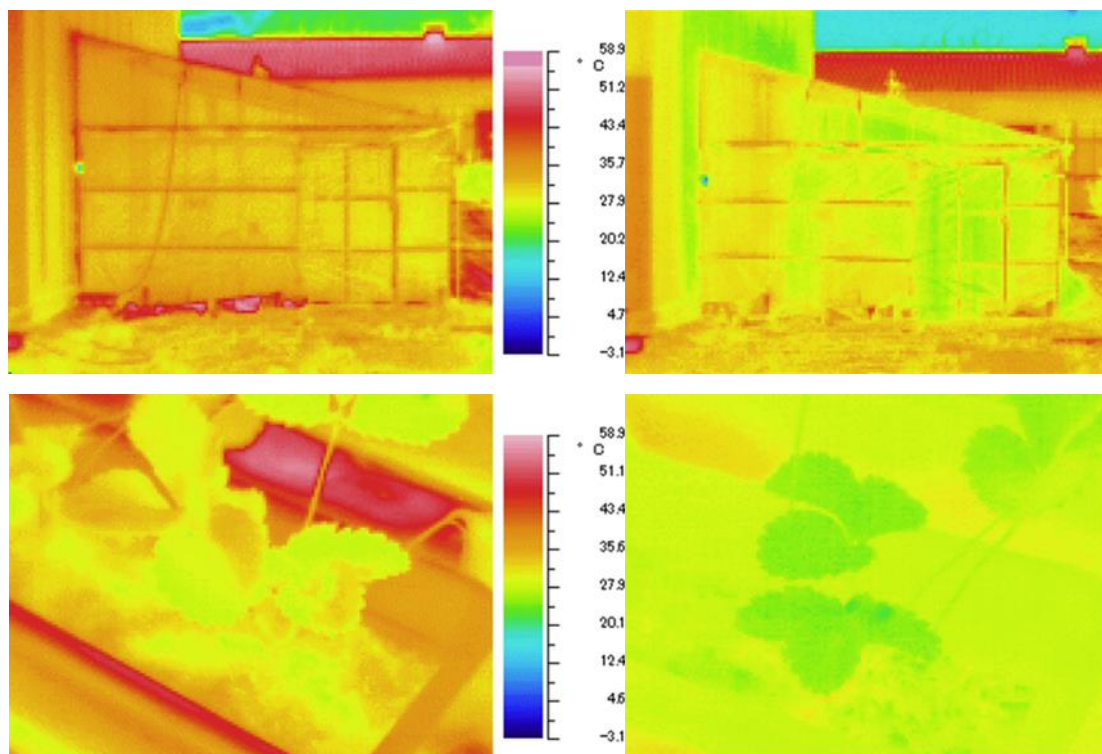


図5 屋根散水の有無による昇温抑制効果  
(左：散水無、右：散水有、上：温室側面、下：温室内イチゴ)

#### 4) 壁面利用温室での栽培試験結果

##### ① トマトの栽培試験結果

表1にトマトの品種ごとの生育調査結果を示す。それぞれ5株ずつの平均値である。5%水準で草丈については、両品種で20~30cm壁面利用温室区の方が低くなり、有意差が認められた。また、未熟果の数については、ミニトマトより完熟まで時間がかかるため、中玉トマトであるフルティカにおいて壁面温室の方が数は少なかった。

表1 トマトの生育調査結果

CF千果	草丈	葉長	葉幅	茎径	花数	未熟果数	SPAD
壁面	83.6	22.2	18.2	2.7	20.0	14.6	51.6
対照	102.6	23.0	20.6	2.8	15.4	24.2	54.2
有意差(5%水準)	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
フルティカ	草丈	葉長	葉幅	茎径	花数	未熟果数	SPAD
壁面	92.5	33.3	29.5	3.8	11.5	9.3	49.6
対照	128.4	35.0	33.4	3.8	13.4	22.0	52.1
有意差(5%水準)	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.

\* …5%水準で有意差あり n.s. …有意差なし

花数、SPAD 値では、対照温室としたガラス温室よりも数値は劣るが、SPAD 値は、CF 千果、フルティカの両方において適正值である 50 前後を保った。葉長、葉幅、茎径は、対照ハウスと比較しても、ほぼ同じ値を示した。

## ②イチゴの栽培試験結果

イチゴ栽培においては、壁面利用温室及び対照温室で草丈、葉幅、葉長、葉数、花数、SPAD 値を調査した。それぞれ 10 株ずつの平均として求めたが、いずれにおいても有意差が認められず、対照温室と同等の生育が確認された。図 6 に収量と品質の調査結果を示す。イチゴの品質調査では、壁面利用温室と対照温室で収穫した全体の 1 果実当たりの平均値を、それぞれの計測項目ごとに算出した。その結果、糖度は壁面利用温室で 13.8 %、Brix、対照温室で 12.5%、Brix、酸度は壁面利用温室で 0.59%、対照温室で 0.71%といずれも同程度の値を示した。糖酸比は壁面利用温室 23.96%、対照温室で 17.96%と、壁面利用温室の方が対照温室よりも 6%高い値を示した。1 果実当たりの重量は壁面利用温室で 7.4 g、対照温室で 9.7g となり、壁面利用温室の方がやや低い値となった。

これらの結果から、壁面利用温室でのイチゴの生育は対照温室と同程度であり、栽培が可能であることが確認された。品質面でも 1 果実当たりの重量については対照温室よりも劣るが、糖度、酸度、糖酸比においては対照温室と同程度の値を示したため、壁面利用温室でのイチゴ栽培は十分可能であることが確認された。1 果実当たりの重量が対照温室より低かった理由としては、対照温室より積算温度が低かったことに起因していると考えられる。対照ハウスでは 8℃設定で暖房機稼働させており、無加温の壁面利用温室では開花時期が対照温室よりも遅れた。このことから、壁面利用温室の蓄放熱効果をより有効活用し、慣行栽培以上の収量・品質を得るためには、夜間の補助暖房システムの導入や被覆面・隙間からの熱損失抑制を図る必要がある。

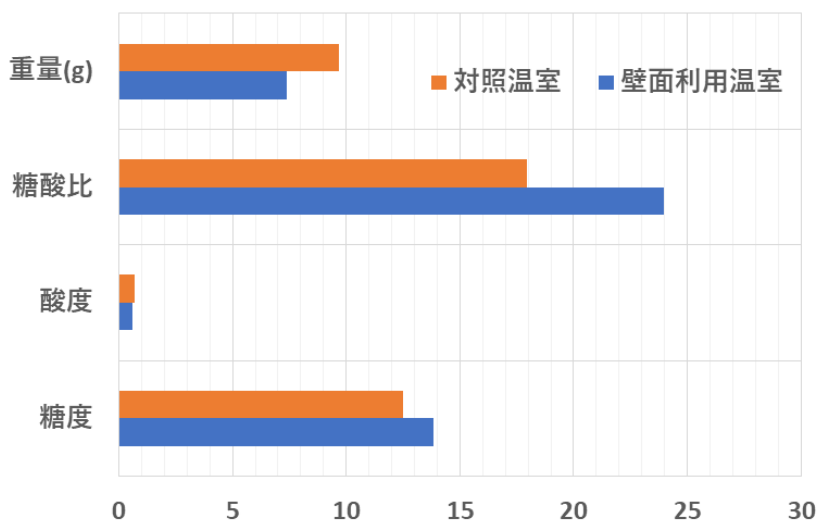


図 6 イチゴの品質調査結果

## ③ブルーベリー及びユズの栽培試験結果

ブルーベリーの栽培試験では、いずれの温室においても 11 月区では、1 月 3 日には萌芽が観察され、同様に成長した。また、開花は壁面利用温室では 2 月 10 日に観察された。一方の通常温室では全ての花芽が枯死した。1 月区ではいずれの温室においても 2 月 10 日には萌芽が観察され



た。開花は3月10日に観察された。また、12月20日にはいずれの温室でも根が同様に動き出した。

新梢成長に関しては温室間および処理時期の影響はみられなかった(表2)。葉のSPAD値は壁面利用温室で低く、11月区で高い傾向があった。しかし、光合成イールドは壁面利用温室で高い値を示した。比葉重は11月区で高かった。

戸外では、4月上旬に開花と萌芽が観察されたことから、壁面利用温室において1~2か月開花を促進することができることが明らかとなった。本試験では収穫まで調査できなかったが、ラビットアイブルーベリー・ブライトウェルでは開花から収穫までおよそ80~90日かかるため、11月区で2月上旬に開花したことは5月上旬に収穫が見込めることを意味する。

ユズの発芽はいずれの温室でも1月3日に観察されたが、1月25日の発芽率は壁面利用温室では17%であったが、通常温室では33%であった。しかし、最終的にはいずれも70%以上の発芽率を示した。平均草丈も6cmと差がなかった。解体調査の結果では、壁面利用温室で胚軸長が長く、葉が多い傾向であったが、統計学的な差はみられなかった(表3)。

2月10日までの地温は、壁面利用ハウスでは夜間は外気の影響を受け最低2.4℃、最高25.2℃であった。一方、通常温室では概して10~25℃を維持し、最低8.1℃、最高27.2℃であった。

表2 壁面利用温室における処理時期ごとの調査最終日の総新梢長、SPAD、光合成イールド、葉面積、葉の乾物率、比葉重

温室	処理時期	総新梢長 (cm)	SPAD	光合成イールド (%)	葉面積 (cm <sup>2</sup> )	乾物率 (%)	比葉重 (g/cm <sup>2</sup> )
壁面利用温室	11月区	97	47	74	8.4	38.5	10.0
	1月区	148	40	75	6.2	36.4	8.1
通常温室	11月区	108	57	68	7.0	36.1	12.2
	1月区	126	40	68	6.8	36.4	8.3
有意性 <sup>2</sup>	温室間	ns	*	*	ns	ns	ns
	処理時期間	ns	**	ns	ns	ns	**

<sup>2</sup>ns:有意差なし、\*:5%レベルで有意、\*\*:1%レベルで有意

表3 壁面利用温室におけるユズ実生の地上部および地下部乾物重と胚軸長、葉数

温室	地上部 (mg)	地下部 (mg)	胚軸長 (cm)	葉数 (枚)
壁面利用温室	116.8	63.9	5.8	6.4
通常温室	113.6	77.5	5.0	5.3
有意性 <sup>2</sup>	ns	ns	ns	ns

<sup>2</sup>ns:有意差なし

以上の結果から、壁面利用温室において多様な栽培品目の栽培可能性が示された。この温室の植物栽培手法が普及することで、都市緑化の推進、ガーデニングや菜園等による市民の憩いの場の提供、作物栽培による都市部への生鮮野菜の供給、などの効果が期待される。

#### 4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

本研究の成果として、建築物壁面を利用した温室の利用可能性を示すことができたが、植物をより効率的に栽培する上での課題も明らかとなった。

温室内を植物栽培に適した環境に近づけるためには、冬季の加温、夏季の昇温抑制が必要である。夏季の暑熱対策としては屋根散水を実施し、温室内気温の上昇を一定程度抑えられることができたが、厳寒期の温室内気温は夜間において $2.3^{\circ}\text{C}$ 程度の保温能力しか示さなかったため、防寒対策が必要である。温室の扉部分、壁面と温室の間には、細かい隙間があるため、隙間風を防ぐための断熱資材の検討を行うとともに、新たな補助暖房装置が必要である。補助な暖房装置としては、潜熱蓄熱材を封入した蓄放熱パイプの利用等が考えられる。

ブルーベリーおよびユズの栽培試験では、壁面利用温室は通常温室（加温あり）と比較すると最低気温や地温が低いにも関わらず、同等の生育を示したことは大変興味深い。今回の試験では、ブルーベリーの開花後の果実発育、収穫時期や果実品質に関してどのような影響があるか明らかにできなかったため、更なる解明が望まれる。