

Green façades using kudzu (*Pueraria lobata*) vine for improving thermal environment of buildings

クズ (*Pueraria lobata*) を用いた壁面緑化による建物の温熱環境改善効果

名古屋大学大学院生命農学研究科 神山 拓也

都市部において、植生が熱容量の大きいコンクリートやアスファルトに置き換わり、それらからの熱放射や顕熱が増加するとともに、空調機器などによる人口排熱の増加により、都市部のヒートアイランド現象が顕在化している。一方、植物は、蒸散を通じた潜熱消費により、自身の温度を一定に保つため、ヒートアイランド現象の抑制に貢献する。そのため、都市に緑を持ち込むための手法が必要となっている。近年、その中でも特に、都市における植栽可能面積の狭さから、壁面緑化に注目が集まっている。壁面緑化のうち、Green façadeとは、壁面の前面にネットや格子などの登はん補助資材を取り付け、つる性植物のつるを巻き付けて緑化する方法であり、限られた土地面積で緑被率を飛躍的に上昇させることができる。そして、これまでに、Green façadeは、壁面温度や室内温度の減少を通じて、アーバンヒートアイランド現象に貢献することが報告されてきた。しかし、その要因である植物の形質は、ほとんど着目されてこなかった。そのため、農学や園芸学的視点から、植物による冷却効果に関わる形質を同定し、さらに、その形質を効率的に向上させるための育種や栽培技術を確認することが焦眉の課題となっている。

そこで、本研究では、Green façadeの冷却効果を規定している植物の発育学的、生理学的形質を同定し、さらに、その形質を最大限に発揮させるための栽培技術の検討をおこなった。Green façadeの冷却効果は、主に、植物の被覆による日射遮蔽効果(日射遮蔽効果)と蒸散による冷却効果(蒸散冷却効果)で構成されている。そして、日射遮蔽に関わる形質としては、壁の面積辺りの葉面積や葉の日射透過率に関わると報告され、蒸散冷却に関わる形質としては、蒸散速度や葉温に関わると考えられている。

そこで、第1章では、冷却効果を実験用模擬壁(高さ1.8m、幅0.91m、厚さ0.013m)の外壁面表面温度低減効果によって評価し、クズ(*Pueraria lobata*)を含む形態および生理学的特徴の異なる5種のツル性植物を用いて、外壁面表面温度を規定している形質の同定を試みた。植物の形質として、葉数、つるの長さ、被覆割合、葉の日射透過率、個葉蒸散速度を計測し、外環境として、外壁面表面温度、気温、湿度、水平面全天日射量を計測した。水平面全天日射量が 0.1kW m^{-2} 以上の時に、外壁面表面温度は、種間に共通して、茎の伸長促進によって決まる被覆割合に基本的に規定されることを明らかにした。また、被覆割合および水平面全天日射量が同程度のときには、各葉の蒸散速度ではなく、日射透過率によって決まることを明らかにした。さらに、多年生のツル性植物の中では、クズの被覆割合が大きかったため、長期の被覆にはクズが適していることが示唆された。

しかし、第1章においては、蒸散冷却効果を定量的に評価することはできなかった。これまで、プラスチック製の模擬植物を使って作成した植栽パネルを用いて、蒸散冷却効果が推定されてきた。しかし、プラスチックの熱力学的特性は植物と大きく異なるため、植物の蒸散冷却効果を過大評価している可能性がある。そこで、第2章では、十分に建築物(高さ2.6m、幅3.65m、奥行き1.83m)を被覆した状態で、急激に蒸散を停止させ、実際の植物を用いて蒸散冷却効果の推定を試みた。植物の蒸散の停止を確認する

ために、個葉蒸散速度および葉温を計測し、蒸散停止前後の建築物の内壁面表面および室内温度、気温、湿度、水平面全天日射量を計測した。つるを切断した後、約30分で個葉の蒸散速度の停止、また、その停止に伴う葉温の上昇を確認した。そこで、蒸散停止前後の内壁面表面および室内温度差を、無植栽区の内壁面表面および室内温度を基準として評価した。その結果、植物の蒸散冷却および日射遮蔽効果が内壁面表面温度に及ぼす影響は、無植栽区の内壁面表面温度が30-40°Cのときに、それぞれ0.13-0.20°Cと1.54-5.34°Cであった。また、植物の蒸散冷却および日射遮蔽効果が室内温度に及ぼす影響は、無植栽区の室内温度が25-30°Cのときに、それぞれ0.04-0.08°Cと0.39-1.02°Cであった。以上の結果から、蒸散冷却効果が建築物の室内温熱環境へ及ぼす影響は、日射遮蔽効果に比べ著しく小さいことが明らかとなった。

第1章、第2章で、日射遮蔽効果がGreen façadeの冷却効果の大部分を占めていることを明らかにした。そして、第1章では、被覆割合と外壁面表面温度低減効果との定量的関係を示すことができた。しかし、被覆割合と室内温度低減効果との定量的関係は示されていない。今後、冷房負荷を低減するためには、両者の関係を定量的に評価することが必須である。一方、夏期の畜舎内の高温による家畜の著しい生産性の低下は、特に近年深刻化し、都市近郊の畜産経営を圧迫している。そのため、革新的な畜舎の冷却技術の確立が急務の課題である。そこで、地上部が飼料となり生育力旺盛なクズを用いることによって、夏期には緑化することで畜舎を冷却し、冷却後には飼料として用いることができると考えた。そこで、第3章では、圃場に模擬畜舎(高さ2.6m、幅3.65m、奥行き1.83m)を設置し、被覆割合と室内温度低減効果との関係を調べるとともに、クズを用いた緑化技術の畜舎への適用可能性を調べた。適用可能性を評価するために、つるの長さを計測した。また、模擬畜舎周囲の被覆量を推定するために、模擬畜舎の屋根面および南面のそれぞれに400mm×400mmの枠を9カ所設置し、その中の葉数および被覆割合を計測した。さらに、夏期の間、室内温度、気温、湿度、水平面全天日射量を計測した。一年間ポットで栽培したクズの苗木(一年生の苗木)は、7月までに3.5mまで伸長した。また、標準的な畜舎の壁面の高さが約3mであることから、夏までに一年生の苗木は十分標準的な畜舎の壁面を覆えることが明らかとなった。さらに、全天日射量が0.2kWm²以上のときに、被覆割合の増加に伴い、室内温度が低下すること、日射量の増加に伴い、両者回帰直線の傾きが増加することがわかった。最大の室内温度低減効果は、全天日射量が0.8-1.0kWm²以上で、被覆割合が43.9%のときに、3.44°Cであった。以上より、一年生のクズの苗木を用いた緑化技術により、畜舎を冷却できる可能性が示唆された。

これまでに、被覆割合が壁面温度や室内温度を基本的に規定していることを明らかにした。そこで、第4章では、この被覆割合を増加するのに適した植栽間隔を評価することを目的とした。また、植栽間隔が狭いときには、水分への個体間競争が生育を制限しているのかどうかについても、灌水の有無により評価した。400、800、1200mmの植栽間隔で、それぞれ6個体、5個体、3個体ずつ圃場に設置した建築物(高さ2.6m、幅3.65m、奥行き1.83m)の南面に移植した。灌水の有無、異なる植栽間隔間での、全体の被覆量の差を調べるために、それぞれの建築物の南面全体の被覆割合、さらに、どの部位で差が生じているのか調べるために屋根面および南面のそれぞれに400mm×400mmの枠を9カ所設置し、その中の葉数および被覆割合を計測した。さらに、灌水の有無により、どの葉の形質が変化するのか調べるために、ポット試験をおこない、葉数、葉面積を計測した。2年間の南面全体の被覆割合の値から、灌水の有無に関わらず800mm間隔が最も被覆割合を増加するために適していることがわかった。また、ポット試験

の結果から、10%の土壌含水率のときの総葉面積は、他の土壌水分条件のときの値に比べ有意に小さく、これは、葉数の低下ではなく、個葉の葉面積に起因していることが示唆された。そこで、圃場での個葉葉面積および葉数を調べたところ、灌水をおこなった年の個葉葉面積の値は、おこなわなかった年の個葉葉面積の値に比べ大きかった。さらに、灌水をおこなわなかった年の1200mm間隔の個葉葉面積は、400mm、800mmの値に比べ有意に大きかった。以上の結果から、植栽間隔が狭いときには、灌水により水分への個体間競争が改善され被覆割合が増加することが示唆された。

以上より、Green façade における植物のそれぞれ形質の冷却効果への貢献度を定量化し、さらに、その冷却効果を増加させるための栽培技術を提案できた。特に、第2章において、蒸散冷却効果が建築物の室内温熱環境へ及ぼす影響は、日射遮蔽効果に比べ著しく小さいことを明らかにした。しかし、本研究では、蒸散冷却効果が室内温熱環境へ及ぼす影響を調べたため、今後、蒸散冷却効果が外壁表面温度へ及ぼす影響を調べたときには、その貢献度は高くなると予測される。また、近年、壁面緑化と壁の間との距離を狭くするにつれて冷却効果が増加すること、壁面緑化と壁の間の通気を無くすことで冷却効果が増加すること、が報告されている。そして、これらの冷却効果の向上に日射遮蔽効果は関わらないため、これらの結果は、蒸散冷却効果が技術により上昇すること、を示唆している。今後、これらの技術と蒸散冷却効果との関係を調べていくことにより、蒸散冷却効果をさらに向上することができると考えられる。また、本研究では、被覆割合が壁面温度や室内温度を基本的に規定していることを明らかにした。一方で、第3章において、被覆割合が、78%以上に増加すると飽和する可能性を指摘した。被覆割合は、総葉面積、葉の日射透過率、と葉の重なり具合によって規定される。一方で、植物の総炭素固定量は、総葉面積と個葉の光合成速度によって規定され、個葉の光合成速度は、葉への日射量が減少するにつれて減少する。そのため、今後、被覆割合をその飽和値を超えて、さらに増加させるためには、個葉への日射量を増加できる調位運度を研究する必要がある。また、相補的に光を利用しつつ被覆割合を増加するために、陰葉や陽葉を持つ植物種を混植ことも有効であると考えられる。今後、これらの可能性を調べることで、さらに、Green façade の冷却効果を増加できると考えられる。