

クズを利用した屋上緑化による熱環境改善効果について

Thermal Environment Improvement by Using Kudzu (*Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi) in Rooftop Gardening

多田 雄一*¹ 田代 崇郎*¹ 坪井 聡史*²
Yuichi Tada Takao Tashiro Satoshi Tsuboi

*¹ 東京工科大学・応用生物学部 Sch. of Biosci. Biotechnol., Tokyo Univ. of Technol.

*² 東京工科大学・院・バイオ情報メディア研究科 Grad. Sch. of Bionics Computer Media Sci., Tokyo Univ. of Technol.

Corresponding author: Yuichi TADA, tadayui@stf.teu.ac.jp

ABSTRACT

In order to utilize kudzu for rooftop gardening, appropriate cultivation methods of Kudzu were examined. The temperature of the concrete surface covered with potted kudzu was 5°C lower than that of a non-shaded surface, and the temperature with hip-hydroponics cultivated kudzu was 10°C lower. This result indicates that improvement in the thermal environment provided by kudzu is affected by the cultivation method. Among three plants species tested, the conductance and evapotranspiration rate were highest for hydroponics cultivated sweet potato, followed by hip hydroponics cultivated kudzu and then potted kudzu, indicating that the improvement in the thermal environment of concrete surface temperatures provided by plants is affected by the amount of evapotranspiration. It was also suggested that kudzu plants in Japan are diversified in the conductance, evapotranspiration rate and photosynthesis rate, which are related to ability to improve thermal environment.

キーワード: クズ, 屋上緑化, 熱環境改善, 気孔コンダクタンス, 蒸散速度

Key Words : Kudzu, Rooftop gardening, Thermal environment improvement, Conductance, Evapotranspiration rate

1. はじめに

都市部の緑化には植物の蒸散作用によって気温の上昇を抑える効果があり、ヒートアイランド現象の緩和に有効であると考えられている^{(1),(2)}。都市緑化はCO₂の吸収・固定効果による地球温暖化対策としても期待されており、都市緑化によるCO₂固定量の推定に関する報告もなされている^{(1),(3),(4)}。また、都市の緑の保全と緑化の推進に関する様々な施策も実施されている⁽⁵⁾。さらに、都市緑化に使用される樹木について、都市部で想定される各種の温度・湿度条件が気孔コンダクタンス、蒸散速度、光合成速度に与える影響について調べられている^{(1),(2)}。

都市緑化の中でも屋上緑化では、セダム類、シバ、草花や低灌木などを利用した緑化システムについての多数の研究と実用化の例がある^{(6),(8),(9)}。それらの中で、つる植物は管理の容易さから優れた緑化植物として期待されている。例えば、欧米では芝生の維持管理、あるいは刈りかすの処分に要する手間、経費を削減するための策として、1950年代から芝生に代えて、つる植物によるグラウンドカバーが積極的に導入されている⁽⁶⁾。また、つる植物の利用による

屋上緑化の利点としては、つるの伸長により土壌のない部分も被覆が可能のために、使用する土壌量を削減することで建物に対する荷重を低減化して設備が簡易化できることや、灌水管が比較的容易なことも挙げられる。また、屋上緑化だけではなく、壁面や法面の緑化でも、つる植物による壁面温度の上昇抑制効果が広く検証されている^{(2),(10),(11)}。

つる植物による屋上緑化としては、水耕栽培したサツマイモが温度抑制に効果的であることが報告されている⁽¹²⁾。また、クズを利用して家畜の畜舎を被覆することで室内温度の上昇抑制効果があること^{(13),(14)}や、クズを栽培する土壌の水分条件によって冷却効果に差が生じ、灌水区と灌水停止区では最大で1.47°Cの壁面温度差が生じたこと⁽¹³⁾などが報告されている。一般に水耕栽培が可能であれば、灌水管が比較的容易であり、灌水不足や灌水の不均一によって植物が枯死する危険性を低下させることができる。

クズは生育が極めて旺盛であり、世界的に難防除雑草として認識されているが、この特性から被覆植物として優れており、飼料植物としても利用されてきた^{(15),(16)}。本報告では、つる植物のクズの屋上緑化植物として適性を明らか

にするために、栽培方法の違いによる熱環境の改善効果を水耕栽培したサツマイモの場合と比較して評価することを目的とした。また、採取地の異なるクズの熱環境改善効果の差異を明らかにすることも目的とした。

2. 材料と方法

2.1 植物

クズ (*Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi) のつるは八王子市内の2か所 (八王子 A, 八王子 B), 秋田県秋田市と福井県福井市から採取し、挿し芽によって発根させた。比較のためのつる植物としてサツマイモ (*Ipomoea batatas* L.) の品種コガネセンガンを園芸店で購入して用いた。

2.2 栽培方法

クズの茎の発根には水、またはハイポニカ培養液 (協和株式会社) を使用し、通気する場合は魚飼育用のエアープンプを使用した。鉢植え栽培の場合は、挿し木2年生苗を直径 30cm のポットで栽培した。腰水栽培は、植物を栽培しているポットを水を張った容器に浸け、常時湛水状態 (水位 2~10cm) を保った (図1)。腰水栽培は底面給水法のひとつであり、水耕栽培の場合と同様に管理が容易で継続的に水分を供給できる点で優れている。一般には底面給水では根ぐされを防ぐために過給水にならないような工夫がなされるが、腰水栽培では鉢の下部を完全に水没させるために鉢内は過湿状態となる。サツマイモは当年苗を水耕栽培装置ホームハイポニカ 601 型 (協和株式会社) を用いて水耕栽培した。栽培は東京都八王子市片倉町の東京工科大学片柳研究所屋上 (6階相当) において行った。鉢植え栽培と腰水栽培のクズはそれぞれ2個体、水耕栽培のサツマイモは1個体を直線状に配置し、強風による植物の被覆ムラを解消するためにコンクリート面に接するようにネットを敷き、その上をつるが北側から南側に向けて生長するように誘引を行った (図2)。

2.3 各種測定

屋上のコンクリート表面の温度、気温と湿度は、温度センサー TR-71Ui, または温湿度センサー TR-72Ui (おんどとり, 株式会社 T and D) を用いて測定・記録した。温度センサーの設置は各植物の根元から約 90~110cm の位置で、植物で被覆された領域の中心部で、周辺部から約 30cm 程度以上内側の地点を選んで、コンクリート表面にセンサー部が接するように橙色のプラスチック製テープで固定した。非被覆のコンクリート部にセンサーを設置する場合は、センサー部が表面に接するようにテープで固定した後に、直射日光がセンサーに当たらないようにセンサー部分のみを遮光できる小さなプラスチック製のブリッジ状の日よけ設置した。この日よけによる遮光面積は 2cm² 程度であり、コンクリート面の温度には影響しないと考えられる。気温と湿度は照り返しがなく、屋根のある風通しの良い空間にセ

ンサーを設置して測定した。

植物の葉の最大光合成速度、気孔コンダクタンス、蒸散速度は携帯型光合成蒸散測定装置 LI-6400 (Li-Cor Inc.) を用いて測定した。測定には自己被陰のない若い完全展開葉を使用し、測定チャンバー内の気温を 25°C, 二酸化炭素濃度を 400ppm に設定した。光合成有効光量子を 2,000, 1,500, 1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の順に変化させて最大の二酸化炭素吸収速度を示した値を最大光合成速度とした。また、その条件における最蒸散速度と気孔コンダクタンスを測定した。

植物の葉面温度は赤外線サーモグラフィ CP-A034 (Flir Systems, Inc.) で測定し、付属ソフトを用いて温度の解析を行った。

測定日は、異なる栽培方法のクズ (八王子 A) と水耕栽培のサツマイモの比較の場合は、2011 年の 7 月、8 月、9 月の 3 回にわたり 2~4 日の連続した晴天期間に 1 時間間隔で行い、採取地の異なるクズ (八王子 A, 八王子 B, 秋田, 福井) の比較の場合は、2012 年の 9 月の晴天日に 3 回 (3 日間) 行った。

最大光合成速度、気孔コンダクタンス、蒸散速度について、有意差の有無を *t* 検定を行って判定した。

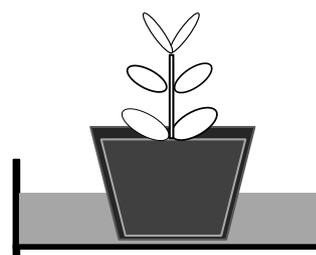


図1 腰水栽培法

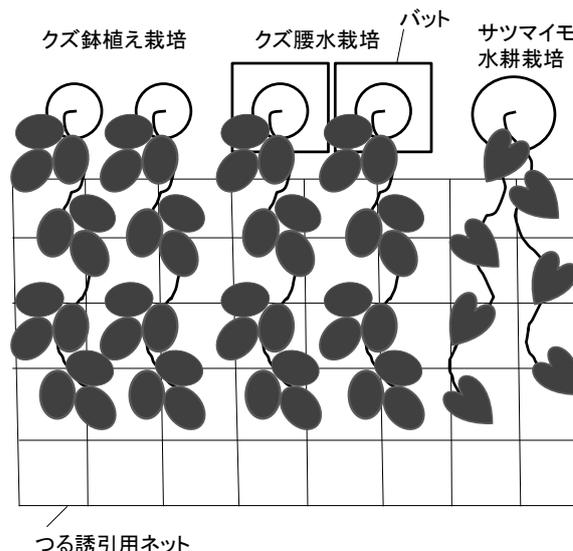


図2 試験区の配置図

3. 結果と考察

3.1 クズの水耕栽培の検討

緑化による熱環境改善効果を高めるためには、葉面からの水の蒸散量を最大化する必要がある。そこで、はじめに土壌栽培と比較して安定的に十分な水分供給が行える水耕栽培によってクズ（八王子 A）を栽培できるかどうかを検討した。

クズの茎を切り取り、通気を行った培養液と行わない培養液中で発根させたとこ、通気の有無によらずクズの茎からは数日で発根が認められた。発根したクズの茎をハイポニカ水耕装置に移植したところ、1週間程度は生長する場面があったが、その後は枯死してしまい、クズの水耕栽培はできなかった。採取地域の異なるクズを使用した場合や水耕装置に魚飼育用のエアープンプで追加の通気を行っても同様な結果であった。これらのことから、クズは水耕栽培が可能なほどの耐湿性はないと判断された。

そこで、継続的に水分供給が可能な次善の栽培方法として腰水栽培（図1）を検討した。腰水栽培したクズは、すべての個体が枯死することなく生育し、鉢の半分以上が継続的に冠水した状態であっても過湿による根ぐされや生育不良は観察されなかった。従って、クズは水耕栽培することはできないが、耐湿性は弱くはないと考えられる。これらの結果から、腰水栽培したクズによって屋上緑化を行い、熱環境改善効果を検証することとした。

3.2 クズとサツマイモによる屋上緑化の表面温度抑制効果

東京都八王子市内にある東京工科大学片柳研究所棟の屋上で2011年の4月からクズ（八王子 A）を鉢植え、および腰水栽培によって栽培し、比較のためにサツマイモを水耕栽培して屋上の緑化を行った。緑化面積はそれぞれ約3~5m²であった。鉢植え栽培と腰水栽培のクズの様子を図3に示した。

9月7日の12:00から10日の12:00における緑化、非緑化されたコンクリート表面の温度と気温の変化を図4に、湿度の変化を図5に示した。測定期間の天候は晴天であった。気温は各日の13:00または14:00に最高を記録し、湿度は気温に反比例して変化した。測定期間中の各日の最高気温は30℃から32℃であり、植物による被覆のないコンクリート表面の最大温度は9月9日の13:00の45.1℃であった。それに対して、植物で被覆されたコンクリート面の最



図3 鉢植え栽培と腰水栽培のクズの様子

大温度は、鉢植え栽培のクズで被覆した地点では9月9日の13:00の40.3℃、腰水栽培のクズで被覆した地点では9月8日の13:00の35.5℃、水耕のサツマイモで被覆した地点では9月10日の13:00の32.1℃であり、緑化によってそれぞれ約5℃、10℃、13℃の温度抑制効果が認められた。最大温度を記録した日時以外においても、各植物による温度抑制効果は同様な傾向を示した。この結果から、各植物で緑化することで、日射の遮蔽効果と蒸散による冷却効果によってコンクリート面の温度上昇を著しく抑制できることが示された。また、鉢植え栽培と腰水栽培のクズで被覆した場合に、約5℃の温度抑制効果の差が認められたことから、熱環境改善効果は灌水方法に大きく影響を受けることが明らかとなった。神山ら⁽¹³⁾は、畜舎内の壁面をクズで緑化し、断根処理の有無によって生じた壁面温度の差から、冷却効果占める蒸散の寄与度を8.3~18.7%と推定している。本研究では鉢植え栽培のクズによる屋上表面温度の低下が5~6℃であったのに対して、腰水栽培での低下が10~12℃であったことから、この温度差が蒸散量の差に起因しているとする、温度低下における蒸散の寄与は50%程度と考えられた。一方で、灌水直後の鉢植え栽培のクズで被覆されたコンクリートの表面温度は、腰水栽培の場合とほぼ同じ温度を示した。このように鉢植え栽培のクズであっても、十分な水分供給があれば腰水栽培と同程度の温度抑制効果を発揮することが示された。7月と8月の測定においても、ほぼ同様の結果が得られた。

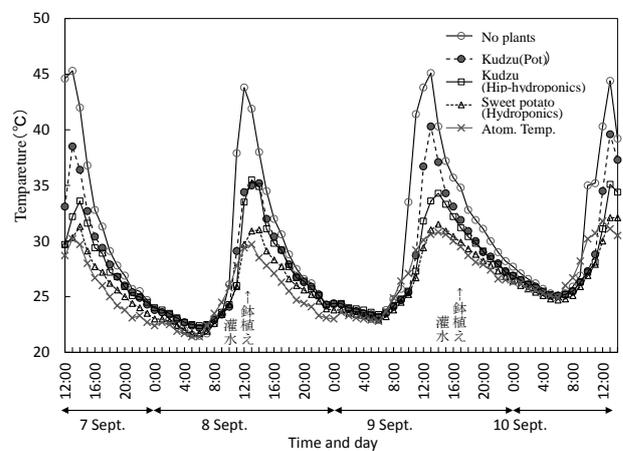


図4 測定期間の気温とコンクリート表面温度の推移

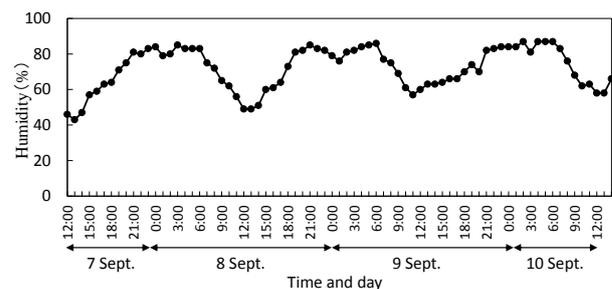


図5 測定期間の湿度の推移

また、9月9日の15:00に各植物の葉面温度を赤外線サーモグラフィで測定した(図6, 表1)。鉢植え栽培のクズは35.5℃, 腰水栽培のクズは33.3℃, 水耕栽培のサツマイモは30.3℃であり、葉面温度についても屋上の表面温度と同様の傾向が認められた。他の日時の測定においても、各葉面温度はコンクリート表面温度と相関した値となった。

これらの結果から、緑化による温度抑制効果は水耕のサツマイモ、腰水栽培のクズ、鉢植え栽培のクズの順に高いことが明らかとなった。また、屋上緑化による熱環境の改善を目的とする場合は、継続的に十分な給水を行うことが必要であり、その方法として腰水栽培が効果的であることが示された。

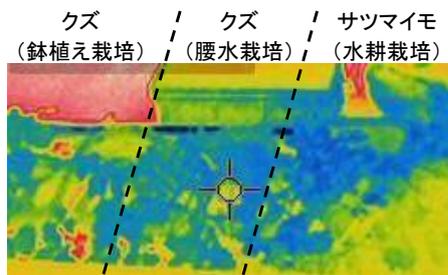


図6 各植物のサーモグラフィ写真

表1 各植物の葉面温度

植物(栽培方法)	葉面温度(℃)
クズ(鉢植え栽培)	35.5 ± 0.5
クズ(腰水栽培)	33.3 ± 0.5
サツマイモ(水耕栽培)	30.3 ± 0.1

n=5

緑化植物の温度抑制効果の差異は気孔からの水分の蒸散量の差異に起因していると考えられたため、各植物の葉の気孔コンダクタンス(図7)、蒸散速度(図8)、最大光合成速度(図9)を測定した。気孔コンダクタンスは鉢植え栽培のクズが最も小さく0.13 mmol H₂O/m²/sで、続いて腰水栽培のクズの0.22 mmol H₂O/m²/s, 水耕栽培のサツマイモの0.46 mmol H₂O/m²/sという順となった。同様に蒸散速度も鉢植え栽培のクズが一番小さく4.0 μmol H₂O/m²/sであり、腰水栽培のクズの6.7 μmol H₂O/m²/s, 水耕栽培のサツマイモの9.0 μmol H₂O/m²/sの順に大きくなった。気孔コンダクタンスと蒸散速度は、鉢植え栽培のクズと腰水栽培のクズの間には有意差は認められた。サツマイモはどちらのクズとも有意差はなかったが、平均値ではクズと比較して大きな値を示した。従って、気孔の開度はクズでは鉢植え栽培よりも腰水栽培の方が大きいこと、クズよりも水耕栽培のサツマイモの方が大きい傾向があることが示された。

これらの結果から、緑化植物の葉面温度と屋上表面の温度抑制効果には、気孔の開度の違いによる葉からの水の蒸散量の差異が関与していることが示唆された。都市緑化に利用される低木のコクチナシとチェリーセージの改良品種であるヴァルトとキルシュレッドの蒸散速度を調べた研究¹⁾では、平均値でそれぞれ0.9, 4.7 μmol H₂O/m²/sであり、

腰水栽培したクズの蒸散速度(6.7 μmol H₂O/m²/s)がこれらと比較して高いことから、クズは熱環境改善を目的とした緑化植物としてより適しているといえる。一方で最大光合成速度については気孔開度に差があるにもかかわらず、鉢植え、腰水栽培のクズ(それぞれ12.3, 10.7 μmol CO₂/m²/s)と水耕栽培のサツマイモ(15.6 μmol CO₂/m²/s)の間に有意な差は認められなかった。従って、今回の実験では、気孔からの二酸化炭素の取り込み量以外の要因が光合成速度の律速因子となっている可能性が考えられた。

今回の実験ではクズのつるの摘芯を繰り返して伸長を抑制して側枝の形成を促進したため、サツマイモとクズの被覆効率(葉面積指数)についての定量的な比較は行っていないが、期間中のつるの最大長はクズが4.75m, サツマイモが1.95mであった。クズの熱環境改善効果は水耕栽培したサツマイモに比較して劣る結果になったが、つるの伸長

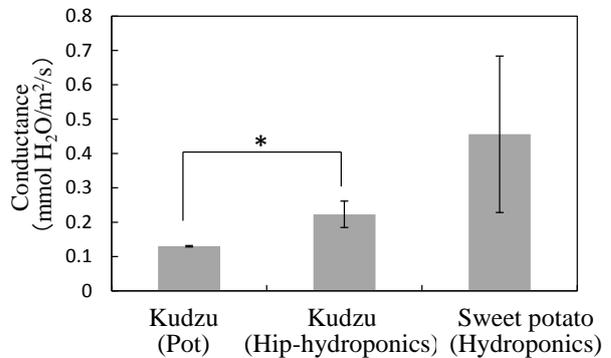


図7 各植物の気孔コンダクタンスの比較 * p<0.05

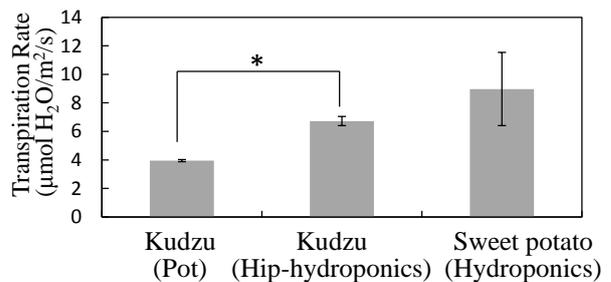


図8 各植物の蒸散速度の比較 * p<0.05

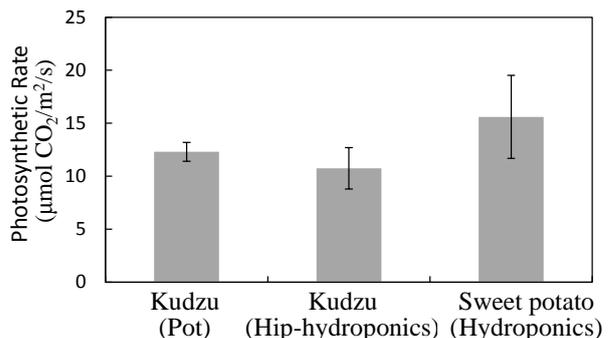


図9 各植物の最大光合成速度の比較

速度ではクズの方が優れていると言える。クズによる屋上緑化の実用化における今後の研究課題としては、被覆速度の測定と被覆率を最大化するための適切な整枝・誘因法の確立が挙げられる。

3.3 採取地の異なるクズの気孔コンダクタンス, 蒸散速度, 最大光合成速度の比較

日本から緑化用にクズを導入して雑草化が問題となっているアメリカでは、クズに多数の遺伝的多型が認められることが報告されており⁽¹⁷⁾、日本にはより遺伝的に多様なクズ系統が存在すると考えられる。クズは栽培のための選抜・育種がほとんど行われていないため、多数の系統の中から蒸散量や生長速度の大きい緑化に適した系統を選抜することは育種上有効であると考えられる。そこで、多数の系統を収集・比較する前の予備的な試験として、日本の3地域から採取した4系統のクズ（八王子 A、八王子 B、秋田、福井）について、気孔コンダクタンス、蒸散速度、最大光合成速度を測定した。測定は、2012年の9月に3回行った。9月27日（10:00～12:00）の測定結果を図10～図12に示した。測定に用いた4系統のクズの中では、気孔コンダクタンス（図10）、蒸散速度（図11）、最大光合成速度（図12）のいずれの項目も、八王子 A と八王子 B が最も高く、次が福井であり秋田が最も低かった。これらの結果から、日本各地に自生するクズは熱環境の改善効果に影響する気

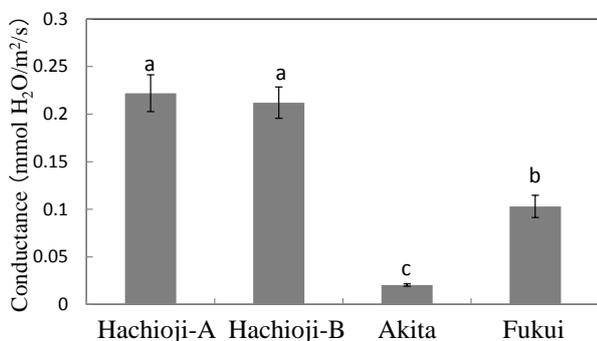


図10 採取地の異なるクズの気孔コンダクタンス異なる文字は5%水準で有意差があることを示す

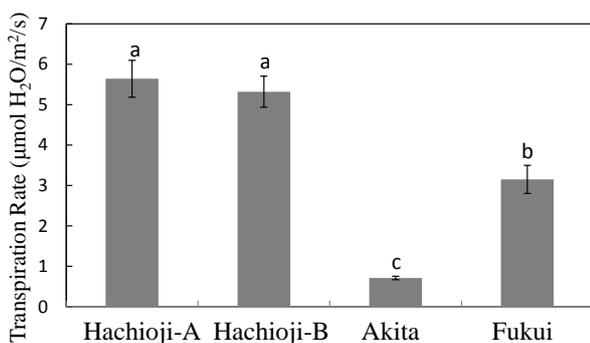


図11 採取地の異なるクズの蒸散速度異なる文字は5%水準で有意差があることを示す

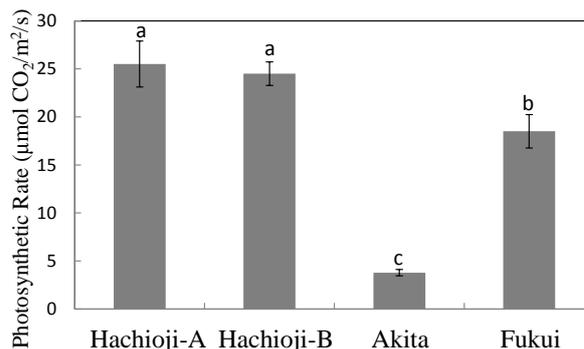


図12 採取地の異なるクズの最大光合成速度異なる文字は5%水準で有意差があることを示す

孔コンダクタンス、蒸散速度、最大光合成速度に差がある可能性が示された。他の2回の測定でも同様な結果が得られた。

4. まとめ

屋上緑化を目的としてクズの栽培方法を検討した。クズは水耕栽培が可能なほどには耐湿性が高くないが、水耕栽培と同様に継続的な水分供給を行うことができる腰水栽培が可能な程度の耐湿性を有することが明らかとなった。

クズの熱環境改善効果をサツマイモと比較した結果、サツマイモ（水耕栽培）、クズ（腰水栽培）、クズ（鉢植え栽培）の順に高かった。その原因として、クズはサツマイモに比べて気孔開度が小さく、水分蒸散量が少ないことが影響していると考えられた。また、クズでは栽培方法（灌水方法）によって熱環境改善効果に差が生じること、効果を高めるためには継続的な水分供給が必要であることが明らかとなった。同様の現象は他の植物にも当てはまると考えられることから、温度抑制を目的とした屋上緑化においては灌水方法の選択が効果に大きく影響すると考えられる。さらに、日本国内に自生する多数のクズ系統の中から、都市の熱環境の改善を目的とした屋上緑化に適した蒸散量の多いクズ系統を選抜できる可能性があることを示した。

参考文献

- (1) 赤坂幸司・大藪崇司・堀川真弘・澤田佳宏・山本聡・藤原道郎, 低木改良品種における CO₂ 吸収量および蒸散量の定量的比較評価, 日本緑化工学会誌, 37-1(2011), pp.73-77.
- (2) 久野春子・新井一司, 温度・湿度条件が5樹種の純光合成・蒸散速度・気孔コンダクタンスにおよぼす影響, 日本緑化工学会誌, 28-1 (2002), pp.20-25.
- (3) 藤原宣夫・山岸裕・村中重仁, 都市緑化樹木による CO₂ 固定量の算定方法に関する研究, 日本緑化工学会誌, 28-1 (2002), pp.26-31.
- (4) 中村友治・野島義照・岡田潤・柳井重人・丸田頼一, 千

葉県松戸市の住宅地における CO₂ 吸収固定量の推定,
ランドスケープ研究, 63-5(2000), pp.539-542.

- (5) 国土交通省, 緑地保全・緑化 (2003)
<http://www.mlit.go.jp/crd/park/shisaku/ryokuchi/shisetsuseibi/>
- (6) 近藤三雄, つる植物による環境緑化デザイン—特性と用途—(2007), ソフトサイエンス社.
- (7) 三坂育正・鈴木弘孝・水谷敦司・村野直康・田代順孝,
壁面緑化植物の熱収支特性の評価に関する研究, 日本
建築学会技術報告集, 23(2006), pp.233-236.
- (8) 山田宏之, 都市環境の改善における建築物緑化の意義
と今後の展開, 日本緑化工学会誌, 34-2(2008),
pp.333-337.
- (9) 飯島健太郎, 屋上緑化空間の多様性と導入植物, 日本
緑化工学会誌, 34-2 (2008), pp.338-343.
- (10) 野島義照・沖中健・小林達明・坊垣和明・瀬戸裕直・
倉山千春, 壁面緑化による建築物の壁面温度の上昇抑
制効果の実証研究, 造園雑誌, 56-5(1993), pp.115-120.
- (11) 下園寿秋・稲森智・前迫俊一・中屋雅喜, つる植物に
よる既設モルタル法面の緑化, 日本緑化工学会誌, 33-1
(2007), pp.167-170.
- (12) 上田里絵・島田幸知・石川晶一, サツマイモ水耕栽培
システムによるヒートアイランド緩和効果に関する実
測調査研究 その1:夏期における熱的効果の把握, 日
本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 (2007), pp.657-658,
福岡.
- (13) 神山拓也・森江昌利・岡田晃周・福田顕二・吉永美香・
前多敬一郎・山内章, 土壌水分条件がクズの蒸散およ
び日射遮蔽効果を通じた緑化機能に及ぼす影響の評価,
第 33 回根研究会集会発表要旨 19(2011), pp.166.
- (14) 神山拓也・吉永美香・前多敬一郎・山内章, クズ
(*Pueraria lobata*)を用いた被覆による日射遮蔽と模擬畜
舎室内温度上昇抑制効果の評価, 第 42 回日本緑化工学
会大会 研究交流発表会要旨集 (2011), pp.17.
- (15) H.Tsugawa, Cultivation and utilization of kudzu-vine
-Taxonomy, geographical distribution, use, breeding and
propagation, J. Japan. Grassl. Sci., 31 (1986a), pp.435-443.
- (16) H.Tsugawa, Cultivation and utilization of kudzu-vine
-Adaptability cultivation method, cutting frequency, yield,
grazing and feeding value, J. Japan. Grassl. Sci., 32(1986b),
pp.173-183.
- (17) R.A.Pappert, J.L.Hamrick, L.A.Donovan, Genetic variation
in *Pueraria lobata* (Fabaceae), an introduced, clonal, invasive
plant of the southeastern United States, American J. Bot., 87
(2000), pp.1240-1245.

(Received Jan. 28, 2013, Accepted Mar. 7, 2013)