

湛水処理がサトイモの光合成に及ぼす影響

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者名	池澤,和広 遠城,道雄 吉田,理一郎 山本,雅史 岩井,純夫
発行元	日本作物學會
巻/号	84巻2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 150-154
発行年月	2015年4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



湛水処理がサトイモの光合成に及ぼす影響

池澤和広^{1,2)}・遠城道雄²⁾・吉田理一郎³⁾・山本雅史²⁾・岩井純夫²⁾

(¹⁾ 鹿児島県農業開発総合センター, (²⁾ 鹿児島大学大学院連合農学研究科, (³⁾ 鹿児島大学農学部)

要旨: 筆者らは、一般的に畑地で栽培されているサトイモ品種「大吉」が湛水状態でポット栽培することにより増収することを既報により報告した。そこで、湛水処理がサトイモの光合成に及ぼす影響を明らかにするために、畑地条件（畑地区）と葉身が2～3枚出葉した時期から湛水処理を開始した湛水条件（湛水区）でサトイモをポット栽培し、検討した。畑地条件下と比較して、湛水条件下では、気孔コンダクタンスが高くなるとともに蒸散速度が速まり、さらには光合成に必須な葉緑素含量が増加し、光合成速度が高まることが認められた。また、湛水条件下では、蒸散量の増加が、日中の葉面温度の上昇を抑制し、高温による光合成速度の低下を軽減したと考えられた。

キーワード: 気孔, 気孔コンダクタンス, 光合成速度, サトイモ, 蒸散, 湛水。

タロイモはアジアの熱帯地域を原産地とし、高温多湿な気候を好むことから、湿潤な熱帯アジアを中心に熱帯および温帯に分布している。日本では現在、タロイモ類に属するサトイモの品種中で「石川早生」、「土垂」および「大吉」などが全国的に広く畑地で栽培されている。台湾、東南アジア、インドネシア、オセアニアなど太平洋諸島および南西諸島では、サトイモは水田において水稻と同様に湛水状態で栽培されている。水田栽培されているサトイモは、南西諸島における「田芋」、台湾における「檳榔苽」、「アラルン」、「ミニシブル」などのような水田専用品種であり、畑地栽培品種とは区別して栽培されている（黄ら 1991, 小西 2008）。筆者らは、日本で畑地栽培されている品種「大吉」を用いて湛水条件下でポット栽培すると収量が増加することを明らかにした（池澤ら 2014）。サトイモ球茎の収量は光合成産物量と密接に関係しており（山本ら 1994, 杉本 2001a, b）、湛水処理によるサトイモの増収は光合成の促進により引き起こされる可能性が考えられる。そこで、本論文ではサトイモの光合成に対する湛水処理の影響を明らかにするために、湛水栽培と畑地栽培での光合成速度、気孔コンダクタンス、蒸散速度、葉温、クロロフィル含量、気孔密度および気孔サイズの違いについて検討した。

材料および方法

1. 供試材料、試験区および栽培概要

鹿児島県農業開発総合センター大隅支場に保存されているサトイモの品種の中から、水田栽培用品種の「田芋」と畑地栽培用品種の「大吉」を供試した。実験は2012年と2013年に鹿児島大学のガラス室で行い、18 Lの厚層多腐植質黒ボク土壌に対して牛ふん堆肥を0.5 kg、苦土石灰を25 g、BB555 (N:P₂O₅:K₂O=15:15:15%, 全農) を33 g混和し、これらを1/1200 a ポリポット（内径32.5 cm, 高さ（内寸）26.5 cm）に充填した。いずれの品種も30～40 gの健全な種芋をポット当たり1個植え付けた。2012年に

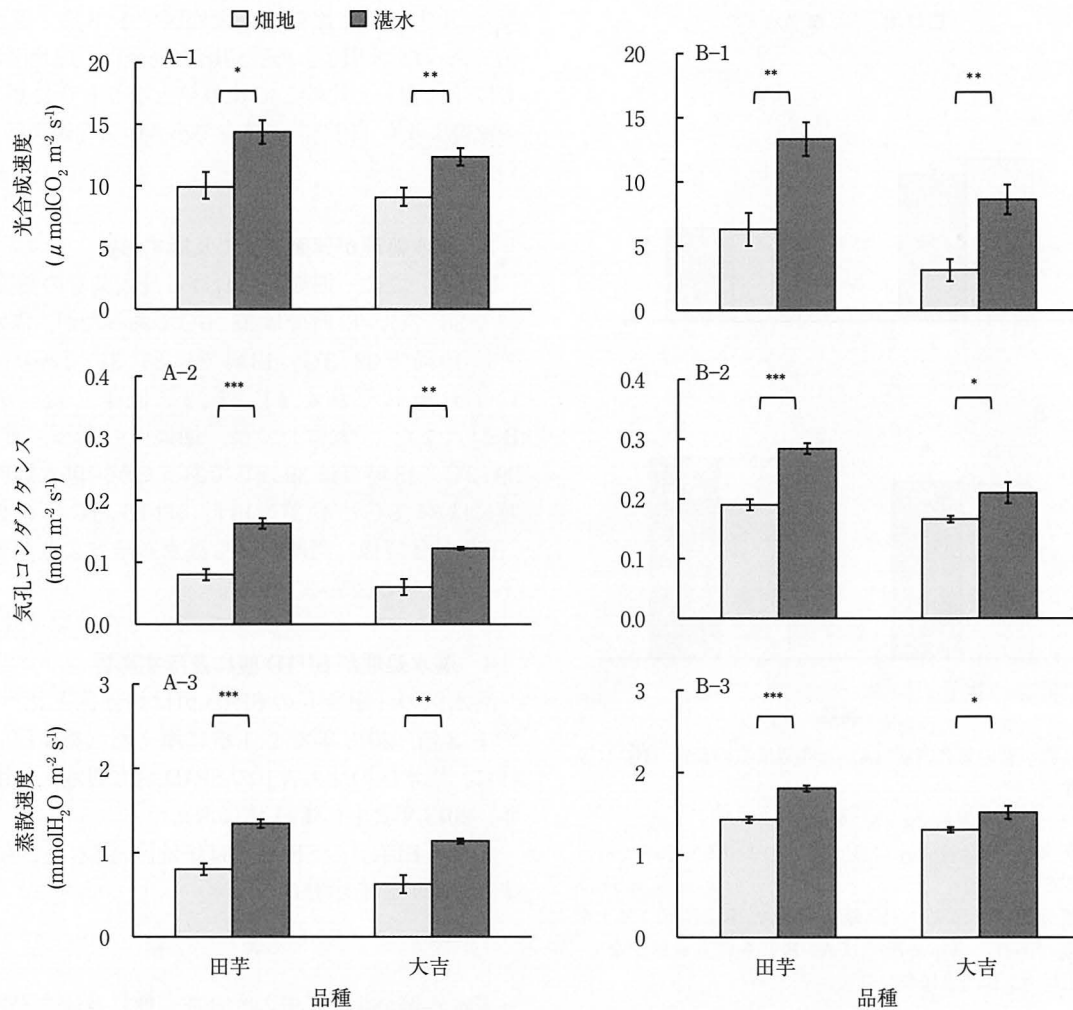
おいては4月14日に「大吉」、5月17日に「田芋」、2013年においては4月20日に両品種を植え付けた。湛水処理は葉身が2～3枚出葉した時期に開始し、2012年では6月9日、2013年では5月29日に開始した。湛水処理方法は点滴灌水ノズル (EY8401, Panasonic) を設置し常時掛け流しとし、これを湛水区とした。一方、畑地区はポリポットの側面下部に直径3 cmの穴を1か所開け、地表面から10 cm位置のテンシオメータ (DIK-8383, 大紀理化工業) のpF値が、2012年においては1.7～2.2, 2013年においては1.7～2.0を保つように1回当たり2 Lずつ適宜灌水した。なお、本条件ではポットからの排水はほとんど認められなかった。2012年、2013年ともにポリポットを80 cm間隔に置き、各区5株で実験を行った。なお、ガラス室では、天窓と側窓が、気温30℃以上で自動的に開き、30℃未満で自動的に閉まるように設定した。

2. 光合成速度、気孔コンダクタンスおよび蒸散速度の測定

2012年において、湛水処理開始後120日目（10月7日）と127日目（10月14日）の午前10～11時に光合成速度、気孔コンダクタンスおよび蒸散速度を光合成蒸散測定装置 (LCpro+, Bioscientific Ltd) を用いて最大葉身の中央部を5株ずつ測定した。測定時のチャンバー内環境を温度25℃, 光強度1500 μmol m⁻² s⁻¹, CO₂ 濃度380 ppm, 流量200 μmol s⁻¹に設定した。

3. 気孔密度と気孔サイズの測定

気孔コンダクタンスは気孔密度と気孔サイズによる影響を受ける（島田 1991）ことから、2013年においてこの両者について調べた。湛水処理開始後86日目（8月23日）にガラス室内でそれぞれの株から最大葉身の背軸面表皮を薄く剥ぎ取り固定液（エタノール：酢酸=3:1）で固定し、実験室にて95%, 100%エタノールの順で各2分間浸漬し



第1図 湛水処理が光合成速度 (A-1, B-1), 気孔コンダクタンス (A-2, B-2) および蒸散速度 (A-3, B-3) に及ぼす影響。

A: 2012年10月7日に測定, B: 2012年10月14日に測定。

図中のバーは標準誤差 (n=5) を示す。

***, **, * は, t検定によりそれぞれ0.1%, 1%, 5%水準で有意差があることを示す。

た後, キシレンに浸漬し,

ほぼ完全に透明化した後に, 位相差顕微鏡 (EclipseE6000, Nikon) を用いて表皮細胞をデジタルカメラ (DS-Fi1, Nikon) で撮影した。1葉身当たり4か所の表皮細胞を, それぞれ5視野 ($0.161\text{ mm}^2/\text{視野}$) ずつ計20視野撮影し, 気孔密度を測定した。気孔サイズはデジタル計測ソフトマイクロアナライザー (日本ポラデジタル株式会社) を用いて, 孔辺細胞長 (長軸) を測定した。

4. 葉面温度の測定

2012年において, 湛水処理開始後91日目 (9月8日) の10時と13時に最大葉身の向軸側の葉面温度を2次元放射温度計 (ii-1064, HORIBA) を用いて測定し, 葉身中央周囲の64か所の平均値を求めた。また, 同時に光強度は光量子計 (LI-250, LI-COR), 気温はデータログ温度記録計 (SK-L200T, SATO) を用いて測定した。測定時の光強

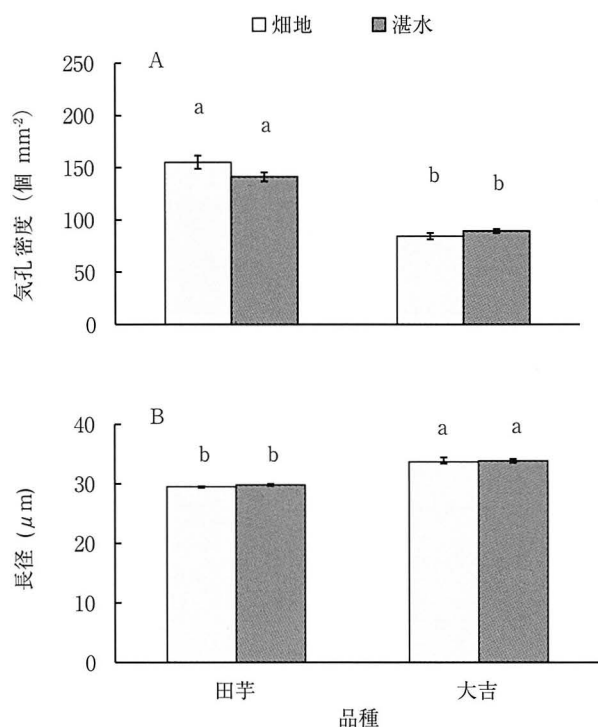
度と気温は, それぞれ10時では $958\text{ }\mu\text{molm}^{-2}\text{ s}^{-1}$, 29.7°C , 13時では $1156\text{ }\mu\text{molm}^{-2}\text{ s}^{-1}$, 34.0°C であり, 日中の天候は晴天であった。

5. SPAD 値の測定

2012年においては湛水処理開始125日目 (10月12日), 2013年においては湛水処理開始94日目 (8月31日) に最大葉身の SPAD 値を葉緑素計 (SPAD502, ミノルタ) を用いて1葉身当たり5か所について測定し, その平均値を求めた。

6. 統計処理

サトイモの光合成速度, 気孔コンダクタンス, 蒸散速度および葉面温度については, 湛水処理による影響を検討するためにt検定を行った。一方, 気孔密度, 孔辺細胞の長径および SPAD 値については, 湛水処理による影響に加え,



第2図 湛水処理が葉の気孔密度 (A) と孔辺細胞の長径 (B) に及ぼす影響。

図中のバーは標準誤差 (n=5) を示す。

異なる英文字間は, Tukey の多重検定により 5% 水準で有意差があることを示す。

二元配置分散分析により, 品種間では A, B ともに 1% 水準で有意差があり, 湛水処理では A, B ともに有意差がなく, 交互作用は A, B ともにない。

品種間差を検討するために 2 元配置による分散分析を行い, Tukey の多重検定を行った。

結 果

1. 湛水処理が光合成に及ぼす影響

2012 年 10 月 7 日, 10 月 14 日に光合成速度, 気孔コンダクタンスおよび蒸散速度を測定した。光合成速度は, 7 日の測定の湛水区では「田芋」と「大吉」で畑地区より 1.4 倍に, 14 日の測定の湛水区では畑地区より「田芋」で 2.1 倍, 「大吉」で 2.8 倍に上昇した (第 1 図 A-1, B-1)。気孔コンダクタンスは, 7 日の測定の湛水区では「田芋」と「大吉」で畑地区より 2 倍に, 14 日の測定の湛水区では畑地区より「田芋」で 1.5 倍に, 「大吉」で 1.3 倍に増大した (第 1 図 A-2, B-2)。蒸散速度は, 7 日の測定の湛水区では畑地区より「田芋」で 1.7 倍に, 「大吉」で 1.8 倍に増大し, 14 日の測定の湛水区では畑地区より「田芋」で 1.3 倍に, 「大吉」で 1.2 倍に増大した (第 1 図 A-3, B-3)。

2. 湛水処理が気孔密度および気孔サイズに及ぼす影響

気孔密度ならびに孔辺細胞長径は, 両品種とも湛水処理によって変化しなかった (第 2 図 A, B)。「田芋」の気孔密

度は, 「大吉」と比較して畑地区で 1.8 倍, 湛水区で 1.6 倍であった。「田芋」の孔辺細胞長径は, 畑地区と湛水区ともに「大吉」と比較して 0.9 倍となり有意に短く, 「大吉」の葉身よりも「田芋」の葉身で小さい気孔が数多く存在していた。

3. 湛水処理が葉面温度に及ぼす影響

「田芋」では, 畑地区における最大葉身の葉面温度は 10 時で 36.7℃, 13 時では 38.6℃であったが, 湛水区においては 10 時で 32.3℃, 13 時では 33.3℃であり, 湛水処理によりそれぞれ 4.4℃, 5.3℃低下した (第 3 図 A-1, B-1)。また, 「大吉」では, 畑地区の葉面温度は 10 時で 39.2℃, 13 時では 39.8℃であったが, 湛水処理により 10 時には 34.9℃と 4.3℃, 13 時には 35.6℃と 4.2℃低下し, 「田芋」と同様に両時刻とも湛水栽培により葉面温度が低下した (第 3 図 A-2, B-2)。

4. 湛水処理が SPAD 値に及ぼす影響

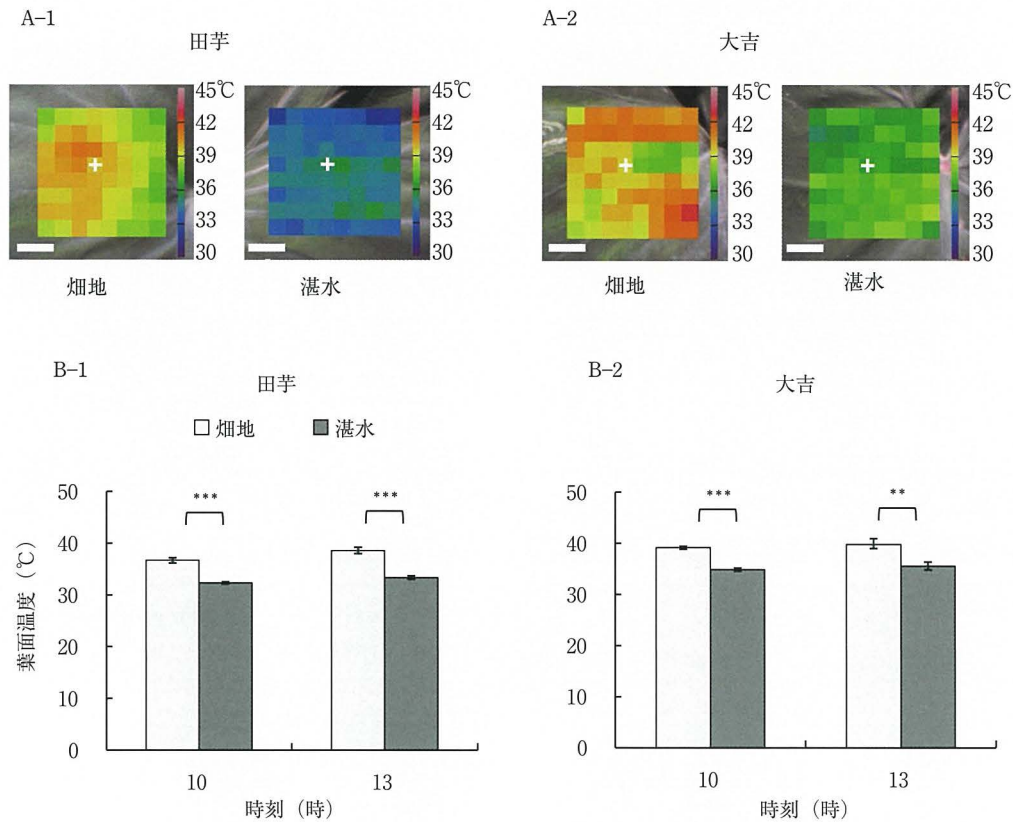
湛水区の「田芋」の SPAD 値は畑地区と比べて 2012 年で 1.3 倍, 2013 年で 1.1 倍に増えた (第 4 図 A, B)。同様に, 湛水区の「大吉」の SPAD 値も畑地区と比べて 2012 年, 2013 年ともに 1.1 倍に増えた。

また, 「田芋」の SPAD 値は畑地区, 湛水区ともに「大吉」よりも低い値を示した。

考 察

湛水処理がサトイモの光合成速度に及ぼす影響について調べたところ, 水田用品種の「田芋」ばかりでなく畑地用品種である「大吉」でも, 湛水処理により光合成速度は高まった (第 1 図)。光合成速度は気孔コンダクタンスならびに光合活性の二つの要因によって決定されることが知られている (彦坂 2009)。まず, 気孔コンダクタンスについてみると, 湛水処理により「田芋」, 「大吉」の両品種ともに気孔コンダクタンスは高くなり, 光合成速度の上昇は気孔コンダクタンスの高まりによるものと考えられる。気孔コンダクタンスは, 温度, 光強度, CO₂ 濃度などを一定にしたグロスチャンバー内では, 気孔密度, 気孔サイズおよび気孔開度によって支配される (島田 1991)。本実験では, 気孔密度 (第 2 図 A), 気孔サイズ (第 2 図 B) とともに湛水処理によって変化せず, 気孔コンダクタンスが高まったのは, 気孔開度が大きくなったためと考えられる。湛水栽培では畑地栽培に比べ水分が十分に供給されるために, 高日照下においても畑地栽培ほどは気孔が閉鎖しないものと考えられる。

葉温の上昇は, 光合成に関係する光化学系活性ならびにカルビン回路の酵素の活性を低下させ, 光合成速度を低下させる (石田・谷 2003)。サトイモの光合成速度は, 30℃をピークとする緩やかな単頂曲線で示され, 22~35℃の範囲での変動は少なく, 35℃より高温側の低下の程度は低温



第3図 湛水処理が葉面温度に及ぼす影響.

葉面温度の赤外線画像 (13時に測定), A-1: 田芋, A-2: 大吉.

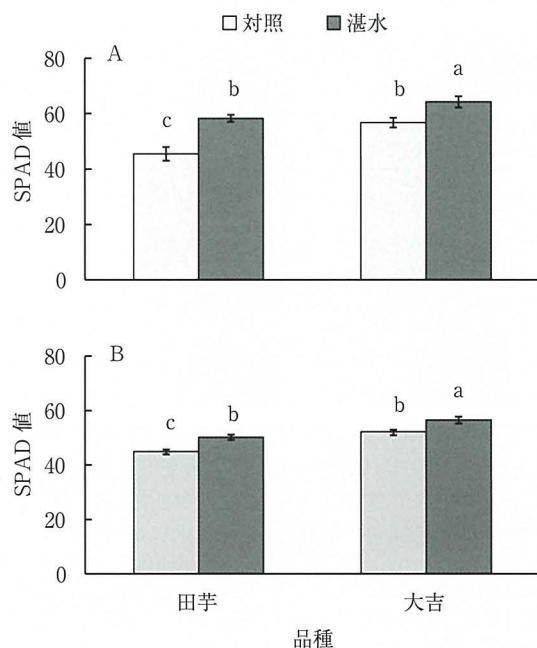
葉温は 45℃を薄桃色, 30℃を濃青色とし, 温度別に色分けして示した.

+は測定の中心位置を示す. バーは 2 cm を示す.

葉面温度, B-1: 田芋, B-2: 大吉.

グラフ中のバーは標準誤差 (n=5) を示す.

***, ** は, t検定によりそれぞれ 0.1%, 1%水準で有意差があることを示す.



第4図 湛水処理が SPAD 値に及ぼす影響.

A: 2012年に測定, B: 2013年に測定.

図中のバーは標準誤差 (n=5) を示す.

異なる英文字間は, Tukeyの多重検定により 5%水準で有意差があることを示す.

二元配置分散分析により, A, Bともに品種間, 湛水処理で 1%水準で有意差があり, 交互作用は A, Bともにない.

側より急であり、40℃での光合成速度は、30℃時のわずか6割程度に低下することが知られている（佐藤ら1978）。畑地栽培されたサトイモでは、葉温は40℃前後に達し、光合成速度は高温によって大幅に低下した。一方、湛水栽培されたサトイモでは、畑地栽培されたサトイモと比べ葉温は約5℃も低くなったため、光合成速度は高く保たれていると考えられる。

光化学系の主要な構成要素であるクロロフィルの含量は、光合成速度に大きく影響すると考えられる。クロロフィル含量と極めて高い相関関係にあるSPAD値（Kawamitsuら1999）を測定した結果、湛水処理によりSPAD値は増加し、湛水栽培されたサトイモの光化学系活性は、畑地栽培されたサトイモのそれより高い可能性が示唆される。クロロフィル含量は窒素含有率と高い相関関係にあり、植物の窒素吸収が多いと葉中クロロフィル含量は増加し（建部ら2006）、葉身の窒素濃度が高くなると気孔開度が大きくなると報告されている（石原ら1978）。これらのことから、湛水条件下では窒素吸収が増加し、それに伴い光合成活性が高まり気孔開度が大きくなることにより、光合成速度が上昇した可能性も考えられる。

以上のことから、ポット栽培における湛水栽培はサトイモの光合成を促進する栽培法であることが明らかとなった。筆者らは、日本で畑地栽培されている品種「大吉」の収量がポットを用いた湛水栽培により増加することを報告したが（池澤ら2014）、この増収には湛水栽培による光合成の促進が寄与している可能性が考えられる。本研究の結果はポット実験で得られたもので、実際の水田圃場では、供給水温や土壌およびその肥沃度等の違いにより、湛水処理が収量に異なる影響を与える可能性も否定できない。今後、生育に及ぼす地温の影響や各種土壌条件下における収量、光合成および養分吸収等を検討していく必要がある。

謝辞：本研究を行うにあたり、調査にご協力いただきました鹿児島大学農学部生物生産学科蔬菜園学研究室本田健二氏、清瀬仁志氏、角真城氏、相良文哉氏、山下雄太郎氏に心からお礼申し上げます。また、本研究を進めるにあたり、ご助言を頂いた鹿児島県農業開発総合センター松元順

博士、古江広治博士、本論文を作成するにあたり、ご校閲を賜りました若松謙一博士に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 彦坂幸毅 2009. 個葉からの葉緑体スケールのガス交換 個葉の光合成速度が決まるしくみと測定原理. 低温科学 67: 67-71.
- 池澤和広・福元伸一・遠城道雄・吉田理一郎・岩井純夫 2014. ポット栽培における湛水処理がサトイモ '大吉' (*Colocasia esculenta* Schott cv. 'Daikichi') の生育と収量に及ぼす影響. 園学研 13: 35-40.
- 石田厚・谷亨 2003. 植物の水利用の評価 1. 陸上植物と水（村岡裕由・可知直毅編）光と水と植物のかたち. 文一総合出版, 東京. 271-292.
- 石原邦・江原宏昭・平沢正・小倉忠治 1978. 水稻葉における気孔の開閉と環境条件との関係. 第7報. 葉身のチッ素濃度と気孔開度の関係. 日作紀 47: 664-673.
- Kawamitsu, Y., Singh, R.K., Nelson, B.J., Tamaki, T. and Murayama, S. 1999. Effects of nitrogen supply on growth characteristics and leaf photosynthesis in sugarcane. Sci. Bull. Fac. Agric. Univ. Ryukyus. 46: 1-14.
- 小西達夫 2008. 食用としてのイモの重要性：タロイモ. 国際農林業協力 31: 12-20.
- 黄賢喜・陳東鐘・韓青梅・吳育郎 1991. サトイモの湛水栽培法（台湾）. 農及園 4: 70-74.
- 佐藤亨・川合通資・福山寿雄 1978. サトイモの物質生産に関する研究. 第1報. 生育に伴う個葉の光合成作用の推移. 日作紀 47: 425-430.
- 島田緑子 1991. 光合成・蒸散過程の統合的理解について (I) - 光合成モデルと気孔開閉の仕組み. 日緑工誌 17: 224-235.
- 杉本秀樹 2001a. サトイモの個体群光合成と塊茎収量に対する子イモ葉身の貢献度. 日作紀 70: 92-98.
- 杉本秀樹 2001b. サトイモにおける¹³C-光合成産物の分配とくにソース・シンク単位について. 日作紀 70: 99-104.
- 建部雅子・岡崎主毅・唐澤敏彦・渡辺治郎・大下泰生・辻博之 2006. パン用秋まきコムギ「キタノカオリ」に対する葉色診断と施肥対応. 土肥誌 77: 293-298.
- 山本雄滋・松本理・田辺賢二 1994. サトイモ培養球茎株の乾物生産特性および¹³C同化産物の転流・分配. 園学雑 63: 575-580.

Effects of Flooding on Photosynthesis in Eddo : Kazuhiro IKEZAWA^{1,2)}, Michio ONJO²⁾, Riichiro YOSHIDA³⁾, Masashi YAMAMOTO²⁾ and Sumio IWA²⁾ (¹⁾Kagoshima Pref. Inst. Agr. Dev.,; ²⁾Gra. of Agr., Kagoshima Univ., Kagoshima 890-0065, Japan; ³⁾Fac. of Agr., Kagoshima Univ.)

Abstract : The yield of 'Daikichi', eddo cultivar (*Colocasia esculenta* Schott (L). var. *antiquorum* Hubbard & Rehder) cultivar generally grown in upland fields is increased by pot culture under flooded conditions. Here, we studied the effect of flooding on the photosynthesis in eddo under upland field conditions and flooded conditions in which flooding treatment started when two to three leaves emerged. In comparison with upland field conditions, stomatal conductance, transpiration rate, amount of chlorophyll and photosynthetic rate were increased with the plant growth under flooded conditions. The increase in transpiration under flooded conditions prevented the rise of daytime leaf temperature thus preventing the decrease in photosynthetic rate that occurs under high temperature conditions.

Key words : Eddo, Flooding, Photosynthetic rate, Stomata, Stomatal conductance, Transpiration.