研究論文

レンコン浅床栽培におけるボール田面への浮揚が ハス生育とレンコン収量に与える効果

溝渕佐織*・当真 要**・上野秀人**

*愛媛大学農学部, **愛媛大学大学院農学研究科

Effects of Floating Ball on the Growth of Lotus (*Nelumbo nucifera*) and Yield of Lotus Root on Shallow Soil Cultivation System

Saori MIZOBUCHI*, Yo TOMA** and Hideto UENO**

*Faculty of Agriculture, Ehime University

**Graduate school of Agriculture, Ehime University

本研究では、レンコン浅床栽培における田面へのボール浮揚がハスの生育や肥大根茎（レンコン）の収量に与える影響を評価した。直径 80 mm のポリエステル製白色ボールを田面に浮かべ、2018 年 4 月から 9 月にかけてハスを栽培した。ボール浮揚により、ボールの保温効果と田面水の蒸発量抑制による顕熱の増加に起因して地温上昇が生じ、ハスの生育が促進された。さらに、地温上昇は地下茎の分岐を促進したと推測され、肥大根茎の数の増加により収量が増加していた。ボールによる田面の遮蔽は、ハス生育促進だけでなく灌漑水の節水効果も期待できることが明らかになった。開花後の立葉（抽水葉）の葉色値上昇が肥大根茎の重量を増加していたことから、ボール浮揚に加え開花終了後の窒素肥料の追肥により、より大きな肥大根茎の数を増やすことができる可能性がある。

キーワード：浅床栽培、田面遮蔽、ボール、レンコン

1. 緒言

ハス (*Nelumbo nucifera*) の肥大根茎であるレンコンの需要は 12 月に最盛期となる。収穫はクワ掘りや水圧掘りで行われることが多く (牧山 2010)、収穫時の重労働が問題となっている。さらに、水圧掘りにおいては収穫時に土壌懸濁水が多量に流出することで、水圏の汚染が以前より指摘されている (小松ら 1989, 折本・武井 2007)。小笹 (2008) はハスの新たな栽培方法として浅床栽培法を確立した。これは、プールを設け、一

般的なハス栽培圃場の表層土壌に類する土壌を厚さ 10 cm 程度に充填し、水を浅く (約 10–20 cm) 張った状態でハスを栽培する方法である。この方法により栽培されたハスの肥大根茎は土壌の浅い位置で成長するため、通常の栽培法と比較して深い位置から掘り出す収穫作業が容易である。さらに、収穫時の土壌懸濁水の流出がない。これらのメリットに加え、当真ら (2015) は浅床栽培法によるハス肥大根茎の増収や品質向上の可能性を報告している。

浅床栽培法の重要な課題として、プールの敷設にかかるコストが高いことが挙げられる。栽培による収益の改善には、プール敷設費用の削減の他、灌漑水の節約や施肥量の削減および出荷量の増加や収穫物の高品質化が挙げられる。また、当真ら (2015) は有機肥料を用いたハス栽培で慣行栽培よりも高い肥大根茎の収量が得られる可能性を指

2019 年 2 月 12 日受付

2019 年 8 月 1 日受理

Corresponding author

当真 要 Yo TOMA

〒790-8566 愛媛県松山市樽味 3-5-7

3-5-7, Tarumi, Matsuyama, Ehime 790-8566, Japan

E-mail : toma@agr.ehime-u.ac.jp

摘している。さらに、肥大根茎の6月の全国平均販売価格(10,320円/10kg)は、出荷量が少ないため他の時期より高くなる(例えば10月では3,012円/10kg)ことから(農林水産省2017)、単価の高い早期に出荷することも売り上げの増加に有効と考えられる。早生型のハス品種でも出荷は8月以降であり、販売価格が高い6、7月に出荷するためには生育の促進が必要となる。ハスは地温が8~10℃に達すると肥大根茎からの出芽が開始されることから(沢田2010)、地温上昇はハスの生育促進に効果的であると推測される。

地温上昇の効果が期待できる方法として、ハウス加温やビニール資材等での土壌表面の被覆(マルチング)などが挙げられる。低コスト化を考えると、田面のマルチングが効果的であると考えられる。しかしながら、ハス栽培においてトンネル栽培は既に確立した栽培方法となっているが、田面を被覆資材により直接的に覆う方法はこれまでに報告されていない。田面のマルチングやトンネル栽培は被覆資材がハスの立葉伸長を妨げることから、被覆資材の除去が必要になり作業量が増加する。そこで本研究では、地温上昇によりハスの生育を促進しかつ立葉の伸長を妨げない新しい方法として、プラスチック製のボールを田面に浮かべる手法を検討した。すなわち、田面にボールが浮揚していることで田面水が直接大気に接する面積を制限し、放熱だけでなく田面水の蒸発を抑制できる(Aminzadeh et al. 2018)。また立葉がボールの隙間から立ち上がることができると考えた。以上より、本研究ではレンコン浅床栽培におけるボール使用がハスの生育や肥大根茎収量および灌漑水量に与える影響を評価することを目的とした。

2. 材料および方法

1) 栽培方法と処理区の設定

本試験は2018年3月31日から9月26日に、愛媛大学農学部附属農場(北緯33度6分、東経132度5分)で行った。調査地のある愛媛県松山市の過去30年間(1981年~2010年)の年平均気温および年平均降水量は、16.5度および1,315mmである。ハスの栽培プールは、側面を開放したビニルハウス内に設置した。縦2.0m横1.3m(2.6m²)高さ0.4mのプールを設け、その中に厚さ0.4mmの防水シート(ピノン土木用シート、SNX-XC、シーアイ化成)を敷いて水漏れを防い

だ。各プールには水道メーター(エコメーター、DX13、金門製作所)およびバルブを取り付けた灌漑設備を設けた。

試験の開始時に各プールに330kg(乾燥重271kg)の土壌を充填した(湛水状態でおよそ土深10cm)。供試土壌のpHおよびECは4.99および460μS/cm、土壌アンモニウム態窒素(N)含量は6.40mg/kg、土壌硝酸態N含量は5.08mg/kgであった。土壌全炭素(C)・全N含量およびC/Nはそれぞれ16.3g/kg、1.76g/kgおよび9.23であった。陽イオン交換容量は11.5cmol_c/kg、交換性カリウム、マグネシウムおよびカルシウム含量はそれぞれ0.39cmol_c/kg、1.60cmol_c/kg、2.65cmol_c/kgであり、塩基飽和度は40.5%であった。可給態リン酸含量(トルオーグ法)は1,378mg/kgであった。土性は砂質植壤土(砂75.1%、シルト8.30%、粘土16.5%)であった。

試験区はボール有り(ボール区)とボール無し(対照区)の2処理区をそれぞれ5および4反復で設けた。ボール区の田面に浮かべたボールは直径80mmで白色のポリエステル製であり、1プールにつきおよそ500個(190個/m²)使用し、被覆率はおよそ96.7%であった。

供試したハスの品種は‘オオジロ’を用いた。‘オオジロ’は早生型で比較的浅い位置に地下部を発達させる腐敗病に強い品種である。節が2から3個連なり、芽が3程度の肥大根茎を平均栽植密度158g/m²(1プールに1本)で3月31日に移植し、その直後、ボール区には田面にボールを浮かべた。同日の移植直前に基肥としてN、P₂O₅、およびK₂Oをそれぞれ28、18および18g/m²を施用した。施用Nのうち10g/m²は被覆肥料(LPコートS120、N41%、ジェイカムアグリ)を用いた。加えて、K₂Oは追肥として6月18日(移植後79日)に17g/m²を施用した。9月14日(移植後167日)に田面水付近で立葉の葉柄を切除する葉刈り(一般的に言われる茎刈り)を行い、9月26日に全ての植物体の採取を行った。

2) 測定項目

栽培期間中は、毎週1プールにつき生育の中庸な立葉3枚の葉身の短径と長径、葉色値(葉緑素計SPAD-502-plus、KONICA MINOLTA)を測定した。さらに、立葉の葉身の形状を楕円とみなし、立葉の短径と長径から葉面積平均値の推定値

を求め、立葉の葉数とプールの面積から葉面積指数 (LAI) を算出した。

収穫時に地上部、肥大根茎、肥大根茎以外の地下部 (根、地下茎、節) に切り分けた。肥大根茎は節毎に切り分け、全ての肥大根茎の新鮮重、個数を測定した。その後、各プールの平均的な肥大根茎 5 個の水分含量を求め、肥大根茎の全乾物重を算出した。地上部と肥大根茎以外の地下部は全量を乾燥させ各乾物重を求めた。

4 月 16 日 (移植後 16 日)、7 月 14 日 (移植後 105 日) および 9 月 26 日 (移植後 179 日) に、先端を切除した長さ約 10 cm 注射筒を差し込んで全深度から均等に土壌を採取し、土壌アンモニウム態 N 含量および硝酸態 N 含量の分析に供した。採取した土壌は、10 倍量の 10% KCl で抽出した抽出液を用い、アンモニア態 N および硝酸態 N 含量をそれぞれインドフェノール青法および塩化バナジウムⅢによる発色法で分析し、乾土当たりの各 N 含量を算出した。

栽培環境モニタリングのために、深さ 5 cm の地温をロガー付き温度計 (温度とり Jr. RTR-52A, T&D) を用いて 15 分間隔で測定・記録した。ハスの地下部は 8℃ から伸長を開始することから、日平均地温が 8℃ 以上の場合の積算値を有効積算地温として算出した。試験地ビニルハウス外 (大気) の日平均気温および日照時間のデータは愛媛大学農学部附属農場の観測データを用いた。

水収支解析のため、蒸発散量はハスの生育測定時の灌水量から求めた。調査期間中プールの水位を一定 (約 10 cm) に保ち、毎週の生育調査終了時に減少分の田面水を給水し、その給水量を蒸発散量とした。9 月 8 日から 26 日にかけての給水量は給水設備の不具合によりデータが取れなかった。それ以外の期間の 1 週間の給水量と気温とは全てのプールで有意な正の相関関係が得られたため (データ未掲載)、欠損期間の給水量は気温データから見積もった推定値を用いて算出した。

3) 統計解析

統計解析にはフリーソフト “R” (var. 3.1.0) を用いた。処理区間の差の検定は、はじめに χ^2 検定による等分散性の検定を行い、全て等分散の結果を得られたため、 t 検定を用いて処理区間の差の有無を検定した。2 因子間の相関解析には、スピアマンの順位相関係数を求め、相関係数の有意差検

図1 立葉の枚数 (a)、立葉の葉色値 (b)、立葉の葉面積指数 (LAI) (c) の推移。点線および実線の矢印はそれぞれ対照区およびボール区の開花期間を示す。エラーバーは標準誤差を示す。

定を行った。棄却検定にはスミルノフ・グラブス検定を用いた。有意水準 10% で検定をおこなった。

3. 結果

2018 年 4 月から 9 月までの大気の日平均気温は 22.6℃ であり、2015 年から 2017 年の同時期の日平均気温 (22.2℃) とほぼ同じであった。また、平均の日照時間は本研究期間で 5.99 時 / 日であったのに対し 2015 年から 2017 年の同時期は 5.53 時 / 日であった。このことから、本研究実施時の気象は例年と同程度の気象条件であった。

立葉の枚数は、6 月以降ボール区で高く推移する傾向があった (図 1a)。立葉の葉色値は移植後 6 月初旬のみボール区で高くなったが、その他の時期では両処理区の値に大きな違いはなかった (図 1b)。立葉の LAI は 6 月以降ボール区で高く推移していた (図 1c)。開花開始の時期は、ボール区が対照区より 1 ヶ月程度早かった (図 1b)。

地温の推移は大気の気温の推移とよく一致していた。地温はボール区において、特にハス生育前半に高い傾向があり、地温の差の平均は 1.7℃ であった (図 2a)。有効積算地温は、ボール区

図2 5 cm 地温および処理区間の地温の差 (a), 土壌無機態窒素 (N) 含量 (b), および蒸発散量 (c) の推移. エラーバーは標準誤差を示す.

表1 収穫時期 (9月26日) における部位別乾物重 (平均±標準誤差, kg/m²)

部位	対照区	ボール区
葉身	0.20 ± 0.02	0.25 ± 0.01
葉柄	0.12 ± 0.03	0.15 ± 0.01
根・節	0.31 ± 0.06	0.43 ± 0.07
肥大根茎	0.53 ± 0.09	0.71 ± 0.06
合計	1.16 ± 0.18	1.55 ± 0.15

全ての項目において処理区間に有意差なし.

(2864℃) が対照区 (2680℃) より有意に高かった ($p < 0.01$). 土壌無機態 N のほとんど (94.1~99.8%) はアンモニウム態 N であり, 土壌無機態 N 含量は生育初期と中期に対照区で高い傾向があったが, 生育後期には同程度であった (図 2b). 蒸発散量は 6 月中旬頃まで対照区で高い傾向があったが, その後 8 月下旬頃まで両処理区同程度で推移し, 9 月に再び対照区で高くなる傾向にあった (図 2c). その結果, 栽培期間中の積算蒸発散量は, 対照区 (589 mm) の方がボール区 (464 mm) より有意に高かった ($p < 0.05$).

収穫時の乾物重は各部位において処理区間に有意差はなかったが, 全ての項目でボール区が対照区よりも高くなっていた (表 1). 肥大根茎の全

図3 肥大根茎個数の度数分布. エラーバーは標準誤差を示す. 図中の値はボール区と対照区の差の検定 (t 検定) における p 値を示す.

図4 各栽培プールにおける立葉最大枚数と肥大根茎の個数との関係. 図中の直線は全てのプロットの回帰直線を示す.

収量は, ボール区 (3.01 kg/m²) が対照区 (2.31 kg/m²) より有意に多かった ($p = 0.094$). 肥大根茎 1 個あたりの平均重量 (対照区 97.9 g, ボール区 99.1 g) は両処理区に大きな違いが見られなかった一方で, 個数はボール区 (30.8 個/m²) が対照区 (23.7 個/m²) より多くなる傾向にあった. 肥大根茎の重さが 50~199 g の区分でボール区の個数が対照区より有意に多かった (図 3). その結果, 肥大根茎の収量はボール区が 50~99 g ($p = 0.053$), 100~149 g ($p = 0.098$) および 150~199 g ($p = 0.090$) の区分で有意に高い値を示した. また, 立葉の最大枚数と肥大根茎の個数に正の相関があった (図 4). 立葉の平均葉身葉色値と肥大根茎 100~149 g と 50~99 g の比に正の相関が

図5 各栽培プールにおける栽培期間中の立葉平均葉色値 (a) および 8/27~9/14 の立葉平均葉色値と肥大根茎 100~144 g および 50~99 g の個数の比. 図中の直線は全てのプロットの回帰直線を示す. 対照区の 1 プールの比 (1.40) は棄却検定 (スミノフ・グラブス検定) で棄却されたため除いた.

見られ (図 5a), さらに, 開花後 8 月 27 日から 9 月 14 日にかけての平均葉身葉色値とも正の相関が見られた (図 5b).

4. 考察

本研究では, 栽培プールの水面にボールを浮かべることによって肥大根茎の収量が増加した. 両処理区では肥大根茎 1 個あたりの重量に大きな違いがなく, ボール区で個数が多くなる傾向にあったことから, 肥大根茎収量の増加は, ボールを田面に浮かべることによって地下茎の分岐が多くなり個数が増えたためと推測された. 沢田 (2010) は立葉が多いほど地下茎の分岐が多くなり, 収量も増えることを指摘している. 本研究でも立葉の枚数がボール区で高く推移しており, このことは地下茎の分岐が多かったことを示唆していると考えられた.

ボール区ではハスの生育初期に地温が対照区より高く推移しており, さに対照区よりも開花時期が 1 ケ月程度早かった. ボールを浮かべることによって地温が上昇しハスの生育を促進し, このことが地下茎の分岐促進と肥大根茎の個数増加の要因と推察された. 加えて, ボール区の生育初期からの高い LAI は, その時期のハスの光合成量が増加することにより, 栄養成長期のバイオマス確保を早期に達成させたと考えられ, 立葉の最大 LAI と肥大根茎の収量や個数との正の相関はこのことを支持している. また, 各部位の乾物重もボール区で高い傾向を示していたことから, 地温上昇に

よる LAI の上昇は, ハスの乾物生産量の増加にも効果的であった可能性がある. 田面へのボール浮揚による地温上昇は地下根茎からの出芽の開始時期が早くなることで生育が促進する効果が期待できるため, ボール使用によるハスの促成栽培・早期出荷の可能性の検証が次の研究課題として挙げられた.

地温上昇の要因として, 田面でのボール浮揚と被覆による保温効果および田面水蒸発量抑制による顕熱の増加が考えられる. 一般的に, 水面からの水の蒸発は温度, 日射, 相対湿度および風速に依存する (伊藤・初井 2010). Hassan et al. (2015) は水面へ浮かべた物体による水面遮蔽面積と蒸発抑制の正の相関を報告しており, この理由を水面と大気との境界面積が減少することで水面へ入射する日射が低下したためと考察している. 本研究においても, ボール区ではボールによる水面の遮蔽に加え, 生育前半に多かった立葉による日射の遮蔽は, 田面水の蒸発抑制に寄与した可能性がある. 加えて, 立葉の早期繁茂による防風効果の寄与も可能性として考えられた. Aminzadeh et al. (2018) は水面の遮蔽により蒸発が抑制されると同時に顕熱フラックスが正となり, 大気から水中へと熱が移動することを報告している. 本研究でも同様な現象が生じていた可能性があり, 田面遮蔽による田面水蒸発の抑制が地温の上昇に寄与し, さらに地温上昇がハスの分岐を促進するという正のフィードバックが生じた可

能性が考えられた。一方で、立葉の枚数増加は葉身からの蒸散が増加すると考えられるが、本研究においてボール区の蒸発散量は対照区より少ないため、田面水の蒸発抑制効果は葉身からの蒸散増加より大きかったことが示唆された。以上より、ハス田の田面へのボール浮揚効果はハスの生育促進と収量増加に貢献するだけでなく、蒸発抑制の結果生じる灌漑水節水による灌漑作業の効率化も期待できることが明らかになった。

本研究ではボールを田面に浮かべることで肥大根茎の数が増加し収量が増加したが、特に 50～99 g の肥大根茎の個数が他の重量区分と比較して最も多く、ハス生育後半に光合成産物がシンクである肥大根茎に十分供給されていなかった可能性が考えられた。このことは、田面へのボール浮揚に加え、ハス生育後半の光合成能の向上によりさらなる増収が期待できる可能性を示している。本研究では、開花後の立葉の平均葉色値が上昇するに従い肥大根茎の重さのクラスが 50～99 g から 100～149 g へ改善する相関関係が得られており、このことは葉色値が高いと重い肥大根茎の数が多くなることを意味している。一般的に葉色値の変化は植物の N 養分状態を反映することから、開花後の立葉の葉色値を上昇するような施肥体系を組み入れることで、より大きな肥大根茎の数を増やすことができる可能性がある。すなわち、本研究においてボール区での開花が終了した 7 月後半の N 肥料の追肥により光合成産物のソース機能である立葉の光合成能を向上させることで、肥大根茎への光合成産物の供給が増加し、さらなる収量増加を期待できると考えられた。これらの検証にはさらなる栽培実験が必要であり、本研究の次の課題と考えられた。

謝辞

本研究を実施するにあたり、試験区の設置および管理で多大なるご協力をいただいた愛媛大学農学部附属農場の山下陽一氏、阿立真崇氏、河野貴幸氏に厚くお礼申し上げます。また、愛媛大学農学部土壌肥科学研究室の学生諸氏には処理区の設置および調査に多くの協力をいただきました。ここに御礼申し上げます。本研究の一部は平成 30 年度愛媛大学産学連携推進事業からの助成を受けて実施されました。

引用文献

- Aminzadeh M, Lehmann P, Or D (2018) : Evaporation suppression and energy balance of water reservoirs covered with self-assembling floating elements, *Hydrology Earth System Sciences* 22 : 4015-4032.
- 小松鋭太郎・石塚由之・松沢義郎 (1989) : レンコン栽培田における三要素の動向と収支について, *茨城園試研報* 14 : 90-109.
- 小笹道俊 (2008) : 浅床栽培槽による蓮根の栽培方法および栽培装置, P2008-173104A.
- Hassan M M, Peirson W L, Neyland B M, Fiddis N M (2015) : Evaporation mitigation using floating modular devices, *Journal of Hydrology* 530 : 742-750.
- 伊藤祐二・初井和朗 (2010) : 気象変化が深い湖の湖面蒸発量, 水温, 熱収支に及ぼす離京ー鹿児島県池田湖の事例ー, *農業農村工学会論文集* 269(78-5) : 385-395.
- 牧山正男 (2010) : レンコン主要産地における収穫方法とその変遷, *農業農村工学会全国大会公演要旨集* 2010 : 546-547.
- 農林水産省 (2017) : 農作物価統計調査, <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500204&tstat=000001014483&cycle=7&year=20170&month=0&tclass1=000001019836&tclass2=000001118575> (2019 年 1 月 28 日閲覧).
- 折本善之・武井昌秀 (2007) : レンコン栽培における被覆肥料を用いた窒素の減肥および節水管理が収量および窒素排出量に及ぼす影響, *日本土壌肥科学雑誌* 78(4) : 363-369.
- 沢田英司 (2010) : 第 2 章レンコンってどんな野菜?, *レンコンー栽培から加工・販売まで*, 農山漁村文化協会, 東京, pp.30-46.
- 当真 要・岩本玲奈・稲吉佳緒里・長崎信行・上野秀人 (2015) : 浅床栽培法を用いたレンコンの省力栽培におけるハスの生育・収量・品質および養分動態の評価, *日本土壌肥科学雑誌* 86(2) : 89-97.

Abstract

This study investigated the effect of floating balls (diameter in 80 mm, white color) made of polyester on lotus growth and lotus root yield in a shallow soil cultivation system from April to September 2018. Lotus growth was improved by the increased soil temperature owing to the utilization of floating balls on paddy water, because sensible heat inflow was induced through a thermal insulation effect and by suppressing evaporation of paddy water. Furthermore, increasing soil temperature may enhance the subterranean stem division, thereby, increasing the

number of lotus roots resulting in increased lotus root yield. Covering the surface area of the paddy field also contributed to reducing irrigation water requirement. In addition to the utilization of floating balls, application of supplemental nitrogen fertilizer after the blooming stage might further increase lotus root yield, because increasing leaf chlorophyll content in emergent leaves increased lotus root during the thickening stage.

Key Words

covering material, floating ball, lotus root, shallow soil cultivation system