

植物工場における光環境および養液制御によるホウレンソウの 高ルテイン・低硝酸塩化水耕栽培技術

下山 真人 溝田 陽子
高橋 真一

Hydroponic Techniques for Higher Lutein and Lower Nitric Acid in Spinach Achieved by Combined Control of LED Lighting and Nutrient Culture

Masato Shimoyama Yoko Mizota
Shinichi Takahashi

Abstract

Spinach is a popular and nutritious leafy vegetable enriched with a carotenoid that is lutein. Lutein is a functional ingredient that protects the retina from oxidative damage caused by UV; additionally, it can prevent age-related macular degeneration and cataract. In field cultivation, the lutein content of spinach is significantly affected by the season and cultivation location. Meanwhile, the effect of nitric acid in vegetables on human health has been indicated. High nitric acid content causes flavor deterioration. In this study, an indoor hydroponic culture system with LED lighting is used to control the contents of lutein and nitric acid simultaneously. A stable production of spinach with increased lutein and reduced nitric acid contents is achieved by applying irradiance control using white LEDs as well as the use of a limiting media solution

概 要

ホウレンソウは、ルテイン含量が高いことが知られている。ルテインは、ヒトの網膜の黄斑部にキサントフィルと共に高濃度に蓄積され、紫外線等による酸化障害からの網膜の保護や白内障の予防に有用な機能性成分として近年着目されている。一方、野菜に含まれる硝酸塩は食味を左右するとともに、過度に摂取すると健康へ影響を及ぼす可能性が指摘されている。本研究では、人工光型植物工場による水耕栽培で高ルテインかつ低硝酸ホウレンソウを育成することを目的として、LEDによる光制御と養液制御の併用効果について検討した結果、高ルテインかつ低硝酸塩化を達成することができた。

1. 研究の目的

我が国は少子高齢化等による食糧生産の停滞に加え、最近では機能性野菜など健康食品へのニーズが高まっている。これに対する1つの解決策として植物工場による食糧生産の技術改良が注目されている。

このような背景より、筆者らは、植物工場での栽培に適し、かつ消費者にとって魅力のある栽培作物の調査を実施した。公開されている情報の収集に加えて、独自に選定した中食業者や病院関係の数ヵ所に直接ヒアリングを行う方法で進めた結果、ホウレンソウの需要が大きいことを確認した。さらに鉄分、ルテイン、カロテンなどの機能性成分を多く含むものが消費者から求められていることが判明した。

ルテインは光合成色素のカロテノイドの一種である。人間をはじめ動物はカロテノイドの生合成能を持たないため食物から吸収・蓄積し、さらに代謝して利用している。ヒトの体内では、網膜の黄斑部にキサントフィルと共に高濃度に蓄積され、酸化活性によって紫外線や青

色光に対する防御機構を担っている。このため、光による酸化障害からの網膜の保護、加齢による黄斑変性や白内障の予防に有用な機能性成分として近年着目されている¹⁾。

ルテインはホウレンソウに多く含まれていることが知られているが、露地産ホウレンソウのルテイン含量は季節変動や生産地によるばらつきがある。ルテインは光合成色素であるため、光環境により含量が左右されていると考えられる。

また、野菜に含まれる硝酸塩は、食味に影響を及ぼす。さらに、過度の摂取は健康へ影響をおよぼす可能性が指摘されている²⁾。硝酸塩は肥料に由来しており、水耕栽培では養液制御による低減が期待されている。

上記の問題に対して、季節変動の影響がなく、養液管理が容易な植物工場は有効な栽培環境の再現が可能である。本研究では、人工光による水耕栽培で高ルテインかつ低硝酸塩ホウレンソウを育成することを目的として、LEDによる光制御と養液制御の同時処理効果について検討した。

2. 試験装置と供試植物

試験は、大林組技術研究所内の人工光型栽培室内で栽培試験装置を用いて実施した。Table 1に人工光型栽培室の仕様を、その状況をPhoto 1に示す。

栽培試験装置は栽培棚に光源と水耕栽培用水槽を設置したもので、仕様をTable 2に、栽培状況をPhoto 2に示す。水耕栽培用水槽 1 台あたりに10.5cm間隔で8株栽培した。

供試植物には、ホウレンソウ(*Spinacia oleracea* 品種：晩抽サマースカイ)を用いた。播種後17日目に水耕栽培用水槽に定植し、39日目に収穫した。Photo 3に定植時の状況を示す。

栽培条件は、室温22~24°C、湿度50~70%RH、明期16時間/暗期8時間のサイクルで育成した。養液は肥料3種類を溶解、混合して調製した(EC 1.4 dSm⁻¹)。

本研究では、ホウレンソウを商品として評価するため、ルテインと硝酸塩については新鮮重あたりの含量を測定した。また、ルテインは1個体あたりの総量ではなく、新鮮重100gあたりの含量を評価した。

成分分析は、ルテイン含量は高速液体クロマトグラフィーで、硝酸塩含量はRQフレックスにて測定した。なお、3章では新鮮重、ルテイン、硝酸塩含量は株毎に測定し、4章では新鮮重のみ株毎に測定し、ルテイン含量と硝酸塩含量は8株を一括で測定した。

光源の分光分布は、ライトアナライザーを用いて測定した。

3. 光制御によるルテイン合成誘導

3.1 光環境制御の方法

ルテインは、植物体内では光合成の光化学系における集光装置(以下、LHC)に組み込まれ、光エネルギーの吸収と伝達に關するカロテノイドの一種である。LHC のサイズ及び色素バランスは、生育環境、特に光環境の影響を受けて変化するため、植物に含まれるカロテノイドは季節により変動する。カロテノイドは、強光にตอบสนองする光合成制御システムの非光化学消光(以下、NPQ)に關与し、ルテインは LHC の立体構造の変化に關わることでNPQ を駆動している可能性が示唆されている³⁾。一方、高光量及び青色光によりカロテノイド含有量が増加するということが一般的に知られている。そこで、収穫前に青色光および青色光を多く含む光を連続照射してルテインの合成誘導に効果があるか検討した。

光源には3種類のLEDを使用した。ホウレンソウの育成に適した分光特性をもつ白色LED (以下、W光LED)、青色比率の高い白色LED(以下、WB光LED)、青色光単色のLED(以下、B光LED)である。

Fig. 1にW光LEDとWB光LEDの分光分布を、Fig. 2にB光LEDの分光分布を示す。WB光LEDは、青色の波長455nm付近の相対光強度がW光LEDの約1.7倍あり、B光LEDは波長455nm付近に単一のピークがある。

Table 1 人工光型栽培室の仕様
Specifications of the Artificial Light Type House

| 項目 | 主な仕様(幅×奥行×高さ) |
|-----|-------------------------------|
| 栽培室 | 幅2,700 mm×奥行4,165mm×高さ2,000mm |
| 構造 | 鋼製樹脂パイプ、強化プラスチック被覆 |
| 照明 | 白色LED、青色LED |
| 空調 | 温度調整用空調機、換気扇 |

Table 2 栽培試験装置の仕様
Specifications of the Cultivation Examination Device

| 項目 | 主な仕様(幅×奥行×高さ) | 数量 |
|---------|--------------------------|----|
| 栽培棚 | 横1,500mm×奥行605mm×高さ585mm | 3棚 |
| 水耕栽培用水槽 | 横365mm×奥行470mm×高さ152mm | 6個 |



Photo 1 人工光型栽培室
Artificial Light Type House



Photo 2 栽培試験装置による栽培状況
Cultivation Situation of the Spinach



Photo 3 定植時の状況
Planted Situation of the Spinach

Fig. 3に光制御によるルテイン合成誘導処理法を示す。ルテイン誘導処理は定植後明期16時間、暗期8時間で育成した後、収穫前の48時間LEDを連続照射することで行った。試験区は、B光LEDを照射する「B光処理」、WB光LEDを照射する「WB光処理」およびW光LEDで育成を継続する「無処理」の3区を設けた。光量子束密度(PFD)は、一般的な葉物野菜栽培で用いられる光強度 $150\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ より強光の $200\pm 10\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とした。

3.2 結果および考察

Fig. 4に収穫物重量(以下、新鮮重)の比較を示す。図中のアルファベットは有意差検定の結果を表す。試験区間に5%水準で有意差がない場合は同じアルファベットで、有意差がある場合は異なるアルファベットで示した(以下、後述のFig. 5~6, Fig. 11, Fig. 13, Fig. 16, Fig. 18で同様)。「無処理区」と「B光処理区」は有意差がなかったため「a」で示し、「無処理区」と「WB光処理区」間も有意差がなく「b」で示した。これより、「B光処理」, 「WB光処理」は新鮮重に影響を与えないといえた。

Fig. 5に草丈の比較を示す。草丈は「B光処理区」で増加した。これは青色光により伸長したためと考えられる。Fig. 6にルテイン含量の比較を示す。「B光処理区」は「無処理区」と有意差がなく、「WB光処理区」のみ有意に増加した。「無処理区」に対する増加率は18%であった。

このように、B光LEDよりもWB光LEDの方がルテイン合成誘導に有効であり、収穫前48時間連続照射することで、新鮮重を保ったままルテイン含量を増加させることができた。

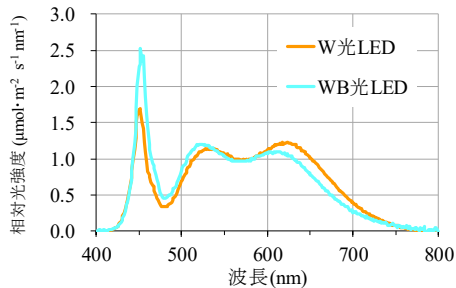


Fig. 1 W光LEDとWB光LEDの分光分布
Spectral Distribution of the W Light LED and WB Light LED

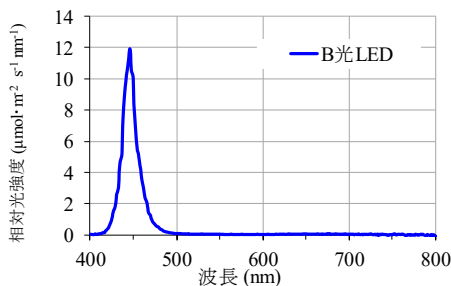


Fig. 2 B光LEDの分光分布
Spectral Distribution of the B Light LED

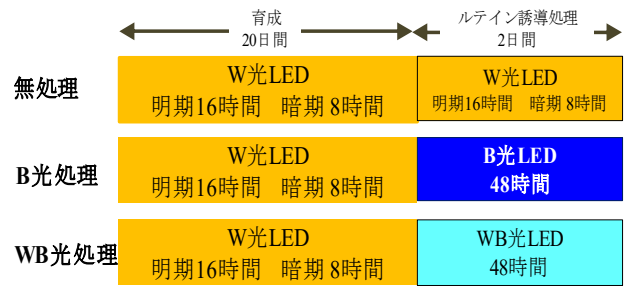


Fig. 3 ルテイン誘導処理法
Treatment Method Lutein Instruction

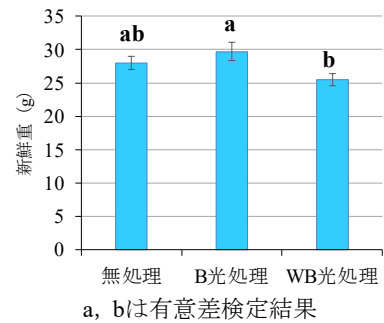


Fig. 4 ルテイン誘導処理における新鮮重
Fresh Weight by the Lutein Induction Processing

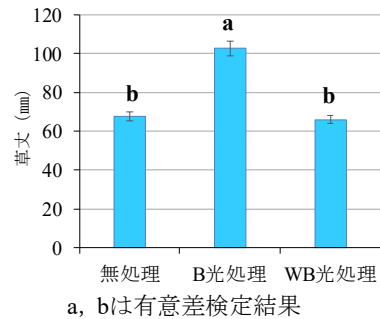


Fig. 5 ルテイン誘導処理における草丈
Height of Plant by the Lutein Induction Processing

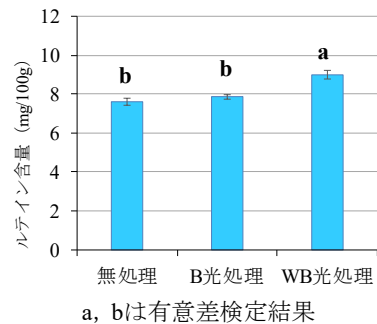


Fig. 6 ルテイン誘導処理におけるルテイン含量
Lutein Content by the Lutein Induction Processing

4. 高ルテイン化・低硝酸塩化の検討

4.1 方法

高ルテイン化処理は、前項の結果を受けWB光LEDを収穫前48時間連続照射するWB光処理を実施した。

硝酸塩低減処理は養液制御により実施した。水耕栽培ホウレンソウの硝酸塩含量は、養液の硝酸塩濃度を下げることによって低減できることから⁴⁾、本試験では定植後は養液で育成し、収穫4日または6日前に養液を水に交換した。

育成時の光源は、硝酸塩低減処理により新鮮重が小さくなることが予想されたため、遠赤領域が多く新鮮重増加が見込まれる⁵⁾「遠赤領域強化白色LED」を使用した。

Fig. 7に「遠赤領域強化白色LED」と「WB光LED」の分光分布の比較を示す。育成時の光量子束密度(PFD)は、遠赤領域強化白色LEDでの育成に最適な $170\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で、WB光処理は3.1節と同じく $200\pm 10\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とした。Photo 4に遠赤領域強化白色LEDによる育成状況を、Photo 5にWB光LEDによるWB光処理の状況を示す。

Fig. 8に高ルテイン化処理法および硝酸塩低減処理法を示す。試験区は「無処理」, 「WB光処理」, 「硝酸塩低減処理」, 「WB光・硝酸塩低減処理」の4区とした。

「無処理区」は、定植から収穫まで遠赤領域強化白色LEDで育成し、養液は交換しなかった。「WB光処理区」は、収穫前の48時間にWB光LEDを連続照射し、養液は交換しなかった。「硝酸塩低減処理区」は、定植から収穫まで遠赤領域強化白色LEDで育成し、収穫4日ないし6日前に養液を水に交換した。「WB光・硝酸塩低減処理区」は、収穫前48時間のWB光LED連続照射と収穫4日前の水の交換を実施した。

なお、「WB光処理」, 「硝酸塩低減処理」, 「WB光・硝酸塩低減処理」は、別々に試験を実施し、試験ごとに無処理区を設けた。この3回の無処理区の結果を、通常の栽培手法におけるルテイン含量, 硝酸塩含量, 新鮮重の値として評価した。

収穫物の目標値は、ルテイン含量は1日の摂取量の目安が10mgとされることから10mg/100g以上⁶⁾とし、硝酸塩含量は日本食品標準成分表のホウレンソウの硝酸塩含量2,000mg/kg以下⁷⁾とした。新鮮重は、市販ホウレンソウ1束を構成する1本の重量として20g以上とした。また、収穫物の食味評価を被験者5人で行った。

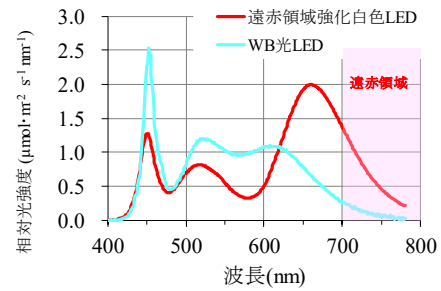


Fig. 7 遠赤領域強化白色LEDとWB光LEDの分光分布
Spectral Distribution of the Far-Red Light Reinforcement White LED and WB Light LED



Photo 4 遠赤領域強化白色LEDによる育成
Cultivation Situation of the Spinach by Far-Red Light Reinforcement White LED



Photo 5 WB光LEDによるWB光処理
The WB Light Treatment by WB Light LED

| | | | |
|----------------|----|----------------------------|------------------------|
| 無処理 | 光源 | 遠赤領域強化白色LED (明期16時間 暗期8時間) | |
| | 溶液 | 養液 | |
| WB光処理 | 光源 | 遠赤領域強化白色LED (明期16時間 暗期8時間) | WB光処理 WB光LED (48時間) |
| | 溶液 | 養液 | |
| 硝酸塩低減処理 | 光源 | 遠赤領域強化白色LED (明期16時間 暗期8時間) | |
| | 溶液 | 養液 | 硝酸塩低減処理 水 (4日または6日間) |
| WB光 硝酸塩低減処理 | 光源 | 遠赤領域強化白色LED (明期16時間 暗期8時間) | WB光処理 WB光LED (48時間) |
| | 溶液 | 養液 | 硝酸塩低減処理 水 (4日間) |

Fig. 8 高ルテイン化処理法および硝酸塩低減処理法
Treatment Method High Lutein and Low Nitric Acid

4.2 結果および考察

4.2.1 無処理区のルテイン含量, 硝酸塩含量, 新鮮重

Fig. 9に無処理区のルテイン含量を, Fig. 10に硝酸塩含量を示す。「無処理区①」, 「無処理区②」, 「無処理区③」は, それぞれ「WB光処理区」, 「硝酸塩低減処理区」, 「WB光・硝酸塩低減処理」の対照となる無処理区である。ルテイン含量は目標値10mg/100g以上に対し8.0~9.1mg/100gで, 硝酸塩含量は目標値2,000mg/kg以下⁷⁾に対し3,013~3,580mg/kgであり, 通常の栽培手法ではいずれも目標値を達成できなかった。

Fig. 11に無処理区の新鮮重を示す。無処理区①~③に有意差はなく32.1~39.7gであり, 目標値以上の生育が得られた。また, 3.2節 Fig. 4で示したW光LEDで育成した無処理区よりも大きかった。

なお, Fig. 4に比べ新鮮重のばらつきが大きくなっていくのは, 生育の向上により株間の被圧が生じたためであ

る。次節以降に述べる各処理区の新鮮重結果のばらつきについても同様である。

4.2.2 WB光処理の効果

Fig. 12に「WB光処理区」のルテイン含量を示す。ルテイン含量は, WB光処理により「無処理区」より15%増加して10.4mg/100gとなり, 目標値を達成した。

Fig. 13に「WB光処理区」の新鮮重を示す。「WB光処理区」の新鮮重は「無処理区」と有意差がなく, 29.3gとなり目標値を達成した。これにより, WB光処理で目標値以上の新鮮重を保ったままルテイン含量を増加させることができ, 3.2節の再現性が得られたといえる。

一方, WB光処理により硝酸塩含量が低下する現象が見られた。Fig. 14に「WB光処理区」の硝酸塩含量を示す。WB光処理により硝酸塩含量が無処理区より33%減少し, 目標値には及ばないが2,400mg/kgとなった。

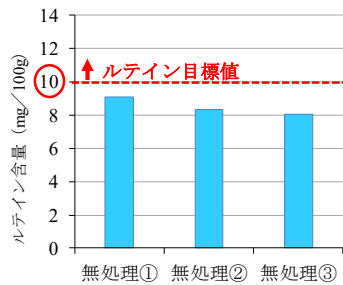


Fig. 9 無処理区におけるルテイン含量
Lutein Content by the Control

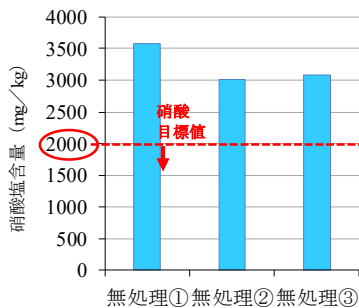


Fig. 10 無処理区における硝酸塩含量
Nitric Acid Content by the Control

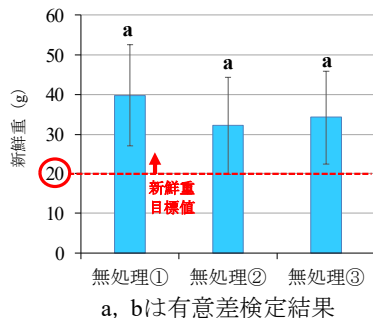


Fig. 11 無処理区における新鮮重
Fresh weight by the Control

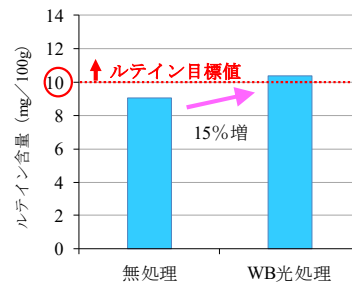


Fig. 12 WB光処理におけるルテイン含量
Lutein Content by the WB Light Treatment

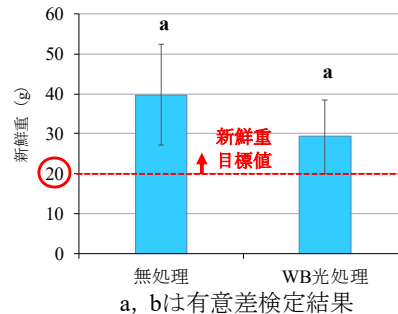


Fig. 13 WB光処理における新鮮重
Fresh weight by the WB Light Treatment

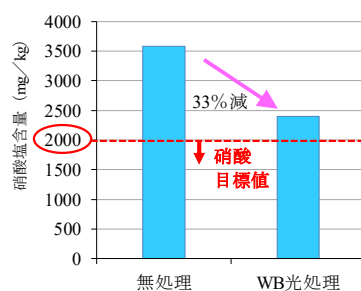


Fig. 14 WB光処理における硝酸塩含量
Nitric acid by the WB Light Treatment

4.2.3 硝酸塩低減処理の効果 Fig. 15に「硝酸塩低減処理区」の硝酸塩含量を示す。硝酸塩含有量は、無処理区と比べ4日間処理では87%減少し390mg/kg, 6日間処理で90%減少し287mg/kgとなり、いずれも目標値を大きく下回ることができた。

Fig. 16に「硝酸塩低減処理区」の新鮮重を示す。「硝酸塩低減処理区」の4日間処理と6日間処理には有意差はなく、「無処理区」からはともに有意に減少した。「無処理区」からの減少率は36~45%, 新鮮重は17.5~20.5gの範囲となり、概ね目標値を達成できた。硝酸塩含量の減少率も鑑みて、硝酸塩低減処理は4日間で効果が得られるといえた。

また、硝酸塩低減処理によりルテイン含量が増加した。Fig. 17に「硝酸塩低減処理区」のルテイン含量を示す。新鮮重の減少により相対的に増加したと考えられ、無処理区と比べ、4日間処理では20%増加し10.0mg/100g, 6日間処理で17%増加し9.8mg/100gとなり、概ね目標値を達成した。

4.2.4 WB光・硝酸塩低減処理の効果 「WB光処理」と「硝酸塩低減処理」の同時処理の効果を述べる。硝酸塩低減処理は収穫前4日間である。

Fig. 18に「WB光・硝酸塩低減処理区」の新鮮重を示す。「WB光・硝酸塩低減処理区」の新鮮重は「無処理区」と有意差があり、「無処理区」から25%減少したが、25.6gであり目標値を達成した。新鮮重の減少率は、「硝酸塩低減処理区」の4日間処理より小さく、硝酸塩低減処理にWB光処理を併用することで新鮮重の減少が軽減された。

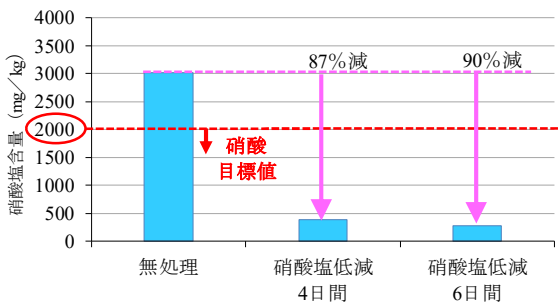
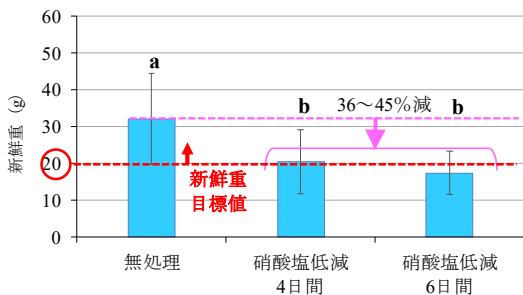


Fig. 15 硝酸塩低減処理における硝酸塩含量
Nitric Acid Content by the Nitric Acid Reduction Processing



a, bは有意差検定結果
Fig. 16 硝酸塩低減処理における新鮮重
Fresh weight by the Nitric Acid Reduction Processing

Fig. 19に「WB光・硝酸塩低減処理区」のルテイン含量を示す。「WB光・硝酸塩低減処理区」のルテイン含量は無処理区より19%増加し、わずかに目標値に及ばなかったが9.6mg/100gとなった。「硝酸塩低減処理区」と同様、新鮮重の減少によるものと考えられる。

Fig. 20に「WB光・硝酸塩低減処理区」の硝酸塩含量を示す。「WB光・硝酸塩低減処理区」の硝酸塩含量は無処理区より84%減少して487mg/100gとなり目標値を達成することができた。

4.2.5 食味評価 Table 3に全試験区の食味評価結果を示す。「無処理区」、「WB光処理区」、「硝酸塩低減処理区(4日間, 6日間)」は味や食感の評価が低かった。一方、「WB光・硝酸塩低減処理区」は食味が良かった。このことから、食味は硝酸塩含量の低減だけでは向上せず、WB光処理の併用により向上すると考えられる。

4.2.6 総合評価 Table 4に「WB光処理区」、「硝酸塩低減処理区(4日間)」、「WB光・硝酸塩低減処理区」の評価の一覧を示す。「硝酸塩低減処理区(4日間)」において、ルテイン含量、硝酸塩含量、新鮮重の目標値をすべて達成することができたが、食味評価が劣っていた。

一方、「WB光・硝酸塩低減処理区」は新鮮重と硝酸塩含量は目標値を達成し、ルテイン含量は目標値に及ばなかったが目標値との差はわずかであった。「硝酸塩低減処理区(4日間)」と比べると新鮮重の減少率が小さく、食味の向上が見られたことより、総合的に評価して「WB光・硝酸塩低減処理区」は高ルテインかつ低硝酸塩ホウレンソウの栽培手法として適しているといえる。

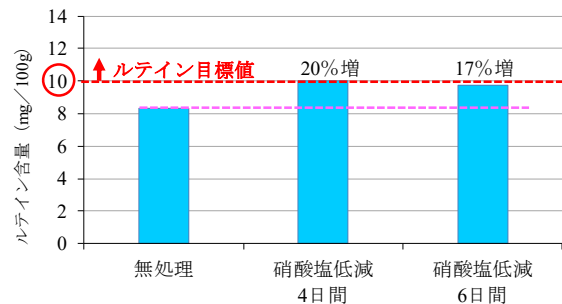
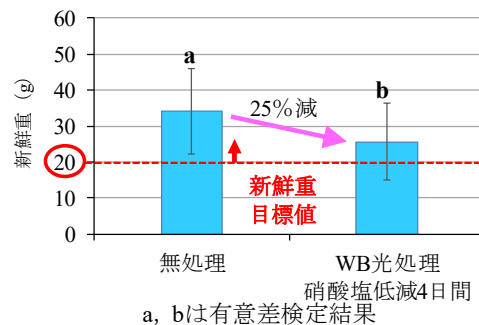


Fig. 17 硝酸塩低減処理によるルテイン含量
Lutein Content by the Nitric Acid Reduction Processing



a, bは有意差検定結果
Fig. 18 WB光・硝酸塩低減処理における新鮮重
Fresh Weight by the WB Light Treatment and Nitric Acid Reduction Processing

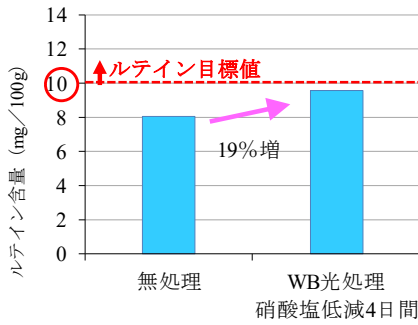


Fig. 19 WB光・硝酸塩低減処理におけるルテイン含量
Lutein Content by the WB Light Treatment
and Nitric Acid Reduction Processing

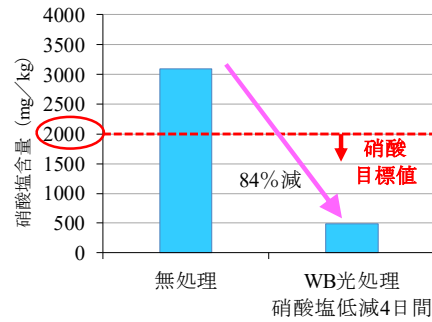


Fig. 20 WB光・硝酸塩低減同処理における硝酸塩含量
Nitric Acid by the WB Light Treatment
and Nitric Acid Reduction Processing
a, bは有意差検定結果

Table 3 食味評価
Taste Evaluation of Spinach

| | 無処理 | WB光処理 | 硝酸塩低減処理 | | WB光・硝酸塩低減 (4日間) 処理 |
|------------------|-------------|-------|---------|------|-----------------------|
| | | | 4日間 | 6日間 | |
| 食味 | × | △ | △ | × | ○ |
| | えぐみあり | 酸味あり | 味が薄い | 筋っぽい | ほんのり甘い |
| 硝酸塩含量 (mg/kg) | 3,013~3,580 | 3,580 | 390 | 287 | 487 |

Table 4 総合評価
Over-all Judgement

| | | WB光処理 | 硝酸塩低減処理 (4日間) | WB光・硝酸塩低減 (4日間) 処理 |
|-----------------------------|---------|-------|------------------|-----------------------|
| ルテイン含量 (目標値：10.0mg/100g) | 評価 | ○ | ○ | △ |
| | mg/100g | 10.4 | 10.0 | 9.6 |
| | 無処理との比 | 15%増加 | 20%増加 | 19%増加 |
| 硝酸塩含量 (目標値：2,000mg/kg) | 評価 | × | ○ | ○ |
| | mg/kg | 2,400 | 390 | 487 |
| | 無処理との比 | 33%減少 | 87%減少 | 84%減少 |
| 新鮮重 (目標値：20.0g) | 評価 | ○ | ○ | ○ |
| | g | 29.3 | 20.5 | 25.6 |
| | 無処理との比 | 有意差なし | 36%減少 | 25%減少 |
| 食味 | 評価 | △ | △ | ○ |
| | 食味 | 酸味あり | 味が薄い | ほんのり甘い |
| 総合評価 | | × | △ | ○ |

5. まとめ

ルテインは、眼の病気予防に有効な成分として着目されている。ホウレンソウはルテインを多く含むことが知られているが、露地栽培ではルテイン含量に季節変動や生産地によるばらつきが生じる。また硝酸塩は、食味を左右し、過度に摂取すると健康へ影響をおよぼす可能性が指摘されている。

これらの課題に対して、LEDによる光制御と養液制御の同時処理により、ホウレンソウの高ルテインかつ低硝酸塩化を達成することができた。

本栽培法の効果をまとめると以下ようになる。

- 1) 収穫前のホウレンソウに青色比率の高い白色LEDを48時間連続照射したところ、ルテイン含量が有意に増加しルテイン合成誘導に有効であるといえる。
- 2) 青色比率の高い白色LED連続照射は、新鮮重を保持したままルテイン含量を増加させることができる。
- 3) 青色比率の高い白色LED連続照射に加えて、硝酸塩低減処理を同時に行った。その結果、新鮮重の減少率を低く抑えつつ、ルテイン含量が10mg/100g以上、硝酸塩含量が2,000mg/kg以下の

目標値を概ね達成できた。また、合わせて食味も向上することを確認した。

一般の健康志向の高まりにより、ますます機能性野菜の需要が増加することが考えられる。

本栽培手法は、ホウレンソウの機能性成分を向上させるとともに、低硝酸塩化を実現し、食味が良好であるという付加価値を付けた面で画期的な技術である。

今後、病院食や健康食品など機能性野菜を必要とする市場への展開に加え、高級食材の需要への展望も期待できると考える。

謝辞

本研究にあたっては、共同研究を行った信州大学野末雅之名誉教授、野末はつみ特任准教授、白井花菜氏には多大なるご協力を頂きました。

とりわけ光環境に対する植物の応答性に関しては、多くの助言を頂きました。

また試験条件の設定におきましては、大変貴重なご意見を頂くことができ、栽培試験に反映することができました。ここに御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 大鷲高志, 鹿野弘: ホウレンソウの品種及び播種時期の違いがルテイン含有量に及ぼす影響, 園芸学会春季大会, pp. 174, 2015
- 2) 東京都市場衛生研究所: 青果物中の亜硝酸根, 硝酸根実態調査, 2003
- 3) 野末雅之, 野末はつみ: 野菜栽培における白色LEDの効果と可能性, 「施設と園芸」特集/人工光型植物工場の最新動向, 第181(2018春号), pp. 19-23, 2018
- 4) 塚越寛: 収穫前のNO₃-Nまたは全肥料の補給停止が水耕ホウレンソウの生育と可食部の硝酸濃度ならびに廃液の無機成分に及ぼす影響, 園芸学会雑誌68(5), pp. 1022-1026, 1999
- 5) 下山真人, 溝田陽子, 高橋真一: 分光分布の異なる白色LEDを用いた葉菜類栽培における機能性成分の生成について, 日本生物環境工学会, 松山大会, pp. 282-283, 2017
- 6) 橋本正史: 機能性表示食品におけるルテインとゼアキサントンの科学的根拠, ファルマシア, vol.52, No. 6, pp. 534-538, 2016
- 7) 文部科学省: 日本食品標準成分表2015年版(七訂), 6 野菜類