

## 発光ダイオードの照射がヒヨドリによる果実の採食行動に及ぼす影響

高津戸望<sup>1,2</sup>・青山真人<sup>1,2</sup>・杉田昭栄<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>東京農工大学大学院連合農学研究科, 府中市 183-8509

<sup>2</sup>宇都宮大学農学部, 宇都宮市 321-8505

\*Corresponding author. E-mail address: sugita@cc.utsunomiya-u.ac.jp

### 要 約

ヒヨドリによる果樹食害の対策法を検討するために、各種光波長の発光ダイオード (LED) を果実に照射し、ヒヨドリの採食行動がどのような影響を受けるかを試験した。実験には、野生から捕獲したヒヨドリを供試した。赤 (630 nm)、黄 (590 nm)、緑 (525 nm)、青 (470 nm) の4種のLEDと、対照として一般的な蛍光灯を用い、各個体を単独飼育下で実験した。ヒヨドリ5羽に8段階の成熟度の異なるイチゴを同時に提示する選択実験を行なった結果、蛍光灯を照射した対照区でヒヨドリは成熟度が最も高い果実を優先的に選択したが、各色LEDの照射時には、成熟度の高いイチゴを選択する行動に有意差があった。特に青色LED照射時は、ヒヨドリがイチゴを選択するまでの時間が有意に長くなり、イチゴを1つも選択せずに終了した試行が3個体で4試行観察された。一方、ヒヨドリ4羽に7段階の成熟度の異なるブドウを同時に提示する選択実験を行なった結果、いずれのLED照射時においてもヒヨドリは成熟度の高い果実を選択し、その選択行動に相違はなく、青色LED照射時も含め、果実を選択するまでの時間にLEDによる差はなかった。これらの結果より、イチゴでは青色LEDを照射することで、ヒヨドリの採食行動を抑制することが期待できたが、ブドウのようにこの効果が期待できない果実もあることが分かった。LEDの照射によるヒヨドリの果実採食行動への影響は、本来の果実の色により異なることが示唆された。

キーワード：ヒヨドリ、選択実験、採食行動、果実、発光ダイオード

Animal Behaviour and Management, 52 (2): 85-97, 2016  
(2015. 7. 13 受付; 2016. 1. 11 受理)

### 緒 言

ヒヨドリ (*Hyppipetes amaurotis*) は日本国内に留鳥として広く分布し、人家周辺や公園、農耕地、平地から山地の林等でよく見られる。この鳥の食性は雑食であるが、果実や花の蜜などの甘いものを好むことが知られていて、果樹の生産現場においては、ヒヨドリは加害鳥類の一種である (農林水産省生産局農産振興課環境保全型農業対策室, 2008)。

鳥類が引き起こす果樹食害の対策について、現在では主として、防鳥網を用いて果樹園全体を覆い、加害鳥類から直接的に果樹を遮断する方法が普及している (吉永, 2002)。しかし、防鳥網は設置費用が高く、網の修繕等の持続的な管理が必要となり、確実な効果を維持するための経済的・人的負担が大きい。一方で、視覚や聴覚など、鳥の感覚を介して心理的な忌避反応を起こす刺激を

果樹園に設置する対策も多く考案されている。例えば、視覚刺激を利用した対策には、防鳥テープ、かかし、マネキン人形等がある (中村, 2001)。これらの方法は設置費用や負担があまりかからず、容易に導入できるため、よく使用される。しかし、このような対策は、鳥類の感覚や行動の特性に基づいた検討が充分に行われておらず、実際の有効性を体系的に調査した例も少ない。本研究では、鳥類が有する感覚の中で色の識別能力 (色覚) に注目し、果樹食害対策への有効性を調査した。鳥類の色覚が特に優れていることは形態学的観点から明らかとなっている。鳥の網膜には4種類の錐体細胞が存在する。長波長領域 (赤)、中間波長領域 (緑)、短波長領域 (青)、さらに紫外線領域の光波長に反応する4つの視物質である (吉澤と岡野, 1993; Vorobyev *et al.*, 1998; 杉田, 2007; Jones *et al.*, 2007; Osorio & Vorobyev, 2008)。したがって、鳥類は4原色の色覚を持つ

とされ、鳥類の可視スペクトルは 320-700 nm であることが報告されている (Honkavaara *et al.*, 2002)。

また、鳥は優れた色覚を利用し、果実の色を認識して、採食する果実を選択していると考えられる。実際に、果実の性質の中でも特に果実の色が、鳥による食餌の選択に重要であることが示唆されている (Wheelwright & Janson, 1985; 小南, 1993)。以上のような、鳥の感覚および行動の生態学的特性を利用して、果実から発せられる色のシグナルが鳥に伝わることを妨害あるいは攪乱することが可能であれば、有用な効果を見込んだ果樹食害対策を講ずる一助になると考えられる。

ニホンナシに被せる袋の色とムクドリ (*Sturnus cineraceus*) による被害との関連を調査した報告によると、青色の果実袋を被せたニホンナシは、他の色 (白、赤、黄) の果実袋を被せたナシと比較して、有意に被害を免れている (服部, 1983)。服部はその原因の一つとして、青色の果実袋が背景となるナシの葉に紛れ、ムクドリに対して視覚的に保護色の役割を果たしていたためではないかと考察している。このように、果実食鳥が果実の色を正確に認識することが困難となる状況を作り出すことが出来れば、その採食行動を抑制できる可能性がある。

そこで本研究では、果実の色を人為的に攪乱するために各色発光ダイオード (LED) を光源として果実に照射し、ヒヨドリの採食行動がどのように変化するかを試験した。また、果実食鳥の色覚と果実の色の関係に基づいた果樹食害対策法の検討を目的とした。

## 材料と方法

### 1. 使用した果実

本研究では、実験用の果実としてイチゴ (*Fragaria × ananassa* Duchesne; とちおとめ) およびブドウ (*Vitis*; 巨峰) を用いた。成熟すると赤色、黒色になる果実は世界的に多く存在しており、果実食鳥にとって認識しやすい色であるということが明らかになっている (Willson & Thompson, 1982; 小南, 1993)。また、野外観察において、ヒヨドリに被食される野生の果実の多くは赤色あるいは黒色であると報告されていることから (Fukui, 1995)、生産果樹の中でも成熟すると赤色になるイチゴと、黒色になるブドウを選んだ。

これらの果実を、果皮の色によっていくつかの成熟段階に分類した。分類する作業は、室内の一般的な蛍光灯 (100 W、60 Lux) の照明環境において、以下に述べる標準表を基準として、著者の目視で行なった。

イチゴは、白色の未熟な果実が果頂部の方から

赤色に変化して成熟することから、この赤色の占める割合で成熟度の判別が可能である。本研究では、とちおとめ原色選果標準表 (全国農業協同組合連合会栃木県支部: JA 全農とちぎ) が示す熟度標準 5 段階と、標準表に規定がなかった未熟な段階の 3 段階 (果頂部の赤色が 2 分の 1 程度、4 分の 1 程度、全体が白色) を加えた合計 8 段階を設定した。未熟な方から順に color.0-color.7 とし、合計 8 段階とした。

ブドウは、緑色の未熟な果実が紫色を経て黒色に変化して成熟することから、この色の変化で成熟度を判別できる。本研究では、ブドウ 赤・紫・黒色系の果実カラーチャート (農林水産省果樹試験場) に基づいて成熟度を分類した。このカラーチャートが示す成熟度は 13 段階であるが、イチゴとの比較を容易にするために、最も未熟を示す 0 以外の成熟度を 2 段階ごとに 1 組にまとめて設定した。未熟な方から順に color.0-color.6 とし、合計 7 段階とした。

また果実の色は、果実表面からの反射光、果実周辺の光環境、果実を見る生物の生理的感覚によって決まるとされている (Schaefer, 2011)。このことから本研究では、イチゴ、ブドウともに果実の色を示す客観的指標として、各成熟段階の果実表面の光反射率を分光光度計 (V-650; 日本分光株式会社、東京、日本) を用いて測定した。測定する光波長の範囲は鳥類の可視スペクトルの範囲を含む 300-700 nm とした。この測定には、イチゴ、ブドウともにそれぞれの成熟段階ごとに 5-10 個の果実を用いた。1 個の果実につき、果実の赤道部表面を 2 か所ずつ測定した。得られた果実表面の光反射率のデータは各成熟段階の平均値で表した。また、これらの光反射率のデータから、行動実験で用いた各色 LED の光波長における果実表面の反射率を抜粋し成熟段階別にまとめ、各色 LED 照射下での果実表面の光反射率を推測した。

### 2. 供試動物

本研究では、ヒヨドリの成体 9 羽 (年齢、性別は不明) を使用した。これらのヒヨドリは、千葉県松戸市、流山市、柏市、我孫子市、野田市にて、張り縄、無双網、罟を使用して捕獲した。ヒヨドリの捕獲許可は、鳥獣の保護及び狩猟の適正化に関する法律第 9 条第 2 項の規定による「鳥獣の捕獲等及び鳥類の卵の採取等の許可」(千葉県自指令第 723 号 [平成 21 年度]、第 51 号 [平成 22 年度]、第 315 号 [平成 23 年度]、第 296 号 [平成 24 年度]) を、千葉県より受けた。使用したヒヨドリの飼養管理および実験時の取り扱いについては、「国立大学法人宇都宮大学動物実験等管理規定」に従った。

使用したヒヨドリは、実験期間以外は宇都宮大

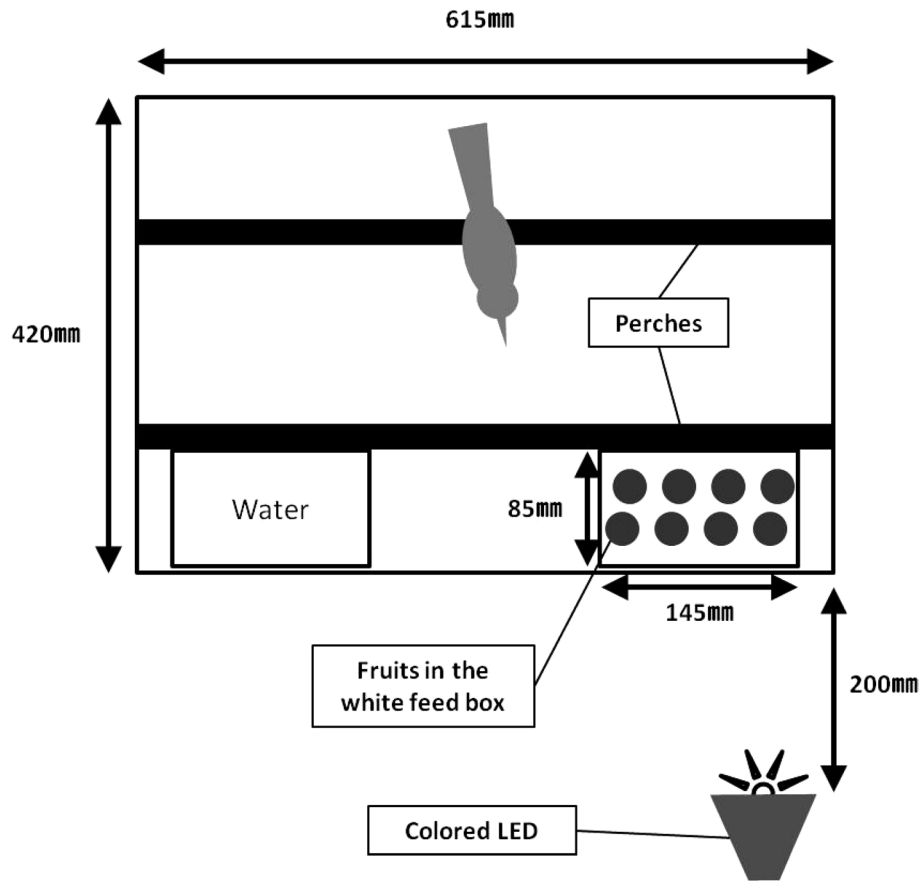


Fig.1. The experimental cage (top view). The captive bulbuls were kept individually in the cage (W615 × H420 × D605 mm). There were two perches in each cage, front-downstairs and rear-upstairs. The white feed box (W145 × D85 × H65 mm) was set near the front-downstairs perch. In the feed box, strawberries or grapes at the difference maturity stages were put to present to bird. One of the LED of the different wavelength (red 630 nm, yellow 590 nm, green 525 nm, blue 470 nm) was set 200 mm front of the feed box.

学敷地内の屋外にある多数羽飼育用の金属製ケージ（以下、屋外ケージ；195 × 195 × 245 cm または 200 × 200 × 200 cm）で飼育し、不断給餌、不断給水で維持した。実験期間中は、屋内の実験室に設置したケージ（以下、屋内ケージ；615 × 420 × 605 mm）でヒヨドリを単独飼育した（図1）。使用した実験室内に窓はなく、室温は20℃で一定に保ち、照明環境は一般的な蛍光灯（100 W, 60 Lux）を用いて、明期12時間（8:00-20:00）、暗期12時間（20:00-8:00）の明暗周期に設定した。同実験室では最大4羽を同時に飼育した。その場合、4つの屋内ケージは2列2行に並べ、列の間には実験作業用の通路を設け、ケージの前面が通路側に向き合うように配置した。実験中の各個体は互いに姿や鳴き声を認知できる状態であったが、各個体間の社会的行動（他個体からの威嚇や鳴き交わし等）は観察されなかった。したがって、今回の行動実験においては他個体の存在による摂

食行動への影響は少なかったと思われる。実験環境に馴化させるために、実験を行う3-7日前に屋内ケージにヒヨドリを導入した。屋内ケージには、前方下段と後方上段の2本の止まり木を設置し、前方下段の止まり木の付近に白色の餌容器（145 × 85 × 65 mm）を設置した（図1）。実験終了後はヒヨドリを再び屋外ケージに戻した。

### 3. ヒヨドリによる果実選択実験

イチゴの選択実験は2010年4月から6月および2012年12月から2013年2月の間に、ブドウの選択実験は2010年8月から9月の間に行った。イチゴの選択実験には5羽、ブドウの選択実験に4羽のヒヨドリを供試した。

ケージ内の餌容器に各成熟段階、すなわち7または8段階の成熟度の果実を1つずつ同時に入れた。果皮の表面を定常的にヒヨドリに向けて提示できるように、果頂部から半分縦断し、その



切断面を下にして餌容器の底面に並べて置いた。各成熟段階の果実が入った餌容器をヒヨドリに1時間提示する試行を1日1回、9:00-15:00の間に行った。ヒヨドリが果実の成熟段階と餌容器内での配置を関連付けて学習する可能性を考慮し、果実の配置を1試行ごとにランダムに入れ替えた。ヒヨドリが果実を選択し摂食する様子をビデオカメラで撮影した。本実験では、提示された果実をヒヨドリが嘴でつついた時点で、ヒヨドリがその果実を選択したと判断した。実験終了後にビデオカメラで記録した映像を観察して、試行中にヒヨドリが選択した全ての果実の成熟段階および、その果実を選択するまでの時間を解析した。試行中にヒヨドリが選択しなかった果実については、その果実をヒヨドリが選択するまでの時間を、1試行の提示時間の1時間(3600秒)として解析した。

ヒヨドリによる果実選択実験では、各色LED(50φスクリーベースハロゲン型LEDランプ、株式会社アイエムテック、東京、日本)を餌容器内の果実に照射した。①通常飼育時に使用している一般的な蛍光灯(100W, 60Lux)を用いた対照区、②光波長630nmのLEDを用いた赤色区、③光波長590nmのLEDを用いた黄色区、④光波長525nmのLEDを用いた緑色区、⑤光波長470nmのLEDを用いた青色区の5つの照明条件の実験区を設定した。LEDは餌容器から約200mm離れた位置に設置し(図1)、LEDを照射する実験を行なう際には実験室内の蛍光灯を消灯した。ヒヨドリが連続した照明条件に順化する可能性を考慮し、各実験区を交互に試行した。各個体について①対照区の実験を6-7試行、②赤色区と⑤青色区の実験を交互に各色3-5試行、③黄色区と④緑色区の実験を交互に各色2-4試行実施した。

#### 4. 統計学的解析

ヒヨドリが最初に選択した果実の成熟段階について、実験区による違いをカイ二乗検定により評価した。カイ二乗検定を行う際に、各試行で選択された果実の成熟段階を未熟(イチゴではcolor.0-color.3、ブドウではcolor.0-color.2)、成熟段階(イチゴではcolor.4-color.5、ブドウではcolor.3-color.5)、過熟段階(イチゴではcolor.6-color.7、ブドウではcolor.6)の3段階に整理して解析した。果実を一つも選択しなかった試行はこの解析に含めなかった。

また、ヒヨドリが試行開始から最初に果実を選択するまでの時間と、各成熟段階の果実を選択するまでの時間について、実験区による違いを一元配置分散分析とTukeyの多重検定により検定した。P値が0.05未満を有意差ありとした。

## 結果

### 1. 果実表面の光反射率について

イチゴの果実表面は光反射率のピークを600-650nmの範囲内に持っており、約600nm以下の光反射率は成熟に伴って減少する傾向にあった(図2-A, B)。特に過熟段階のイチゴ(color.6-color.7)については、650nm付近の光反射率が約50%であるのに対し、300-550nmの光反射率は約5.0%であり、短波長領域の光をほとんど反射していなかった。図2-A, Bから、行動実験で用いた各色LEDの光波長における果実表面の反射率を抜粋し、イチゴの成熟段階別にまとめたものが図2-Cである。緑色および青色LEDの光波長において、イチゴの果実表面の光反射率は赤色および黄色LEDよりも低くなった。特に、緑色および青色LEDの光波長では、成熟-過熟段階のイチゴ(color.4-color.7)の光反射率が著しく低くなった。

ブドウの果実表面の光反射率は、イチゴと比較して全体的に低く、成熟に伴って減少する傾向にあった。最も未熟な段階であるcolor.0は550nm付近に約10%の光反射率のピークを持っており、他の成熟段階に比べて光反射率が高かった(図3-A)。未熟-成熟段階のブドウ(color.0-color.5)は、光反射率のピークを600-650nmの範囲に持っているが、成熟に伴ってその反射率は約7.0%以下に減少していた。過熟段階のブドウ(color.6)は光反射率のピークがなく、680nm以下の光波長の反射率が約5.0-6.0%と、ほとんどの光波長を吸収していた(図3-A, B)。イチゴと同様、図3-A, Bから、行動実験で用いた各色LEDの光波長におけるブドウの果実表面の反射率を抜粋し、成熟段階の別にまとめたものが図3-Cである。各色LEDの光波長におけるブドウの果実表面の反射率もイチゴと比較して低く、また各色LEDによる顕著な違いは確認できなかった。

### 2. 果実選択実験について

#### 2.1. イチゴの選択実験について

ヒヨドリにイチゴを提示した選択実験において、各実験区の試行の合計は、対照区34試行、赤色区19試行、黄色区16試行、緑色区15試行、青色区19試行であった。各実験区において、ヒヨドリが最初に選択したイチゴの成熟段階ごとに試行数を数えたところ表1のようになった。対照区の34試行中30試行において(88.2%)、ヒヨドリは過熟段階のイチゴであるcolor.6あるいはcolor.7を最初に選択した。各色LEDを照射した実験区では、color.6-color.7のイチゴを最初に選択した試行が、対照区と比較して少なかった。赤色区と青色区で19試行中8試行(42.1%)、

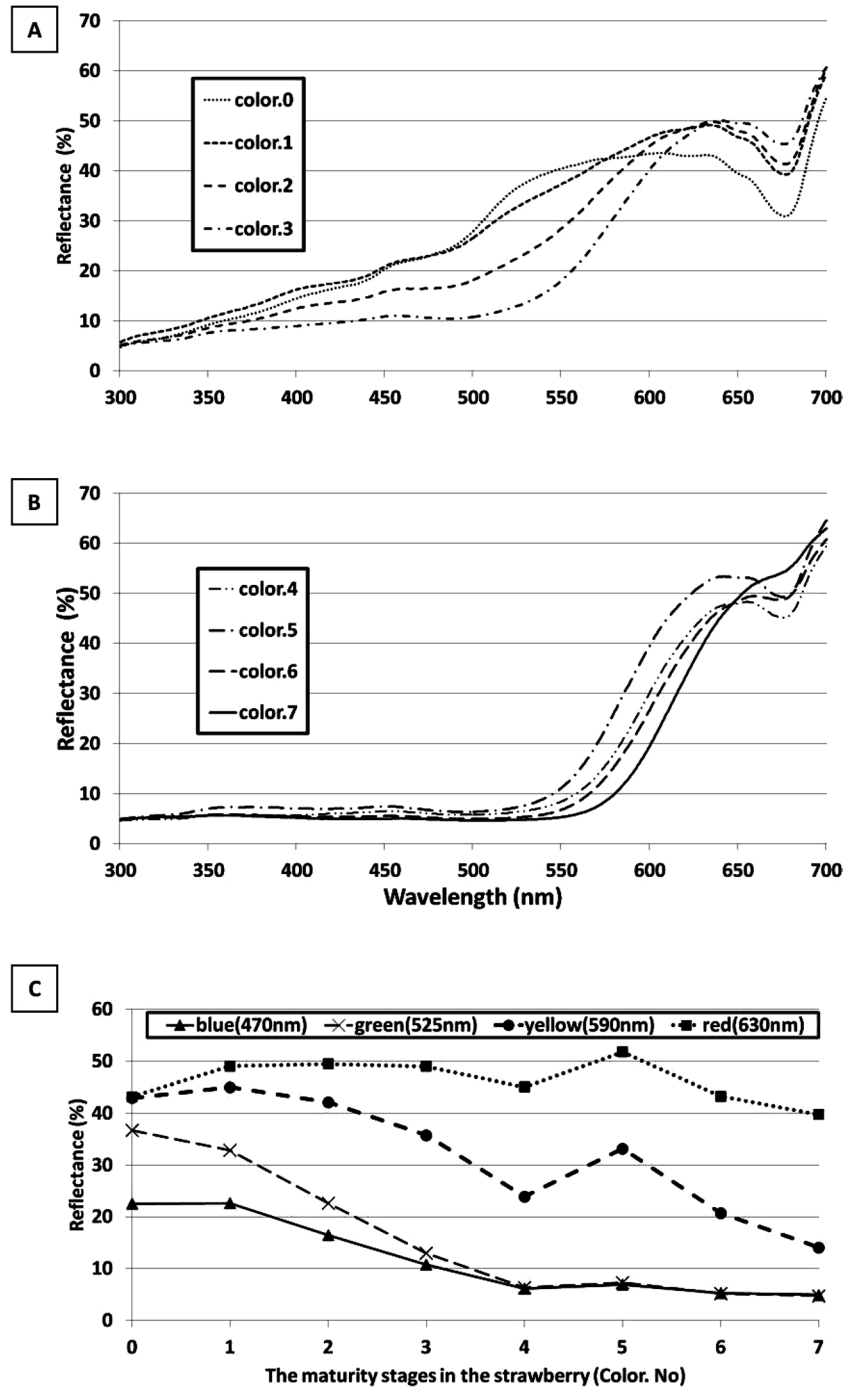


Fig.2. The light reflectance from the surface of the strawberry at different maturity stages (A, B). The light reflectance at four wavelengths, which were those in the LED we used in this study, were excerpted and compared among the maturity stages (C).

黄色区で 16 試行中 9 試行 (56.3%)、緑色区で 15 試行中 11 試行 (73.3%) であった。カイ二乗検定の結果、ヒヨドリが最初に選択したイチゴの成熟段階について、各実験区によって有意な違いがあった ( $\chi^2 = 18.4$ ,  $df = 8$ ,  $P = 0.019$ )。また、いずれの実験区においても、ヒヨドリは color.0-color.2 の未熟段階のイチゴを最初に選択しな

かった。さらに、提示されたイチゴをヒヨドリが一つも選択せずに終了した試行が赤色区の 1 個体で合計 2 試行、青色区の 3 個体で合計 4 試行観察された。

次に、試行開始から最初に果実を選択するまでの時間について、青色区では赤色区以外の実験区と比較して有意に長かった (図 4-A；一元配置分

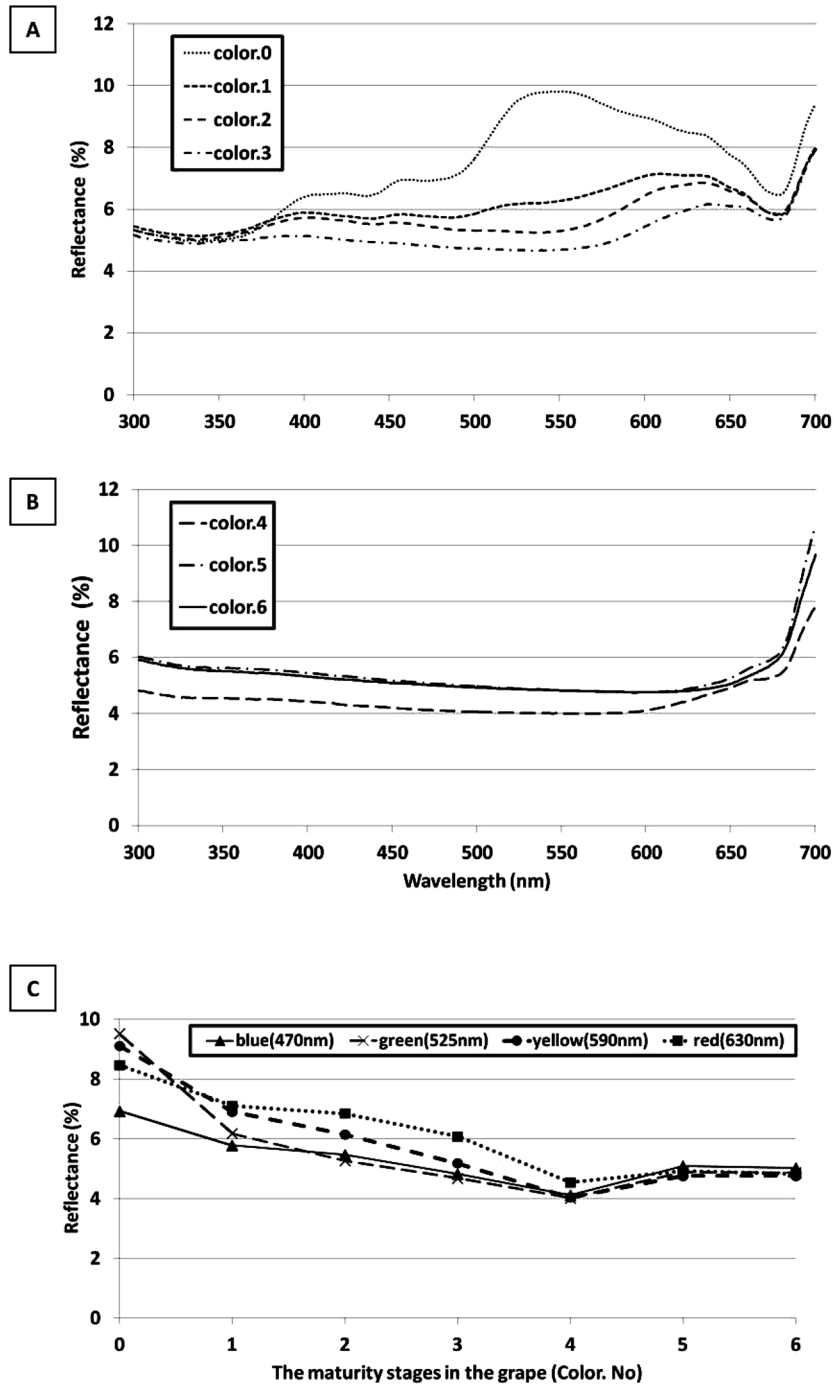


Fig.3. The light reflectance from the surface of the grape at different maturity stages (A, B). The light reflectance at four wavelengths, which were those in the LED we used in this study, were excerpted and compared among the maturity stages (C).

散分析  $P < 0.001$ ; Tukey の多重検定  $P < 0.05$ )。また、ヒヨドリが各成熟段階の果実を選択するまでの時間について、各実験区の平均値を図 4-B に示した。いずれの実験区の試行においても、イチゴの成熟段階が高いほど、ヒヨドリが果実を選択するまでの時間は短くなる傾向にあった。最も成熟している段階である color.7 のイチゴを選択

するまでの時間は、青色区で対照区及び緑色区よりも有意に長かった (図 4-B; 一元配置分散分析  $P < 0.001$ ; Tukey の多重検定  $P < 0.05$ )。ヒヨドリが color.0 のイチゴを選択するまでの時間について、黄色区の 1 個体 2 試行で一番未熟な段階の color.0 のイチゴが選択されたため、黄色区で他の実験区と比較して有意な差が生じた (図

Table.1. The frequencies of the first chosen maturity stages in strawberry under the various lighting condition.

Lighting condition	The maturity stages of the first chosen strawberry								No choice	Trial
	Color. No									
	7	6	5	4	3	2	1	0		
Control	21	9	3	0	1	0	0	0	0	34
Red	7	1	5	4	0	0	0	0	2	19
Yellow	4	5	5	0	2	0	0	0	0	16
Green	7	4	3	1	0	0	0	0	0	15
Blue	4	4	4	1	2	0	0	0	4	19

Each of the normal fluorescent light (control), LED in 630 nm (red), 590 nm (yellow), 525 nm (green) and 470 nm (blue) of wavelength, was lighted on. "No choice" represents the frequency of the trial that no strawberry was chosen by bulbuls.

Each data is represented as the total of five bulbuls.

There is a significant difference in the frequencies among the lighting conditions (Chi-square test,  $P = 0.019$ )

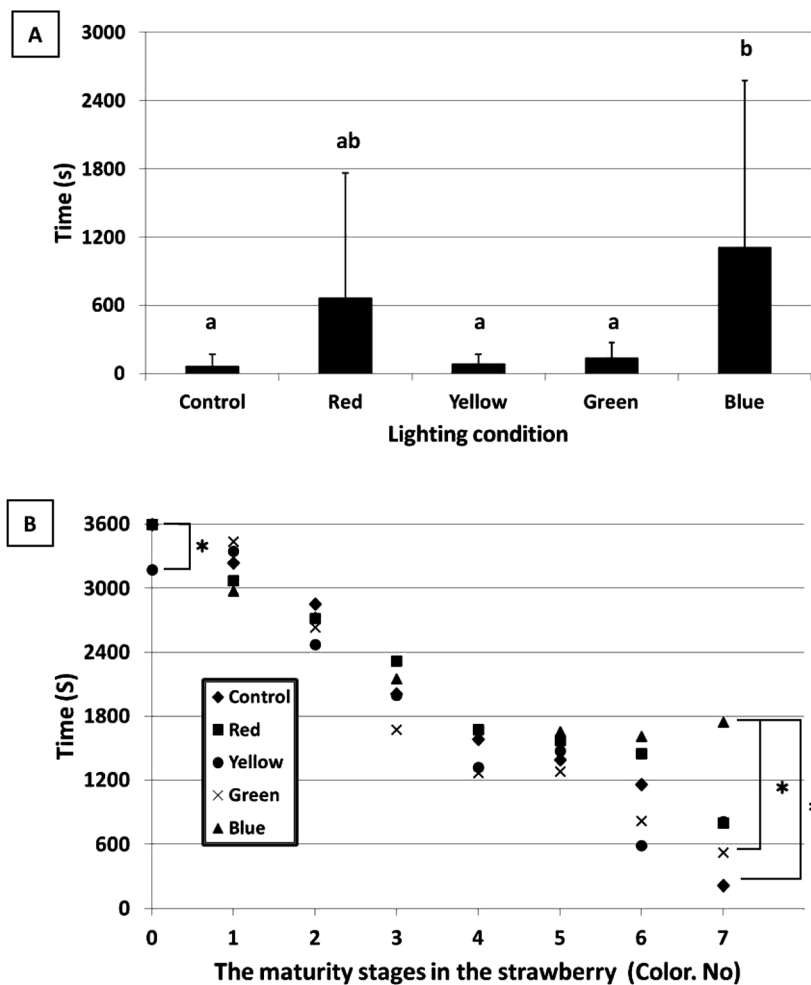


Fig.4. The latency from the trial starts to the first choice of the strawberry (A). Each data is represented as the average + SD of five bulbuls. The latency to choice of the strawberry at each maturity stages (B). Each of normal fluorescent light (control), LED of 630 nm (red), 590 nm (yellow), 520 nm (green), 470 nm (blue) of wavelength, was lighted on. Each data is represented as the average of five bulbuls. When a bird did not choose a strawberry, the latency was regarded as the same as the trial period (3600 sec).

a, b: having no same letter represents a significant differences among lighting condition (One-way analysis of variance:  $P < 0.001$ , Tukey's multiple test:  $P < 0.05$ )

\*: significant differences among lighting conditions within each maturity stages (One-way analysis of variance:  $P < 0.001$ , Tukey's multiple test:  $P < 0.05$ )

Table.2. The frequencies of the first chosen maturity stages in grape under the various lighting condition.

Lighting condition	The maturity stages of the first chosen grape							No choice	Trial
	Color. No								
	6	5	4	3	2	1	0		
Control	19	3	3	2	1	0	0	0	28
Red	5	5	3	1	0	0	0	0	14
Yellow	6	5	2	1	0	0	0	0	14
Green	5	2	5	2	0	0	0	0	14
Blue	8	1	4	1	0	0	0	0	14

Each of the normal fluorescent light (control), LED in 630 nm (red), 590 nm (yellow), 525 nm (green) and 470 nm (blue) of wavelength, was lighted on. "No choice" represents the frequency of the trial that no grape was chosen by bulbuls.

Each data is represented as the total of four bulbuls.

There is no significant difference in the frequencies among the lighting conditions (Chi-square test,  $P = 0.32$ ).

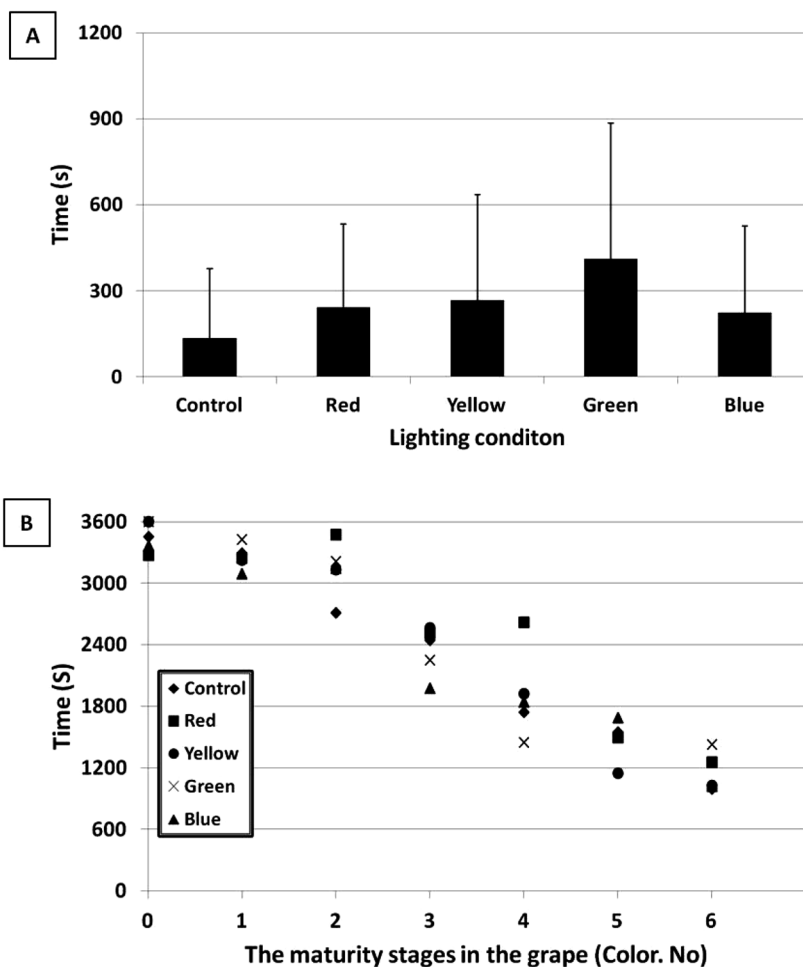


Fig.5. The latency from the trial starts to the first choice of the grape (A). Each data is represented as the average + SD of five bulbuls. The latency to choice of the grape at each maturity stages (B). Each of normal fluorescent light (control), LED of 630 nm (red), 590 nm (yellow), 520 nm (green), 470 nm (blue) of wavelength, was lighted on. Each data is represented as the average of four bulbuls. When a bird did not choose a grape, the latency was regarded as the same as the trial period (3600 sec).

There are no significant differences in these latency among lighting conditions (One-way analysis of variance:  $P > 0.05$ ).



4-B; 一元配置分散分析  $P < 0.001$ ; Tukey の多重検定  $P < 0.05$ )。しかし、ビデオによる観察から、当該の個体は color.0 のイチゴを嘴でつついた後、即時に摂食を中止していた。

## 2.2. ブドウの選択実験について

ヒヨドリにブドウを提示した選択実験において、各実験区の試行の合計は、対照区 28 試行、各色 LED を用いた実験区はそれぞれ 14 試行であった。各実験区において、ヒヨドリが試行開始から最初に選択したブドウの成熟段階ごとに試行数を数えたところ表 2 のようになった。ヒヨドリが最初に選択したブドウの成熟段階について実験区間の違いはなかった (カイ二乗検定、 $\chi^2 = 9.22$ ,  $df = 8$ ,  $P = 0.32$ )。また、ヒヨドリが最初にブドウを選択するまでの時間についても、各実験区による違いはなかった (図 5-A; 一元配置分散分析  $P > 0.05$ )。試行開始から各成熟段階のブドウを選択するまでの時間についても、各実験区で有意差はなかった (図 5-B; 一元配置分散分析  $P > 0.05$ )。しかし、いずれの実験区においても、ブドウの成熟段階が高いほど、ヒヨドリが果実を選択するまでの時間は短くなる傾向にあった。

## 考 察

本研究の行動実験の結果から、LED による各種光波長の照射は、ヒヨドリが最初に選択するイチゴの成熟段階や、イチゴを選択するまでの時間に影響を与えることが分かった。表 1 より、対照区ではヒヨドリは過熟段階である color.6-color.7 のイチゴと未熟-成熟段階である color.0-color.5 のイチゴをほぼ明確に判別していると思われる。一方 LED の照射の下では、対照区と比較して成熟段階のイチゴ (color.4-color.5) と過熟段階のイチゴ (color.6-color.7) の判別が困難になっていると考えられる。しかし、ヒヨドリは少なくとも未熟段階のイチゴ (color.0-color.3) と成熟-過熟段階のイチゴ (color.4-color.7) の判別は、LED の照射の下でも可能であるように思われる。

なお、赤色区において提示されたイチゴを一つも選択せずに終了した 2 試行 (表 1) および黄色区において color.0 のイチゴを選択した 2 試行 (図 4-B) は、同一個体内で観察されたことから、これらは特殊な例であり考察の対象には含めないこととした。また、本研究において青色区では、試行終了までに提示されたイチゴをヒヨドリが一つも選択しない試行が 4 試行観察された (表 1)。さらに、青色区におけるヒヨドリが試行開始からイチゴを選択するまでの時間は、他の実験区と比較して有意に長くなった (図 4-A)。これらのことから、イチゴへの青色 LED の照射は、ヒヨドリが成熟したイチゴを採食する行動に何らかの影

響を与えていることが考えられる。

図 2-C より、成熟に伴うイチゴの果実表面の光反射率の変化は、各色 LED の光波長により異なった。本研究で使用した青色 LED の光波長は 470 nm、緑色 LED は 525 nm であり、イチゴの果実表面は、成熟段階が高くなるにつれて波長 550 nm 以下の短波長領域の光をほとんど反射しないようになることが本研究の測定から分かった。したがって、この 2 色の LED を照射すると成熟したイチゴの果実表面からの反射が制限されると推察される。成熟したイチゴは相対的に長波長領域の光の反射率が増加するが (図 2-A、B)、青色 LED や緑色 LED の短波長領域の LED 照射の下では、イチゴが反射する長波長領域の光波長は存在しない。しかし、本研究の緑色区においてヒヨドリが成熟したイチゴに対する明確な摂食抑制は認められなかった。図 4-B より、ヒヨドリが最も成熟したイチゴ (color.7) を選択するまでの時間について、緑色区では対照区の次に短くなった。このことから、緑色 LED の照射に対してヒヨドリは何らかの適応性を持ち合わせていると考えられるが、本研究では明らかにできなかった。以上のことから本研究において、特に青色 LED の照射は、ヒヨドリがイチゴの成熟段階を判別し採食する行動を抑制する効果がある可能性が示唆された。

飼育下のイエスズメ (*Passer domesticus*) において、その食餌となる種子類 (キビ、オオムギ、ヒマワリなど) を無臭無害である染料で青色にコーティングすると、摂食量が減少することが分かっており、青色の食餌は鳥にとって採食抑制効果があると考察されている (Pawlina & Proulx, 1996)。このことは、人為的に食餌の色を青色にすることによって鳥の採食行動を抑制することが可能となった事例であり、本研究の結果の裏付けとなる。

青色の食餌に対する摂食の抑制は、鳥類の色覚において青色 (短波長領域の光波長) の感知が困難であることが原因とは考えにくい。ソウシチョウ (*Leiothrix lutea*) では、紫外線を含む短波長領域の光波長に対する感受性 (分光感度) がむしろ高いことが行動学的検討により知られている (Maier, 1992)。また、ハシブトガラス (*Corvus macrorhynchos*) による各色 LED の光を手がかりとした弁別学習において、青色を含む短波長の光 (465 nm 以下) を手がかりとして用いた場合は、より波長の長い光 (555 nm 以上) を用いた場合と比較して、学習成立までの時間が短いことが報告されている (塚原ら, 2012)。以上の先行研究に供試された鳥種はいずれもスズメ目であり、同目であるヒヨドリにおいても、青色 (短波長領域の光波長) に対する感受性は高い可能性がある。したがって本研究において、成熟したイチゴが短

波長領域（青色）の光のみを反射する状況において、ヒヨドリの採食行動の抑制が引き起こされるのは、ヒヨドリの青色に対する感受性が低いだけでなく、イチゴから発せられる色のシグナルがヒヨドリの摂食動機づけに影響を与えた結果ではないかと考えられる。

鳥による果実の選択行動は、成熟した栄養価の高い果実を、その果皮表面の色と関連付けた鳥の学習や経験に基づいていると考えられる。実際に、鳥類における食餌の色（紫外線反射も含む）の選好性は、学習経験の少ない幼鳥と学習経験が豊富な成鳥では異なることが明らかとなっている (Siitari *et al.*, 1999 Schmidt & Schaefer, 2004; Honkavaara *et al.*, 2004)。さらに、ある特定の色の食餌を数日間連続で給与し続けても、鳥がもつ食餌の色への選好性を、その特定の色に改めて移行させることは困難であることも報告されている (Willson & Comet, 1993; Puckey *et al.*, 1996)。これらのことから、採食シグナルとなる成熟果実の色への選好性は、鳥がそれまでに採食し続けてきた学習や経験に強く影響されることが示唆される (Svadova *et al.*, 2009, Larrinaga, 2011)。さらに、日本国内の果実食鳥に採食される野生の果実の色について、成熟した果実が青色である植物は少ない (Nakanishi, 1996; Fukui, 1995)。以上のことから、本研究のヒヨドリにおいても、捕獲される以前の野外で青色の成熟果実を採食するという学習や経験は多くなかったと予想される。また、青色 LED の照射の下では、摂食動機づけとなる成熟したイチゴの光波長の変化がヒヨドリのこれまでの経験とは異なることから、採食行動が抑制されたのではないかと考えられる。

一方、ブドウでは成熟段階が高くなるにつれて、その果実表面の光反射率は低くなり、color.4-color.6 では、測定範囲のほとんどの光波長を吸収していた (図 3)。さらに、本研究で用いた各色 LED の光波長における反射率を、成熟段階別に比較しても、各色 LED 間に顕著な差異は見られなかった。ヒヨドリの採食行動については、いずれの実験区においても過熟のブドウ (color.6) を最初に選択する傾向にあった。対照区と比較して、各色 LED の実験区では成熟段階のブドウ (color.3-color.5) を最初に選択する試行が観察されたが、実験区によってヒヨドリが成熟したブドウを選択し採食する行動に大きな変化はなかった (表 2)。

さらに、本研究においてイチゴの選択実験でみられた、青色 LED 照射時のヒヨドリによる採食行動の抑制は、ブドウの選択実験においては確認されなかった。イチゴの選択実験において、青色区では 1 時間の試行で全く採食しなかった個体が 3 個体、合計で 4 試行観察されたのに対して、ブドウでは、いずれの実験区において、果実が 1

度も採食されなかった試行はなかった。また、青色区における試行開始から最初に選択されるまでの時間は、対照区や他の色の LED を照射した実験区に比べて相違はなかった。これらの結果から、ブドウはイチゴよりもヒヨドリに採食されやすいシグナルを持った果実であり、それは各色 LED による照明条件には左右されない可能性が示唆された。

黒色の果実は背景の葉に紛れてあまり目立たないように見え、果実食性の鳥類を惹き付けるためのシグナルとしての働きは赤よりも少ないように思われる (Schaefer, 2011)。しかし、ウオガラス (*Corvus ossifragus*) に同じ大きさの赤色と黒色の人工の果実を与えた行動実験では、確かに赤色の果実は黒色よりも遠い距離からでも発見されやすいが、近い距離では黒色の果実の方が選択されやすいことが分かっている (Schaefer *et al.*, 2006, Schaefer, 2011)。また、赤色の果実は果実食性の鳥類が少ない森林の低層部に多く、色彩のコントラストを持つことで鳥に選択されやすいと考えられている一方で、黒色の果実は果実食性の鳥類が多く訪れる森林高層部に多く見られている (Nakanishi, 1996)。これらの知見から、黒色の果実は鳥にとって容易に発見できる状況であれば、赤色の果実よりも鳥に選択されやすい可能性がある。このことは本研究において、ヒヨドリにとって果実が容易に発見できる環境にあったため、ブドウではイチゴよりも選択実験での実験区による影響が少なくなったのではないかと考えられる。

また、黒色はいずれの波長の光もほとんど反射しない。ブドウでは成熟度の高い color.4-color.6 の果皮は黒く、実際に本実験で用いた LED のいずれの光波長においても、果皮の光反射率は 5% 程度であった。いずれの光波長の LED 照射条件下でも、特に color.4-color.6 のブドウはヒヨドリには黒に見えたため、実験区間で選択様式に違いがなかったものと考えられた。

ブドウについて、果皮の紫外線反射と鳥類の可視スペクトルに含まれる紫外線領域との関係性が論点の一つとなり得るが、本研究ではブドウ果皮の紫外線反射が目立った特徴が観察されなかったことと、紫外線領域を変化させる LED を使用しなかったことから考察対象には含めず、今後検討すべき課題の一つである。

以上より、少なくとも一部の果実においては、果実の色の認識を変化させることが可能となるような LED を照射することで、ヒヨドリが果実を採食する行動に影響を与えることが可能であることが示された。特にイチゴにおいて青色 LED の照射が、ヒヨドリによる果実採食を抑制することが期待できた。一方、ブドウのように、少なくとも本実験で用いた LED では、青色も含め、ヒヨドリの採食行動に影響がほとんどない果実が存在



することも分かった。すなわち、青色 LED の照射が果樹食害対策に有効であるかどうかは、果実の色に影響されると考えられる。今後は、様々な色の LED および果皮について検討し、さらに、ヒヨドリの色覚について基礎的な研究、および光照射を受けたことによる果実への影響についても調査する必要があるだろう。

### 謝 辞

本研究は科学研究費基盤 A (19208029) および、文部科学省特別教育経費「バイオオメーシング特別研究」の助成による。

本研究で使用したヒヨドリの捕獲の代行および飼育方法をご指導下さった、千葉県我孫子市の里山自然史研究会日本標識協会会員である内田聖氏ならびに内田優氏に深謝いたします。

### 引用文献

- Fukui AW. 1995. The role of brown-eared bulbul *Hypsipetes amaurotis* as seed dispersal agent. *Researches on Population Ecology*. 37: 211-218.
- 服部吉男. 1983. ナシの果実袋の色調と防鳥効果. *農業および園芸*. 58: 929-932.
- Honkavaara J, Koivula M, Korpimäki E, Siitari H, Viitala J. 2002. Ultraviolet vision and foraging in terrestrial vertebrates. *Oikos* 98: 504-510.
- Honkavaara J, Siitari H, Viitala J. 2004. Fruit colour preference of redwings (*Turdus iliacus*): Experiment with hand-raised juveniles and wild-caught adults. *Ethology*. 110: 445-457.
- Jones MP, Pierce, Jr KE, Word D. 2007. Avian vision: A review of form and function with special consideration to birds of prey. *Journal of Exotic Pet Medicine* 16: 69-87.
- 小南陽亮. 1993. *動物と植物の利用しあう関係* 初版 208-210, 平凡社. 東京. 鷺谷いずみ・大串隆之 編.
- Larrinaga AR. 2011. Inter-specific and intra-specific variability in fruit color preference in two species of *Turdus*. *Integrative Zoology*. 6: 244-258.
- Maier EJ. 1992. Spectral sensitivities including the ultraviolet of the passeriform bird *Leiothrix lutea*. *Journal of comparative Physiology A*. 170: 709-714.
- 中村和雄. 2001. *植物防疫講座 第3版 害虫・有害動物編*. p376-379, 社団法人 日本植物防疫協会, 東京. 岡田齊夫 編集委員長.
- Nakanishi H. 1996. Fruit color and fruit size of bird-disseminated plants in Japan. *Vegetatio*. 123: 207-218.
- 農林水産省生産局農産振興課環境保全型農業対策室. 2008. 野生鳥獣被害防止マニュアルー鳥類編ー平成 20 年 3 月版. 農林水産省, 東京; [2015 年 10 月 12 日引用].
- URL:[http://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/h\\_manual/h20\\_03a/index.html](http://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/h_manual/h20_03a/index.html)
- Osorio D, Vorobyev M. 2008. A review of the evolution of animal colour vision and visual communication signals. *Vision Research* 48: 2042-2051
- Pawlina IM, Proulx G. 1996. Study of house sparrow (*Passer domesticus*) feeding preference to natural color and guard coat blue coated seeds. *Crop Protection*. 15: 143-146.
- Puckey HL, Lill A, O'dowd DJ. 1996. Fruit color choice of captive silvereyes (*Zosterops lateralis*). *Condor*. 98: 780-790.
- Schaefer HM. 2011. Why fruits go to the dark side. *Acta Oecologica*. 37: 604-610
- Schaefer HM, Levey DJ, Schaefer V, Avery ML. 2006. The role of chromatic and achromatic signals for fruit detection by birds. *Behavioral Ecology* 17: 784-789
- Schmidt V, Schaefer HM. 2004. Unlearned preference for red may facilitate recognition of palatable food in young omnivorous bird. *Evolutionary Ecology Research*. 6:919-925.
- Siitari H, Honkavaara J, Viitala J. 1999. Ultraviolet reflection of berries attracts Foraging birds. A laboratory study with redwings (*Turdus iliacus*) and bilberries (*Vaccinium myrtillus*). *Proceedings of the Royal Society B*. 266:2125-2129.
- 杉田昭栄. 2007. 鳥類の視覚受容機構. *バイオメカニズム学会誌*, 31: 143-149.
- Svadova K, Exnerova A, Stys P, Landova E, Valenta J, Fucikova A, Socha R. 2009. Role of different colours of aposematic insects in learning, memory and generalization of naive bird predators. *Animal Behaviour*, 77: 327-336.
- 塚原直樹, 村田ひと美, 小池雄一郎, 青山真人, 杉田昭栄. 2012. ハシブトガラスにおける各種光波長に対する学習成立速度の検討. *Animal Behavior and Management*. 48:1-7.
- Vorobyev M, Osorio D, Bennett ATD, Marshall NJ, Cuthill IC. 1998. Tetrachromacy, oil droplets and bird plumage colours. *Journal of Comparative Physiology A*. 183:621-633.
- Wheelwright NT, Janson CH. 1985. Colors of fruit displays of bird-dispersed plants in two tropical forests. *American Naturalist*. 126:777-

- 799.
- Willson MF, Comet TA. 1993. Food choices by northwestern crows: Experiments with captive, free-ranging and hand-raised birds. *Condor*. 95:596-615.
- Willson MF, Thompson JN. 1982. Phenology and ecology of color in bird-dispersed fruits, or why some fruits are red when they are “green”. *Canadian Journal of Botany*. 60: 701-713.
- 吉永勝一. 2002. 果樹食害鳥獣の生態と対策 第6回 果樹におけるヒヨドリの食害と対策. *果実日本*. 57; 69-71.
- 吉澤透, 岡野俊行. 1993. *視覚の進化と脳*. 初版. p8-12. 朝倉書店. 東京. 三上章允 編.

# The effect of the application of the colored light emitting diodes on fruit-foraging behavior in brown-eared bulbuls (*Hypsipetes amaurotis*)

Nozomi TAKATSUTO<sup>1,2</sup>, Masato AOYAMA<sup>1,2</sup>, Shoei SUGITA<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu-Shi 183-8509, Japan

<sup>2</sup>Department of Animal Science, Utsunomiya University, Utsunomiya-Shi, 321-8505, Japan

\*Corresponding author. E-mail address: sugita@cc.utsunomiya-u.ac.jp

## Summary

We examined fruit-foraging behavior of brown-eared bulbuls in a cage at the laboratory under the various lighting condition so that our study will help to prevent the damage of fruit produce caused by fruit-eating birds such as bulbuls. We classified eight and seven maturity stages of strawberry and grapes, respectively, in reference to each fruit-color chart. We presented the captive bulbuls with the choice tests of each fruit types at different maturity stages and colored Light Emitting Diode (LED) (red 630 nm, yellow 590 nm, green 525 nm, blue 470 nm) was applied to examine the effects of difference lighting condition. Five bulbuls were used for the strawberry choice test. Under the normal fluorescent light (control session), bulbuls could choose strawberry preferentially in the order of more mature stage. However, when the colored LED was applied, the bulbuls could distinguish immaturity stages (color.0-3) of the strawberry, but not maturity (color.4-5) and post-maturity stages (color.6-7). Under the each color of the LED, the frequency of the post-maturity stage of strawberry that was first chosen by bulbuls was significantly lower than that in the control. Furthermore, significantly longer latency to choose strawberry at post-maturity stage was observed when the blue LED was applied compared to the control and the other colors. Four bulbuls were used for the grape choice test. Bulbuls could choose grapes preferentially in the order of more mature stage, and there were no significant difference in their eating behavior among the lighting condition. It was shown that we could affect the recognition of the maturity fruit through the color vision of the bulbul by irradiating fruit with the LED light of the specific color that could change a color of the fruit.

**Keywords:** Brown-eared bulbul, choice test, foraging behavior, fruit, Light Emitting Diode

Animal Behaviour and Management, 52 (2): 85-97, 2016  
(Received 13 July 2015; Accepted for publication 11 January 2016)