

‘タバスコ’ (*Capsicum frutescens* var. *tabasco*) の熟度、収穫時期による 機能性成分の評価

曾我綾香・吉田誠・真子正史¹⁾・渡邊慶一²⁾・高野克己¹⁾

Evaluation of Functional Constituents during Maturing Stage and Harvest Time of 'Tabasco' (*Capsicum frutescens* var. *tabasco*)

Ayaka SOGA, Makoto YOSHIDA, Masahumi MANAGO,
Keiichi WATANABE and Katsumi TAKANO

摘 要

トウガラシ‘タバスコ’の熟度、収穫時期別機能性成分含有量及び抗酸化活性の変動を調査し、その関係について検討した。その結果、カプサイノイドは未熟果に多く、また8月に多いが、9、10月の収穫では低下する傾向があった。β-カロテンは果実の成熟とともに増加したが、アスコルビン酸及びカプサイノイドは熟度とともに生育温度の影響が大きいと思われた。抗酸化活性は収穫時期が遅くなるにつれ低下する傾向だったが、各成分の変動ほど大きな差がみられず、果実の熟度、収穫時期によって抗酸化活性に寄与する成分が異なることが推察された。加工原料としての‘タバスコ’は、辛味の収穫時期による変動に留意する必要があるが、機能性の面では時期に関わらず均質であることから用途によって果実色と辛味を基準に収穫適期を決めるべきである。

キーワード：トウガラシ、タバスコ、抗酸化活性、機能性成分、熟度

Summary

We investigated the maturing stage and harvest time in relation to the functional component contents and the antioxidant activity of chilli pepper 'Tabasco' (*Capsicum frutescens* var. *tabasco*). Capsaicinoid concentrations were in immature fruits than mature fruits and in August than September and October. Carotenoid concentrations increased with maturing. It seemed that maturing stage and growth temperature influenced ascorbic acid and capsaicinoid concentrations. Antioxidant activity decreased at the late harvest. The constituent that contributes to antioxidant activity of 'Tabasco' were different in harvest time and maturing stage. It is necessary to determine the harvest time of 'Tabasco' based on the fruits color and pungency in terms of the processing purpose .

Key words : *Capsicum frutescens* var. *tabasco*, Tabasco, antioxidant activity, functional constituent, maturing stage

緒 言

トウガラシ (*Capsicum* sp.) はナス科に属する南米原産の植物で、果実の持つ特徴的な辛味により、香辛料として世界中で利用されている。辛味はカプサイシンをはじめとするカプサイシノイドによるもので、これらは香辛料として辛味の呈味のみならず、生体内で様々な生理作用をもたらすことが明らかにされている。

トウガラシから単離されたカプサイシン類は 20 種類あり、これらを総称してカプサイシノイドという。しかし、多くのトウガラシでその 80～90% を占めるのはカプサイシンやジヒドロカプサイシンである。化学構造はバニルルアミンと各種脂肪酸がアミド結合を形成しており、脂肪酸部分の鎖長など構造の違いによって辛味にも違いのあることが明らかにされてきた。生理機能としては、抗酸化能、脂質代謝促進、腫瘍細胞増殖抑制等が種々報告されている。

一方、辛味のない、甘味種トウガラシも存在し、これらはカプサイシノイドをほとんどまたは全く合成しないが、カプサイシンに類似した化合物カプシエイトをはじめとするカプシノイドが見いだされている。これらはカプサイシノイドと同様の生理機能が明らかにされつつある。また、トウガラシ果実に含まれる機能性成分にはカプサイシノイドの他、ポリフェノール、カロテノイド、アスコルビン酸等の抗酸化活性を有するものが挙げられる(岩井・渡邊 2000)。

当所では、地域特産物育成の一環としてトウガラシ類の品種適性試験などを行い、それを通じて食品企業と辛味ソースの開発を共同で行った。それには、辛味ソースの原料として キダチトウガラシ種の一つである‘タバスコ’ (*C. frutescens* var. *tabasco*) を用いる。‘タバスコ’の果実は長さ 3cm 程度の小型円錐形で、果肉は柔らかく多汁質である。果実色は初め薄緑～黄緑色をしており、果実肥大とともに退色し、次第に黄、橙、赤色へと着色が進む。開発した辛味ソースの原料として用いているのは赤く熟した果実であるが、その収穫期間は長い。そのため、その間に辛味が変化するとされてきた。

そこで本研究では、新規開発した辛味ソースの付加価値を高めるため、‘タバスコ’の機能性に着目した調査を行った。‘タバスコ’の収穫時期や果実の登熟ステージによる、カプサイシノイドをはじめとする抗酸化活性に関連する成分の変動について調査し、抗酸化活性との関係について検討した。さらに、‘タバスコ’のガン細胞増殖抑制効果について検討した。

材料及び方法

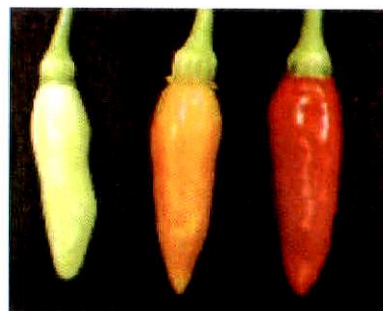
1. 供試材料は、当所で栽培した‘タバスコ’ (*C. frutescens* sp.) を用いた。2003 年 3 月 10 日に播種し、5 月 9 日に定植した植物体から開花後約 30～60 日の果実を、第 1 図のとおり果実色により熟度を 3 段階(緑：未熟果、橙：中間果、赤：完熟果)に分け、8 月 22 日、9 月 17 日、10 月 20 日にそれぞれ収穫した。収穫した果実は真空凍結乾燥後、種子を除いて粉碎し、分析に供した。

2. 分析評価方法

(1) カプサイシノイドは、試料を 80% エタノールで抽出し、高速液体クロマトグラフ(以下 HPLC)により分析した。HPLC 分析は、曹ら(1997)の方法を参考に ODS-2 カラム (phenomenex) を 40 °C に設定し、移動相はアセトニトリル：純水 (45：55 v/v, 0.05% リン酸) を液流速 1.0 mL・min⁻¹ で溶出し、吸光度 280 nm で検出した。

(2) アスコルビン酸は、試料を 5% メタリン酸液で抽出し、HPLC ポストカラム誘導体化法により分析した。HPLC 分析は、shim-pac SCR-101N (島津製作所) カラムを 40 °C に設定し、移動相には 1 mM エチレンジアミン四酢酸 2 ナトリウムを含む 10 mM シュウ酸ナトリウム緩衝液 (pH 3.8) を、反応液には 50 mM 水酸化ナトリウム溶液を用いて、液流速は移動相 1.0 mL・min⁻¹、反応液 0.5 mL・min⁻¹ で溶出し、300 nm の吸収で検出し、酸化型、還元型アスコルビン酸量を測定し、合計をアスコルビン酸量とした。

(3) β-カロテンは試料にクロロホルム：メタノール (2:1) 液を加えて一晩抽出し、遠心上清を減圧乾固後、ジエチルエーテルに移行してけん化処理を行い、溶媒を減圧乾固後、アセトンに溶解し、HPLC により分析した。HPLC 分析は、shim-pac CLC-ODS カラムを 35 °C に設定し、移動相はアセトニトリル：メタノール：水 (1:1, v/v) を液流速 1.0 mL・min⁻¹ で溶出し、吸光度 453 nm で検出した。



第 1 図 分析に供した果実

左から緑 (未熟果)、橙 (中間果)、赤 (完熟果)

(4) 抗酸化活性は、DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) ラジカル消去活性により表した。紫色を呈する DPPH 溶液は、ラジカル消去能のある化合物と反応すると紫色が退色する。この性質を利用して、様々な農産物のラジカル消去能（抗酸化活性）の測定に用いられている（木村ら 2002）。ここでは、新本（2005）の方法を参考に、試料を 80 %エタノールで抽出し、遠心分離後の上清を集め、残渣にさらに 80 %エタノールを加えて抽出を繰り返し、回収した遠心上清をメスアップして試料液とした。これを段階希釈して 96 穴マイクロプレートに分注した DPPH 溶液に添加し、20 分後の 520nm の吸光度を測定して、試料添加前の値との差を、標準物質として用いた Trolox 相当量として試料液の抗酸化活性を表した。

(5) ガン細胞増殖抑制能は、ヒト胃由来のガン細胞株 MKN28 に対する増殖抑制能により評価した（Morre ら 1995, 岩井・渡邊 2000）。MKN28 細胞を、L-グルタミン酸、炭酸水素ナトリウム、牛胎児血清アルブミン、ペニシリン、ストレプトマイシンを添加した RPMI1640 培地で 37℃、5% CO₂ の条件で培養し、週 1 回継代を行った。添加試料はカプサイシン標準品及び‘タバスコ’完熟果の凍結乾燥粉末を 80 %エタノールで抽出した減圧乾固物を細胞培地に溶解してカプサイシン終濃度を 0.001 ~ 0.1mg/ mL に調製した。増殖抑制試験は、MKN28 細胞を 6 穴プレートへ播き、濃度調整した試料をそれぞれ添加し、48 時間培養後の 600nm の吸光度を測定し生細胞数を求めた。

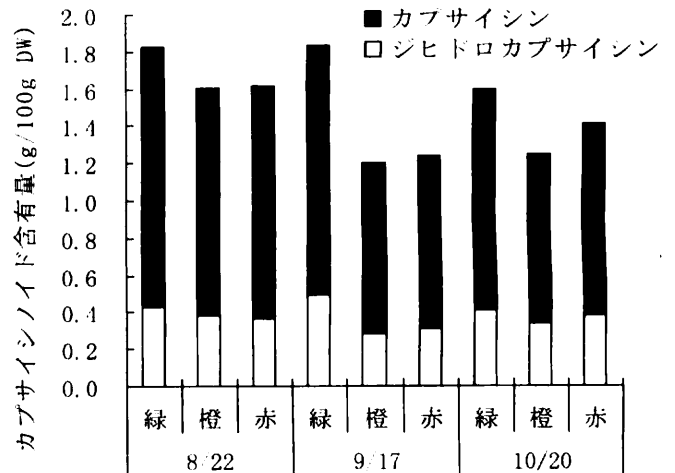
結 果

1. 内容成分含有量と組成

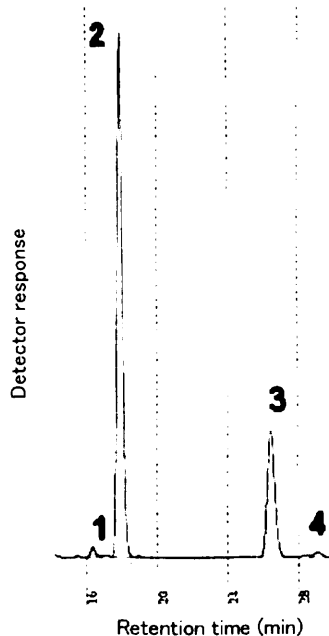
(1) カプサイシノイド

カプサイシノイドは、HPLC 分析により 4 つのピークが認められ、標準品との比較や曹ら（1997）から、それぞれ保持時間の短い順に、ノルジヒドロカプサイシン、カプサイシン、ジヒドロカプサイシン、バニリル-n-デカナミドと同定した（第 2 図）。「タバスコ」においては、カプサイシンとジヒドロカプサイシンが主要な成分で、存在比はほぼ 3 : 1 であった（第 3 図）。含有量は 2 成分の合計で、1.2 ~ 1.8g/100gDW であった。

収穫時期別にみると、これら成分の量は 8 月に比べ 9、10 月では低下する傾向がみられ、とくにその傾向が登熟の進んだ果実に著しかった。

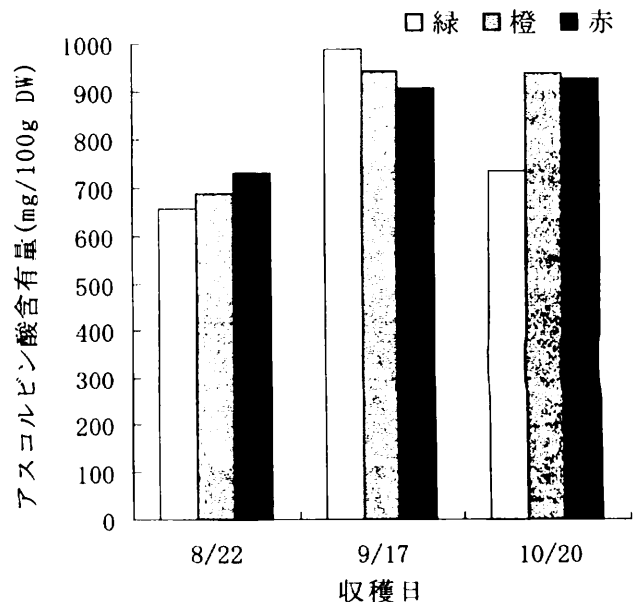


第3図 'タバスコ' のカプサイシノイド含有量の変化



第2図 'タバスコ' 果実カプサイシノイドのクロマトグラム

1: ノルジヒドロカプサイシン 2: カプサイシン
3: ジヒドロカプサイシン 4: バニリル-n-デカナミド



第4図 'タバスコ' のアスコルビン酸含有量の変化

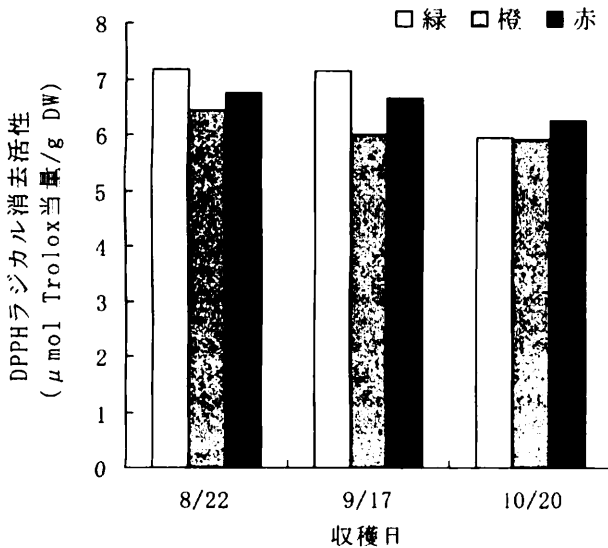
熟度別にみると、未熟な緑色果実が、調査期間を通じて登熟の進んだ果実よりも高い含有量を維持していた。一方、成熟が進んでいる中間果、完熟果の含有量は8月では未熟果にわずかに劣る程度だったが、9、10月では、著しく低下し、その傾向が中間果に著しかった。

(2) アスコルビン酸

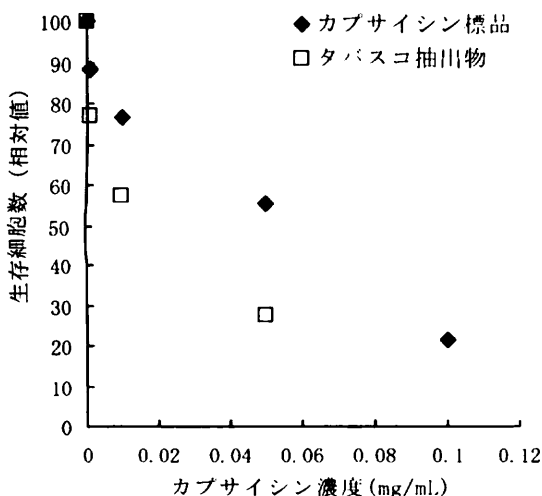
アスコルビン酸含量は、8月収穫分が650～730mg/100gDWで、9月は900～1000mg/100gDW、10月は730～940mg/100gDWで、8月分が全般に低かった(第4図)。熟度別にみると8月では登熟が進むとともに

第1表 ‘タバスコ’熟度別のβ-カロテン量(μg/g)

緑	0.5
橙	2.5
赤	27.6



第5図 ‘タバスコ’のDPPHラジカル消去活性の変化



第6図 MKN28細胞に対する増殖抑制効果
試料添加48時間後の生細胞数

に増加する傾向だったが、9月は逆に未熟果がやや高く、10月では未熟果が低く、中間果、完熟果は同程度と時期により登熟程度の影響が異なった。

(3) β-カロテン

トウガラシ果実の主要な色素はβ-カロテンやカプサンチン、カプソルビンなどである(岩井・渡邊 2000)。本研究ではβ-カロテンの含有量について調査した。β-カロテンは、収穫時期に関わらず、着色が進むにつれ増加し、未熟果で0.5μg/gから登熟するまでに50倍以上の27.6μg/gに増加した(第1表)。

2. 機能性評価

(1) 抗酸化活性

近年、食品の機能性の一つとして注目されている抗酸化活性について検討した。抗酸化活性の評価方法は種々提案されているが、ここではDPPHラジカル消去活性による評価を行った。抗酸化活性は、8、9月収穫の果実では熟度別の活性の強さはほぼ同じで未熟果で、7.2μmol Trolox/g DWと高く、次いで完熟果が6.7μmol Trolox/g DWと未熟果、完熟果、中間果の順であった(第5図)。中間果は8月収穫分から6.4、6.0、5.9μmol Trolox/g DWと未熟果、完熟果に比べ低かった。10月では完熟果が6.3μmol Trolox/g DWで最も高くなり、他の時期と傾向が異なった。全般に8、9月の方が10月収穫よりも活性が高い傾向にあり、いずれも収穫時期が遅くなると抗酸化活性が低下した。

(2) ガン細胞増殖抑制効果

トウガラシの辛味成分のみではなく、果実の含有成分全体の評価を目的に、‘タバスコ’の80%エタノール抽出物を用いて‘タバスコ’抽出物のヒト胃由来のガン細胞株MKN28に対する増殖抑制能を検討した。その結果、カプサイシン濃度依存的に細胞の増殖が抑制される傾向が認められた(第6図)。また、‘タバスコ’抽出物の方がカプサイシン濃度の等しい標品に比べ、細胞増殖を抑制しており、‘タバスコ’が有する高い機能性が明らかになった。

考 察

1. 果実の収穫時期・熟度による各種成分含有量の差異

トウガラシ果実中のカプサイシノイド含有量がいつ最大値に達するののかについては既報がある(岩井・渡邊 2000)。品種によって日数の違いはあるが、多くは開花後の早い時期から辛味成分の蓄積が始まり、登熟途中に最大値に達して、その後は減少に転じることが明らかにされている(南ら 1998, 岩井・渡邊 2000)。本研究にお

いても、カプサイシン、ジヒドロカプサイシンの含有量は、未熟な緑色の果実で多く、成熟が進んできた中間果、完熟果の含有量は、9、10月では、著しく低下した。これは気温の低下などの環境要因によって、カプサイシノイドの代謝が進んだためではないかと考えられた。

アスコルビン酸含量は、9月に最も多くなり、カプサイシンの含有量とは逆の傾向を示した。気温の変化などの環境要因による体内代謝経路の変化が影響した可能性が考えられる。

ピーマン果実中では植物体の生育段階が進むにつれアスコルビン酸含量が増加し、トウガラシ果実でも発育に伴い増加するという報告がある(嵯峨・佐藤 2003)。気温が高い8月は果実の成熟とともにアスコルビン酸含量が増加し、植物体の生育が進んだ9月は熟度によらず生成量が多く維持され、10月は気温の低下によって未熟果での生成が減少し、登熟の進んだ果実では9月中の生成、含有量が維持されたと考えられた。

トウガラシ果実は登熟とともにカロテノイドが増加することが知られている(Markusら 1999)。本研究ではβ-カロテンの含有量について調査したところ、未熟果と完熟果では50倍以上の増加が確認された。時期別には大きな違いはなかったが、今後は他のカロテノイドの消長も含めて検討する必要があると思われる。

2. 果実の収穫時期・熟度による抗酸化活性の差異と抗酸化成分との関係

抗酸化活性の評価を行ったところ、時期別では8月に比べ9、10月と低下し、登熟度別の活性の強さは未熟果、完熟果、中間果の順であった。

抗酸化活性に寄与する成分は、8月収穫の全ての果実と9月の未熟果ではカプサイシノイドの含有量の影響が大きい。一方、9月収穫の中間果、完熟果ではカプサイシノイド含有量が低下するが、抗酸化活性は低下しない。これはアスコルビン酸含量が増加するためと思われた。10月の未熟果の活性低下は、カプサイシノイド、アスコルビン酸含量の低下の影響が大きく、10月収穫の中間果、完熟果は9月と同様にカプサイシノイドとアスコルビン酸の影響で抗酸化活性を維持したと推察された。

中間果、完熟果ではカロテノイド含有量の増加が抗酸化活性の増大をもたらすと予測していたが、その傾向は確認されなかった。本研究で行った抗酸化活性測定の実験条件ではカロテノイドが抗酸化活性へ及ぼす影響を反映していない可能性があるため、今後、抽出方法などの検討が必要である。以上のように、カロテノイド含有量は熟度に影響されるが、カプサイシノイド及びアスコルビン

酸含量は熟度以外に気象の影響が大きいことが推察された。

3. ‘タバスコ’抽出物によるガン細胞増殖抑制

カプサイシンがヒト胃ガン細胞やその他ヒト由来のガン細胞等の培養細胞系で増殖を抑制することが既に明らかにされている(Morreら 1995, 岩井・渡邊 2000)。本研究では、トウガラシの辛味成分のみではなく、果実の含有成分全体の評価を目的に、‘タバスコ’の80%エタノール抽出物を用いた。その結果、カプサイシン標品のみよりも同じカプサイシン濃度の‘タバスコ’抽出物の方が高い増殖抑制効果を示したことから‘タバスコ’に含まれる他の成分もMKN28細胞増殖抑制効果に寄与している可能性が示唆された。野菜や果実によるガン予防の効果や作用機作は多数報告され、有効成分の解明も進められており、それらにはトウガラシにも含まれているカロテノイドやフラボノイド等も挙げられている。今回用いた‘タバスコ’においてもカプサイシンに加え、このような成分の効果があったものと考えられた。

4. 辛味ソース加工原料としての‘タバスコ’の品質

トウガラシ‘タバスコ’における登熟段階、収穫時期別に果実内容成分の調査と機能性評価の一環として抗酸化活性の測定を行った。その結果、果実熟度による変動及び収穫時期による変動がそれぞれ確認された。しかしながら、抗酸化活性については熟度、収穫時期別の差は小さかった。これは、カプサイシノイドの減少とアスコルビン酸の増加が結果的に抗酸化活性の変動を抑えたと考えられた。

辛味ソースへの加工を考えた場合、最も重要なのは辛味であり、これが収穫時期によって変化するのは留意すべき点である。辛味に着目すれば、できるだけ高温期に栽培することが適していると思われた。一方で機能性の面からみた場合は、抗酸化活性は10月以降低下するものの変動の幅が小さく、‘タバスコ’の収穫適期は長く、いつでも比較的均質な材料が入手できる。従って加工用途により、果実色と辛味を基準に収穫適期を決めることが重要である。

謝辞

本研究の実施にあたり、農業技術センター北宜裕博士には供試作物の栽培にご協力いただいた。また、本報告を作成するにあたり、東京農業大学農学部助教授馬場正博士、並びに農業技術センター藤原俊一郎博士にはご校閲の労をとっていただいた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

- 岩井和夫・渡邊達夫編. 2000. トウガラシ辛味の科学 p.11-18,p.21-24,75-76,181-188,205-208 幸書房. 東京.
- 曹萬鉉, 山本昌豊, 松原幸子, 村上賢治 1997. トウガラシの品種間雑種の果実の収量, アスコルビン酸およびカプサイシノイド含量. 園学雑. 65(4) : 713-722
- 南峰夫, 豊田美和子, 井上匡, 根本和洋, 氏原暉男 1998. トウガラシ (*Capsicum* spp.) 果実の辛味成分量の経時的変化. 信州大学農学部紀要. 35(1) : 45-49
- 嵯峨浩一, 佐藤玄. 2003. トウガラシ果実のフェノール, フラボノイドおよびカプサイシノイド含量の品種間差異. 園学雑. 72(4) : 335-341
- F.Markus, H.G.Daood, J.Kapitany, and P.A.Biacs 1999. Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper(Paprika) as a function of ripening and some technological factors. J.Agric.Food.Chem. 47,100-107.
- D.James Morre , Pin-Ju Chueh, and Dorothy M.Morre 1995. Capsaicin inhibits preferentially the NADH oxidase and growth of transformed cells in culture. Proc.Natl.Acad.Sci. USA. 92 : 1831-1835.
- 木村俊之, 山岸賢治, 鈴木雅博, 新本洋士 2002. 農産物のラジカル消去能の検索. 日食科工誌. 49 : 257-266.
- 新本洋士. 2005. DMSO 溶解試料の 96 穴プレートを用いた DPPH ラジカル消去能測定における留意点. 農及園. 80(4) : 489-490.