

気化潜熱を利用した培地冷却法による 高設栽培イチゴの中休み軽減技術

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 近畿中国四国農業研究センター
環境保全型野菜研究領域 山崎敬亮

1. はじめに

イチゴの高設栽培は、従来の地床栽培における作業姿勢の改善や作業効率の向上を目的として、ここ数十年ほどの間に実用化が進み普及してきた栽培法である。企業や各県の公設試験研究機関などから数十種類にも及ぶ多種多様な栽培方式が開発され、その普及率は、2004年には全作付面積の1割強程度となっている(Yoshida, 2007)。初期導入コストの面から飛躍的な普及には至っていないが、今後も新規就農者を中心に徐々に広まるものと考えられる。

一方で、高設栽培のみならず地床栽培も含めた促成イチゴで昨今問題となりつつあるのが、「気候の温暖化」による秋期の花芽分化の遅れである。特に高設栽培については、培地が地面から隔離され、培地温度が気温に影響されやすいため、温暖化の影響をより受けると考えられる。そこで本稿では、温暖化によるイチゴ高設栽培への影響について現状を踏まえて解説し、特に10～11月にかけて早期に出荷する作型に顕著に見られ、温暖化がその要因の一端と考えられる「収穫の中休み」への対策として研究・開発してきた気化潜熱を利用した簡易で低コストな培地の昇温抑制技術（培地冷却法）について紹介する。

2. イチゴ高設栽培における温暖化の影響

1) 気候温暖化がイチゴの生育に及ぼす影響

高設か地床かという栽培様式に関わらず、温暖化によるイチゴ生育への直接的な影響として第一に挙げられるのは、自然条件下での秋期の花芽分化時期の遅れである。従来、普通促成栽培ではクリスマスニーズに合わせて年内収穫が可能であったが、昨今の温暖化により、頂花房（第1花房）の花芽分化が遅れ、品種によっては収穫開始が年を越してしまうという現象が発生している（著者の聞き取りから）。

また、頂花房を短日夜冷処理などの花芽分化誘起処理により人為的に分化させ、早期に定植して10～11月の収穫・出荷を狙う早期出荷型の促成栽培においては、定植後の一次腋花房（第2花房）の分化が遅れ、頂花房と一次腋花房間の収穫が約2か月空いてしまう、いわゆる「収穫の中休み」が問題となっている。いずれの作型でも自然条件下での花芽分化の遅れが、収量の低下につながっており、生産者の所得減少に直結している。

この他にも奇形花（果）や小玉果の発生割合が増加すること、果実の食味や硬度の低下、間接的には病虫害の多発・大発生などが挙げられる。

2) 高設栽培は温暖化の影響を受けやすい

前述したように、高設栽培は幾通りもの方式がすでに実用化されている。それらは、栽培槽

に使用される資材と形状、培地に使用する資材やそれらの混合比率、肥培管理法などの違いにより分類されている（伏原，2004）。共通しているのは、培地が一株当たりおよそ2～6リットルと少量で、地面から隔離されているという点である。イチゴ高設栽培に特有のこの構造が、実は温暖化の影響を受けやすくする原因となっている。すなわち、培地が少量で地面から隔離されているため温度に対する緩衝能が小さく、培地温度が周囲の気温に影響されやすいということである。気候の温暖化が進行すれば、それだけでも花芽分化が遅れるが、高設栽培ではさらに培地温度が高くなることで、必然的に秋口に栄養成長から生殖成長へと移行しにくい環境が形成され、前述した温暖化による影響が顕著になると推測される。高設栽培が今後も普及する見込みがあることを考慮すると、温暖化に対する適応策を早急に講じなければならない状況にある。

3. 気化潜熱を利用した培地の昇温抑制技術

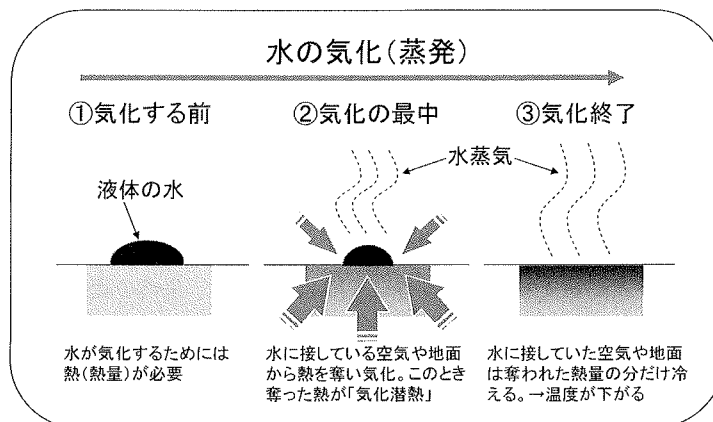
1) 気化潜熱の利用

イチゴ高設栽培における温暖化への適応技術の開発として、培地の昇温抑制方法について研究・開発を進めてきた。中山間地域での中小規

模経営にも導入可能であることを念頭に、低コストかつ簡易ということに重点を置き、自然発生的な熱量である「潜熱」に着目した。この潜熱は「気化潜熱」とも「気化熱」とも呼ばれている。具体的な冷却作用のメカニズムについて簡単に説明する（図－1，山崎，2007）。水が液体から気体へ状態変化（気化）するためには熱量が必要である。この気化に要する熱量が「気化潜熱」であり、その時の水温によりその熱量は異なる。この熱量は水が接している空間や面から供給されるため、熱量を奪われる空間や面は、奪われた熱量の分だけ温度が下がることになる。この原理を利用したものが、夏場に涼を得るために古くから行われてきた庭先への水撒き、「打ち水」である。

2) 高設栽培における培地の昇温抑制機構の概要

培地の昇温抑制に「打ち水」効果を取り入れ、試作した高設栽培装置の概要を図－2に示す。本研究では、愛媛県農林水産研究所で開発された簡易高設栽培システム（玉置・角田，2003）を参考にして高設栽培装置を試作している。不織布シート（ラプシート20507BKD，ユニチカ株式会社）をハンモック状に吊って栽培槽を形成するタイプであり、この資材と構造が気化潜熱



図－1 「打ち水」効果（気化潜熱）による地面等の冷却のしくみ(山崎，2007)

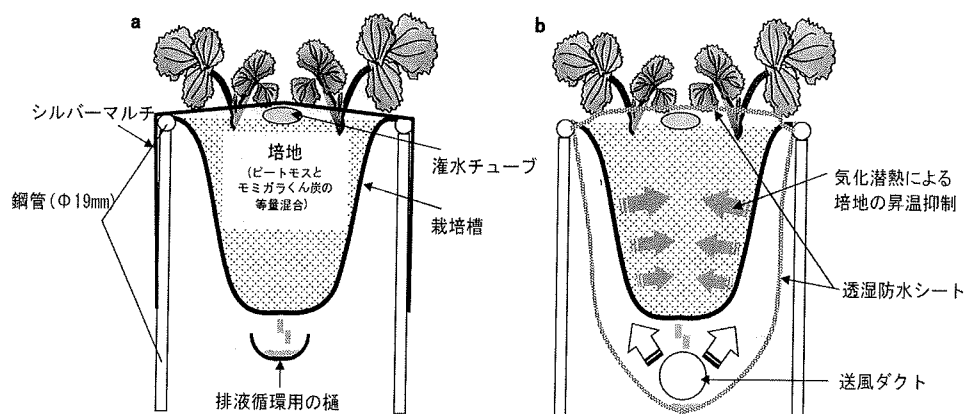


図-2 愛媛農試方式の高設栽培装置(a)と培地昇温抑制機構を組み込んだ高設栽培装置の概要(b)

を利用して培地の冷却を行う際に重要である。また、初期の設置・導入コストが比較的安価で、中山間地域の中小規模産地に対応できること、環境に配慮して排水循環型になっていることもこの方式の利点である。

具体的な昇温抑制機構の仕組みは、不織布シートからしみ出すかん水の余剰水を送風により強制的に気化させ、気化潜熱により不織布表面の温度を低下させて間接的に培地の温度上昇を抑えるというものである。気化潜熱を利用した培地の冷却

はTakaichi et al. (2001) やIkeda et al. (2006, 2007) によって報告されているが、本方法では、より簡易な強制気化機構を、より実用向きの高設栽培装置に組み込み、昇温抑制効率を高める工夫をしている(山崎ら, 特願2008-327663)。一つに透湿防水シート(デュボンTMタイベック農業用マルチシート700AG, デュボン社)を栽培槽の外側に一卷きし、このシート自体をダクトに見立てて装置の一端から風を送り、不織布への送風を均一化、効率化している。またこのシートには

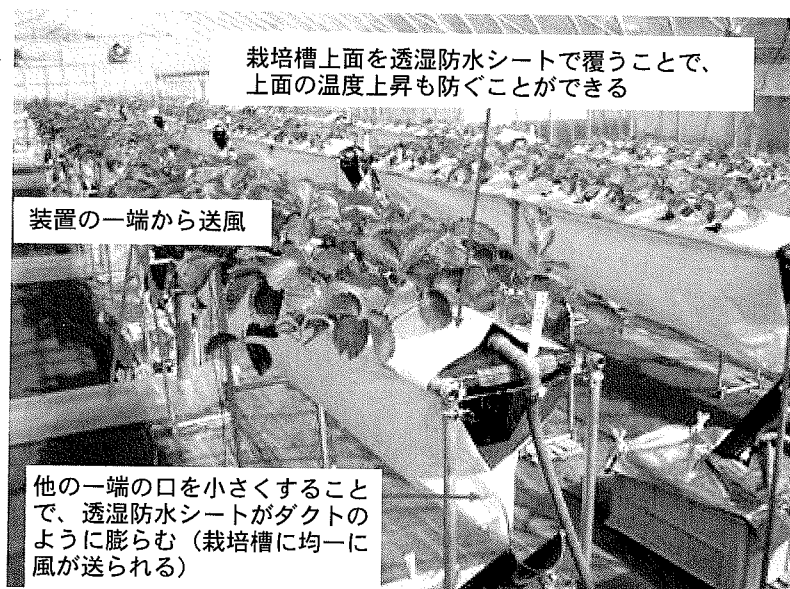


図-3 培地冷却機構を組み込んだ高設栽培装置と透湿防水シートの活用方法

透湿性があるため、湿った空気を絶えず外気と交換し気化を停滞させないようにしている。シートの持つ防水性から、排液を回収するための「樋」の役割も果たしている（図－2）。さらに、定植に先立って栽培槽上面を透湿防水シートでマルチングすることにより、その遮光性と遮熱性から、高温期の定植でも培地表面の高温化を抑制できる（図－3）。

3) 昇温抑制機構の性能

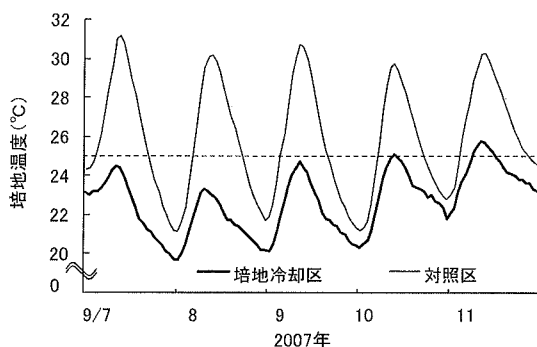
昇温抑制機構を組み込んだ高設栽培装置（培地冷却区）と機構なしの高設栽培装置（対照区）の培地温度を比較したところ、定植後の高温期に当たる8月末から9月10日前後までの各培地温度では、日中から夜間にかけては培地冷却区で低く、特に高温年であった2007年は、対照区では培地の最高温度が30℃を超えるような日でも、培地冷却区では25℃前後に抑えることができていた（図－4）。最大で7℃程度培地温度を低くすることができ、平均では5℃ほど培地温度を低下させることができた（図－4）（山崎ら，2008；Yamazaki et al., 2009）。イチゴは、18～23℃の根圏温度が根の生育に好適条件と報告されている（宇田川ら，1990）が、培地冷却区

では、この範囲に近い温度に培地温度を抑えることができた。また、培地温度が25℃を超えると根の生育阻害が増大するとされており、気化潜熱を利用した培地昇温抑制法により根の生育にとっても、比較的良好な条件を整えることができる。

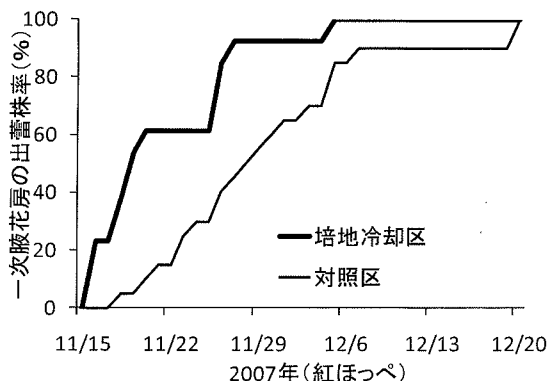
4) 連続出蕾性の向上と年内収量増加

2007年に‘紅ほっぺ’を供試品種として、高設栽培装置に8月下旬に定植し、定植直後から50日間程度、培地の昇温抑制機構を1日12時間作動させた。

人為的に花芽誘導した頂花房の出蕾日には、培地冷却区と対照区との間で差はなかったが、定植後に花芽分化した一次腋花房については、培地冷却区の出蕾日が、対照区より平均で10日早かった（図－5）。また出蕾の斉一性や出蕾株率の推移を比較すると、培地冷却区では、20日程度で全株が出蕾したが、対照区では35日間を要し、ばらつきの大きさが目立った。このような出蕾の斉一性の差は、一次側枝茎頂が花芽を分化させるのに先立つ時期の培地温度の差によるものと考えられ、特に対照区は、日最高温度が高くさらに最高温度を迎えるのが遅く、夜間



図－4 開発した培地の昇温抑制機構(培地冷却法)による培地の昇温抑制程度の推移



図－5 培地冷却が一次腋花房の出蕾株率の推移に及ぼす影響

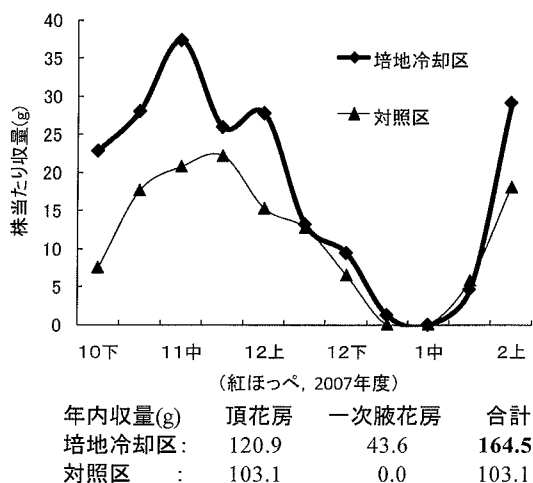


図-6 培地冷却が年内収量に及ぼす影響

も培地温度が下がりにくいことが出蕾の不斉一性に影響していると考えられる。

収量に関する結果では、年内に一次腋花房の収穫を開始できる個体も見られ、それにより年内収量が対照区に対して約1.5倍となった(図-6)。

このように、簡易な装置を組み込み培地の温度上昇を抑制することで、花芽分化・出蕾が早まるだけでなく、出蕾の斉一性も高まる可能性があり、収穫の中休みを軽減して単価の高い年内収量の増加につながるなどの結果が得られている。

4. 本方法の使用上の目安と留意点および問題点

本方法は、不織布等の透水性シートを栽培槽に採用している高設栽培方式に対して比較的容易に応用可能である。排液を回収して循環させるために高設栽培装置自体または透湿防水シートに傾斜がついている。送風は、定植時からハウス内の1日の平均気温が20℃以下となる頃(10月中旬頃)までを目安として、1日12時間程度作動させる。送り出す風の風速の目安として、栽培装置の入り口付近で2~3m/s、出口で

も1m/sあれば十分に昇温抑制効果が得られる。本方法を、栽培槽が透水性シートで形成されている高設栽培方式へ導入する場合、10a当たりの設置コストは透湿防水シート代の15万円程度であり、本装置を50日間(1日12時間)作動させた場合の電気代は約3万円である。(ただし、送風には既設の暖房機の送風機能を利用した場合を想定)。透湿防水シートは、耐水性の低下などから3年での交換を目安とする。また送風期間中のかん水量は、不織布表面からの気化による蒸発量が多くなるため、送風しない場合に比べ最大で1.5倍程度となることがある。培地の昇温抑制により一次腋花房の出蕾が早まり収穫の中休みが軽減できる効果については、‘紅ほっぺ’と‘さちのか’で確認している。

課題として残されている問題点として、暖房機の送風機能程度では栽培装置が20m以上になると、装置末端付近での風速が弱まると同時に、順々に湿った空気を送り出すため徐々に気化量が減少し昇温抑制効果が低下する点である。この対策としては、装置の途中で透湿防水シートに別の送風口を設けて新たに送風することが考えられる。または、直進性の高い風を送り出すことが可能な循環扇などを別途用いることも、場合によっては考慮する必要がある。気化潜熱を利用した培地の昇温抑制法は、厳密な温度制御が不可能であり、周囲の気温や湿度によっては期待通りの培地の昇温抑制が得られない場合がある。これにより培地温度によっては、一次腋花房の分化・出蕾が揃わない場合も想定される。

5. 連続出蕾性を向上させる培地温度

これまで述べてきた気化潜熱を利用した培地の昇温抑制法は、とにかく低コストに培地の昇

温抑制をすることで、花芽分化を誘導しやすい環境・条件を整えることが目的であった。そのため、一体何度まで培地温度を下げる、または保つのがイチゴの栽培上最も有利であるかは明確にされていない。イチゴの栽培上最も有利と考えられるのは、連続出蕾性（花芽分化の連続性）が高く、収量性も良い場合である。

そこで、まず連続出蕾性が高まる培地温度を検討する試験を行った。‘章姫’、‘とちおとめ’、‘紅ほっぺ’、‘さちのか’を材料として、短日夜冷処理により頂花房を分化させた苗を、地下部だけ温度制御できる装置に定植し、培地の一日の平均温度が17、20、23℃となるよう制御して40日間処理した。その結果、頂花房の平均出蕾日は、いずれの品種においても頂花房分化後（移植後）の培地温度が低いほど遅くなる傾向があった（表－1）。より低温条件で出蕾が遅れるのは、株の生育全体が地下部温度を制御していない対照区などの高温区に比べて停滞したことが主因と考えられる。一次腋花房の平均出蕾日は、反対にいずれの品種でも対照区で遅れが大きかった。‘章姫’では20℃区が他区より7日以上早く、‘とちおとめ’および‘さちのか’では20℃および23℃区が他区より3～8日早く、‘紅ほっぺ’は17～23℃区間に差がなかった（表－1）。対照区での出蕾の遅れは、すなわち「収

穫の中休み」につながる連続出蕾性の低下を示しており、いずれの品種でも培地温度が平均23℃から25℃の2℃程度の間に、連続性が大きく低下する境界が存在することが明らかとなった。また、培地温度を平均23℃までに40日程度制御することで、確実に一次腋花房の分化・出蕾が早まることがわかった。

一方、17～23℃区までの間に一次腋花房の出蕾に対する品種間の感温性の違いが見られた。一次腋花房の出蕾株率の推移を示した図－7から、‘章姫’は培地温度が平均20℃前後で連続出蕾性が高く、23℃と17℃では、17℃の方が高い傾向があった（図－7a）。‘とちおとめ’では、培地温度が20～23℃前後のときに連続出蕾性が高く、17℃では劣った（図－7b）。‘さちのか’も‘とちおとめ’と同じ傾向であった。これは頂花房の出蕾日の結果と同様で、17℃区において一次腋花房が早期に分化していたとしても、生育の鈍化により出蕾までに時間を要したと考えられる。‘紅ほっぺ’では、17～23℃という温度帯において、一次腋花房の出蕾に外見上大きな影響はなかった。曾根ら（2007）は、主要な一季成り性品種を用いて定植後のクラウン部の温度調節から、20℃程度が連続出蕾性を高めると報告している。本実験の結果から、いずれの品種でも20～23℃の間に連続出蕾性が高まる

表－1 イチゴ4品種における頂花房分化後の培地温度が頂花房および一次腋花房の出蕾日に与える影響

設定	実測 (平均)	章姫		とちおとめ		紅ほっぺ		さちのか	
		頂花房	一次腋花房	頂花房	一次腋花房	頂花房	一次腋花房	頂花房	一次腋花房
17℃	17.6℃	9/25	10/24	10/4	10/28	9/26	10/9	10/1	10/21
20℃	20.2℃	9/24	10/17	9/27	10/20	9/25	10/10	9/26	10/18
23℃	22.7℃	9/21	10/26	9/25	10/20	9/23	10/9	9/26	10/18
対照区	25.4℃	9/21	11/8	9/23	11/3	9/22	10/23	9/24	11/12

*各区7個体の平均値

*培地の温度制御期間: 8/19～9/27(40日)

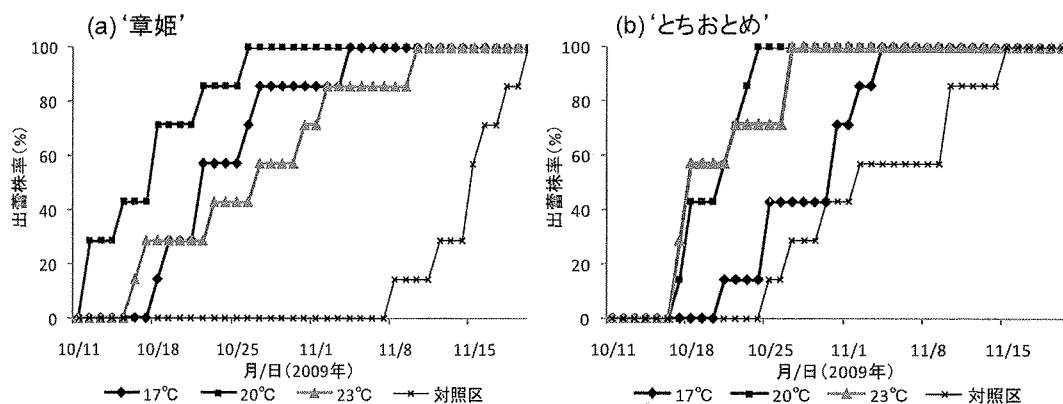


図-7 培地温度が一次腋花房の出蕾株率に及ぼす影響

培地の温度帯が存在することが推測されるため、培地温度、すなわち根などの地下部とクラウン部の温度感応性は同様であると考えられる。

以上の結果から、連続出蕾性を高く保つ培地温度は、品種間差異が存在するが、20℃～23℃程度までと考えられる。現在、開発中の気化潜熱を利用した培地の昇温抑制法では、定植後の残暑期に培地温度を平均23℃程度に抑えるまでは至っていないため、それを目標に今後も研究を進める予定である。

引用文献

- 伏原 肇 (2004) イチゴの高設栽培－栽培のポイントと安定化の課題－ 農文協 p117.
- Ikeda, T., H. Kumakura, H. Hamamoto and T. Fujiwara 2006. Using latent heat of cool the culture medium for high-bench strawberry culture. *Acta Hort.* 708: 393-396.
- Ikeda, T., K. Yamazaki, H. Kumakura and H. Hamamoto 2007. Effects of cooling of medium on fruit set in high-bench strawberry culture. *HortScience* 42: 88-90.
- 曾根一純・門間勇太・壇 和弘・沖村 誠・北谷 恵美 2007. イチゴ促成栽培におけるクラウン部局冷却処理が連続出蕾性に及ぼす効果. 園学研. 6 (別2) : 162.
- Takaichi, M., K. Tanaka and N. Nakashima 2001. A simple method for cooling down the soil in bench culture of strawberry. FFTC leaflet for agriculture 2-3.
- 玉置 学・角田和利 2003. イチゴのハンモック式簡易高設栽培システムの開発. 愛媛農試研報. 37 : 13-19.
- 宇田川雄二・青木宏史・伊東 正 1990. 養液栽培イチゴの生育および収量に及ぼす根温の影響. 千葉農試研報. 31 : 27-37.
- 山崎敬亮 2007. 気化潜熱を利用した培地冷却高設イチゴの連続出蕾性の向上. 今月の農業. 52 (1) : 46-52.
- 山崎敬亮・熊倉裕史・濱本 浩 2008. 促成イチゴの高設栽培における連続出蕾性に与える定植後の培地昇温抑制と施肥時期の効果. 近中四農研セ研報. 7 : 35-47.
- 山崎敬亮・熊倉裕史・浜本 浩・岩本辰弘 2008. 高設栽培装置と、高設栽培装置における透湿防水シートの施工方法. 特願 2008-327663.
- Yamazaki, K., H. Kumakura and H. Hamamoto 2009. Shortening of non-harvest period in

high bench strawberry forcing culture by a simple control method of medium temperature. Acta Hort. 842: 733-736.
Yoshida, Y. 2007. Current progress in

strawberry substrate culture in Japan. Booklet of international symposium on strawberry production and research in East Asia in 72th conference on JSHS. 19-22.

豊かな稔りに...



確かな技術で、ニッポンの米作りを応援します。



高葉齢のノビエにすぐれた効き目！
フルセットスルフロン



石原の新規水稻除草剤

スヶギチ 1キロ粒剤

フルチャージ 1キロ粒剤
ジャンボ

フルフォース 1キロ粒剤

フルイニング 1キロ粒剤

タイスドリル 1キロ粒剤

アンカマン DF

ハードパンチ DF

石原は「食の安全」を大切にします
農薬の行方、量、回数（使用回数）、
使用時期、使用回数を守りましょう
石原は「食の安全」を大切にします



石原産業株式会社
石原バイオサイエンス株式会社

〒112-0004 東京都文京区後楽1丁目4番14号

ホームページアドレス <http://www.iskweb.co.jp/ibj/>