

平成 22 年 5 月 21 日現在

研究種目： 基盤研究 (C)
 研究期間： 2007～2009
 課題番号： 19580011
 研究課題名 (和文) 高・低温下で登熟した水稲玄米における粒厚・粒重および品質低下要因の形態学的解明
 研究課題名 (英文) Morphological analysis on the decrease of thickness, weight and quality in rice grain under high/ low ripening temperature
 研究代表者
 新田 洋司 (NITTA YOUJI)
 茨城大学・農学部・教授
 研究者番号： 60228252

研究成果の概要 (和文)：

水稲玄米における粒厚・粒重と食味関連形質との関係を、登熟期の気温が異なる茨城県内産コシヒカリを用いて検討した。その結果、玄米の大きさと食味関連形質との関係は、栽培年次・条件等によって変動するが、粒重よりも粒厚の寄与率が大きいかを明らかにした。一方、世界と日本における米生産状況および作付けの多い品種の栽培面積の推移を概観し、走査電子顕微鏡観察により良食味米および低食味米の構造的特徴を明示した。そのほか、高温登熟条件下で多発する胴割れやアミロプラストの増殖異常、糯品種玄米の白色不透明化の原因などを走査電子顕微鏡観察によって形態学的に明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

Evaluation was conducted on relations between palatable characters and thickness and weight of brown rice using cv. Koshihikari produced in Ibaraki prefecture of whose ripening temperature is different among cultivation areas. As a result, relations between the size of brown rice and palatable characters were fluctuated by cultivation years and conditions. However, the effectiveness on these relations were larger by grain thickness rather than by grain weight. On the other hand, the changes of rice production and cultivation area in the world and/or Japan were overviewed. Typical feature of high or low palatable cooked rice were also characterized by scanning electron microscopic observations. Moreover, ultra-fine structures of cracked rice grain, abnormal proliferation of amyloplasts, and chalky structure of waxy rice grain were clarified.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・作物学・雑草学

キーワード：水稲、玄米、登熟、品質、胚乳

1. 研究開始当初の背景

近年におけるわが国の稲作は、収量よりも品質の向上が重要視されている。従来の伝統的なわが国の米需給事情とは異なる状況のなかで、申請者らは下記の3点を今後解決すべき重要な課題と考えている。

第1には、同じ品種でも栽培地域によって粒厚や粒重が大きく異なることである。例えば、同じ品種コシヒカリでも、東北地方では粒厚が厚く1.9mmで粒選される場合もあるが、茨城県南・西部などでは1.8mmにも満たないほど薄く、粒重も小さい。粒厚や粒重は品質ばかりではなく食味にも大きく影響

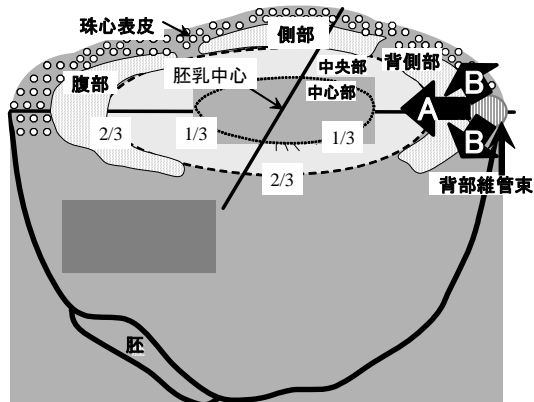


図1 水稻子房(玄米)の横断面。同化産物輸送は、登熟初期にはBルートが、中期以降はAルートがメインであるが、異常高・低温によっていずれも早期に失活する。

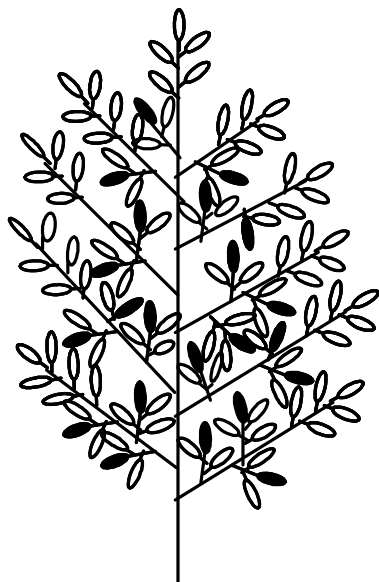


図2 水稻籾の粒厚や粒重は穂上位置によって大きく異なる。著者らは近年、2次枝梗の先端籾が1次枝梗籾と同等の登熟量を示すことを明らかにした(新田ら 2001)。

する(Matsue et al. 1994, 2001)。また近年は、夏の異常高温や低温などの登熟環境の変動によって、これらの形質が大きく変動している(平 1998, 寺島ら 2001)。

第2には、白色不透明部(乳白, 腹白, 心白など)を有する不完全登熟米が多発する問題である。これらの直接的な発生原因は、子房(玄米)の周囲全体を被い登熟初期の同化産物輸送を行う珠心表皮の早期退化(図1のBルートの失活)、子房の背部を走向する維管束や、登熟中期以降の同化産物輸送に寄与する(星川 1993)珠心突起の機能不全(図1のAルートの失活)(松田 2003)、デンプン合成酵素活性の失活(三ツ井・福山 2005)などと推定されている。これらはいずれも登熟期の異常な高温や低温が引き金となって起こる。

第3には、水稻の1穂内における籾(玄米)の不均一性の問題である(図2)。すなわち、粒厚や粒重が籾の穂上位置によって大きく異なることが指摘される(新田ら 2001)。もし仮に、粒厚や粒重が小さい穂の下部に着生する籾の登熟を向上させることができれば、玄米品質および収量の向上が期待される。

2. 研究の目的

本研究では以上の課題を複合的に検討する。本研究の目的と研究期間内に解明する内容は、以下のとおりである。

- 1) 粒厚および粒重の低下程度を高温・低温に分けて顕微鏡・電顕等を用いて形態学的に定量化すること。
- 2) 白色不透明部の発生と粒厚および粒重の低下との形態学的な関係を明確化すること。
- 3) 穂上位置が異なる籾の、食味関連形質を含む玄米の質的および登熟力の差異を、高温・低温との関係で形態学的に明らかにすること。

3. 研究の方法

(1) 茨城県産コシヒカリにおける粒重・粒厚と食味関連形質との関係

茨城県内各地で品種コシヒカリを化学肥料によって一般的に栽培している20の水田を対象とし、2005年に調査およびサンプリングを行った。対象20水田の所在地は、つくば市(3水田)、稲敷市(1)、阿見町(4)、水戸市(2)、那珂市(2)、常陸大宮市(3)、常陸太田市(2)、大子町(3)であった。これらの水田には、基肥に牛糞堆肥を用いた減農薬・減化学肥料実践水田は含まれているが、

有機栽培水田は含まれていない。育苗，移植，管理，収穫作業等は当該水田管理者の慣行法によった。随時，生育調査を行った。また，収穫後，管理者が通常行っている粒厚選別の基準（篩目の幅）よりも厚い粒厚の玄米を精玄米として，収量および収量構成要素を調査した。

穀粒判別器（サタケ社製，RGQI 10）で精玄米の大きさ等を調査した。玄米千粒重は，精玄米 1000 粒の重さを 5 反復で調査し平均を求めた。米麦水分計（Kett 社製，SP-1）で玄米の水分含有率を測定し，水分含有率を 15% 換算した値を玄米千粒重とした。その後，搗精歩留 90% に搗精（サタケ社製，クリーンワンパス CBS 300AS）したのち，米粒食味計（サタケ社製，RCTA 11A）で食味関連形質を 3 反復で調査した。

(2) わが国における米生産の動向と良食味炊飯米の微細構造

わが国および世界における米生産の動向、単位面積あたり籾収量、精米消費量、ならびに栽培品種の推移を文献等で調査した。

また、良食味米品種としてコシヒカリを、低食味米品種としてアキヒカリを選び、炊飯して、表面の微細構造を観察した。すなわち、まず、90% に搗精した精米 600g を 1 時間水に浸漬し、電気炊飯器（東芝社製、RCK-10KML）で炊飯した。米粒を急速凍結—真空凍結乾燥法（松田 2003）で処理後，表面および断面を金でコーティングして走査電子顕微鏡（日本電子社，JSM-6360A）で観察した。

4. 研究成果

(1) 茨城県産コシヒカリにおける粒重・粒厚と食味関連形質との関係

調査水田における篩目の幅は 1.8~1.9mm の範囲にあり，1.9mm を採用した水田が半分を占めた。また，不明であった 2 水田を除く水田で，運動で推進している 1.85mm よりも大きかった。収量は 330~617kg/10a の範囲にあった。

精米のタンパク質含有率（乾物重換算）は 5.3~7.4% の範囲にあった。平均は 6.4% であり，運動の目標値 6.5% 以下よりも低かった。また，運動の目標値を達成した試料は 20 のうち 12 であった。精米のアミロース含有率は 18.3~19.8% の範囲にあり，平均は 18.9% であった。

なお，精米食味値は 67~84point の範囲にあり，平均は 77point であった。玄米食味値は 72~91point の範囲にあり，平均は 82point で，運動の目標値 80point よりも高かった。運動の目標値以上の試料は 20 のうち 14 であった。

玄米千粒重と精米のタンパク質含有率，ア

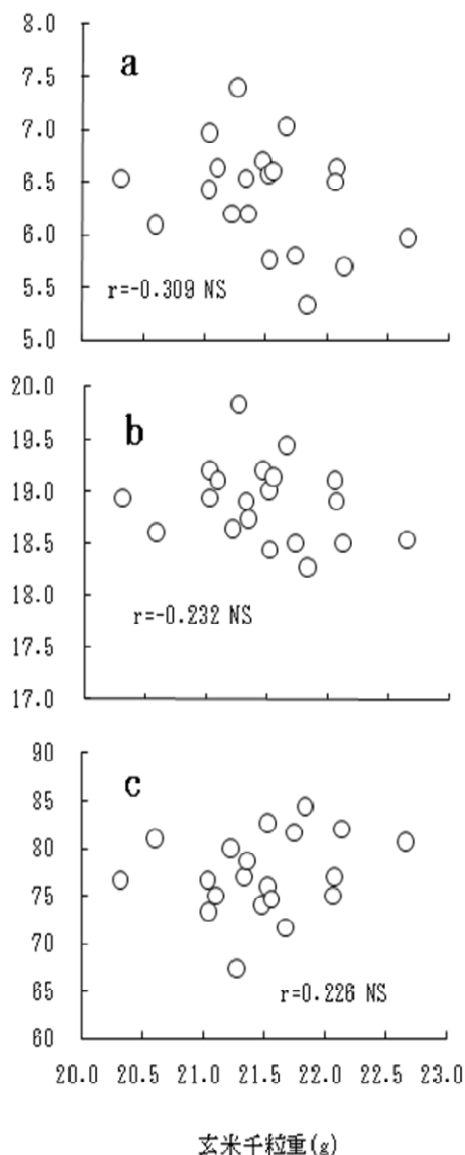


図3 玄米千粒重と食味関連形質との関係。
a: 精米のタンパク質含有率 (%), b: 精米のアミロース含有率 (%), c: 精米食味値 (point). NS: 有意性なし。

ミロース含有率，食味値との間には有意な相関関係は認められなかった（図3）。また，玄米の粒厚と精米のタンパク質含有率，アミロース含有率，食味値との間にも有意な相関関係は認められなかった（図4）。なお，図4中の点線で囲まれたプロットは，粒厚が集団から大きく外れているため今回は回帰分析に含めなかった。

玄米の千粒重と粒厚の間にも有意な相関関係は認められなかった。なお，図示はしなかったが，玄米の千粒重と粒幅の間および粒長との間には，それぞれ 0.1, 1% 水準で有意な正の相関関係が認められた。

以上より，本研究で用いた 2005 年茨城県産コシヒカリは，玄米千粒重，精米タンパク質含有率がおおむね運動目標値を上回った。

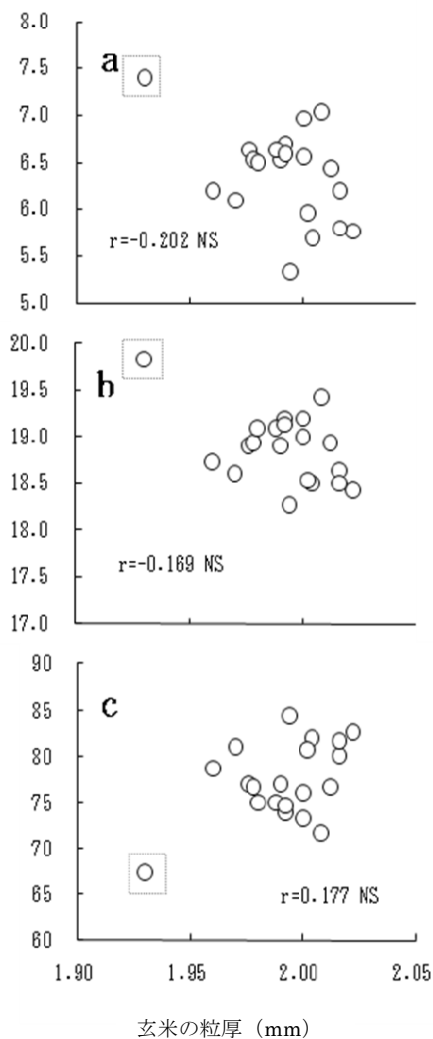


図4 玄米の粒厚と食味関連形質との関係。
 a: 精米のタンパク質含有率(%), b: 精米のアミロース含有率(%), c: 精米食味値(point). NS: 有意性なし. 点線で囲まれたプロットは回帰分析には含まれていない.

また、玄米の粒厚は比較的厚く、精米アミロース含有率も全体的に低かった。したがって、食味および食味関連形質は全体的に良好であると判断された。なお、参考として測定した精米食味値も、上述のように運動目標値よりも高かった。一方、玄米の千粒重または粒厚と精米のタンパク質含有率、アミロース含有率、食味値との間には有意な相関関係は認められなかった。

近年、運動などでは、高品質米の生産・出荷において玄米の粒厚を厚くする必要性が強調されており、粒厚と食味関連形質との関係を整理しておく必要があると考えられる。Matsueら(2001)は、玄米を粒厚別に分けて搗精し、食味関連形質と理化学的特性を調査した。その結果、粒厚の厚い玄米は官能検査による食味値が高いことを明らかにした。しかし、粒厚が2.0mmを越える玄米では官能検査による食味値は変わらないことも報告し

ている。本研究では食味の官能検査は実施しなかったが、米粒食味計で測定した食味値が玄米の粒厚との間に有意な相関関係が認められなかった結果は(図4c)、Matsueら(2001)の結果と一致するものと考えられる。一方、Matsueら(2001)は、2.0mmよりも薄い玄米では玄米が薄いほど官能検査による食味値が低く、1.9mmよりも薄い玄米では最低であることも示している。本研究でも今後、当該水田管理者の粒厚選別基準に満たない玄米も対象とした調査・検討を行う必要があると考えられる。

Matsueら(2001)は水稻3品種を用いた実験で、玄米の粒厚が薄いほど精米のタンパク質含有率は高く、アミロース含有率は低いことを報告している。また、これと同様の結果が、水稻3品種を同一条件および施肥量をかえた栽培においても報告されている(鎌田・松島1991, 1992)。しかし、本研究で用いた試料はこれらの報告(鎌田・松島1991, 1992, Matsueら2001)とは異なり、玄米の粒厚と精米のタンパク質含有率、アミロース含有率との間に有意な相関関係は認められなかった(図4a, b)。本研究では当該水田管理者の粒厚選別基準よりも厚い玄米を対象としたのに対して、Matsueら(2001)は粒厚が1.6mmから2.2mm以上の玄米を、鎌田・松島(1991, 1992)は粒厚が1.6mmから2.1または2.2mmまでの玄米を対象とした点で異なっている。したがって、本研究で用いたような、比較的粒厚が厚い玄米では、精米のタンパク質含有率やアミロース含有率が玄米の大きさに規定されない場合のあることが考えられる。

Matsueら(1994)および松江・尾形(1999b)は、穂上位置が異なる米粒の精米で、粗玄米千粒重とアミロース含有率との間に有意な正の相関関係が認められることを明らかにした。また、粗玄米千粒重が小さい米粒でアミロース含有率が低いのは、デンプンの蓄積量が少ないことによると考察した(松江・尾形1999b)。一方、粗玄米千粒重とタンパク質含有率との間の関係について、Matsueら(1994)および松江・尾形(1999a)は、穂上位置が異なる米粒の精米で、両者の間に有意な負の相関関係が認められることを明らかにした。しかしながら本研究では、玄米の粒重と精米のタンパク質含有率、アミロース含有率との間に、有意な相関関係は認められなかった(図3a, b)。

上述した従来の報告は、粒厚による選別を行っていない粗玄米千粒重と精米のアミロース含有率・タンパク質含有率との間の関係であった。しかし、本研究では、当該水田管理者の粒厚選別基準よりも厚い玄米を対象としており、粒厚が厚い試料を使った点で異なっている。したがって、千粒重の大・小と

アミロース含有率やタンパク質含有率との関係は、粒厚の違いによって一定にはならない可能性が考えられる。

アミロース含有率は、同じ品種を作期を異にして栽培した場合には登熟温度が支配要因となり、同一作期の場合には粗玄米千粒重が支配要因となることが報告されている(松江・尾形 1999b)。本実験の試料は栽培地が異なることから登熟温度および玄米千粒重が異なった。したがって、この両者がアミロース含有率に作用した可能性も考えられる。

(2) わが国における米生産の動向と良食味炊飯米の微細構造

イネは、生産量ばかりではなく栄養供給面からみても重要な穀物である。世界における籾生産量は、1960年代初めには2億2500万トンであったが、その後の40年間で3億5000万トン増加した(Lampe, 1994)。2000年の統計資料では、世界における稲作面積は1億5300万ha、単位面積あたりの平均籾収量は3.9トン/haであった(IRRI, 2005)。籾生産量が大幅に増加した理由として、(a)高収量性品種が開発されたこと、(b)病害虫に耐性を備えた品種が開発されたこと、(c)灌漑面積の増加、(d)化学肥料の施用量が増加したこと、(e)広域適応性品種が開発されたこと、が考えられる。

イネの栽培面積が世界の9割以上(Lampe, 1994)を占めるアジア諸国の籾収量の推移をみると、1960年代以降、日本、韓国、中国、トルコにおいて顕著な増加が認められる。しかしながら、インドネシア、バングラデシュなどの国々ではわずかな増加にとどまっている。

日本人の精米消費量は、1962年には1年間に118.3kgであったが、ここ40年間で大きく減少し、2003年にはわずかに61.9kgにすぎなかった。その一方で、日本では、良食味で高品質の米を好んで消費する傾向が強くなった。この傾向は1980年代以降顕著であり、一般には、柔らかく粘りのある米が好まれるようになった。

本研究では、米の食味および品質に関わる形質を、日本国内の種々の地域で生産された米を用いて調査した。従来、玄米の粒厚と千粒重は食味および品質に密接に関わることが知られており、なかでも、玄米の粒厚が厚く重ければ食味がよく品質がよいことが報告されていた(Matsueら, 1994)。また、米の理化学的特性については、タンパク質含有率やアミロース含有率が食味と密接に関連しており、これらの値が低い場合には食味がよいことが知られていた(Matsueら, 2001)。しかしながら、本研究では(1)で述べたように、これらの形質は食味とは関係がないこ

とを明らかにした。

一般に食味がよいとされる品種コシヒカリの炊飯米の表面および内部の微細構造を観察した。表面では、細い繊維状構造が発達しており、複数の繊維がからみ合ったメッシュ状構造も認められる。内部では、メッシュ状構造や多孔質構造が発達している。これらの構造は柔らかさや粘りを引き出すため、良食味炊飯米の構造的特徴と考えられる。一般に日本では、柔らかく粘りの強い米が好まれている。

一方、一般に食味がよくないとされる品種アキヒカリの炊飯米の表面は、溶岩が流れた表面のような、無構造で膜状の構造が認められるだけであり、細繊維状構造やメッシュ状構造は認められない。内部では、細胞壁がそのまま残ったような構造も認められ、多孔質構造はほとんど認められなかった。

本研究の結果、以下の諸点を明示することができた。

米の単位面積あたり収量および生産量は栽培国や地域によって大きく異なる。収量性が低い国や地域では、その人口や社会情勢に対応した栽培制御法の再検討が必要である。しかしながら、米生産にたいする考え方は国や地域によって異なっている。その典型例は日本である。日本では1980年代以降、米の消費量は減ってきたが、良食味・高品質米へのニーズは高くなった。しかし、良食味・高品質米の嗜好性は、品種ばかりではなく環境条件による影響を強く受け、気温、水供給量、登熟期間の強風雨などがそれを左右する大きな要因である。

本研究で走査電子顕微鏡を用いた微細構造観察を行った結果、良食味の炊飯米の表面では細繊維状構造やメッシュ状構造が認められ、内部ではメッシュ状構造や多孔質構造が発達していることを明確にした。今後は、環境条件の影響を強く受ける登熟機構について、さらに検討を進める必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

1. Nitta, Y. 2010. Japanese rice producers' shift from high yield to high palatability and quality -Characteristics of highly palatable rice-. Journal of Developments in Sustainable Agriculture 5: 96-100. 査読有。
2. 新田洋司・伊能康彦・松田智明・飯田幸彦・塚本心一郎 2008. 水稻玄米の粒重・

粒厚と食味関連形質との関係－2005年茨城県産コシヒカリの事例から－. 日本作物学会紀事 77 : 315-320. 査読有.

3. 小越美和・松田智明・荒川市郎・岩澤紀生・新田洋司 2008. 水稻糯品種の完全米と不完全登熟粒の胚乳構造. 日本作物学会東北支部会報 51 : 35-36. 査読有.
4. 大川峻・松田智明・新田洋司 2007. 新しい水稻良食味系統「北陸200号」の炊飯米における微細骨格構造の特徴. 日本作物学会東北支部会報 50 : 127-128. 査読有.
5. 山田恵子・岩澤紀生・松田智明・荒川市郎・新田洋司 2007. 胴割れを生じた玄米胚乳の構造的な特徴. 日本作物学会東北支部会報 50 : 125-126. 査読有.

[学会発表] (計 21 件)

1. 田村祐一・新田洋司・浅木直美・長谷川拓也・包智泉・松田智明 2010. 水稻におけるシンク・ソースの大きさの変化が穂上位置を異にする穎果の最終玄米重および籾殻重におよぼす影響. 日本作物学会紀事 79 (別 1) : 114-115. 日本作物学会第 229 回講演会, 2010年3月30日, 宇都宮大学.
2. 新田洋司・新慎実広・浅木直美・松田智明・伊藤常雄 2009. 2007年茨城県奥久慈産コシヒカリにおける食味関連形質と炊飯米の微細構造. 日本作物学会関東支部会報 24. 日本作物学会関東支部会, 2009年12月4日, 茨城県南生涯学習センター.
3. Nitta, Y. 2009. Japan rice producers' shift from high yield to high palatability and high quality -characters of highly palatable rice-. In Proceedings of 2nd National Symposium. September 10, 2009 at The Faculty of Agriculture, The University of Ruhuna, Sri Lanka. 2nd National Symposium, 2009年9月10日, スリランカ国ルフナ大学.
4. 新田洋司・前田仁美・松田智明・岩澤紀生・近藤始彦 2009. 異なる登熟気温下で栽培されたコシヒカリにおける不完全登熟粒の発生と微細構造. 日本作物学会紀事 78 (別 1) : 322-323. 日本作物学会第 227 回講演会, 2009年3月28日, つくば国際会議場.
5. 新田洋司・松田智明・田村祐一・長谷川拓也・包智泉 2008. 水稻 1 穂内穎果の籾殻重・玄米重のシンク・ソース強度の変化による変動. 日本作物学会関東支部会報 23 : 24-25. 日本作物学会関東支部会第 97 回講演会, 2008年12月8日, 宇都宮市東コミュニティセンター.
6. 新田洋司・八巻圭蔵・玉置あゆみ・松田智明・飯田幸彦・塚本心一郎・池羽正晴・田中研一 2007. 2006年茨城県産コシヒカリにおける食味関連形質と炊飯米の微細

構造. 日本作物学会関東支部会報 22 : 74-75. 日本作物学会関東支部会第 96 回講演会, 2007年12月7日, 東京大学大学院農学研究科弥生講堂.

[図書] (計 4 件)

1. 新田洋司 2009. 松田智明・新田洋司・後藤雄佐・平沢正・山本由徳・吉田智彦 編, 作物学用語事典. 農文協, 東京. 1-406.
2. 松田智明・新田洋司・後藤雄佐・高野泰・平沢正・山本由徳・吉田智彦 2009. 新編 作物学用語集 (訂正版). 養賢堂, 東京. 1-334.
3. 新田洋司 2008. パラフィン切片作製法とその利点. 前田英三・三宅博・井上吉雄編, 作物の形態研究法－ミクロからマクロまで－. 日本作物学会, 東京. 9-11.
4. 新田洋司 2007. 登熟期の高温が子房の転流・転送系およびアミロプラストの構造におよぼす影響. 日本作物学会北陸支部・北陸育種談話会編, 高温障害に強いイネ. 養賢堂, 東京. 24-30.

[その他]

ホームページ :

<http://info.ibaraki.ac.jp/scripts/websearch/index.htm>

雑誌出演 :

1. 2009年5月 東芝社オンラインマガジン「ふれきてる」で「おいしいコメの条件とは」が掲載される.
2. 2009年6月 日経 BP 社「日経おとなの OFF 2009年7月号」で「買っていい品いけない品一目瞭然図鑑」に記事が掲載される.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新田 洋司 (NITTA YOUJI)
茨城大学・農学部・教授
研究者番号 : 60228252

(2) 研究分担者

松田 智明 (MATSUDA TOSHIAKI)
茨城大学・副学長 (学術)
研究者番号 : 50007788