

茨城農総セ研報
Bull. Ibaraki
Agric. Cent.
No. 4 2022

BULLETIN
OF THE
IBARAKI AGRICULTURAL CENTER
No. 4
March 2022

茨城県農業総合センター研究報告

第4号

2022年3月

目次

- DNA マーカーを利用したメロン‘イバラキング’ F₁ 純度検定法の開発
大寺宇織・石川友子・加藤鎌司・葛谷真輝・・・1
- ニホンナシ新品種‘はつまる’、‘凜夏’、‘ほしあかり’、‘なるみ’ および‘甘太’の
茨城県笠間市における生育特性
加川敬祐・市毛秀則・寺門 巖・清水 明・・・7
- ナシ樹体ジョイント仕立て法の‘恵水’への適用
加川敬祐・市毛秀則・寺門 巖・清水 明・・・15
- 黒ボク土ナシ園における豚糞堆肥の連用と中断による当年堆肥由来および
地力由来一酸化二窒素排出量の評価
下河邊裕二・郷内 武・藤田 裕・・・23

茨城県農業総合センター

茨城県笠間市安居3165-1

DNA マーカーを利用したメロン ‘イバラキング’ F₁ 純度検定法の開発

大寺宇織・石川友子¹⁾・加藤謙司²⁾・葛谷真輝

(茨城県農業総合センター生物工学研究所)

要約

良食味として普及が進んでいる茨城県育成メロン F₁ 品種 ‘イバラキング’ の種子品質維持のためには、その種子の遺伝的斉一性(純度)を検査し、混種のない種子を供給していくことが必要である。そこで本研究では、メロンの細胞質が父性遺伝することを利用し、ミトコンドリアゲノム上に設計したマーカーを用いることによって、複数のサンプルをバルク(混合)分析する効率的な ‘イバラキング’ 種子の純度検定法を開発した。さらに、普及拡大に伴う種子増産に対応するため、より効率的に検定できるようダイレクト PCR を利用することにより、迅速・大量に純度検定を行う手法を確立した。

キーワード：メロン、純度検定、DNA マーカー、バルク法、ダイレクト PCR

1. はじめに

茨城県育成メロン品種 ‘イバラキング’ は、2010 年に品種登録され、良食味品種として市場の評価も高く、県内産地に普及が進んでおり、2020 年には栽培面積 39.0ha となっている。‘イバラキング’ は F₁ 品種であり、遺伝的に固定した両親系統の交配によって種子を生産している。F₁ 種子を採種するためには、種子親である雌性系統と、花粉親である雄性系統を交雑する必要があり、確実に雌性系統の受粉能を有する花粉を除去する手法として、雄性不稔系統(ニンジン、タマネギ)の利用や、熱処理による物理的な雄蕊の不活化(水稻)などが行われる(新倉, 2007)。メロンではこうした手法が開発されておらず、メロンの交配は、開花前日に種子親の両性花の葯をピンセット等で物理的に除去し、開花当日に花粉親の花粉を種子親の両性花の雌蕊に授粉させることによって行う。このため、メロンの F₁ 種子作成では人為的なミスが発生する可能性があり、このとき花粉の除去が不完全であると、種子親由来花粉で受粉してしまい、目的の F₁ 種子以外に種子親の自殖種子が混入することになる。このような混種を含む種子が生産現場へ供給された場合、生産現場での混乱・減収や消費者の低評価を招き、品種のブランド力低下につながる恐れがある。また混種が多い場合、種苗供給者から生産者への補償問題になる可能性があり、種苗供給者の安定供給にとっても重要なリスクとなる。このため F₁ 種子の供給にあたっては、種子の遺伝的斉一性、すなわち F₁ 種子の純度を検定したうえで、混種のない種子を供給していくことが必要である。

種子の純度検定法にはいくつかの手法があるが、近年広く利用されているのが、DNA の塩基配列の違い(多型)をマーカーとして用いる手法である。DNA マーカーは、栽培試験やアイソザイム解析といった手法と比べ、短期間かつ大量にサンプルを処理でき、両親系統が遺伝的に近縁でも適用できる。DNA マーカーを用いた分析法として、RAPD 法を用いたカブ(吉秋, 2003)、RFLP 法を用いたキュウリ(Matsuura et al., 1994)、SSR 法を用いたナス(久保ら, 2014)など、様々な純度検定法が開発が図られ、より近縁な系統を識別でき、かつ簡便な手法への改良が進んでいる(大澤, 2004)。

加藤(2007)は、メロンの F₁ 種子の純度検定に適用できる mtIRDP (Mitochondrial Inter Repetitive DNA Polymorphism) マーカーを開発した。このマーカーは純度検定において、複数サンプルを混合したバルク分析を行うことができる。これまで品種識別に用いられてきた DNA マーカーの多くは核ゲノム上に設計されており、F₁ 種子では花粉親と種子親双方由来の多型をもち、種子親自殖種子では種子親由来の多型のみを持つ。このため、F₁ 種子の純度検定において、従来のマーカーでは 1 個体ずつ分析していけば混種を検出できるが、複数個体のサンプル DNA を混合してバルク検定を行った場合、F₁ 種子と自殖種子の多型を判別できず、混種を検出することはできない。しかし、メロンのゲノムについて、核ゲノムは両親由来であるが、細胞質(ミトコンドリア、

1) 現 茨城県農業総合センター鹿島地帯特産指導所

2) 国立大学法人岡山大学環境生命科学学域

葉緑体) ゲノムは花粉親のみに由来する父性遺伝であることが知られている (Lilly and Havey, 2001)。このため、ミトコンドリアゲノムの多型が、父性遺伝する DNA マーカーとして利用できる。mtIRDP マーカーはミトコンドリアゲノム上に設計されたマーカーであることから、F₁ 種子では花粉親由来の多型のみをもち、種子親自殖種子では種子親由来の多型のみを持つため、バルクでも混種の検出が可能で、検定を効率化できると考えられた。

本研究では‘イバラキング’の種子純度検定手法の開発・実用化を目的に、mtIRDP マーカーの‘イバラキング’種子純度検定への適用性を検討した。次に mtIRDP マーカーを用い、検査精度を保ったうえで効率的にバルク検定を行う条件について検討し、純度検定法を開発した。また、さらなる効率化のため、DNA 抽出の工程を省いたダイレクト PCR の利用について検討し、手法の改良を行った。

2. 材料および方法

2. 1 マーカー候補の選抜

加藤 (2007) の開発した mtIRDP マーカー 2 組み合わせについて、F₁ ‘イバラキング’、種子親 ‘P2’、花親 ‘P32’ の多型解析を行い、父性遺伝するマーカーとして利用可能なマーカーを選抜した。DNA 抽出は房安ら (2006) の方法を改変して行った。メロン葉 0.5g に DNA 抽出 buffer (0.1M Tris-HCl (pH8.0)、0.5M NaCl、0.05M EDTA) 300 μ L を添加し、組織を磨砕した。65 $^{\circ}$ C、10 分間加熱した後、5M 酢酸カリウム 100 μ L を添加し、氷上で 10 分間静置した。15000rpm、4 $^{\circ}$ C、15 分間遠心分離した後、上清 300 μ L を採取した。上清にイソプロパノール 300 μ L を添加した後、転倒混和し、15000rpm、4 $^{\circ}$ C、10 分間遠心分離した。上清を捨て、70%エタノール 300 μ L を添加し、15000rpm、4 $^{\circ}$ C、5 分間遠心分離した。上清を捨て 56 $^{\circ}$ C、2 分間加熱乾燥した後、1 \times TE 100 μ L に溶解して、DNA 抽出液とした。以降の DNA 抽出は全て同様の方法で行った。抽出した DNA を鋳型に、Taq DNA Polymerase (シグマアルドリッチ) を用いて PCR を行い、アガロースゲル電気泳動によって多型を判別した。

2. 2 バルク検定法の検討

バルク検定法の効率化と種子親 ‘P2’ 混入時の検出精度を明らかにするため、抽出 DNA を混合してバルクにする手法と、子葉を混合して DNA 抽出を行う手法について、‘P2’ の混入率を変えて検出を試みた。

2. 2. 1 抽出 DNA バルク法

‘イバラキング’ と ‘P2’ の各個体から DNA を抽出した。抽出 DNA を体積比で ‘イバラキング’ : ‘P2’ = 4:1、9:1、14:1 となるように混合した (バルク化)。混合 DNA を鋳型に、GoTaq $\text{\textcircled{R}}$ Colorless Master Mixes (プロメガ (株)) と mtIRDP マーカーを用いて PCR を行い、アガロースゲル電気泳動による多型解析で、‘P2’ 混入の検出の可否を確認した。以降の PCR については、ダイレクト PCR を除き、同様の方法で行った。

2. 2. 2 子葉バルク法

メロン幼苗子葉を個体数比で ‘イバラキング’ : ‘P2’ = 2:1、4:1、9:1、14:1 となるように混合 (バルク化) し、DNA を抽出した。バルク抽出した DNA について、mtIRDP マーカーを用いて PCR を行い、アガロースゲル電気泳動による多型解析で、‘P2’ 混入の検出の可否を確認した。

2. 3 ダイレクト PCR を用いた検定手法の改良

Ohta et al. (2013)、堀井ら (2018) の方法を参考に、mtIRDP マーカーについて、Ampdirect Plus ((株) 島津製作所) を用いたダイレクト PCR を行い、抽出 DNA を用いた従来の PCR と、アガロースゲル電気泳動による多型解析で結果を比較した。ダイレクト PCR は 2 \times Ampdirect $\text{\textcircled{R}}$ Plus ((株) 島津製作所) 10 μ L、BIOTAQ TM HS DNA Polymerase ((株) 島津製作所) (5U/ μ L) 0.1 μ L、10 μ M 5'-Primer 1 μ L、10 μ M 3'-Primer 1 μ L、10% Polyvinylpyrrolidone 5.9 μ L、滅菌水 5.9 μ L を混合した 20 μ L の反応液を調整し、つまようじで子葉を軽く 5 回つついてサンプリングし、つまようじを反応液中に浸して DNA を溶解して行った。以降のダイレクト PCR について、反応液の組成は同様のものとした。また、ダイレクト PCR を用いたバルク分析を検討するため、メロン幼苗子葉を ‘イバラキング’ 2 個体+ ‘P2’ 1 個体、以下同 5 個体+1 個体、8 個体+1 個体を 1 本つまようじで各個体 2 回つついてバルクサンプリングし、ダイレクト PCR を行った。さらにバルク規模 (混合サンプル数) 3 個体で ‘イバラキング’ のみのバルクと ‘P2’ を 1 個体混入させたバルクについて、各 96 バルクのダイレクト PCR を行い、偽

陰性・偽陽性の発生を確認した。また、バルク検定法と、ダイレクト PCR を用いた方法で、作業時間と検定費用を試算し、比較した。

3. 結果および考察

3. 1. マーカー候補の選抜

mtIRDP マーカーについて、‘P32’ と ‘イバラキング’ で同じ多型を示し、父性遺伝するマーカーを 1 組み合わせ選抜した (図 1)。なお、‘P32’、‘イバラキング’ では約 800bp、‘P2’ では約 600bp にバンドが検出され、アガロースゲル電気泳動で両バンドの判別が可能であった。

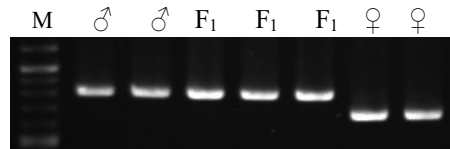


図 1 mtIRDP マーカーによる ‘イバラキング’ および両親系統の多型解析

M : 100bp DNA ladder, ♂ : P32 (イバラキング花粉親), F₁ : ‘イバラキング’, ♀ : P2 (イバラキング種子親)

3. 2 バルク検定法の検討

mtIRDP マーカーについて、バルク検定を検討した。DNA 抽出液を混合 (バルク) して PCR、ゲル電気泳動を行った結果、全てのバルク規模において ‘P2’ の混入を検出できた (表 1)。

各個体の子葉をバルク化して DNA 抽出および PCR を行った場合、‘P2’ の混入割合が、1/3、1/5 では判定可能であったが、混入割合が 1/10、1/15 では検出バンドは薄く、目視での確認では見落とす危険性があった。したがって、子葉バルクにおいては、抽出 DNA バルクよりもバルク規模 (混合サンプル数) を小さくする必要があると判断した。

バルク手法としては DNA 抽出を個別に実施し、その抽出液を混合した方が PCR 反応およびそれに続くゲル泳動のバルク規模を大きくすることが可能である一方、検定において最も時間・労力を必要とするのは DNA 抽出作業である。作業性を考慮した場合、バルク規模は小さくても DNA 抽出を集団で行う子葉バルクは、大量のサンプル解析により適すると判断した。

表 1 バルク分析における ‘P2’ 検出精度

検定法	‘P2’ 混入率			
	1/3	1/5	1/10	1/15
抽出 DNA バルク法	ND	+	+	+
子葉バルク法	+	+	±	±

+ : 検出, ± : バンドが薄く検出不安定, ND : データなし

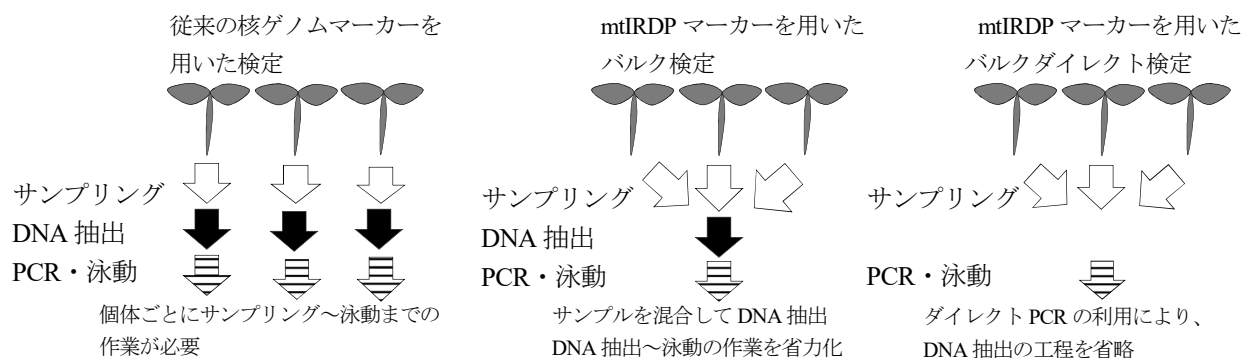


図 2 各 F₁ 検定手法の流れ

※矢印は 1 工程を示す

以上の結果から、純度検定は mtIRDP マーカーを用い、子葉を 3 個体分バルクにして DNA 抽出を行い、PCR・電気泳動を行うこととした（図 2 中央）。本方法ではバルク中の異種混入数は把握できないものの、迅速に種子ロット中の混種の有無を判定できた。

3. 3 ダイレクト PCR を用いた検定手法の改良

mtIRDP マーカーを用いてダイレクト PCR を行うことで、従来の抽出 DNA をテンプレートとした PCR と同様の結果が得られた（図 3）。

ダイレクト PCR でもバルク分析が可能であるか確認したところ、バルク規模 3 および 6 個体ではバルクでも安定して‘P2’のバンド検出が可能であった。バルク規模 9 個体では検出が不安定で、15 バルク中 1 バルクで偽陰性が発生した（表 2）。

つまようじによるサンプリングは、子葉の生育状態、つつきの順番、つつきの個人差等によりサンプリング量の振れ幅が大きいことが予想される。このため、バルク検査において適切なバルク規模は 1 バルクあたり 3 個体であると考えられた。

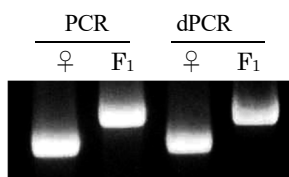


図 3 mtIRDP マーカーのダイレクト PCR への適用性

PCR：抽出 DNA をテンプレートとした PCR、dPCR：ダイレクト PCR、♀：P2（‘イバラキング’種子親）、F₁：‘イバラキング’

表 2 ダイレクト PCR における‘P2’検出精度

検定	‘P2’混入率別の 検出数（バルク）		
	1/3	1/5	1/9
検定数	15	15	15
陽性数	15	15	14
偽陰性数	0	0	1

また、バルク規模 3 個体で‘イバラキング’のみバルクと‘P2’1 個体混入バルクを用い、それぞれ 96 回の繰り返し試験を行ったところ、偽陰性・偽陽性は発生せず、正確な検出が可能であった。

以上の結果から、つまようじを用いて子葉を 3 個体分バルクにするダイレクト PCR 法による改良純度検定法を開発した（図 2 右、図 4）。



図 4 改良純度検定法のダイレクト PCR 手順

A：播種 7 日後、1 バルクにつき 3 個体の子葉を採取し、並べる。数字はサンプリングの順番。

B：図 A に記した順番で、1 本のみつまようじで子葉を計 6 回軽くつつく。

C：PCR プレート中の反応液につまようじを入れ、軽く 10 回攪拌する。機器にセットし PCR 開始。

改良の結果、ダイレクト PCR 法の活用により DNA 抽出を省略することができた。1800 バルク（5400 個体）あたりの作業時間および検定費用は、改良したバルクダイレクト検定法ではそれぞれ 225 時間・人、537 千円で

バルク法の 982 時間・人、1303 千円のそれぞれ、23%、41%であり、検定の効率化を図れることが明らかになった (表 3)。

表 3 各検定法の作業時間・検定費用試算比較 (1800 バルクあたり)

	バルク検定法 (A)	バルクダイレクト 検定法 (B)	対比 (B/A)
実作業時間 (時間・人)	982	225	23%
検定費用 (円)	1,303,421	537,405	41%
内訳 消耗品費 (円)	190,285	282,312	
労 賃* (円)	1,113,136	255,093	

* : 時給 1,133 円で算出

3. 4. 純度検定の活用と今後の展開

‘イバラキング’の種子供給においては、茨城県農林振興公社園芸振興部園芸種苗センターが種子生産と供給を行い、茨城県農業総合センター生物工学研究所では両親系統の原種の供給と、生産された種子の純度検定を行っている。本研究で開発した検定法を活用し、2011 年から 2019 年まで各年 450~600 バルクの種子純度検定を行い、年間 0~4 バルクの混種を検出した (図 5)。検定の抽出個体数は 1 ロット (1500 粒程度) あたり、6 バルク (18 粒) 検定している。手法を改良した 2020 年には 1800 バルクの純度検定を行い、12 バルクの混種を検出した。混種が検出された種子ロットについては廃棄し、混種が検出されなかったロットのみ出荷することで、純度が高い種子を供給している。

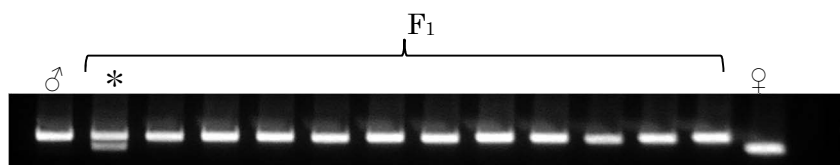


図 5 純度検定における混種検出

♂ : P32 (イバラキング花粉親)、F₁ : イバラキング、♀ : P2 (イバラキング種子親)、* : 混種バルク

また、ミトコンドリアゲノムは核ゲノムに比べて変異しやすい傾向にある。マーカーの設計領域に変異があった場合、形質に影響がなくても純度検定の判定に影響するため、種子生産を行う両親系統についても抽出検査で検定を行い、変異がないことを確認してから種子生産を行っている。

本研究により迅速な純度検定が可能となったが、‘イバラキング’は今後も普及拡大が見込まれていることに加え、赤肉品種の育成も進めており、いずれは検定数の増加に対応して、更なる効率化が必要とされる。本研究では最終的な PCR 産物の確認はアガロースゲル電気泳動で行ったが、シーケンサーを用いたフラグメント解析であればより微量な産物も識別できる。このため、純度検定においてもフラグメント解析によりバルク規模を引き上げられる可能性があり、今後はフラグメント解析の適用を経済性も含めて検討していく必要がある。

摘要

本研究では、F₁ メロン品種 ‘イバラキング’の種子純度検定手法を開発した。細胞質の父性遺伝を利用した ‘イバラキング’の両親を判別できる mtIRDP マーカーを 1 組み合わせ選抜した。検定におけるサンプルの適切な混合方法を明らかにするため、抽出した DNA を混合して PCR を行う手法と、子葉組織を混合して DNA 抽出・PCR を行う手法で、バルク規模 (混合サンプル数) を変えて検定を行った。抽出 DNA の混合では自殖種子 DNA 混入割合が 1/15 でも検出できたが、子葉組織の混合では明確に検出できたのは混入割合が 1/5 までだった。作業性等を考慮し、子葉 3 個体分をバルクにして DNA 抽出を行い、PCR・電気泳動を行うこととした。更なる効率化の検討として、ダイレクト PCR の利用を試みた。つまようじでサンプリングするダイレクト PCR を行うことで、自殖種子混入割合 1/6 までは安定して自殖種子混入を検出できた。つまようじによるサンプリング量の振れ幅を考慮し、子葉 3 個体分をバルクにしてダイレクト PCR・電気泳動を行うこととした。mtIRDP マーカー

でダイレクト PCR を行うことで、迅速かつ大量に純度検定を行うことができる。

引用文献

- 堀井 学・葛谷真輝・久保山 勉・白澤健太・八城和敏 (2018) レンコンの品種識別に用いるダイレクト PCR 手法の検討. 園学研 17 別 2 : 259.
- 房安聡司・佐藤哲二・清水宏昭 (2006) カンキツグリーンング病菌 (*Candidatus Liberobacter asiaticum*) の LAMP 法による検定方法の検討. 植防研報 42 : 75-81.
- 加藤鎌司 (2007) 他殖性野菜の品種識別、平成 19 年度課題別研究会資料・ネギ属野菜の育種と栽培・品質に関する諸問題. 24-31.
- 久保深雪・聖代橋史佳・吉田 誠 (2014) ナス品種サラダ紫の F₁ 純度検定用 SSR マーカーの選定と品種判別. 神奈川農技セ研報 159 : 10-14.
- Lilly J W and M J Havey (2001) Small, repetitive DNAs contribute significantly to the expanded mitochondrial genome of cucumber, *Genetics* 159: 317-328.
- Matsuura S, Saito A and Fujita Y (1994) An approach for rapid checking of seed purity by RFLP analysis of nuclear DNA in F₁ hybrid of cucumber (*Cucumis sativus* L.), *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 63 (2): 379-383.
- 新倉 聡 (2007) アブラナ科野菜における生殖形質の遺伝学的研究とその育種への展開 育種学研究 9 (4) : 153-160.
- 大澤 良 (2004) 野菜育種における DNA マーカーの利用. 園学研 3 : 1-6.
- Ohta S, Yano K, Kurita Y, Kita M, Shimizu T and Nesumi H (2013) A sample preparation method for direct and non-direct PCR in woody plants, *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 82 (1): 14-21.
- 吉秋 斎 (2003) PCR によるカブ F₁ 品種加賀清姫の純度検定法. 石川農総セ研報 25 : 27-28.

Development of an F₁ Purity Checking Method for ‘Ibaraking’ Melon Using DNA Markers

Takaori ODERA¹, Tomoko ISHIKAWA, Kenji KATO, and Maki KUZUYA

Summary

In order to maintain the seed quality of the Ibaraki Prefecture F₁ melon cultivar ‘Ibaraking’, which is becoming increasingly popular for its good quality, it is necessary to check the seed purity and supply seeds without self-pollination. In this study, taking advantage of the fact that melon cytoplasm was paternally inherited, we developed an efficient purity test method for the ‘Ibaraking’ seed for bulk (mixed) analysis of multiple samples by using DNA markers designed on the mitochondrial genome. Furthermore, in order to respond to the increase in seed production due to widespread cultivation, we established a method for rapid and large-scale purity testing by using direct PCR.

Keywords: melon, purity checking method, DNA marker, bulk method, direct PCR

¹ Address: Plant Biotechnology Institute, Ibaraki Agricultural Center, 3165-1 Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, Japan

ニホンナシ新品種 ‘はつまる’、‘凜夏’、‘ほしあかり’、 ‘なるみ’ および ‘甘太’ の茨城県笠間市における生育特性

加川敬祐・市毛秀則・寺門 巖・清水 明¹⁾

(茨城県農業総合センター園芸研究所)

要約

(国研) 農研機構果樹茶業研究部門が育成したニホンナシ ‘はつまる’、‘凜夏’、‘ほしあかり’、‘なるみ’ および ‘甘太’ の本県笠間市の栽培における果実特性を検討した。‘はつまる’は対照品種の ‘幸水’ に比べ早く収穫でき食味も良好であるが、果実が小玉で収量性が低かった。‘凜夏’は、‘幸水’ と同時期に収穫され、‘幸水’ に比べ一果重が大きく、糖度が高かったが、栽培性や貯蔵性において、導入には注意すべき点多いと考えられた。‘ほしあかり’、‘なるみ’はそれぞれ本県の栽培品種にない黒星病抵抗性および自家和合性の特性を有するが、対照品種の ‘豊水’ に比べて収量性や栽培性において優位性は低いと考えられた。‘甘太’は、樹勢が強く栽培が容易であり、対照品種の ‘新高’ に比べ優れた特性をもち、本県における普及が期待されると考えられた。また、満開後60日頃に白一重袋を被袋した ‘甘太’ の果実は、無袋に比べ外観が損なわれたものの、糖度が高かった。

キーワード：ニホンナシ、新品種、果実品質、適応性、袋かけ

1 はじめに

茨城県の2019年の果実産出額は102億円となっており、その中でもニホンナシは産出額全国第3位の55億円で、県を代表する基幹樹種となっている(農林水産省, 2021)。しかし、本県ナシ園地は樹齢30年以上の高樹齢園が多く、収量・品質の低下が懸念されている。品種構成は、早生の ‘幸水’、中生の ‘豊水’ の両品種で作付面積の84%を占めている(茨城県, 2016)。また、晩生は ‘新高’ の作付けが多く、その他に新品種として独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所(現 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹茶業研究部門) 育成の中生の ‘あきづき’、本県育成の中生の ‘恵水’ が導入されている。

本県では ‘幸水’ の黒星病や ‘豊水’ のみつ症の発生が長年の問題となっている。また、 ‘幸水’ では多くの産地でジベレリン処理により旧盆前需要期への出荷が行われている一方で、処理労力やコスト、収穫期の労力集中も問題となっており、極早生の有望品種が望まれている。また、晩生の主要品種である ‘新高’ は ‘幸水’、 ‘豊水’ に比べ果肉が硬く食味が劣ることもあり、単価は下落傾向にある。労力分散のためには、晩生品種の導入は効果的と考えられるが、競合品目が多いなかで、良食味な品種が求められている。そこで、本報では(国研) 農研機構果樹茶業研究部門が実施した第8回系統適応性検定試験によって新たに品種登録されたニホンナシ5品種について、茨城県笠間市の茨城県農業総合センター園芸研究所内で本県栽培基準に沿って栽培を行い、品種特性について検討してきた内容について報告する。

また、 ‘甘太’ については、白一重袋の被袋によって糖度が向上するという報告があることから(岩谷ら, 2018)、当所内においても袋かけ試験を行い検証したのであわせて報告する。

2 材料および方法

2. 1 供試品種の来歴および栽培概要

供試した5品種の来歴は表1のとおりである。試験は茨城県農業総合センター園芸研究所のナシ圃場(茨城県笠間市安居、腐植質普通黒ボク土)で行った。供試した5品種の穂木をホクシマメナシ台木に2008年3

1) 現 公益社団法人茨城県農林振興公社

月に接ぎ木後、育成した1年生苗木を各品種3樹ずつ7.2m×7.2m（互の目）の間隔で同年11月に定植した。樹形は4本主枝折衷式平棚仕立てとした。対照品種は収穫時期が重なるものとし、慣行の‘幸水’（2008年時点で20年生の2本主枝H型仕立て2樹、2015年からは、2015年時点で19年生の2本主枝一文字仕立て2樹に変更）、‘豊水’（2008年時点で20年生の2本主枝H型仕立て2樹、2012年からは、2012年時点で24年生の2本主枝H型仕立て2樹に変更）、‘新高’（2008年時点で20年生の2本主枝H型仕立て3樹）の成木とした。栽培管理は茨城県果樹栽培基準（茨城県農業総合センター，2008）に、病害虫防除は各年度の病害虫参考防除例に準じて行った。

表1 ニホンナシ新品種‘はつまる’、‘凜夏’、‘ほしあかり’、‘なるみ’および‘甘太’の来歴

品種名	旧系統名	種子親 ¹⁾	花粉親 ¹⁾	特性	対照品種	品種登録日及び登録番号
はつまる	ナシ筑波54号	筑水	筑波43号	極早生	幸水	2015年6月19日（登録番号24374）
凜夏	ナシ筑波55号	269-21	あきあかり	自家摘果性、温暖化対応	幸水	2015年3月3日（登録番号23912）
ほしあかり	ナシ筑波56号	314-32	あきあかり	黒星病抵抗性	豊水	2015年6月19日（登録番号24373）
なるみ	ナシ筑波57号	162-29	269-21	自家和合性	豊水	2016年7月6日（登録番号25276）
甘太	ナシ筑波58号	王秋	あきづき	晩生、良食味	新高	2015年3月3日（登録番号23913）

1) 筑波43号：162-29×‘平塚17号’、269-21：‘豊水’×‘おさ二十世紀’、314-32：‘巾着’×‘豊水’、162-29：‘新高’×‘豊水’

2. 2 調査方法

樹体特性は樹勢、えき花芽の着生、短果枝の着生については2009年～2013年の5年間、開花期、収穫期については2014年～2020年の7年間調査を行った。特性の評価は渡邊ら（2015）の方法にしたがい、樹勢は新梢伸長の強弱を参考に達観で5段階（1：弱い、2：やや弱い、3：中、4：やや強い、5：強い）に判定した。えき花芽の着生は落葉後の11月に品種ごとに達観で5段階（1：少、2：やや少、3：中、4：やや多い、5：多い）に判定した。同じく短果枝の着生はえき花芽と同様に5段階（1：少、2：やや少、3：中、4：やや多い、5：多い）に判定した。開花期は、全体の20%の花が開花した日を開花始、全体の80%の花が開花した日を開花盛、全体の20～30%の花弁が散った日を開花終とした。収穫期は、試食を行ったうえで適熟果の最初の収穫日を収穫始とし、適熟果の最後の収穫日を収穫終とした。

果実特性については、定植後3年目（2010年）の4年生樹から結実させ、14年生（2020年）まで調査を行った。収穫期間内に各年1品種あたり30果を供試し、糖度計（ポケット糖度計PAL-1、（株）アタゴ）を用いて糖度（Brix%）を、硬度計（果実硬度計ポケット型CF-373、（株）藤原製作所）を用いて硬度（lbs）を、pHメーター（ガラス電極式水素イオン濃度指示計D-51、（株）堀場製作所）を用いてpHを調査した。調査方法は系統適応性検定試験（（独）農研機構果樹研究所，2007）の調査基準により行った。収量は各品種の収穫期に全果収穫を行って重量を測定した。10a当たり38樹として、概ね樹冠拡大が完了した10年生（2016年）までの換算収量を算出した。

2. 3 ‘甘太’の果実袋の被袋試験

試験は2019～2020年の2か年実施した。2019年時点で13年生の‘甘太’1樹を用いて、2019年は無袋区、褐色二重袋区（「B-1-LP超特大」、小林製袋産業（株））、白一重袋区（「NK特大」、小林製袋産業（株））の3区を設置し、1区20果を供試した。2020年は無袋区（30果）、白一重袋区（50果）の2区を設置した。

摘果は、本県の‘あきづき’の基準（茨城県農業総合センター，2008）に準じて、2019年は満開後28日（5月17日）に1果そう1果に予備摘果し、満開後55日（6月13日）に本摘果を行い、着果量を10果/m²とした。袋掛けは、岩谷ら（2018）を参考に、本県における‘新高’の大袋かけ（茨城県農業総合センター，2008）と同時期の満開後59日（6月17日）に行った。収穫は満開後165日（10月1日）、満開後174日（10月10日）の2回に分けて10果ずつ行った。果実調査は各果の赤道部2か所について、携帯型分光計（商品名「おいし果」、（株）千代田電子工業）を用いてクロロフィルを測定した。クロロフィル値から、山根ら（2019）の地色換算式を用いて地色カラーチャート値を算出した。その後、測定した部分の果皮を薄く剥ぎ取り硬度計（果実硬度計ポケット型CF-373）を用いて硬度（lbs）を計測した。その後、測定部位を1cm角で三角形に切り抜き、果汁をニンニク絞り器で搾汁し、糖度計（ポケット糖度計PAL-1）を用いて糖度を測定した。また、果実外観を達観で評価した。

2020年は満開後29日（5月13日）に1果そう1果に予備摘果し、満開後59日（6月12日）に本摘果を行い、着果量を10果/m²とした。袋掛けは満開後59日（6月12日）に行った。無袋果の果実は、肥大調査のために満開後30日（5月14日）にランダムに選んだ果実を用いた。収穫は満開後167日（9月28日）に一斉収穫し、2019年と同様の方法で果実調査を行った。

3 結果

3.1 新品種の樹体特性

開花期は、供試品種の中では‘ほしあかり’が最も早く、開花盛は4月13日と‘新高’より2日早かった（表2）。一方、最も遅い品種は‘甘太’で開花盛が4月17日と‘豊水’と同時であった。いずれの品種の開花期も対照品種の‘幸水’、‘豊水’、‘新高’の開花期のいずれかと重なる時期であった。

収穫期は、‘はつまる’は‘幸水’に比べ収穫始が15日、収穫終が26日早く、収穫期間が1週間と短かった。‘凜夏’は‘幸水’と収穫期間が同時期であり、‘ほしあかり’は‘豊水’に比べ収穫始、収穫終とも13日早く、‘幸水’とも重なる時期であった。‘なるみ’の収穫始は‘豊水’と同時期であったが、収穫終が‘豊水’に比べ8日早く、‘豊水’に比べ収穫期間が短かった。‘甘太’は収穫始が‘新高’と同時期であったが、収穫終は‘新高’に比べ12日遅く、収穫期間が長かった。

樹勢は、‘ほしあかり’が‘豊水’に比べ樹勢が弱く、枝の発生密度も低かった（表3）。‘はつまる’は、枝の発生密度が‘幸水’に比べ高く、短果枝の着生も多かったが、ボケ芽の発生がみられた。‘凜夏’は‘幸水’に比べ短果枝の着生が良好であった。‘なるみ’はえき花芽の着生が‘豊水’に比べ少なく、枝枯れや炭疽病による落葉がみられた。‘甘太’は‘新高’に比べ、短果枝の着生がやや少ないものの、えき花芽の着生は多かった。

表2 茨城県笠間市における‘はつまる’、‘凜夏’、‘ほしあかり’、‘なるみ’、‘甘太’の開花期および収穫期（2014～2020年）

品種名	開花始 (月.日)	開花盛 (月.日)	開花終 (月.日)	収穫始 ¹⁾ (月.日)	収穫終 (月.日)
はつまる	4.13	4.15	4.23	7.27 ***	8.2 ***
凜夏	4.14	4.16	4.24	8.13 ns	9.1 ns
幸水 (対照品種)	4.16	4.18	4.25	8.11	8.28
ほしあかり	4.11	4.13	4.20	8.19 ***	9.5 ***
なるみ	4.13	4.15	4.24	8.27 ns	9.10 ***
豊水 (対照品種)	4.13	4.17	4.23	9.1	9.18
甘太	4.15	4.17	4.24	9.22 ns	10.16 ***
新高 (対照品種)	4.10	4.15	4.20	9.21	10.4

1) 有意性は、調査年を反復とみなし、暦日を4月1日からの経過日数に換算しそれぞれ対照品種に対してt検定により、***: 0.1%で有意、ns:有意差なしを示す

表3 茨城県笠間市における‘はつまる’、‘凜夏’、‘ほしあかり’、‘なるみ’、‘甘太’の樹体特性（2009年～2013年）

品種名	樹勢 ¹⁾ (1～5)	枝の発生密度 (1～5)	短果枝の着生 (1～5)	えき花芽の着生 (1～5)	備考
はつまる	3.5 ns	4.5 †	2.5 †	1.5 ns	ボケ芽の発生
凜夏	3.5 ns	2.5 ns	4.0 *	1.0 ns	
幸水 (対照品種)	3.0	3.0	1.0	2.0	
ほしあかり	1.5 †	1.0 *	2.5 ns	3.0 *	
なるみ	3.5 ns	4.0 ns	3.0 ns	3.0 *	枝枯れ、炭疽病による落葉
豊水 (対照品種)	3.0	5.0	3.0	5.0	
甘太	4.0 ns	3.0 ns	3.5 †	3.0 †	
新高 (対照品種)	5.0	2.5	5.0	2.0	

1) 特性評価は、渡邊（2015）の方法により遠視で、樹勢は5段階（1:弱い、2:やや弱い、3:中、4:やや強い、5:強い）、枝の発生密度、短果枝の着生およびえき花芽は5段階（1:少、2:やや少、3:中、4:やや多い、5:多い）で評価した

2) 有意性は、調査年を反復とみなし、それぞれ対照品種に対してMann-WhitneyのU検定により、*: 5%で有意、†: 10%で有意、ns:有意差なしを示す

3.2 新品種の果実特性

‘はつまる’は、‘幸水’に比べ一果重、硬度は有意に小さく、糖度は同等で良食味であり、pHは‘幸水’と同等であった（表4）。‘凜夏’は、‘幸水’に比べ一果重が有意に大きく、硬度は有意に小さく、糖度は有意に高かった。pHは有意に低く、酸味を感じられる食味であった。また、条溝果が多く観

察された。‘ほしあかり’は、‘豊水’に比べ一果重が有意に小さく、硬度は同程度だったが、糖度およびpHは有意に高く、酸味が少なく甘味が強い食味であった。果形不良で、条溝果の発生が多かった。‘なるみ’は、‘豊水’と一果重、硬度、糖度に有意な差がみられなかった。食味は淡泊で、‘豊水’に比べより優れる特性はみられなかった。‘甘太’は、‘新高’に比べ一果重に差はみられなかったが、硬度は有意に低く、糖度は有意に高く食味良好であった。

表4 茨城県笠間市における‘はつまる’、‘凜夏’、‘ほしあかり’、‘なるみ’、‘甘太’の果実品質（2009年～2020年）

品種名	一果重 ¹⁾ (g)	硬度 (lbs)	糖度 (Brix%)	pH ²⁾	備考
はつまる	300 ***	3.8 ***	12.0 ns	5.1 ns	食味良好
凜夏	522 ***	3.9 ***	12.2 *	4.6 ***	条溝果多い。小斑点状のみつ症発生
幸水 (対照品種)	415	4.7	11.9	5.1	
ほしあかり	358 ***	4.4 ns	13.5 ***	5.0 ***	果形不良。条溝果多い
なるみ	507 ns	4.7 ns	12.3 ns	4.8 **	食味淡泊。芯腐れ果発生
豊水 (対照品種)	512	4.4	12.3	4.6	
甘太	595 ns	4.2 ***	13.5 ***	4.6 *	食味良好。肉質緻密
新高 (対照品種)	599	5.1	12.0	4.8	

1) 一果重、硬度、糖度の有意性は、調査年を反復とみなし、それぞれ対照品種に対してt検定により、***: 0.1%で有意、*: 0.5%で有意、ns: 有意差なしを示す

2) 有意性は、調査年を反復とみなし、それぞれ対照品種に対してMann-WhitneyのU検定により、***: 0.1%で有意、**: 1%で有意、

各供試品種の4年生樹から10年生樹までの収量は、‘甘太’が6年生以降収量の増加が最も大きく、10年生樹では5,597kg/10aであった（図1）。‘凜夏’は10年生樹の収量が3,849kg/10aと本県の‘幸水’成木の基準収量3,00kg/10aを上回り早生品種としては多収であった。‘なるみ’は7年生樹で3,264kg/10aであったが、その後やや収量増加が鈍化し、10年生樹の収量は2,865kg/10aと、‘豊水’成木の基準収量3,500kg/10aを下回った。極早生で一果重が小さい‘はつまる’、および樹勢が弱く一果重が小さい‘ほしあかり’は収量増加が緩やかであり、10年生樹の収量はそれぞれ1,189kg/10a、1,949kg/10aであった。

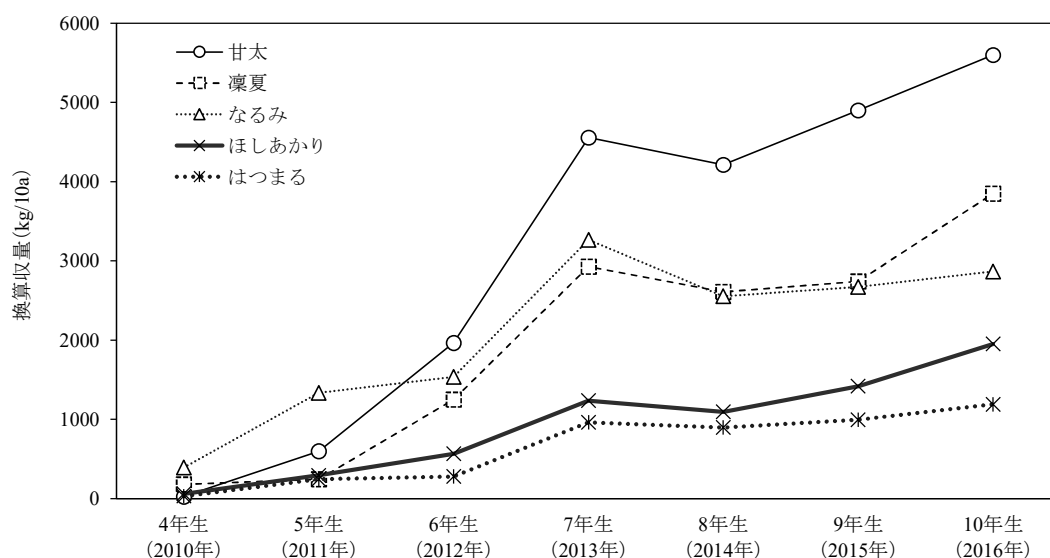


図1 茨城県笠間市における‘はつまる’、‘凜夏’、‘ほしあかり’、‘なるみ’、‘甘太’の収量推移（2009年～2016年）

3. 3 ‘甘太’への果実袋の被袋試験

2019年は、白一重袋区の硬度が無袋区に比べ有意に高く、糖度は無袋区および二重袋区に比べ有意に高かった（表5）。2020年は、硬度は処理区間で有意な差は認められなかったが、糖度は無袋区に比べ白一重袋区で有意に高かった。果実外観は、無袋果実では果実全体にさびが生じ赤ナシに似た外観となったが、果実袋を被袋した区では、果面にさびがまだらに生じ、外観が損なわれた（図2）。

表5 ‘甘太’に対する果実袋の被袋が果実品質に及ぼす影響（2019年～2020年）

試験年	試験区	一果重	地色 ¹⁾	硬度 ²⁾	糖度 ²⁾
		(g)	(cc値)	(lbs)	(Brix%)
2019年	無袋区	558	3.6	4.5 b	13.8 b
	二重袋区	531	4.3	4.9 ab	13.8 b
	白一重袋区	528	3.8	5.2 a	14.6 a
	分散分析 ³⁾	ns	ns	**	**
2020年	無袋区	561	3.1	4.7	15.0
	白一重袋区	545	4.5	5.0	15.7
	t検定 ³⁾	ns	***	ns	***

1) 携帯型分光計（商品名：「おいし果」）によるクロロフィル含量推定値から山根ら（2019）の換算式で地色cc値に換算した

2) 多重比較はTukey検定により、異符号間で5%で有意

3) ***：0.1%で有意、**：1%で有意、ns：有意差なし



図2 ‘甘太’への果実袋の被袋が果実外観に及ぼす影響（2019年）
（左：無袋区 中：白一重袋区 右：二重袋区）

4 考察

‘はつまる’は、成熟期が遅い東日本において盆前に収穫可能な極早生の品種であり（齋藤ら，2020a）、茨城県笠間市では対照品種の‘幸水’に比べ15日早く収穫することができ、7月下旬からの出荷が可能であった。これは、本県主産地で行われている‘幸水’へのジベレリン処理の出荷時期より早く出荷でき、果実品質も良好なことから、有望な品種であると考えられた。一方で、果実の日持ちは5日と‘幸水’に比べ短いため（齋藤ら，2020a）、市場出荷には不向きである。また、収量性が低いことから、早期の販売需要がある直売経営体への導入は可能であるものの、市場出荷型産地への基幹品種としての導入は難しいと考えられた。

‘凜夏’は、対照品種の‘幸水’に比べ糖度が高く、収量性が高かった。また、えき花芽の着生は少ないものの、短果枝の維持が容易であった。‘幸水’等で花芽の枯死が問題となる九州南部を中心とした温暖地でも正常に開花する性質を持つ品種であり（齋藤ら，2020b）、本県では未だ花芽の枯死はそれほど問題となっていないものの、本品種のような高温耐性を持つ品種の導入を検討する必要があると考えられた。また、渡邊ら（2015）は開花約1カ月後まで適度に落果する性質を確認している。本研究では自家摘果性について詳細な検討は行っていないが、一果重は522gと果実肥大が良好であり、‘幸水’のような早期の着果管理によらず、労力分散を図ったうえで大玉果を出荷できる可能性がある。一方で、収穫果実は条溝がみられ、また、みつ症も確認された。千葉県における試験では軸折れや生理的裂果が多く確認され

ているほか（戸谷ら，2020）、収穫後に低温貯蔵（4℃、3週間）すると果肉に維管束褐変が生じる報告があり（羽山ら，2019）、栽培や貯蔵においては注意すべき点が多い品種であると考えられた。

‘ほしあかり’は、ナシ黒星病に抵抗性をもつことから、本病が多発するほ場において安定した生産が期待できた（齋藤ら，2021a）。収穫期は‘幸水’と‘豊水’の間で、対照品種の‘豊水’に比べ糖度が高く食味良好であるが、果実は親品種の‘あきあかり’様の条溝が入り外観が悪く、果実の揃いが不良であることから、市場出荷には不向きであると考えられた。また、樹勢が弱く短果枝の着生が不良であるなど栽培性に難があることから、本県のナシ生産において導入するメリットは少ないと考えられた。

‘なるみ’は、自家和合性を有し、人工授粉を実施せずに自然授粉した場合でも十分な着果を確保できるとされる（齋藤ら，2021b）。対照品種の‘豊水’で問題となるみつ症の発生が少ない品種であったが、果実は芯腐れの発生が目立った。また、枝枯れや炭疽病による早期落葉がみられた。食味は淡泊であり、対照品種の‘豊水’や同時期に収穫可能な本県育成の‘恵水’（尾形ら，2015）に比べ優位性はみられないことから、本県のナシ生産において導入するメリットは少ないと考えられた。

‘甘太’は、‘新高’と同様に樹勢が強く、短果枝の着生が多く栽培性が容易なうえ、‘新高’に比べ硬度が低く、糖度が高く食味良好なことから、本県のナシ生産において導入するメリットが高い品種と考えられた。また、岩谷ら（2018）の報告と同様に、満開後60日頃に白一重袋を被袋したところ、糖度が有意に高く、本県栽培においても糖度上昇効果があることが確認された。一方、無処理区の果実の糖度が13.8～15.0%と十分に高く、被袋により外観が損なわれる。よって、袋かけを行うメリットは販売条件等も考慮して検討する必要があるが、栽培するうえで有益な知見であると考えられた。

‘甘太’の栽培上の留意点として、高田ら（2019）は、夏季の気温が高く日照時間が長い年には地色3～4の果実において果肉がスポンジ状になる症状が発生する可能性を報告している。本試験では、‘甘太’の収穫期は、‘新高’に比べ収穫始は同時期であったものの、収穫終は12日遅かった。‘甘太’の親品種の‘あきづき’では、川瀬（2010）は、収穫が遅くなるに従い、果実重が重くなる一方果肉が軟らかくなり、多くの地域で果実生理障害が報告されていることから、果実生理障害が収穫終了時期を決定する要因であると示唆している。‘甘太’においても、熟度や表面色と果実品質との関係については今後詳細な検討が必要と考えられた。

摘 要

（国研）農研機構果樹茶業研究部門が育成したニホンナシ‘はつまる’、‘凜夏’、‘ほしあかり’、‘なるみ’および‘甘太’の本県の栽培における果実特性を検討した。

1. ‘はつまる’は対照品種の‘幸水’に比べ早く収穫できるが、果実が小玉で収量性が低かった。
2. ‘凜夏’は、‘幸水’と同時期に収穫され、‘幸水’に比べ果実重が大きく、糖度が高かった。
3. ‘ほしあかり’は本県の栽培品種にはない黒星病抵抗性を有するが、‘豊水’に比べて収量性や栽培性が劣り、導入メリットは低いと考えられた。
4. ‘なるみ’は本県の栽培品種にない自家和合性の特性を有するが、‘豊水’に比べて果実品質に優位性がみられず、導入メリットは低いと考えられた。
5. ‘甘太’は、樹勢が強く栽培が容易であり、対照品種の‘新高’に比べ優れた特性をもち、本県における普及が期待されると考えられた。
6. 満開後60日頃に白一重袋を被袋した‘甘太’の果実は、無袋に比べ外観が損なわれたものの、糖度が高かった。

引用文献

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所（2007）育成系統適応性検定試験・特性検定試験調査方法. pp. 59-72.

羽山裕子・三谷宣仁・伊東明子・山根崇嘉・杉山洋行・草場新之助（2019）エテホン処理がニホンナシ‘凜夏’における果肉の維管束褐変の発生に及ぼす影響. 園学研18別1：294（講要）.

茨城県（2016）茨城県果樹農業振興計画. <https://www.pref.ibaraki.jp/soshiki/nourinsuisan/sansin/documents/kajukeikaku27.pdf>（2021年12月9日アクセス）.

- 茨城県農業総合センター (2008) 茨城県果樹栽培基準. pp. 23-56.
- 岩谷章生・藤丸 治・宮田良二・北村光康 (2018) ニホンナシ「甘太」における果実袋の被袋時期が糖度に及ぼす影響と被袋による果実蒸散量の変化. 園学研17別2: 125 (講要).
- 川瀬信三 (2010) ニホンナシ「あきづき」の成熟特性と収穫期. 千葉農林総研研報2: 49-54.
- 農林水産省 (2021) 生産農業所得統計. https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/nougyou_sansyutu/#r (2021年12月9日アクセス).
- 尾形夏海・喜多晃一・郷内 武・霞 正一・佐久間文雄・石井亮二 (2015) ニホンナシ新品種「恵水」の育成. 茨城農総生工研研報15: 53-58.
- 齋藤寿広・澤村 豊・高田教臣・壽 和夫・西尾聡悟・寺井理治・平林利郎・佐藤明彦・正田守幸・阿部和幸・加藤秀憲・西端豊英・佐藤義彦・樫村芳記・尾上典之・鈴木勝征・内田 誠・木原武士 (2020a) ニホンナシ新品種「はつまる」. 農研機構研報4: 41-49.
- 齋藤寿広・澤村 豊・壽 和夫・高田教臣・平林利郎・佐藤明彦・正田守幸・西尾聡悟・寺井理治・西端豊英・加藤秀憲・樫村芳記・尾上典之・鈴木勝征・内田 誠 (2020b) ニホンナシ新品種「凜夏」. 農研機構研報3: 1-8.
- 齋藤寿広・澤村 豊・高田教臣・壽 和夫・西尾聡悟・平林利郎・佐藤明彦・正田守幸・加藤秀憲・寺井理治・樫村芳記・尾上典之・西端豊英・鈴木勝征・内田 誠 (2021a) ニホンナシ新品種「ほしあかり」. 農研機構研報7: 21-28.
- 齋藤寿広・高田教臣・澤村 豊・壽 和夫・西尾聡悟・平林利郎・佐藤明彦・正田守幸・加藤秀憲・寺井理治・西端豊英・樫村芳記・尾上典之・鈴木勝征・内田 誠 (2021b) ニホンナシ新品種「なるみ」. 農研機構研報7: 29-37.
- 高田万里子・阪本大輔・羽山裕子・三谷宣仁・伊東明子・山根崇嘉・杉山洋行・草場新之助 (2019) ニホンナシ「甘太」におけるスポンジ状果の発生要因と低温貯蔵による変化. 園学研18別1: 272 (講要).
- 戸谷智明・鈴木 健・藤井義晴 (2020) ニホンナシ新品種「はつまる」、「凜夏」、「ほしあかり」、「なるみ」および「甘太」の千葉県における適応性. 千葉農林総研研報12: 19-28.
- 渡邊辰彦・石坂 晃・松本和紀・牛島孝策・栗原 実 (2015) ニホンナシ新品種「凜夏」および「甘太」の福岡県における適応性. 福岡農林総研報1: 27-32.
- 山根崇嘉・原田昌幸・羽山裕子・三谷宣仁・中村ゆり・草場新之助 (2019) ニホンナシにおける果皮のクロロフィル含量の非破壊計測. 園学研18: 253-258.

**Growth Characteristics of New Japanese Pear Cultivars
‘Hatsumaru’, ‘Rinka’, ‘Hoshiakari’, ‘Narumi’, and ‘Kanta’
in Kasama City, Ibaraki Prefecture**

Keisuke KAGAWA¹, Hidenori ICHIGE, Iwao TERAKADO and Akira SHIMIZU

Summary

In this study, we investigated the fruit characteristics of Japanese pears ‘Hatsumaru’, ‘Rinka’, ‘Hoshiakari’, ‘Narumi’, and ‘Kanta’ grown by the Institute of Fruit Tree and Tea Science of the National Agriculture and Food Research Organization (NARO).

‘Hatsumaru’ was harvested earlier and had better eating quality than the control cultivar ‘Kosui’, but the fruits were smaller and had lower yield.

‘Rinka’ was harvested simultaneously as ‘Kosui’ and had a larger fruit weight and was higher in sugar. However, there are many points that need to be considered when introducing this cultivar in terms of cultivability and storage.

‘Hoshiakari’ has scab resistance, and ‘Narumi’ has self-compatibility. These characteristics are not found in the cultivars in Ibaraki Prefecture. However, they were not superior to the control cultivar ‘Kosui’ in yield and cultivability.

‘Kanta’ had strong vigor and was considered that it was easy for the pear farmers to cultivate, because of superior characteristics compared to the control cultivar ‘Nitatka’. Therefore, ‘Kanta’ was expected to be popularized in Ibaraki Prefecture. Fruits of ‘Kanta’ bagged with single white bags at around 60 days after full bloom were higher in sugar than those without bags, although their appearance was impaired.

Keywords: Japanese pear, new cultivar, fruit quality, adaptability, bagging

¹ Address: Horticultural Research Institute, Ibaraki Agricultural Center, 3165-1 Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, Japan

ナシ樹体ジョイント仕立て法の‘恵水’への適用

加川敬祐・市毛秀則・寺門 巖・清水 明¹⁾

(茨城県農業総合センター園芸研究所)

要約

ナシの樹体ジョイント仕立て法の‘恵水’への適用性を明らかにするため、仕立ての違いが若木の収量および果実品質に及ぼす影響について検討した。1年生苗を直接定植した場合のジョイント仕立ては、定植3年目にジョイントが完了し、定植6年目に換算収量が成木の目標収量の5,000kg/10a以上に達し、慣行仕立て樹を大きく上回った。また、ポットで1年間育苗した2年生大苗を移植した場合、定植と同時にジョイントが完了し、定植4年目に換算収量が5,000kg/10a以上となり、早期多収であった。ジョイント仕立ての一果重や糖度は年によって慣行仕立てに比べ小さい傾向であったが、大玉で高糖度であった。また、ポット育苗においては、ジベレリン処理を3回行うことで、より長い苗を生産できた。これらの結果から、ジョイント仕立て法は‘恵水’に適用性が高いと結論付けられた。

キーワード：ニホンナシ、ジョイント仕立て、大苗育苗、‘恵水’

1 はじめに

茨城県の果樹産業においてニホンナシは基幹樹種であるが、現場の生産者圃場には樹齢30年以上の園地が多く、収量・品質の低下が懸念されている。しかし、園地の若返りの目安となる未成園面積率は2%と低く、改植が進んでいない（茨城県，2016）。平棚栽培を行うニホンナシの場合、園地の棚面を覆うように樹体を構成する骨格枝が完成するまでに7～8年必要で、植え付けから成園化まで9～12年程度を要する（吉田，2010）。この期間は成園に比べ収入減となるため、ナシ園の改植はなかなか進んでいないのが現状である。

一方、改植後早期に収量を確保するための早期成園化技術として、樹体ジョイント仕立て法（柴田・川嶋，2012）が開発された。これは、接ぎ木により主枝部を連結し、直線状の集合樹として仕立てる方法で、改植後、早期に成園並みの収量を確保できる技術として本県および他県産地への導入が進んでいる。ジョイント仕立てはニホンナシ主要品種‘幸水’で確立した栽培法であるが、高価格が期待され生産量の増加が望まれる新品種への適用が試みられている。鳥取県では、‘新甘泉’などにジョイント仕立てを組み合わせた栽培技術の導入が推進され、栽培面積が急増している（角脇，2019）。

茨城県が育成した‘恵水’は、良好な食味と収量性をあわせもった品種として期待され（尾形ら，2015）、2013年に県内の生産者を対象とした苗木の販売が開始されて以降、栽培面積が増加している。しかし、市場出荷による販売を行う上ではいまだ数量が不足していることから、早期成園化技術としてジョイント仕立てに対する生産者の関心は高い。また、‘恵水’は‘幸水’に比べえき花芽着生が悪い一方、短果枝の維持が容易であるなど‘幸水’とは異なる側枝の生育特性をもつことから（加川ら，2019）、樹体ジョイント仕立ての‘恵水’への適用性を明らかにする必要がある。

そこで、仕立ての違いが‘恵水’若木の収量および果実品質に及ぼす影響について試験を実施した。試験1では、1年生苗の定植による‘恵水’のジョイント仕立ておよび列間距離、試験2ではポットで1年間育苗した2年生大苗の移植によるジョイント仕立ての初期収量について検討した。また、試験3において、ジョイント仕立て用の2年生大苗のポット育苗に対するジベレリン処理の効果の検討を行った。

1) 現 公益社団法人茨城県農林振興公社

2 材料および方法

2.1 1年生苗の定植による‘恵水’ジョイント仕立ておよび列間距離の検討（試験1）

試験は、茨城県農業総合センター園芸研究所（笠間市安居）所内のナシ圃場（普通腐植質黒ボク土）で実施した。2013年4月に‘恵水’2年生樹を、ジョイント仕立ては株間2.0m、列間3.6mで3樹を1ユニットとして2ユニットを定植した。慣行仕立ては、‘恵水’2年生樹を3.6m×3.6m互の目で2樹（それぞれ3本主枝、4本主枝）を定植した。

ジョイント仕立ては、定植後2年間新梢を上方に誘引して伸ばし、定植3年目の2015年3月にジョイントを実施した。ジョイントの方法は「ニホンナシの樹体ジョイント～ジョイント（接ぎ木）マニュアル Ver.3.3～」（神奈川県農業技術センター，2010）に従った。

ジョイント仕立ては、7年生樹のせん定（2018年3月）以降、2ユニットのうち1ユニットは列間3.0mを想定し、側枝長の目安を150cmとした。この列間3.0mは‘幸水’におけるジョイント仕立ての開発や他品種への適用性検討の際の栽植方法にしたがったものである（柴田ら，2010；曾根田ら，2017）。側枝のせん定は、本県の‘幸水’のせん定方法（茨城県農業総合センター，2016）と同様に、棚づけした側枝先端から発生した新梢はせん定時に切り戻した。一方のユニットは、本県のナシ圃場の標準的な列間距離3.6mを想定し、側枝長の目安を180cmとした。吉田（2010）の‘新水’の側枝せん定方法（短果枝型）にしたがい、側枝先端から発生した新梢を0～30度に誘引して延長した。慣行仕立て樹は、吉田（2010）の若木～成木期の基本的な枝配置にしたがい、列間距離3.6m区と同様に短果枝利用型のせん定とした。

仕立ての比較の調査項目は収量および果実品質とした。ジョイント仕立ては5年生樹、慣行仕立ては4年生樹から結実を開始した。着果量は‘恵水’の適正着果量となるよう加川ら（2019）の目安にしたがい、若木期（4～8年生樹）はいずれの処理区も本摘果時に側枝1m当たり6果とし、成園化したと考えられたジョイント仕立て9年生樹は樹冠面積当たり10果/m²に摘果した。収量は収穫期（9月）に全果収穫を行って重量を測定し、10a当たり収量に換算した。ジョイント仕立ては、6年生樹までは2ユニット（6樹）の平均値を、側枝せん定方法を変更した7年生樹以降列間3.0m区、列間3.6m区それぞれ1ユニット（3樹）の値を用いた。果実品質は、一果重は各区全果測定した。糖度（Brix%）は試験区ごとに無作為に選んだ30果を、糖度計（ポケット糖度計PAL-1、（株）アタゴ）を用いて測定した。

列間距離の比較では、落葉後（11月）に各区の新梢長、新梢本数、側枝長、側枝数を測定した。新梢長および新梢本数は、枝長10cm以上のものを測定した。果実品質は仕立ての比較と同様の方法により一果重および糖度を測定した。

その他の栽培管理は茨城県果樹栽培基準（茨城県農業総合センター，2016）、病虫害防除は茨城県病虫害防除所の発行する各年度の茨城県赤ナシ無袋栽培病虫害参考防除例に準じて行った。

2.2 2年生大苗の移植による‘恵水’のジョイント仕立ての初期収量の検討（試験2）

試験区は、ジョイント仕立て区（3樹）、2本主枝区（2樹）の2区とし、いずれも1年生苗を2015年12月から1年間ポット育苗し、主枝候補枝を2本養成した‘恵水’の3年生大苗を2017年4月3日に定植した。ジョイント仕立て区は、列間3.6m、株間1.5mで3樹1ユニットとして定植した。2本主枝区は、2本主枝1文字仕立てとした。

各区定植3年目の5年生樹から結実させ、収穫期（2018年9月3日～18日、2019年9月2日～17日）に全果収穫を行って重量を測定し、10a当たり収量に換算した。その他の栽培管理は試験1と同様に行った。

2.3 ジベレリン処理がジョイント仕立て用ポット苗の生育へ及ぼす影響の検討（試験3）

2017年から2018年にヤマナシ台‘恵水’およびマメナシ台‘幸水’、‘あきづき’の1年生苗を各24樹供試して試験を実施した。2017年12月14～15日に不織布ポット（商品名：JマスターK30、グンゼ（株）、容量20リットル）に苗木を定植し、半埋設栽培とした。苗木から発生した新梢のうち先端2本を添え竹に結束して直立に誘引し、下部から発生した新梢は葉3～4枚を残して摘心した。培土は赤土2：パーライト1で、施肥は3月に被覆肥料（商品名：エコロング413R、ジェイカムアグリ（株）、肥効140日）N12g/ポット施用し、5月から8月まで1ヶ月おきに硫酸をN1.5g/ポットを施用した。かん水は、点滴チューブにより自動かん水で行った。防除は平成30年版茨城県赤ナシ無袋栽培病虫害参考防除例に準じた。

試験区は各品種ともジベレリン（GA）処理区、通常管理である摘心区の2区を設置し、1区1樹12反復とした。GA処理区は、5月、7月、8月の合計3回、苗の先端新梢基部にジベレリン塗布剤（商品名：ジベレリン協和ペースト、住友化学（株））を各100mg処理した。摘心区は、「ニホンナシの樹体ジョイント仕立て栽培管理マニュアル（Ver.3）」（神奈川県農業技術センター，2014）に準じて、苗の伸長が一時的に止まった際に直ちに先端部の止め葉3葉を摘心し、8月末頃まで繰り返した。

調査項目は、新梢長（各樹2本の新梢の平均値）、苗全長とした。調査は2018年10月11日に行った。

3 結果

3.1 1年生苗の定植による‘恵水’ジョイント仕立ておよび列間距離の検討

ジョイント仕立ては定植2年目、すなわちジョイントを実施した翌年の5年生樹から結実した（図1）。収量は、ジョイント実施後2～3年目に大きく増加し、ジョイント仕立ての7年生樹（ジョイント実施後3年目）の換算収量は列間3.0mが5,966kg/10a、列間3.6mが5,699kg/10aであり、‘恵水’成木の基準収量の5,000kg/10aを上回った。その後2年間のジョイント仕立ての換算収量は列間3.0mがそれぞれ5,821kg/10a、5,353kg/10a、列間3.6mがそれぞれ5,990kg/10a、5,882kg/10aとともに5,000kg/10aを上回った。

慣行仕立ては4年生樹から結実し、7年生樹の換算収量が2,714kg/10a、9年生樹が4,279kg/10aとなった。

収穫果数は、収量と同様にジョイント仕立ては5年生樹から7年生樹にかけて大きく増加した（図2）。7、8年生樹における収穫果数は10a換算で10,000果を上回り、最も多い8年生樹では、列間距離3.0m区、3.6m区それぞれ12,024果/10a、11,592果/10aであった。9年生樹は、着果量を10果/m²としたため、収穫果数はそれぞれ9,129果/10a、9,522果/10aであった。慣行仕立て区は樹齢の経過にしたがった収穫果数が増加し、9年生樹では7,562果/10aであった。

5年生～8年生樹におけるジョイント仕立て樹の一果重は513～623gと大玉で、5年生樹では慣行仕立てと有意な差は認められなかったが、6年生～8年生樹では慣行仕立てに比べ有意に小さかった（図3A）。糖度は、7年生樹で慣行仕立て区がジョイント仕立て区に比べ有意に糖度が高かったが、その他の年では仕立ての違いによる有意な差は認められず、いずれの年、仕立てにおいても糖度は13%前後と高かった（図3B）。

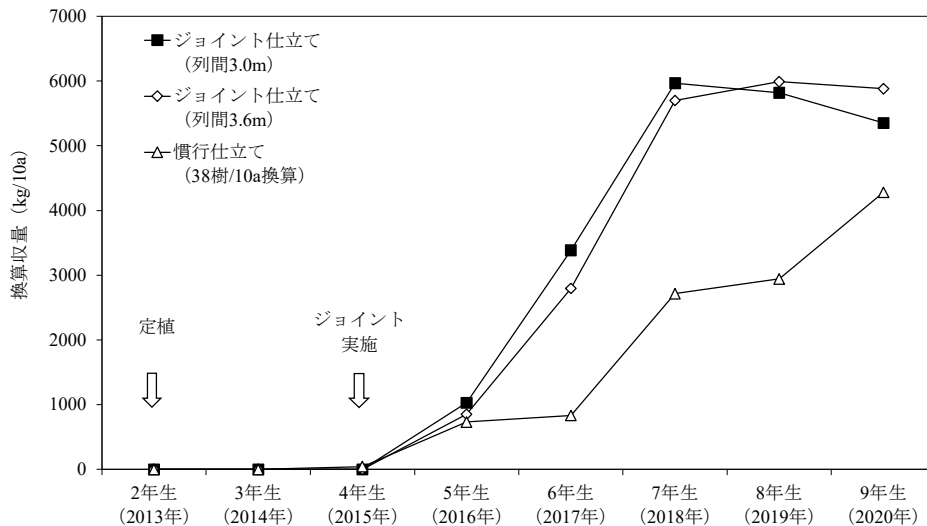


図1 ジョイント仕立てがニホンナシ‘恵水’の収量に及ぼす影響（2013年～2020年）

- 1) ジョイント仕立ての列間3.0mは10a当たり167樹、ジョイント仕立て列間3.6mは10a当たり139樹で換算した。列間3.0m、列間3.6mともに6年生樹までは6樹の収量の平均値を、7年生以降は各3樹の収量の平均値を用いた
- 2) 慣行仕立ては、7.2m×7.2m互の目（10a当たり38樹）で換算した

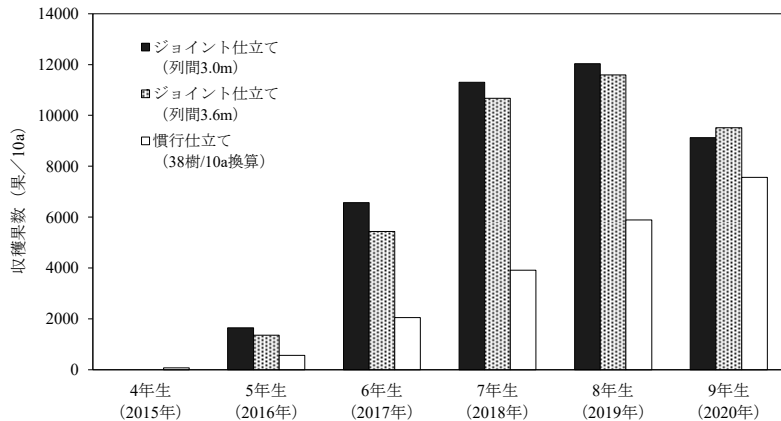


図2 ジョイント仕立てがニホンナシ‘恵水’の収穫果数に及ぼす影響（2015年～2020年）

- 1) ジョイント仕立ての列間3.0mは10a当たり167樹、ジョイント仕立て列間3.6mは10a当たり139樹で換算した。列間3.0m、列間3.6mともに6年生樹までは6樹の収穫果数の平均値を、7年生以降は各3樹の収穫果数の平均値を用いた
- 2) 慣行仕立ては、7.2m×7.2m互の目（10a当たり38樹）で換算した

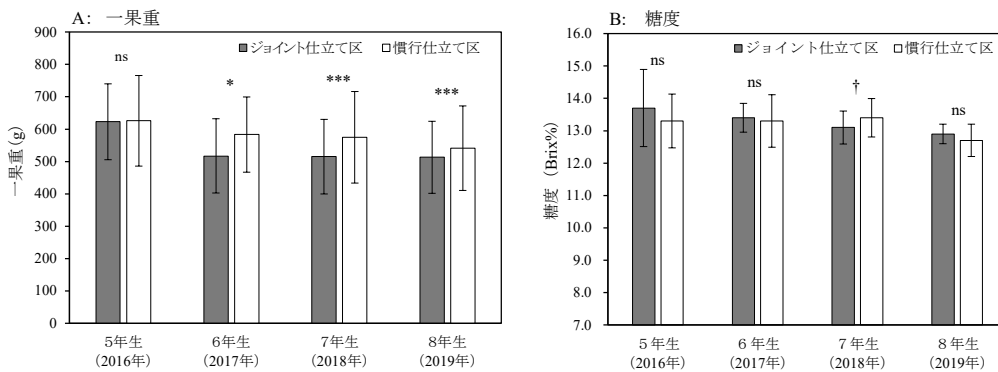


図3 ジョイント仕立てが‘恵水’の一果重（A）および糖度（B）に及ぼす影響

- 1) ジョイント仕立て区は、5～6年生樹は2ユニット（1ユニット3樹）、7～8年生樹は列間3.0m区1ユニットの値を用いた
- 2) 有意性は検定により、***：0.5%で有意、*：5%で有意、†：10%で有意、ns：有意差なし
- 3) 図中のエラーバーは標準偏差（SD）を示す

また、ジョイント仕立ての列間3.0m区は側枝長150cmを目安に側枝先端の切り戻しを行い、列間3.6m区は側枝長180cmを目安に側枝先端を延長したため、側枝長はいずれの年も列間3.6m区が有意に長かった（表1）。一果重は2019年は列間3.6m区が有意に大きく、2018年は有意な差は認められなかった。糖度は、2018年は列間3.6m区が有意に高く、2019年は有意な差は認められなかった。総新梢長および新梢数は2019年のみ列間3.0m区が有意に大きかった。

表1 列間距離の違いがジョイント仕立て‘恵水’の生育および果実品質へ及ぼす影響（2018～2019年）

年	試験区	一果重 (g)	糖度 (Brix%)	総新梢長 (cm/樹)	新梢数 (本/樹)	新梢長 (cm)	総側枝長 (cm)	側枝数 (本/樹)	側枝長 (cm)
2018年	列間3.0m区	528	13.1 *	5109	57	89.6	2375	21	117 *
	列間3.6m区	534	13.5	4231	46	91.3	2134	14	152
2019年	列間3.0m区	513	12.9	5461	58	94.3	2094	16	128 **
	列間3.6m区	552	12.9	4068	44	92.2	2265	13	171

1) 有意性は検定により、***：0.1%で有意、**：1%で有意、*：5%で有意、†：10%で有意、ns：有意差なし

3. 2 2年生大苗の移植による‘恵水’のジョイント仕立ての初期収量の検討

ジョイント仕立て区および2本主枝仕立て区ともに5年生樹から結実し、定植およびジョイント実施3年後の6年生樹の10a当たり収量はそれぞれ5,173kg/10a、1,137kg/10aとなり、ジョイント仕立て区は成木における基準収量5,000kg/10aを上回った（図4）。

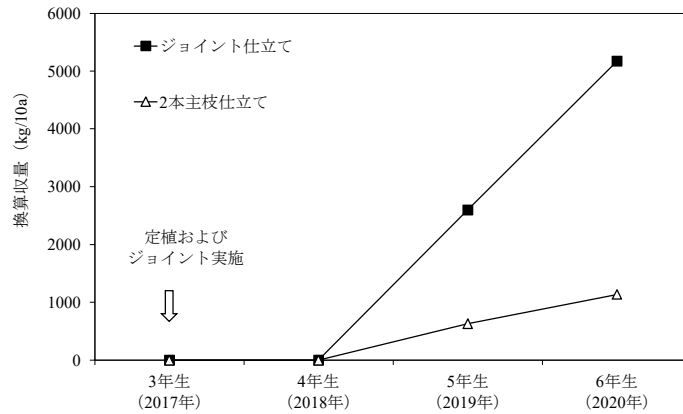


図4 ジョイント仕立てが2年生ポット大苗定植後のニホンナシ‘恵水’の収量に及ぼす影響（2017年～2020年）

1) ジョイント仕立ては列間3.6m×株間1.5m（10a当たり185樹）、2本主枝仕立ては植栽間隔3.6m×3.6m（10a当たり75樹）で換算収量を算出した

3. 3 ジベレリン処理がジョイント仕立て用ポット苗の生育へ及ぼす影響の検討

‘恵水’、‘あきづき’、‘幸水’ともに、新梢長（図5A）および苗全長（図5B）はいずれもGA処理区が摘心区に比べ有意に長かった。新梢長は各処理ともに品種間で有意な差は認められなかったが、苗全長はGA処理区の‘幸水’と‘あきづき’との間にのみ有意な差が認められた。なお、‘恵水’ポット苗の新梢長および苗全長は、各処理区ともに‘幸水’、‘あきづき’に比べ平均値では有意な差が認められなかったが、生育のばらつきが大きかった。

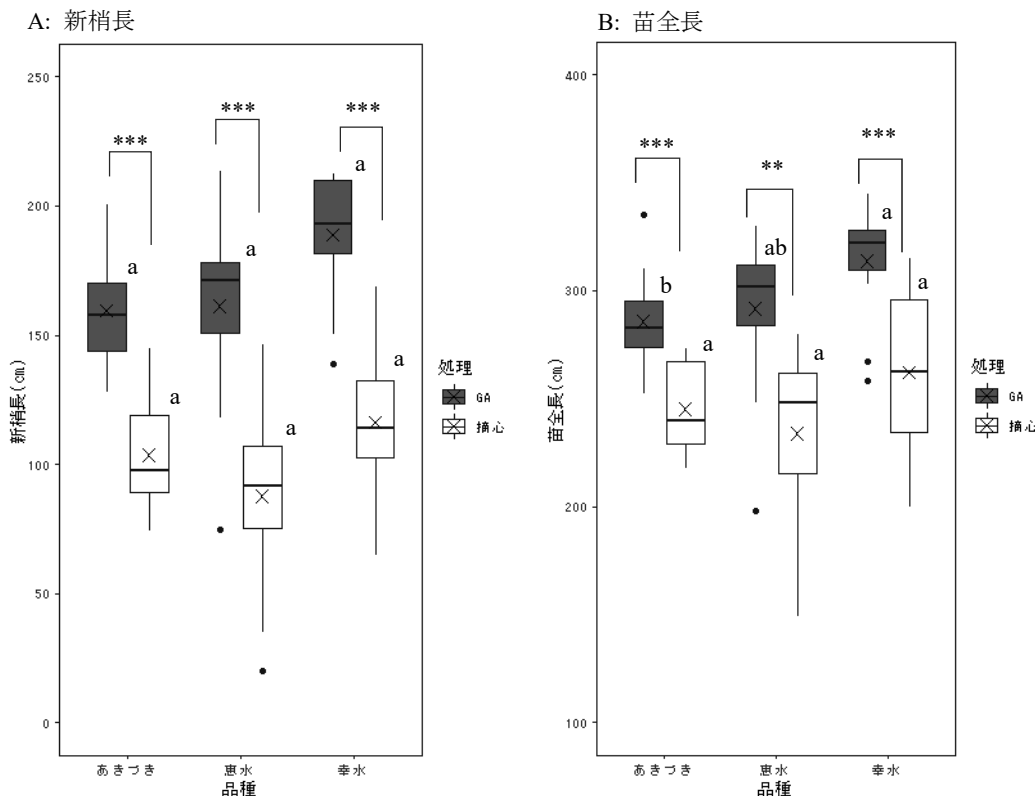


図5 ジベレリン（GA）処理がジョイント仕立て用ポット苗の生育（A：新梢長、B：苗全長）に及ぼす影響（2018年）

- 1) 新梢長は主枝候補枝となる2本の新梢長の平均値とした。苗全長は地際から最も高い新梢先端までの長さを計測した
- 2) 図中の×は平均値、●は外れ値を示す
- 3) 有意性はt検定により、***：0.1%で有意、**：1%で有意
- 4) 図中のアルファベットは同一処理の品種間において、異符号間でTukey検定により5%で有意な差があることを示す

4 考察

試験1の結果、ジョイント仕立ての‘恵水’は定植6年目の7年生樹において、換算収量が成木の目標収量の5,000kg/10a以上となり、慣行仕立て樹を大きく上回った。また、試験2の結果、2年生ポット大苗を定植したジョイント樹では定植4年目の6年生樹において収量が5,000kg/10a以上となった。これらの結果より、‘恵水’においてジョイント仕立ては早期多収であることが明らかになった。

柴田・関（2021）は、ジョイント仕立てでは定植2～3年目から着果が可能で、‘幸水’、‘豊水’の2年生苗の定植から5年目には成園と同等の収量を得ることができるとしている。試験1では、1年生苗を直接ほ場に定植して2年間主枝を延長した後にジョイントを行ったため、結実開始は定植4年目の5年生樹からであり、成園並み収量に達するまで2年多く時間を要した。一方、2年生ポット大苗を定植した試験2では、定植と同時にジョイントを実施し、定植4年目に成園並み収量に達した。いずれの試験においても、‘恵水’のジョイント仕立てで成園並み収量となるのはジョイント実施から3年後であり、短期間で樹冠が完成することで、‘恵水’においても‘幸水’のジョイント仕立てと同等の早期多収効果が得られると考えられた。

ジョイント仕立ての果実品質は、一果重は慣行仕立てに比べ6年生～8年生樹において有意に小さく、糖度は7年生樹で有意に低かった。この原因として、本試験では、5～8年生樹では側枝1m当たり6果を基準として着果管理を行ったため、慣行仕立てに比べ単位面積当たりの着果量が多かったことがあげられる。加川ら（2019）は着果量を12果/m²に設定すると、8果/m²および10果/m²の区に比べ収量が高いものの一果重が小さく、糖度13%以上の果実割合が低下すると報告している。本試験のジョイント仕立て区では7、8年生樹で10果/m²を上回った状態となっており、着果過多の状態にあったと考えられる。ジョイント仕立てでは、定植後早期に側枝長が確保できるため、若木の段階から側枝単位の着果量だけではなく、樹冠面積あたりの着果量を考慮して着果管理をする必要がある。

試験1においてジョイント仕立ての列間距離の違いによる生育への影響を比較したところ、収量はいずれの試験区においても定植6年目の7年生樹で成園並みとなった。生育および果実品質は、せん定方法の変更から2年目の2019年において、列間距離3.6m区では列間距離3.0m区に比べ総新梢長および新梢数が小さく、一果重が大きかった。ナシの発育枝（新梢）と果実は養水分の競合関係にあり、整枝・せん定で徒長枝の発生を少なくすることが生産性を高めるとされる（田村，2010）。よってこの結果は、列間距離3.6m区では、列間距離3.0m区に比べて側枝の切り戻しが弱いことによって、樹からの新梢発生が少なく果実発育が促進されたことによると考えられる。‘恵水’の側枝せん定方法については、加川ら（2021）が‘幸水’に準じた長果枝型のせん定方法において多収となる側枝密度の検討を行った。しかし、‘恵水’は‘幸水’に比べて短果枝の維持が容易であるため、短期間での側枝更新を前提とした長果枝型のせん定方法だけではなく、短果枝型のせん定方法をとることも可能と考えられる。本試験における2年間の検討結果では、列間距離および側枝せん定方法の違いによる初期収量や生育、果実品質に大差はなかった。しかし、果実品質や側枝更新の安定性については、今後継続して栽培を行い、検討を続ける必要がある。

試験3の結果から、‘恵水’のジョイント用ポット苗を育成するためには、生育期に3回GA処理を行うことで、摘心処理に比べより長い苗を確保できることが明らかとなった。ジョイント仕立てでは、定植時に隣接樹にジョイント接ぎ木をすることが望ましく、株間1.5mの場合、苗木は全長3.3m以上の長さに育成する必要がある（北見，2015）。本試験の結果では、1年生苗にGA処理を行った‘恵水’、‘幸水’および‘あきづき’の苗全長の平均値はそれぞれ292cm、314cm、286cmであり、株間1.5m～2.0mでジョイント仕立てを行うにはやや短かった。株間1.5m～2.0mでジョイントを実施するためには、より長い苗を育成しなければならず、ポットによる2年育成も含めさらなる検討が必要である（北見，2015）。一方、本県産地におけるジョイント仕立て導入事例では、株間にこだわらず用意した苗木の長さを確認しながら接ぎ木可能な位置に順次定植する事例が実践されている（安嶋，2018；安嶋，2020）。この定植方法の場合、苗木の必要量は増加するものの、定植と同時に接ぎ木を完了させることで早期の樹冠決定が可能となる。本試験の結果から、早期のジョイント実施による樹冠決定が早期多収にとって重要なことは明らかであり、‘恵水’のジョイント仕立ての導入効果を高めるには、十分な量の苗木を用意したうえで、定植と同時期にジョイント作業を完了させることが望ましいと考えられた。

以上のように、ジョイント仕立ては、茨城県が育成したニホンナシ新品種‘恵水’においても適用性が

高く、早期多収であることが明らかとなった。‘恵水’は市場出荷による販売を行うために出荷量の増加が求められているが、これを確保するための早期成園化技術として期待できる。しかし、ジョイント仕立ては、慣行仕立ての栽植方法と異なり列状に密植する必要がある。このため、すでに慣行仕立てで栽培している園内へのスポット的な導入は困難なことから、新植や面的改植での導入が望ましい。また、今後樹齢を経過した際の生産安定性については、引き続き収量や生育を調査し、検証していく必要がある。

摘要

ニホンナシ‘恵水’におけるジョイント仕立ての適用性を明らかにするために、仕立ての違いが収量および果実品質に及ぼす影響を検討した。その結果、次のことが明らかとなった。

1. ジョイント仕立ての‘恵水’は1年生苗の定植、2年生大苗の移植ともにジョイント実施後3年目に目標収量5,000kg/10a以上となり、早期多収であった。
2. ジョイント仕立ての‘恵水’の一果重、糖度は慣行仕立てに比べ年によって小さい傾向だったが、大玉で高糖度であった。
3. ‘恵水’のジョイント用2年生大苗の育苗において、ジベレリン3回処理により新梢先端摘心処理に比べ苗全長が大きい苗を確保することができた。

引用文献

- 安嶋紀幸 (2018) 作業の単純化、省力化を実現するナシの樹体ジョイント仕立て. 農業いばらき70 (11) : 28-29.
- 安嶋紀幸 (2020) ナシ「恵水」の普及拡大に向けて①適期収穫の徹底、②樹体ジョイント仕立ての導入. 農業いばらき72 (9) : 28-29.
- 茨城県 (2016) 茨城県果樹農業振興計画～いばらきのうまい果物づくり推進と次世代につなぐ果樹産地の育成を目指して～. pp. 2-8.
- 茨城県農業総合センター (2016) II 栽培概要. 1. ナシ. 茨城県果樹栽培基準. pp. 11-53.
- 角脇俊彦 (2019) 日本ナシのジョイント栽培による県育成新品種の生産拡大. 果実日本74 (1) : 55-58.
- 加川敬祐・市毛秀則・清水 明 (2019) ニホンナシ‘恵水’の着果量の違いが収量・果実品質に及ぼす影響. 茨城農総セ研報1 : 67-72.
- 加川敬祐・市毛秀則・寺門 巖・清水 明 (2021) ニホンナシ‘恵水’における側枝枝齢および側枝密度が収量・果実品質に及ぼす影響. 茨城農総セ研報3 : 15-21.
- 神奈川県農業技術センター (2010) ニホンナシの樹体ジョイント～ジョイント (接ぎ木) マニュアル Ver.3.3～ (<https://www.pref.kanagawa.jp/documents/8378/530382.pdf> 2021年12月9日アクセス) .
- 神奈川県農業技術センター (2014) ニホンナシの樹体ジョイント仕立て栽培管理マニュアル (Ver.3) . pp. 20-23.
- 北見 丘 (2015) ナシのジョイント仕立ての特徴および専用苗木育成時におけるジベレリンペースト剤の活用. 雑草と作物の制御10 : 30-35.
- 尾形夏海・喜多晃一・郷内 武・霞 正一・佐久間文雄・石井亮二 (2015) ニホンナシ新品種‘恵水’の育成. 茨城農総セ生工研報15 : 53-58.
- 柴田健一郎・関 達哉・曾根田友暁・小林正伸 (2010) 樹体ジョイント仕立てによるニホンナシ‘幸水’の超早期成園化技術の開発. 園学研9 (別2) : 123 (講要) .
- 柴田健一郎・川嶋幸喜 (2012) 樹木の樹体ジョイント仕立て法. 特許第4895249号.
- 柴田健一郎・関 達哉 (2021) 果樹のジョイント栽培開発の意義と可能性. 園学研20 : 1-16.
- 曾根田友暁・柴田健一郎・小泉和明・北見 丘・小林正伸 (2017) ナシジョイント仕立て法の筑水系品種への適用. 神奈川農技セ研報161 : 17-23.
- 田村文男 (2010) レベルアップのためのナシ栽培の生理・生態. 図解ナシをつくりこなす : 品種に合わせて早期成園化 (田村文男・吉田 亮・池田隆政編) . 農文協, 東京, pp. 102-106.
- 吉田 亮 (2010) 植栽4年目から樹形の完成期まで. 図解ナシをつくりこなす : 品種に合わせて早期成園化

(田村文男・吉田 亮・池田隆政編) . 農文協, 東京, pp. 57-77.

Application of Tree Joint Training System for Japanese Pear ‘Keisui’

Keisuke KAGAWA¹, Hidenori ICHIGE, Iwao TERAKADO and Akira SHIMIZU

Summary

To clarify the applicability of the tree joint training system for Japanese pears to ‘Keisui’, we investigated the effect of different training methods on yield and fruit quality of young trees. In the case of direct planting of first-year seedlings, jointing of ‘Keisui’ was completed in the third year of planting. In the sixth year of planting the converted yield reached more than 5,000 kg/10a, which is the target yield of adult trees, greatly exceeding that of conventionally planted trees. When large second-year seedlings grown in pots for one year were transplanted, jointing was completed at the same time as planting and the converted yield was more than 5,000 kg/10a in the fourth year of planting, resulting in an early high yield. The fruit weight and sugar content of the jointed ‘Keisui’ tended to be smaller than conventionally planted cultivars in several years, however the potted fruits were larger and higher in sugar. In addition, treatment of gibberellin three times was effective in producing longer seedlings. These results concluded that a tree joint training system can be applicable to ‘Keisui’.

Keywords: Japanese pear, tree joint training system, large seedling development, ‘Keisui’

¹ Address: Horticultural Research Institute, Ibaraki Agricultural Center, 3165-1 Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, Japan

黒ボク土ナシ園における豚糞堆肥の連用と中断による 当年堆肥由来および地力由来一酸化二窒素排出量の評価

下河邊裕二・郷内 武¹⁾・藤田 裕
(茨城県農業総合センター園芸研究所)

要約

ナシ園において、化学肥料と堆肥の併用（慣行区）、化学肥料のみ（化学肥料区）、化学肥料の一部を堆肥で代替する（堆肥代替区）という3つの施肥法で連用を続けた。さらに、慣行区に堆肥施用を中断する区（慣行中断区）を設置し、一酸化二窒素（ N_2O ）を中心とした環境パラメータを調査することで、当年施用堆肥由来および地力（連用効果）由来の N_2O 排出量を評価した。当年堆肥由来の N_2O 排出量および排出係数は、それぞれ $-0.17\sim 1.40\text{kg N ha}^{-1}$ および $-0.06\sim 0.47\%$ であり、化学肥料区と比較して大幅に低かった。地力（連用効果）由来の N_2O 排出量は、 $-0.03\sim 1.43\text{kg N ha}^{-1}$ であり、当年堆肥由来 N_2O 排出量よりも大きくなる傾向がみられた。当年堆肥由来排出係数と、堆肥の窒素放出率から推察した地力由来排出係数との合計は、化学肥料区比で約91%であり、長期的には施用した堆肥の多くが分解され、地力由来 N_2O として放出されていると考えられた。以上より、堆肥は、化学肥料と比較して施用当年の N_2O 排出量を低減させるが、長期連用した場合は地力由来の排出によって化学肥料の N_2O 排出量との差が小さくなることが示唆された。

キーワード：一酸化二窒素、排出係数、ニホンナシ、堆肥、土壤炭素

1. はじめに

茨城県は集約的な農業である野菜や果樹生産が盛んであり、そのうちニホンナシ（以下ナシ）は主要な作目である。ナシは施肥基準に対して窒素施肥量が多く（Hiraoka and Umemiya, 2000）、本県ナシ栽培では化学肥料と家畜糞堆肥の併用が慣行的に行われており、堆肥に含まれる肥料成分は施肥として考慮されない場合が多い。有機物の過剰施用は一酸化二窒素（ N_2O ）排出量の増大（秋山ら, 2004）、硝酸態窒素（ NO_3-N ）溶脱量の増大（加治ら, 2002）などの原因となる。

これまでに、藤田ら（2014）は、黒ボク土ナシ園において化学肥料に豚糞堆肥を併用する（慣行施肥法）ことにより総窒素投入量が増加し硝酸態窒素溶脱量が増加すること、総窒素投入量を適正化した、化学肥料の一部を堆肥で代替する施肥法（堆肥代替施肥法）は、地下水への窒素負荷低減に有効であることを明らかにしている。また、 N_2O の排出に関して、慣行施肥法で N_2O 排出量が多く、堆肥代替施肥法および施肥窒素の全量を化学肥料で施用する方法ではそれより少なくなる（藤田ら, 2015b；郷内ら, 2019）ことが明らかになっている。

しかし、堆肥の連用において、施用当年の堆肥に由来する N_2O （本報では「当年堆肥由来 N_2O 」とする）およびこれまでに連用し、土壤中に残っている堆肥に由来する N_2O （本報では「地力（連用効果）由来 N_2O 」とする）については評価されていない。

N_2O 等の温室効果ガスの比較にあたり、単純な排出量だけでなく、一単位あたりの活動量から排出される値に変換した「排出係数」を求めることが重要である。温室効果ガスの排出・吸収量の目録である日本国温室効果ガスインベントリにおける排出量の算定等にもこの係数が用いられている。

そこで本研究では、上記の3施肥法の連用を継続し、一部で堆肥の中断を実施することにより、当年堆肥由来および地力（連用効果）由来の N_2O 排出量・排出係数を評価することを目的とした。

2. 材料および方法

2. 1 供試圃場・作物および栽培管理

1) 現 茨城県農業総合センター生物工学研究所

試験は茨城県農業総合センター園芸研究所内圃場（腐植質普通黒ボク土、T-N：4.51g kg⁻¹、T-C：56.8g kg⁻¹、pH（KCl）：5.73、各数値は試験開始時）において行い、後述する堆肥中断区以外は2004～2020年まで同一の施肥設計で栽培した。

供試作物はナシ‘幸水’（樹齢25年生：2017年）を用いた。1993年3月に1年生の苗木を植栽し、その後の栽培管理は本県の果樹栽培基準（茨城県農業総合センター，2016）に準じた。植栽距離は7.2m×7.2m互の目（380樹ha⁻¹）とした。供試樹同士が隣接するため、2004年3月に区の境界を自走式トレンチャーで幅25cm地表下90cmまでの溝を掘り、ここに高さ90cmの塩化ビニル製畦畔板を挿入して区切り、1区画25m²に1樹とした。剪定は毎年1～2月に実施し、剪定枝および落葉はすべて圃場外に持ち出した。また、試験期間中に耕うんおよび灌水は行わなかった。地表面管理は、2012～2014年は株元のみ裸地とする部分草生栽培、2015～2020年は株元を含め全面草生栽培とし、適宜草刈りを実施してその刈り草は圃場から持ち出さず、その場に残した。

試験区は、2016年までは堆肥代替区、化学肥料区、慣行区の3区を設け、1区画25m²（1樹）で3反復とした。化学肥料区は本県の果樹栽培基準（茨城県農業総合センター，2016）に準じ、年間で200kg N ha⁻¹（基肥100kg N ha⁻¹、追肥100kg N ha⁻¹）の窒素を施用した。慣行区は、農家慣行法として茨城県内のナシ園の施肥実態（植田，2002）に基づき、化学肥料による基準施肥量に加えて豚糞堆肥を300kg N ha⁻¹ yr⁻¹を施用した。また、堆肥代替区は、基準施肥量における基肥窒素を堆肥で代替（全窒素含量を基準）し、追肥は化学肥料区と同様に行った。

2017～2020年の4年間は当年堆肥由来および地力（連用効果）由来のN₂O排出量を求めるため、堆肥代替区および慣行区に堆肥中断区を設置した。堆肥中断区とチャンバーの位置の模式図を図1に示す。

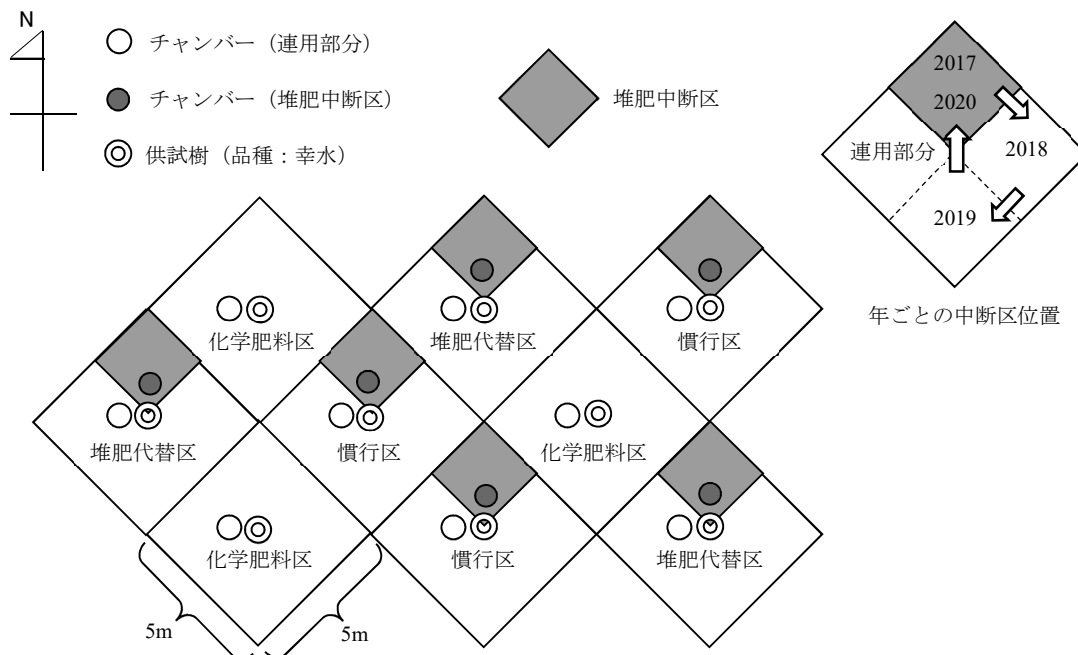


図1 2017～2020年における試験区模式図

堆肥中断区は各区画の1/4の面積とし、毎年位置をずらした。堆肥の連用部分を確保するため、最終年の2020年は2017年と同じ区画を再度中断区とした。このように、堆肥中断区は試験前年度まで堆肥の連用を行い、試験年度に堆肥を中断して化学肥料区と同様の施肥を実施した区とした（2020年のみ2度目の中断となる）。また、圃場の外縁部に窒素施肥および堆肥施用を行わない無窒素区を設けた。2017～2020年における試験区をまとめると、表1のとおりである。

また、堆肥は茨城県下妻市養豚農家で生産されたものを直接入手し、全窒素含量を基準に、基肥（2月または3月）時に施用した。表2に供試堆肥の化学性を示す。

化学肥料は硫酸を用い、基肥の施用は2月または3月に行った。また、追肥については、5月、6月、9月に、それぞれ30、30、40kg N ha⁻¹施用した。リン酸、加里はそれぞれ重焼リン、ケイ酸加里を用いて、各区一律に各成分160kg ha⁻¹ yr⁻¹を基肥として施肥した。肥料は地表面に散布し、耕起は行わなかった。

表1 各試験区における年間の窒素施肥量と堆肥施用量

試験区	肥料種類	施肥窒素量 (kg N ha ⁻¹)					炭素投入量 ¹⁾ (kg C ha ⁻¹)
		基肥	追肥1	追肥2	追肥3	合計	
堆肥代替区	化学肥料 ²⁾	0	30	30	40	100	-
	堆肥 ³⁾	100	0	0	0	100	1291
化学肥料区	化学肥料	100	30	30	40	200	-
慣行区	化学肥料	100	30	30	40	200	-
	堆肥	300	0	0	0	300	3874
慣行中断区	化学肥料	100	30	30	40	200	-
代替中断区	化学肥料	100	30	30	40	200	-
無窒素区	化学肥料	0	0	0	0	0	-

1) 炭素投入量は、2018～2020年の平均値

2) 化学肥料は硫酸を用いた

3) 堆肥は豚糞籾殻堆肥を用い、窒素施肥量は全窒素含量を基準とした

表2 供試堆肥の化学性

	pH (H ₂ O)	EC (dS/m)	(g kg ⁻¹)						C/N	水分 ¹⁾ (g kg ⁻¹)
			P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-N	T-C		
豚糞籾殻堆肥	7.8	8.0	42.0	32.0	50.8	14.5	23.3	298	12.8	430

※値は2018～2020年の平均値

1) 水分は現物あたり、それ以外は乾物あたりの数値

2. 2 生育、収量、果実品質

本報では、2017～2020年の4年間を調査期間とした。生育調査は、樹冠面積（4～5月）、新梢の長さ（12月）について実施した。樹冠面積は、主幹を中心に16方位を定め、各方位の主幹から樹冠外縁までの距離を測定し、主幹と隣り合う2方位の樹幹外縁部を直線で結ぶ三角形の面積を算出し、16の三角形面積すべてを合計して求めた。新梢の長さは、枝長10cm以上のものを測定した。収量は、8月中旬から9月上旬に収穫した全果実について重量を測定した。一果重は収量を収穫果数で除して求めた。果実品質は、収穫盛期にそれぞれ1樹当たり10果を採取して、硬度はマグネステーラー硬度計（5/16インチのプランジャー使用）赤道部を測定し、糖度は果汁をBrix糖度計（PR-101α、（株）アタゴ）で測定した。

統計解析は、一元配置分散分析を行い、Tukey法により多重比較した。

2. 3 一酸化二窒素 (N₂O) 排出量

調査は藤田ら（2015b）および郷内ら（2019）に準じ、2012～2020年における地表面のN₂Oフラックスをクロードチャンバー法（八木，1997）で測定した。すなわち、図2に示すように、区画の中央にあるナシ樹主幹から約50cm離れた位置に塩化ビニル樹脂製の円筒（直径25cm×高さ10cm）を5cm程度埋まるように設置（各区3反復）し、以後これを台座とした。なお、無窒素区は圃場の外周部のナシ樹の植栽のない部分に設置した。台座内は、2012～2014年は清耕栽培、2015～2020年は草生栽培とし、草生栽培では適宜地際部で雑草を刈り取り、そのままチャンバー内に残した。ガス採取時は、台座に塩化ビニル樹脂製のチャンバー（直径25cm×高さ5cm）をかぶせ、チャンバー設置直後の0分、10分、20分にチャンバー内ガスを50mlのシリン



図2 台座

ジを用いて30ml採取した。これを真空にしておいた15mlバイアル瓶に注入した。測定頻度は、3月から11月までの期間は週1回、特に堆肥施用および施肥直後は週2～3回行った。地温の低い12月から2月までは2週間～2ヶ月に1回測定を行った。慣行中断区は慣行区の堆肥中断部分に設置したチャンバーからガスを採取し、他の区はそれぞれの堆肥連用部分に設置したチャンバーからガスを採取した。採取した試料のN₂O濃度はECD付ガスクロマトグラフ（GC-2014、（株）島津製作所）で分析した。分析手法は既報（須藤，2012）に基づいた。年間のN₂O排出量は、2月1日を1年の区切りとして、台形積分法により算出した。排出係数は、各区の年間N₂O排出量から無窒素区の年間N₂O排出量を差し引き、各区の年間施肥窒素量で除して百分率で求めた。降水量は、茨城園研内の気象観測データを用いた。統計解析は、二元配置分散分析を行い、Tukey法により多重比較した。

当年堆肥由来および地力（連用効果）由来のN₂O排出量は、「当年施用堆肥由来＝慣行区－慣行中断」、「地力（連用効果）由来＝慣行中断区－化学肥料区」より算出した（図3）。

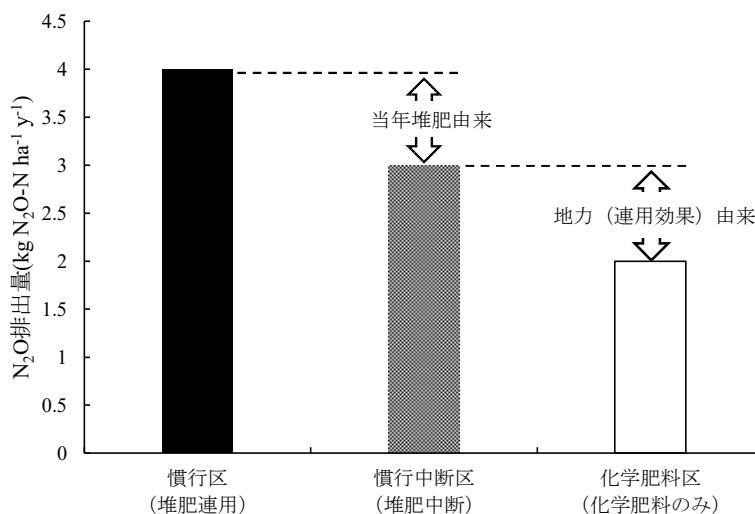


図3 当年堆肥由来および地力（連用効果）由来N₂O排出量算出の模式図

2. 4 土壌の無機態窒素含量の推移

2017～2020年の4年間を調査期間とした。分析用の土壌は、各処理区（3反復）において、区内の堆肥連用部分から深さ0～10cmの層位を検土杖（直径13mm）で採取した。採取頻度は、年間を通じて月2回、特に堆肥施用および施肥直後は週2～3回とした。土壌のアンモニア態窒素は塩化カリウム液浸出法および硝酸態窒素はデバルタ合金還元-微量拡散法（嶋田，1986）でケルダール自動蒸留滴定装置（ペーパデス50s、Gerhardt）により分析した。

2. 5 土壌の全炭素含量の推移

土壌は、各年のナシ落葉後から堆肥施用前の12月～2月に採取した。各処理区（3反復）において、区画の中央にある主幹から約1m離れた位置の深さ0～20cmの層位をハンドオーガー（直径70mm、大起理化工業（株））で採取し、分析用の試料とした。採取した土壌は風乾し、2mmのふるいを通したものを全自動元素分析装置（VarioMAX CN、Elementar）で全炭素含量を分析した。各年の土壌炭素含量の推移を最小二乗法により線形近似して、回帰式を求めた。

3. 結果

3. 1 生育、収量、果実品質

堆肥および基肥の施用方法の異なる3試験区の新梢長は82.2～88.5cm、収量は3.66～3.83kg、一果重は378～382g、硬度は4.0～4.1lbs、果汁糖度は11.3～11.6%の範囲であり、各区とも施肥法の違いによる有意な差は認められなかった（表3）。

表3 堆肥および基肥の施用方法の違いが生育、収量、果実品質に及ぼす影響

試験区	新梢長 (cm)	収量 (kg 樹冠 m ⁻²)	果実品質		
			一果重 (g)	硬度 (lbs)	果汁糖度 (Brix%)
堆肥代替区	86.3	3.83	382	4.1	11.6
化学肥料区	88.5	3.67	379	4.0	11.4
慣行区	82.2	3.66	378	4.1	11.3
分散分析 ¹⁾	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

※値は2017~2020年の4年間の平均値

1) n.s. : 5%水準で有意差なし

3. 2 N₂O排出量

2017~2020年における各区のN₂Oフラックスは、施肥のタイミングでフラックスのピークが現れたが、その大きさは降雨と重なると大きくなる傾向があった(図4)。基肥直後のN₂Oフラックスのピークは慣行区で大きく、堆肥代替区と化学肥料区はそれより小さい傾向であったが、2020年については慣行区と化学肥料区で同等となった。その他の時期については、慣行区でやや大きい傾向があるものの、施肥法の違いによらずN₂Oフラックスに大きな差はみられなかった。

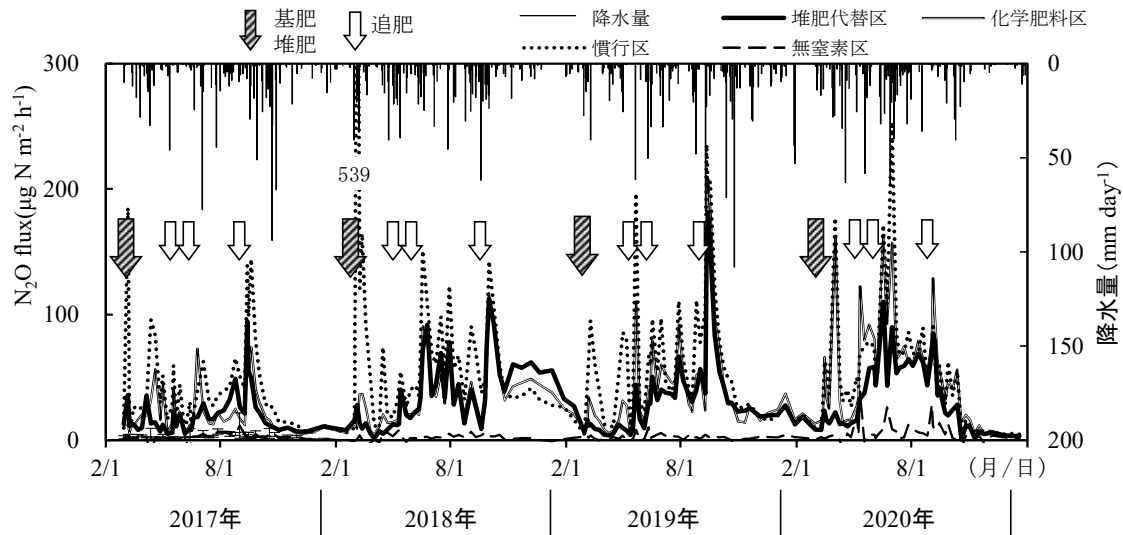


図4 堆肥および基肥の施用方法の違いがN₂Oフラックスに及ぼす影響および降水量の推移

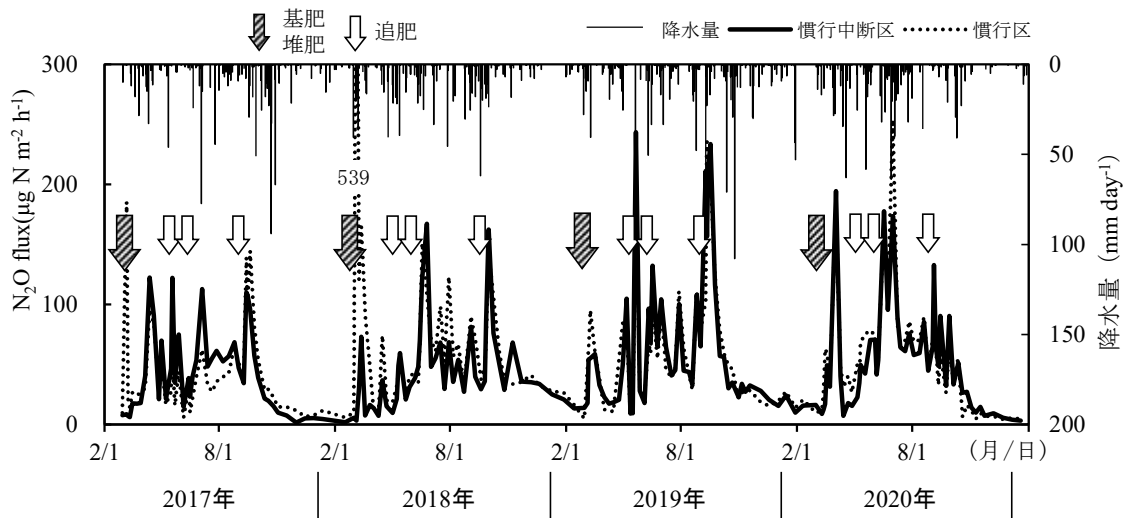


図5 堆肥の中断がN₂Oフラックスに及ぼす影響および降水量の推移

同時期における慣行区と慣行中断区のN₂Oフラックスの推移を図5に示す。2017年と2018年の基肥時に慣行中断区で慣行区よりピークが小さくなったが、2019年と2020年の基肥時における両区の差は小さかった。その他の時期については、両区のフラックスは概ね同等で推移した。

年間のN₂O排出量は、堆肥代替区1.43～3.34kg N ha⁻¹、化学肥料区1.56～3.91kg N ha⁻¹、慣行区2.95～5.00kg N ha⁻¹となった（表4）。年次による差は、2017年が他の年に比べて有意に小さく、施肥法による差は、慣行区と他の2区との間で有意であり、慣行区は化学肥料区、堆肥代替区よりも大きかった。

N₂O排出係数は、堆肥代替区0.62～1.58%、化学肥料区0.68～1.75%、慣行区0.55～0.96%となった。年次による差は、排出量と同様2017年が他の年に比べて有意に小さかった。一方、施肥法による差は排出量と異なり、化学肥料区と堆肥代替区で慣行区に比べて有意に大きくなった。

表4 堆肥および基肥の施用方法の違いがN₂O排出量および排出係数に及ぼす影響

年次	試験区	施肥窒素量		N ₂ O排出量 ¹⁾	N ₂ O排出係数 ²⁾
		化学肥料	堆肥		
		(kg N ha ⁻¹)		(kg N ha ⁻¹)	(%)
2017	堆肥代替区	100	100	1.43±0.34	0.62
	化学肥料区	200	0	1.56±0.13	0.68
	慣行区	200	300	2.95±0.49	0.55
	無窒素区	0	0	0.20±0.04	-
2018	堆肥代替区	100	100	3.34±0.99	1.58
	化学肥料区	200	0	3.12±0.09	1.47
	慣行区	200	300	5.00±0.34	0.96
	無窒素区	0	0	0.18±0.01	-
2019	堆肥代替区	100	100	2.61±0.29	1.20
	化学肥料区	200	0	3.19±0.36	1.49
	慣行区	200	300	4.41±0.71	0.84
	無窒素区	0	0	0.21±0.02	-
2020	堆肥代替区	100	100	2.49±0.55	1.04
	化学肥料区	200	0	3.91±1.00	1.75
	慣行区	200	300	4.18±1.02	0.75
	無窒素区	0	0	0.41±0.19	-
分散分析	年次			** ³⁾	**
		2017		b ⁴⁾	b
		2018		a	a
		2019		a	a
		2020		a	a
	施肥法			**	**
		堆肥代替区		b	a
		化学肥料区		b	a
		慣行区		a	b
	交互作用			n.s.	n.s.

1) ±は標準偏差を示す

2) 排出係数 = (各試験区N₂O排出量 - 無窒素区排出量) / 施肥窒素量 × 100)

3) **は1%水準で有意差あり

4) 各年次、施肥法における異符号間は1%水準で有意差あり (Tukey法による多重比較)

また、当年堆肥由来のN₂O排出量および排出係数は、それぞれ-0.17～1.40kg N ha⁻¹および-0.06～0.47%の範囲であり、4年間の平均値は0.37kg N ha⁻¹および0.12%であり、2017～2019年の平均値は0.40kg N ha⁻¹および0.13%であった（表5）。地力（連用効果）由来のN₂O排出量は、-0.03～1.43kg N ha⁻¹の範囲であり、4年間の平均値は0.82kg N ha⁻¹、2017～2019年の平均値は1.10kg N ha⁻¹あった。4年間および2017-2019年の平均でみると、N₂O排出量は当年堆肥由来よりも地力由来の方が多くなる傾向がみられた。

さらに、2012～2020年までの年次別の積算N₂O排出量については、慣行中断区を除きいずれの年も一貫して慣行区が最も多くなった（図6）。堆肥代替区と化学肥料区の排出量は、2020年を除いてほぼ同等であり、慣行区と比較して少なく推移した。2018～2020年の3年間は、堆肥代替区と化学肥料区の排出量が

2016年を除いた2012～2017年と比較して多い傾向であった。

表5 当年堆肥由来N₂O排出量・排出係数および地力由来N₂O排出量

年次	当年堆肥由来		地力(連用効果)由来
	N ₂ O排出量 (kg N ha ⁻¹)	N ₂ O排出係数 ¹⁾ (%)	N ₂ O排出量 (kg N ha ⁻¹)
2017	-0.04	-0.01	1.43
2018	1.40	0.47	0.47
2019	-0.17	-0.06	1.39
2020	0.30	0.10	-0.03
4年間平均	0.37	0.12	0.82
2017-2019平均 ²⁾	0.40	0.13	1.10

1) 排出係数=N₂O排出量/慣行区における堆肥の施肥窒素量×100

2) 2020年は、2017年に続いて2回目の中断であるため、他の3年のみでも算出した

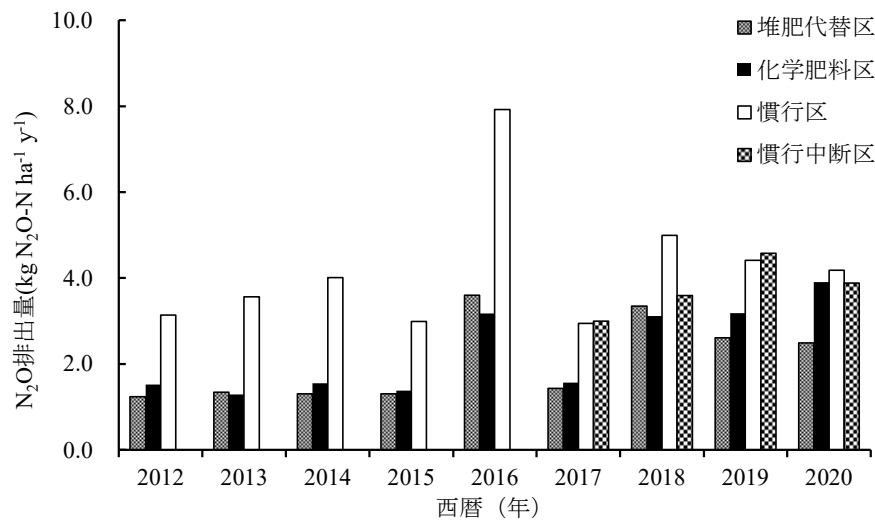


図6 堆肥および基肥の施用方法の違いが年次別積算N₂O排出量に及ぼす影響

3. 3 土壌の無機態窒素含量の推移

2017～2020年における各区の土壌中アンモニア態窒素含量は、図3に示したN₂Oフラックスの推移と同様、施肥時にピークが現れる傾向がみられた(図7)。特に基肥直後のピークが大きかったが、堆肥代替区では、慣行区および化学肥料区と比較してピークが小さかった。2020年の夏には、いずれの試験区でも大きなピークが認められた。基肥以外の時期については、各区概ね同等で推移した。

同時期における各区の土壌中硝酸態窒素含量は、アンモニア態窒素と同様、施肥時にピークが現れる傾向があったが、含量は全体的にアンモニア態窒素よりも小さかった(図8)。硝酸態窒素においても、堆肥代替区で慣行区および化学肥料区と比較して基肥直後のピークが小さかった。

3. 4 土壌の全炭素含量の推移

2004～2020年における土壌炭素含量は、慣行区において最も年次変動が大きかったが、線形近似させた直線の傾きから求めた年変化量は0.0033% y⁻¹(回帰は5%水準で有意差なし)であり、ほぼ横ばいで推移した(図9)。化学肥料区の年変化量は-0.0308% y⁻¹(回帰は1%水準で有意)、堆肥代替区は-0.0301% y⁻¹(回帰は1%水準で有意)であり、ともに同程度の減少傾向を示した。

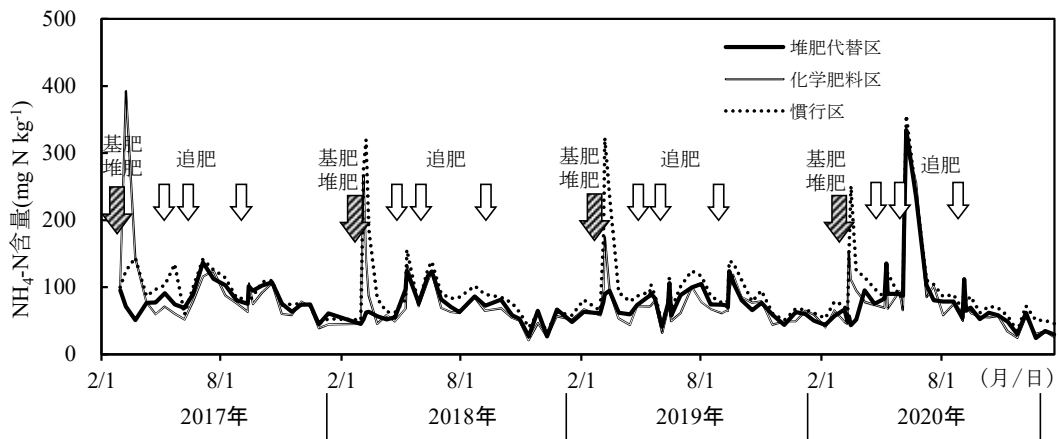


図7 堆肥および基肥の施用方法の違いが土壌中のアンモニア態窒素含量に及ぼす影響

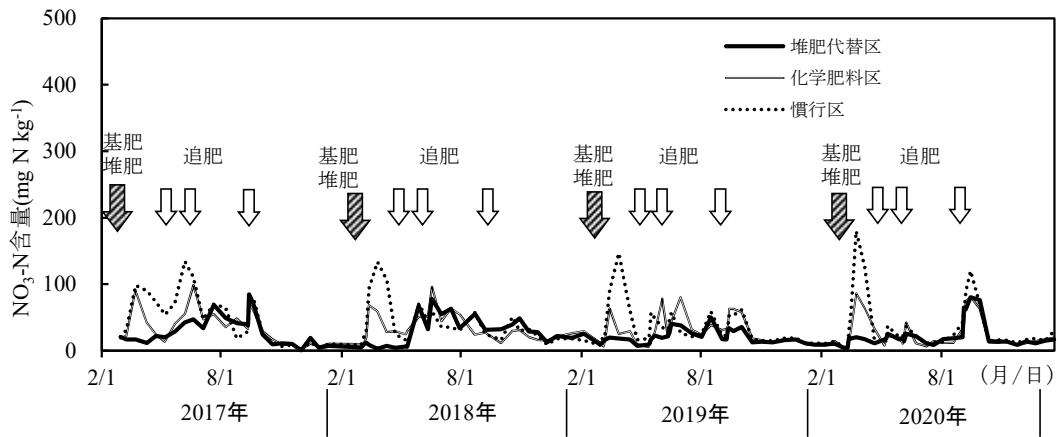


図8 堆肥および基肥の施用方法の違いが土壌中の硝酸態窒素含量に及ぼす影響

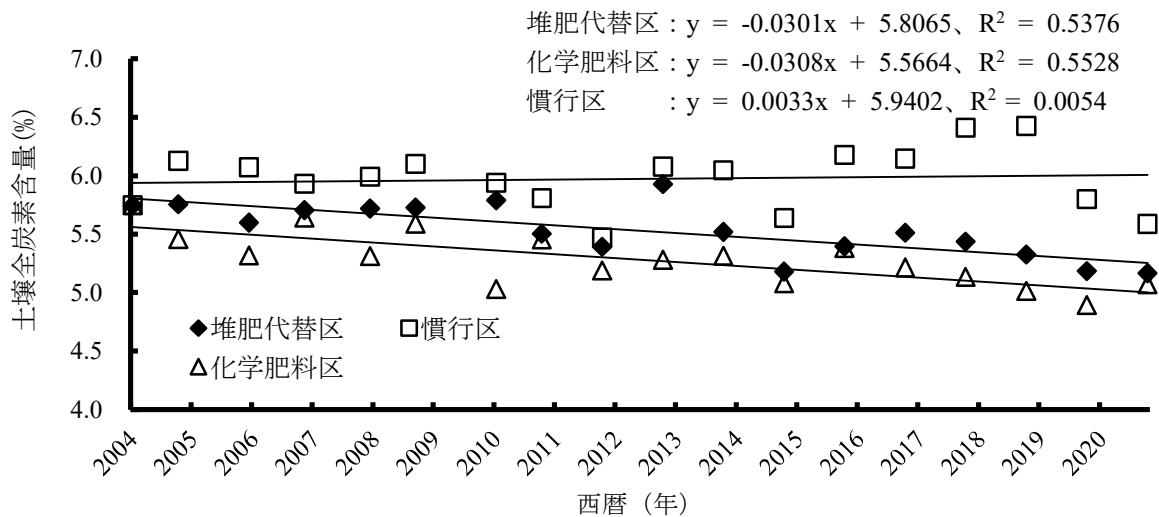


図9 堆肥および基肥の施用方法の違いが土壌全炭素含量に及ぼす影響

4. 考察

4. 1 生育、収量、果実品質

生育・収量・果実品質は、本研究の試験期間2017～2020年で施肥法の違いによる有意な差は認められな

かった。2004～2016年までに本研究と同様の設計で行った調査においても試験区間で差が認められなかった（藤田ら，2014；郷内ら，2019）。このことから、黒ボク土ナシ園において、基肥を堆肥で代替し堆肥中の窒素成分を含む総窒素量を適正化した施肥法は、長期間にわたり生育・収量・果実品質が維持できると考えられる。また、地上部の窒素吸収量は、これまでの期間（2004～2016年）に処理区間に差がない（藤田ら，2014）ことが明らかになっている。生育や収量に差が認められなかった本試験期間において、同様に地上部窒素吸収量は処理区間に差がなかったと考えられる。

4. 2 2017～2020年におけるN₂O排出の傾向

2017～2020年におけるN₂O排出量は、2012～2016年までの結果と比較して慣行区と堆肥代替区および化学肥料区との差が小さく、排出係数は慣行区よりも他の2区で有意に大きくなった。この結果は、藤田ら（2015b）および郷内ら（2019）が報告している、排出係数は施肥法の違いにより差はないとする2016年までの結果とはやや異なる。

その要因を解析するため、これまでの試験（藤田ら，2015b；郷内ら，2019）において慣行区と他の2区に間に差が大きかった基肥直後のN₂Oフラックスについて、2012～2016年の期間を含めて慣行区と化学肥料区の降水量との比較を行った（表6）。その結果、いずれの年も基肥後最初に降雨のあった日またはその翌日に慣行区と化学肥料区の差が大きくなるピークがみられた。基肥によると考えられる慣行区の最も大きなピークは、2012～2016年は基肥施用8～30日後（2015年はそれ以降）に認められたが、2017～2019年は基肥施用7日後までに認められた。2020年は、基肥施用による慣行区と化学肥料区のフラックスの差がほとんどみられなかったが、基肥後最初に降雨のあった日またはその翌日に調査を実施しなかったため、慣行区の基肥直後のピークを逃した可能性が高い。そのため、後述する当年堆肥由来および地力（連用効果）由来N₂O排出量の評価は、2020年を除いて考察する必要がある。

また、2012～2016年は、追肥後を中心とした基肥直後以外の時期においても、慣行区で他の2区よりもN₂Oフラックスが高く推移する傾向がみられたが（藤田ら，2015b；郷内ら，2019）、2017～2020年は差が小さいまたは同等となる傾向であった。郷内ら（2019）は、裸地栽培から草生栽培に切り替えた後のN₂O排出量の増加について、より嫌氣的になり、脱窒が増加した可能性があると考えしている。本試験期間では4年間とも草生栽培で管理しており、裸地栽培期間を含んだ2016年までの期間と比較して、脱窒由来のN₂O排出量が増加しやすい条件であった可能性がある。さらに、2012～2020年までの月別降水量を比較してみると（表7）、試験区間の排出係数の傾向が2016年までのものと近かった2017年を除き、2018～2020年は、3～7月までの期間に安定して多めの降水量があった。

したがって、安定した降水量と草生栽培による嫌氣的になりやすい状態が重なり、試験区を問わずN₂Oが発生しやすく、慣行区と他の2区のN₂O排出量の差が小さくなったため、慣行区で他の2区よりも有意に排出係数が低くなったと考えられる。

4. 3 土壌の全炭素含量

本研究における土壌炭素について、藤田ら（2015a）が試験開始時の2004～2013年までの10年間について、堆肥代替区ではほぼ横ばいで、化学肥料区ではやや減少傾向、慣行区ではほぼ横ばいで推移したと報告している。その後、郷内ら（2019）が2016年までの結果を加えた13年間について、堆肥代替区は化学肥料区と同等に減少傾向、慣行区ではほぼ横ばいで推移したと報告している。2017～2020年の結果を加え、17年間の推移をみた本研究においても、慣行区はほぼ横ばい、堆肥代替区と化学肥料区は同等に減少傾向となり、郷内らと同様の推移を示した。郷内ら（2019）は、慣行区において、炭素施用量と土壌に残る炭素量（慣行区と化学肥料区の炭素変化量の差）の関係から投入した堆肥由来炭素の約92%が分解されると考察している。同様の比較を堆肥代替区で実施すると、17年間の調査において堆肥代替区と化学肥料区の土壌炭素の年変化量がほぼ同じであることから、長期的にみると、試験区を問わず投入した堆肥由来炭素の多くが分解されると考えられる。

表6 慣行区および化学肥料区における基肥施用後のN₂Oフラックスと降水量の関係

年次	降水量(mm)およびN ₂ Oフラックス ($\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$)	基肥施用日との日数差									
		前日	当日	翌日	2日後	3日後	4日後	5日後	6日後	7日後	8~30日後
2012	降水量	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	12.5	0.0	2.0	38.0	93.0 (積算値)
	慣行区フラックス	-	-	-	-	139.2	-	-	72.0	-	145.5 (最大値)
	化学肥料区フラックス	-	-	-	-	5.0	-	-	9.9	-	38.1 (最大値)
	慣行-化学肥料	-	-	-	-	134.2	-	-	62.1	-	107.4
2013	降水量	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0 (積算値)
	慣行区フラックス	-	56.2	-	-	-	-	-	-	-	297.5 (最大値)
	化学肥料区フラックス	-	3.9	-	-	-	-	-	-	-	64.8 (最大値)
	慣行-化学肥料	-	52.3	-	-	-	-	-	-	-	232.7
2014	降水量	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.5 (積算値)
	慣行区フラックス	1.7	-	4.6	-	-	3.6	-	-	-	279.4 (最大値)
	化学肥料区フラックス	2.0	-	1.1	-	-	2.0	-	-	-	19.7 (最大値)
	慣行-化学肥料	-0.3	-	3.5	-	-	1.6	-	-	-	259.6
2015 ¹⁾	降水量	41.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.5 (積算値)
	慣行区フラックス	-	-	-	-	6.0	-	-	-	9.7	54.0 (最大値)
	化学肥料区フラックス	-	-	-	-	1.4	-	-	-	4.5	11.4 (最大値)
	慣行-化学肥料	-	-	-	-	4.5	-	-	-	5.2	42.6
2016	降水量	0.1	0.0	1.9	24.0	0.1	0.0	0.0	2.2	0.0	48.7 (積算値)
	慣行区フラックス	18.8	-	21.1	-	61.6	-	-	162.4	-	554.8 (最大値)
	化学肥料区フラックス	11.3	-	10.7	-	16.8	-	-	36.6	-	76.9 (最大値)
	慣行-化学肥料	7.5	-	10.4	-	44.7	-	-	125.8	-	477.8
2017	降水量	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	76.5 (積算値)
	慣行区フラックス	-	-	185.1	-	18.4	-	-	14.3	-	30.2 (最大値)
	化学肥料区フラックス	-	-	12.4	-	6.0	-	-	10.8	-	20.6 (最大値)
	慣行-化学肥料	-	-	172.7	-	12.4	-	-	3.4	-	9.6
2018	降水量	0.0	20.5	2.5	0.0	17.0	36.5	2.0	0.0	0.0	48.5 (積算値)
	慣行区フラックス	-	-	538.8	-	-	-	121.0	-	-	164.5 (最大値)
	化学肥料区フラックス	-	-	9.2	-	-	-	36.4	-	-	36.9 (最大値)
	慣行-化学肥料	-	-	529.6	-	-	-	84.6	-	-	127.7
2019	降水量	15.0	0.0	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	40.5	0.0	13.0 (積算値)
	慣行区フラックス	-	-	46.7	-	64.2	-	-	95.1	-	59.8 (最大値)
	化学肥料区フラックス	-	-	12.2	-	34.6	-	-	29.9	-	19.8 (最大値)
	慣行-化学肥料	-	-	34.4	-	34.4	-	-	65.2	-	40.0
2020	降水量	0.0	0.0	0.0	13.5	0.5	0.0	0.0	0.0	2.0	92.0 (積算値)
	慣行区フラックス	12.0	-	25.1	-	-	63.0	-	-	58.9	177.2 (最大値)
	化学肥料区フラックス	15.3	-	14.1	-	-	66.2	-	-	34.2	161.8 (最大値)
	慣行-化学肥料	-3.4	-	11.0	-	-	-3.2	-	-	24.7	15.3

1) 2015年は、他の年と異なり、基肥30日後よりも後のタイミングで基肥によると考えられる大きなピークが現れた(郷内ら、2019)

表7 2012~2020年における月別降水量

月	月別降水量 (mm) ¹⁾									
	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	
1	35	55	26	91	84	21	37	7	124	
2	74	36	172	60	31	28	10	55	32	
3	154	51	83	97	65	81	168	85	101	
4	109	133	129	85	125	103	87	78	169	
5	313	85	124	84	193	69	168	97	151	
6	178	99	291	163	154	40	102	150	192	
7	126	72	157	170	71	178	104	98	208	
8	56	64	85	87	325	82	107	119	42	
9	155	131	45	278	266	142	255	141	55	
10	136	333	284	39	127	343	51	291	142	
11	58	16	73	151	104	43	38	105	13	
12	58	32	64	38	68	18	25	54	9	
合計	1,451	1,104	1,530	1,341	1,613	1,146	1,150	1,277	1,234	

1) 2012~2015年は美野里のアメダス観測データ、2016~2020年は園芸研究所内の気象観測データを使用した

4. 4 堆肥代替施肥の利点

堆肥代替施肥により、慣行施肥と比較して窒素負荷を中心とした環境負荷の低減効果が認められることは、すでに明らかになっている（藤田ら, 2014・2015b ; 郷内ら, 2019）。また郷内ら（2019）は、堆肥代替施肥と大気圏および水圏への環境負荷の総合評価が同等となる化学肥料のみの施肥との比較においても、環境中にすでに放出された反応性窒素をいかに効率よく利用するかが重要である（江口ら, 2018）という視点から、堆肥という既に環境中に放出された反応性窒素を使用することで、地域における反応性窒素のプールを増大させないメリットがあると考察している。本研究では、それらに加え、堆肥代替区は同じ施肥窒素量の化学肥料区と比較しても施肥時の土壌中の無機態窒素の急激な増加がないことが示唆されたことから、3施肥法のなかで、堆肥代替施肥法が最も環境負荷に配慮した施肥法としてナシの安定生産に有効と考えられる。

4. 5 当年堆肥由来および地力（連用効果）由来 N_2O 排出量の評価

当年堆肥由来の N_2O 排出量および排出係数は、2017～2020年の4年間で年次変動が大きかったが、2度堆肥を中断している2020年を除いた3年間の排出係数の平均値は0.13%であり、同年の化学肥料区の排出係数の平均値1.39%と比較して大幅に低かった。藤田ら（2014）は、本研究で毎年使用している豚糞堆肥の埋設試験において、堆肥の窒素残存率から投入後年数別の窒素放出率を推定している。それによれば、施用当年に堆肥中の約56%の窒素が放出するとされており、半分以上が施用当年に放出されるものの、一定量の窒素は翌年以降に残存すると仮定できる。一方、化学肥料は無機態窒素であるため、化学肥料由来の N_2O は施用当年にほとんど排出されると推察される。それらのことから、施用当年でみた場合、化学肥料よりも堆肥の方が N_2O の排出が少なくなると考えられる。

地力（連用効果）由来の N_2O 排出量は、当年堆肥由来と同じく年次変動が大きかったが、3年間の平均で 1.10kg N ha^{-1} であった。地力由来の N_2O については、排出された N_2O に対する窒素施用量が不明なため、排出係数は算出できないが、化学肥料区と比較するため、先の藤田ら（2014）の窒素放出率の推定を利用して排出係数を試算した。つまり、1年前に施用した堆肥からは、投入2年目の窒素放出率（12.7%）、2年前に施用した堆肥からは、投入3年目の窒素放出率（7.9%）と算出していき、堆肥の施用を開始した2004までの毎年の値を列挙し、その値それぞれに対し各年の堆肥由来の投入窒素量 300kg ha^{-1} をかけて積算したものを、地力由来の窒素施用量として計算した。3年間の中間年である2018年を基準とすれば、地力由来の窒素施用量は約 113.7kg ha^{-1} と計算され、排出係数は $1.10/113.7 \times 100 \approx 0.97\%$ と仮定できる。同年（2017～2019年）の化学肥料区の排出係数の平均値1.21%と比較してやや低いが、当年堆肥由来の排出係数0.13%を加えると1.10%であり、化学肥料区比で約91%であった。この結果は、土壌炭素について先に考察した、長期的には慣行区でも施用した堆肥の90%近くが分解され、堆肥代替区ではそのほとんどが分解されるという推察と大きく矛盾しない。さらに、堆肥代替区では、 N_2O 排出量が長期にわたり化学肥料区と同等であることから、当年堆肥由来と地力堆肥由来の合計 N_2O は、化学肥料由来の N_2O と同等の排出量になっていると示唆される。

これらのことから、堆肥は、化学肥料と比較して施用当年の N_2O 排出量を低減させるが、長期連用した場合は地力由来の排出によって化学肥料の N_2O 排出量との差が小さくなり、その傾向は堆肥の施用量が少ないほど強くなると考えられる。

4. 4 おわりに

日本国温室効果ガスインベントリ報告書（地球環境研究センター・国立環境研究所, 2021）によると、「その他の作物」において無機質窒素肥料と有機質窒素肥料の排出係数は同じ（0.62%）として N_2O 排出量の算出に使用されている。本研究の当年堆肥由来および地力由来の N_2O 排出量・排出係数の結果は、具体的な数値変更等の材料となるには至らないものの、有機質窒素肥料と無機質窒素肥料の排出係数を再検討する際の1根拠となりうると考えられる。

謝辞

本研究の実施にあたり、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境研究部門の須

藤重人博士、秋山博子博士には一酸化二窒素の測定に係るご助言と分析機器の使用についてご配慮いただきました。また、茨城県農業総合センター園芸研究所の鶴谷陽子様には試料分析にご尽力いただきました。ここに記して深謝申し上げます。

付記

本研究の一部は、農林水産省の「農地土壌炭素貯留等基礎調査事業（農地管理技術検証）」により実施した。

引用文献

- 秋山博子・八木一行・須藤重人・西村誠一（2004）農耕地への有機物施用は亜酸化窒素の主要な排出源のひとつである。平成15年度農業環境研究成果情報。
http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niacs/sinfo/result/result20/result20_24.html（2021年12月17日アクセス）。
地球環境研究センター・国立環境研究所（2021）日本国温室効果ガスインベントリ報告書2021. pp. 5-48.
- 江口定夫・柴田英明・種田あずさ・新藤純子・松本成夫・森 昭憲・中島泰弘・朝田 景・志村もと子・林 健太郎・中辻敏朗（2018）食糧生産～消費過程における窒素利用効率と環境への窒素負荷－消費者影響の重要性と活用方向－. 土肥誌89：249-259.
- 藤田 裕・清水 明・江口定夫・板橋 直・折本善之・飯村 強（2014）黒ボク土ナシ園における豚糞堆肥の窒素肥効を考慮した施肥法の窒素収支改善効果. 土肥誌85：175-184.
- 藤田 裕・杉浦裕義・飯村 強（2015a）黒ボク土ナシ園における豚糞堆肥連用が土壌炭素含量と二酸化炭素発生に及ぼす影響. 土肥誌86：29-32.
- 藤田 裕・佐野智人・大浦典子・須藤重人・飯村 強（2015b）豚糞堆肥連用黒ボク土ナシ園における一酸化二窒素発生量の評価とこれに影響する要因の解析. 土肥誌86：109-113.
- 郷内 武・藤田 裕・佐野智人・大浦典子・須藤重人・朝田 景・江口定夫（2019）黒ボク土ナシ園における豚糞堆肥を活用した代替施肥による大気圏および水圏への窒素負荷軽減効果. 土肥誌90：363-371.
- Hiraoka K and Umemiya Y（2000）Estimation of nitrogen, phosphorus and potassium in relation to chemical fertilizer application in Japanese orchard fields. JARQ. 34：87-92.
- 茨城県農業総合センター（2016）Ⅱ 栽培基準 1. ナシ. 茨城県果樹栽培基準. pp. 11-49.
- 加治俊幸・勝田雅人・吉田真一（2002）有機物と被覆尿素を組み合わせた茶園の減肥と収量・品質および溶脱窒素濃度. 九州農業研究64：74.
- 嶋田典司（1986）アンモニウム態窒素. 硝酸態窒素. 土壌標準分析・測定法（土壌標準分析・測定委員会編）. 博友社, 東京, pp. 105-118.
- 須藤重人（2012）酸化還元研究の新展開-土壌の酸化還元がもたらす現象を追う-3. ガスクロマトグラフによる農耕地温室効果ガス計測法. 土肥誌70：599-605.
- 植田稔宏（2002）ナシ園土壌の施肥実態調査結果について. 農業茨城54：50-51.
- 八木一行（1997）温室効果ガス発生・呼吸量. 土壌環境分析法（土壌環境分析法編集委員会編）. 博友社, 東京, pp. 129-138.

Evaluation of N₂O Emissions from Compost Applied in the Current Year and Soil Fertility by Continuous and Interruption Application of Swine Manure Compost in Japanese Pear Field

Yuji SHIMOKOUBE¹, Takeru GONAI and Yutaka FUJITA

Summary

In a pear orchard, we investigated nitrous oxide (N₂O) emissions and other environmental parameters using three fertilizer application methods. The methods used were (a) common method; the application of swine manure in addition to standard application of chemical fertilizer, (b) chemical method; only chemical fertilizer, and (c) reduced method; replacing part of standard application of chemical fertilizer with swine manure.

In addition, an interruption of compost application was set up in the common method, and environmental parameters such as nitrous oxide (N₂O) were investigated to evaluate N₂O emissions from compost applied in the current year and from soil fertility (continuous application effect).

The N₂O emissions and emission factors from compost applied in the current year were -0.17-1.40 kg N ha⁻¹ and -0.06-0.47%, respectively, which were much lower than those in the chemical fertilizer plots.

N₂O emissions from soil fertility (continuous application effect) were -0.03-1.43 kg N ha⁻¹ and tended to be higher than N₂O emissions from compost applied in the current year.

The sum of emission factors from compost applied in the current year and from soil fertility inferred from the nitrogen release rate of compost was about 91% of that in the chemical fertilizer plots, suggesting that much of the applied compost was decomposed and released as N₂O emissions from soil fertility in the long term.

These results suggest that compost reduces N₂O emissions compared to chemical fertilizer in the current year, but the difference between compost and chemical fertilizer becomes smaller after long-term continuous use due to N₂O emissions from soil fertility.

**Keywords: nitrous oxide (N₂O), emission factor, Japanese pear, swine manure compost,
soil carbon**

1 Address: Ibaraki Agricultural Center Horticultural Research Institute, 3165-1 Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, Japan

本誌に掲載された記事に関しては「茨城県農業総合センター」ホームページ
<http://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/nosose/cont/>にてPDFを掲載しております。

編集委員

副センター長兼企画情報部長（総括）	久保 洋一
農業研究所所長（編集委員長）	滑川 裕之
生物工学研究所所長（副編集委員長）	横田 国夫
園芸研究所所長（副編集委員長）	内藤 和也
山間地帯特産指導所所長	横須賀 知之
鹿島地帯特産指導所所長	菊田 功
専門技術指導員室室長	西宮 聡
企画調整課係長	宮本 拓也

各研究所の連絡先

生物工学研究所	笠間市安居 3165-1	0299-45-8330
園芸研究所	笠間市安居 3165-1	0299-45-8340
農業研究所	水戸市上国井町 3402	029-239-7211
山間地帯特産指導所	大子町頃藤 6690-1	0295-74-0821
鹿島地帯特産指導所	神栖市息栖 2815	0299-92-3637

茨城県農業総合センター研究報告 第4号

2022年3月1日発行

発行者 茨城県農業総合センター

〒319-0292 茨城県笠間市安居3165-1

電話 0299-45-8321

FAX 0299-45-8350

印刷者 佐藤印刷株式会社

〒310-0043 茨城県水戸市松が丘2-3-23

電話 029-251-1212

FAX 029-251-1047

本誌に掲載された論文の著作権は、当センターに帰属するものとする

BULLETIN
OF THE
IBARAKI AGRICULTURAL CENTER
No. 4
March 2022

Contents

Development of an F₁ Purity Checking Method for ‘Ibaraking’ Melon Using DNA Markers
Takaori ODERA, Tomoko ISHIKAWA, Kenji KATO, and Maki KUZUYA 1

Growth Characteristics of New Japanese Pear Cultivars ‘Hatsumaru’, ‘Rinka’, ‘Hoshiakari’, ‘Narumi’, and
‘Kanta’ in Kasama City, Ibaraki Prefecture
Keisuke KAGAWA, Hidenori ICHIGE, Iwao TERAKADO and Akira SHIMIZU 7

Application of Tree Joint Training System for Japanese Pear ‘Keisui’
Keisuke KAGAWA, Hidenori ICHIGE, Iwao TERAKADO and Akira SHIMIZU 15

Evaluation of N₂O Emissions from Compost Applied in the Current Year and Soil Fertility by Continuous
and Interruption Application of Swine Manure Compost in Japanese Pear Field
Yuji SHIMOKOUBE, Takeru GONAI and Yutaka FUJITA 23

Ibaraki Agricultural Center
3165-1, Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, JAPAN