

BULLETIN
OF THE
IBARAKI AGRICULTURAL CENTER
No.2
March 2020

茨城県農業総合センター研究報告

第2号

2020年3月

目 次

- 茨城県の黒ボク土ナシ園における堆肥施用および施肥改善が地下水・土壌・大気環境に及ぼす影響
藤田 裕・・・1
- 小ギク新品種‘常陸オータムゆうひ’，‘常陸サマーライト’の育成
平井弓子，鈴木一典，小松拓真，村崎 聡，坂井佳代子，高津康正，
吉田稔之，石井亮二，市毛秀則・・・45
- グラジオラス新品種‘常陸はつこい’の育成
稲崎史光，鈴木一典，坂井佳代子，喜多晃一，宮本美里，高津康正，
石井亮二，小松拓真，市毛秀則・・・56
- 外観画像分析によるクリ果実の品種判定
佐野健人・・・66
- 茨城県における二条ハダカムギ‘キラリモチ’の特性および高品質安定生産技術
四宮一隆，柳澤貴司，菅 京子，寺門ゆかり，田中研一，福田弥生，森 拓也・・・81
- 茨城県における水稻奨励品種‘ミルクークイーン’の特性
泉澤 直，田中研一，中川悦男，狩野幹夫・・・101

茨城県農業総合センター

茨城県笠間市安居3165-1

茨城県の黒ボク土ナシ園における堆肥施用および施肥改善が 地下水・土壌・大気環境に及ぼす影響

藤田 裕¹⁾

(茨城県農業総合センター園芸研究所)

Effects of Successive Application of Swine Manure Compost and Fertilizer on Groundwater, Soil, and Air Environment in the Japanese Pear Production System in Ibaraki Prefecture.

Yutaka FUJITA¹

要約

ナシ園の施肥および堆肥施用が環境に及ぼす影響について、窒素と炭素の動態を中心に、地下水・土壌・大気に及ぼす影響の解析を行った。

ナシ園の施肥や土壌および地下水水質の実態を調査した結果、調査地域の窒素・リン酸・加里の施肥量は本県の施肥基準と比較して過剰であり、また、堆肥を慣行的に施用している実態が明らかになった。そこで、本県施肥基準量を化学肥料で施用した化学肥料区と県施肥基準量に堆肥を上乗せ施用した慣行区、さらに化学肥料の一部を堆肥で代替した代替区を設け、それぞれの施肥処理が黒ボク土ナシ園における窒素・炭素動態に及ぼす影響について調査した。その結果、収量、生育、果実品質は施肥処理に関わらず同水準であった。硝酸態窒素の溶脱量は慣行区、化学肥料区、代替区の順で少なく、代替区は地下水への窒素負荷低減に有効であった。土壌炭素の維持・蓄積について、代替区の堆肥施用は年間 1.3 Mg ha^{-1} 程度の炭素施用量にあたり、試験期間において代替区は当初の土壌炭素レベルを維持できた。また、ナシ園のナシ樹体バイオマスは、年間に 1.39 Mg ha^{-1} の炭素が増加し、森林と同レベルの炭素貯留効果が見込めることを明らかにした。ナシ園からの一酸化二窒素発生量について、10年程度の豚糞堆肥連用条件では代替区の発生量は化学肥料区と同等であったことから、代替区は一酸化二窒素発生量を増加させることなく有機物を施用する方法として有効であると考えられる。

慣行区および代替区、化学肥料区の土壌管理が地下水および大気環境に及ぼす影響を総合的に評価すると、硝酸態窒素溶脱量は慣行区 > 化学肥料区 \geq 代替区であり、樹体炭素の蓄積量と土壌炭素の変化量および一酸化二窒素発生量の合計で求めた温室効果ガス排出量は化学肥料区 \geq 慣行区 > 代替区であった。このように、堆肥中の窒素の肥効を考慮した新規施肥法である代替区は、地下水や土壌および大気環境への負荷を共に低減できると考えられる。

キーワード：ニホンナシ、堆肥、黒ボク土、施肥改善、環境負荷軽減

本稿は、東京農業大学大学院農学研究科審査学位論文（2016年2月）に一部追加修正したものである。

1) 現所属：茨城県農業総合センター 専門技術指導員室

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

1 はじめに

茨城県は、販売農家戸数や農業就業人口が全国で最も多く、わが国の農業において重要な地位を占めている。また、本県の農業産出額は4,356億円(2013)と北海道に次いで多い。その内訳は、園芸(イモ類、野菜、果実、花き:2,244億円)が52%、畜産が26%、米が20%である。園芸部門のうち、果実の産出額は134億円であり、主な品目はニホンナシ(学名 *Pyrus pyrifolia Nakai*) (以下、ナシ、73億円)である。本県の農耕地面積174,000haのうち、水田の面積は99,500ha、畑の面積は74,000haである。樹園地を含む畑の82%は、標高15~50mの台地に分布し、黒ボク土壌群で占められている。一方、本県の畜産の産出額は全国5位であり、畜種別では鶏:454億円(第4位)、豚:375億円(第4位)、生乳:156億円(第8位)、肉用牛:129億円(第11位)であり、それぞれの畜種において全国の中で上位に位置している。このように、各畜種の飼養頭羽数が多いことからそれに伴う家畜糞の発生量も多く、家畜糞堆肥(以下、堆肥)の生産量も多い。この堆肥は、廃棄物の適正処理と資源の有効利用との両面において、生産の盛んな園芸部門で積極的に利用せざるを得ない状況にある。

ナシは窒素施肥量が多い(Hiraoka・Umemiya, 2000)ことが知られている。その背景は、高樹齢による生産量低下を補ったり大玉生産と多収を期待したりしてのこととされている(梅宮, 2004)。過剰な窒素施肥は、肥料の無駄遣いとしてナシ栽培経営において損失であるとともに、硝酸態窒素の溶脱増加を引き起こし地下水などの環境に影響を与える恐れがある。地下水の硝酸性窒素・亜硝酸性窒素は、1999年2月に「地下水の水質汚濁に係る環境基準(10mg L⁻¹以下)」に格上げされ、本県においても畑作台地の浅層地下水中の硝酸性窒素濃度は果樹地帯(ナシ)で高い(松本ら, 1994)ことが指摘されている。また、農水省が定めた「地力増進基本指針」に基づき、堆肥等の有機物施用が土づくりのために推奨され、これまでナシ農家の多くで利用されてきた。しかし、堆肥中の肥料成分は施肥設計に考慮されていない場合が多い。

農地は面として拡がりをもっているため、肥培管理に由来する環境負荷の汚染源を特定することは難しい。しかし、環境と調和した農業を推進するためには、農業サイドから自発的な環境負荷削減対策を講じる必要がある。具体的には、作物の養分吸収量に応じた効率的な施肥法や有機物由来の肥料成分を考慮した施肥法など、環境保全のための適切な土壌管理方法の開発が望まれている。

そこで本研究では、ナシ園の施肥および堆肥施用が地下水・土壌・大気環境に及ぼす影響について主に窒素と炭素の動態から総合的に評価し、作物生産と環境に配慮した肥培管理法の確立を試みた。

2 ナシ園における施肥管理および土壌、地下水水質の実態解析

2.1 目的

ナシ園の施肥や堆肥施用が土壌や地下水中の窒素負荷にどのような影響を及ぼすかについては、知見が極めて少なく、基礎的な情報の蓄積が必要である。そこで、県内のナシ園の施肥、土壌および地下水の実態調査を行い、施肥が収量や土壌および地下水に及ぼす影響を明らかにする。

2.2 材料および方法

2.2.1 調査地域の概要

調査は、東茨城台地で主に表層腐植質黒ボク土のナシ園が分布する地域を対象にした。調査地域の地形は、西側に標高300m程度の山があり、その山麓および山麓から続く台地に農村集落がある。この地域の中央部には扇状地が発達して水田として広がっており、西側から東側に水の流れがある。中央部と比較して北側と南側の標高はやや高く、この部分にナシを含む果樹園が団地化して分布している。この地域を網羅するように調査ナシ園を22か所選定した(図1)。

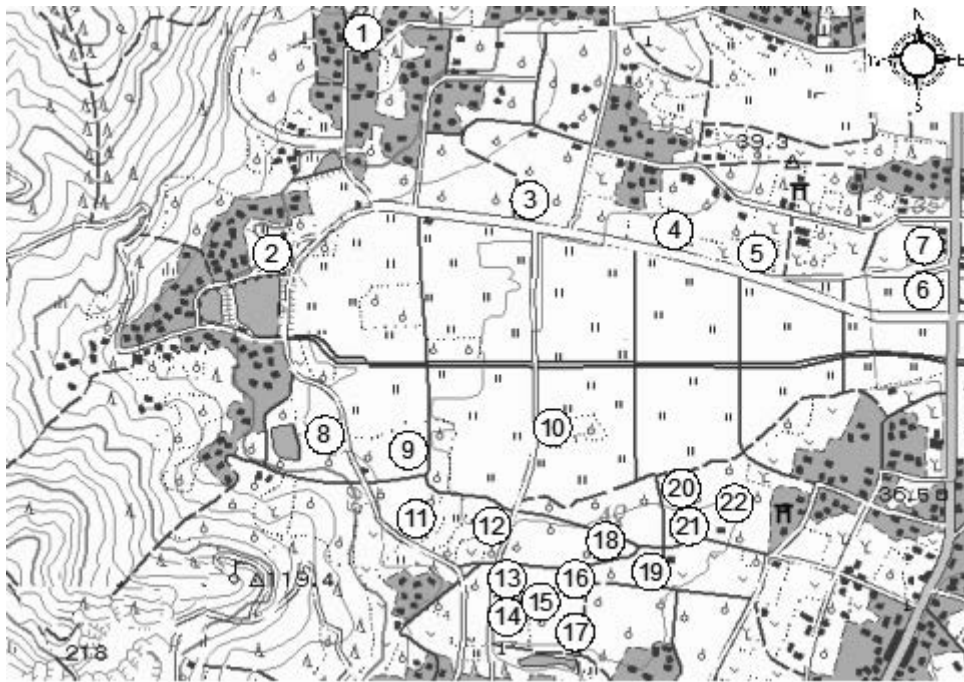


図1 調査地域の地形と調査ナシ園の分布

注：○は調査ナシ園の位置を示し，数値は調査園番号を示す。

2. 2. 2 アンケート調査

ナシ園の肥培管理の実態を把握するため，調査ナシ園の生産者（13名）を対象に施肥に関するアンケート調査を2001年10月～12月に実施した。アンケート調査の内容は，調査ナシ園の平年の収量（品種‘幸水’），樹齢，地表面管理，施肥位置，肥料の種類，施肥量，施肥時期，堆肥の入手先，堆肥の種類，堆肥施用量，堆肥施用時期とし，個別に聞き取りした。

また，施用堆肥の肥料成分量は下記の数値（伊達・塩崎，1997）（茨城県農林水産部農業技術課，1997）を基に推定値を算出した。

鶏糞堆肥（N：P₂O₅：K₂O=1.4：3.2：1.6，現物%），豚糞堆肥（N：P₂O₅：K₂O=2.1：4.9：1.3，現物%），牛糞堆肥（N：P₂O₅：K₂O=1.3：2.3：0.8，現物%），生鶏糞（N：P₂O₅：K₂O=1.7：1.6：1.9，現物%）

2. 2. 3 土壌断面調査

土壌断面調査は，2002年1月17日に，地域の代表的なナシ園1か所で実施した。圃場内に深さ1.5mの試坑を掘り，層別に土色，土性，ジピリジル反応，斑鉄の様子について調査した。深さ1.5m以下の土壌はハンドオーガー（直径7cm，D社）を用いて深さ3mまでを採取し，採取土壌を同様に調査した。

2. 2. 4 土壌および地下水の採取と分析

土壌と地下水の採取は2001年10月15日～25日に行った。

土壌は，圃場の対角線上3点において深さ20cm毎に採取し，うち2点については深さ40cmまでとし，残りの1点についてはハンドオーガーを用いて深さ1mまでを採取した。採取した土壌は，以下の方法により各項目を分析した。pH（KCl）：ガラス電極法，EC：1:5水浸出法，可給態リン酸：トルオーグ法，交換性石灰・苦土・加里：原子吸光光度法，水溶性塩素イオン・硫酸イオン・亜硝酸イオン・硝酸イオン：イオンクロマト法とした。

地下水は，ハンドオーガーを用いて土壌採取した穴をさらに深さ2mまでボーリングし，浸出した不圧地下水を採取した。採取した地下水は，以下の方法により各項目を分析した。pH：ガラス電極法，カルシ

ウムイオン・マグネシウムイオン・カリウムイオン：原子吸光光度法，塩素イオン・硫酸イオン・亜硝酸イオン・硝酸イオン；イオンクロマト法，炭酸水素イオン：酸消費量（pH4.8）換算値とした。なお，地下水は，22 圃場中 19 圃場において採取できた。

2. 3 結果および考察

2. 3. 1 アンケート調査

(1) 収量，樹齢，施肥位置，地表面管理

調査地域のナシの収量は平均で 23.2Mg ha⁻¹であった。収量が 22.0Mg ha⁻¹以下の圃場は全体の 53%であり，調査した圃場のほとんどは県の基準収量（30Mg ha⁻¹）を下回った。

栽植されているナシの樹齢については「25 年生以上」の圃場が全体の 80%であり，高樹齢化したナシ園がほとんどであった。ナシは高樹齢による生産量低下（梅宮，2004）が指摘されているが，調査ナシ園で検証した結果では樹齢と収量の間には有意な相関関係は認められず，この地域においては高樹齢化による収量低下の傾向は認められなかった。

肥料の散布について，すべての生産者で「表面施肥」であり，施肥位置は「圃場全面に散布する」が全体の 64%であった。なお，株元などへの「局所施肥」は，施肥量が少ない場合に実施する傾向があった。

栽培期間を通じて土壌表面をどのような状態に保つかについては，「草生」を維持するが全体の 87%であり，これが主流の管理であった。草生の内容は，特定の牧草等ではなく，いわゆる雑草草生であった。

(2) 施肥時期

本県の果樹栽培基準（茨城県農業総合センター，2003）における施肥時期は，基肥が 11 月から翌年 2 月まで，1 回目の追肥が 5 月上旬，2 回目の追肥が 6 月上旬である。調査ナシ園の基肥施肥時期は，「11 月」が 66%であり，すべての圃場で 12 月までに施用されていた。追肥時期は，1 回目を「3 月に施用」が 53%であった。2 回目は「5 月に施用」が 53%であった。追肥は 3 回目まで行う圃場が 60%であり，4 回目の追肥をする圃場はほとんど認められなかった。

(3) 窒素・リン酸・加里の施肥量の実態

調査地域における各肥料成分の施肥量毎の生産者割合を図 2 に示す。窒素の施肥量は「460～500kg ha⁻¹」が 27%と最も多く，施肥量の平均値は 390kg ha⁻¹であった。リン酸の施肥量は「260～300kg ha⁻¹」が 33%と最も多く，施肥量の平均値は 390kg ha⁻¹であり，「800kg ha⁻¹以上」が 6.7%あった。加里の施肥量の平均値は 290kg ha⁻¹であった。

本県のナシ施肥基準は，品種「幸水」草生栽培の場合，窒素 300kg ha⁻¹，リン酸 200kg ha⁻¹，加里 200kg ha⁻¹である（茨城県農業総合センター，2003）。この施肥基準を上回った施肥量を施用した生産者の割合は窒素 73%，リン酸 100%，加里 80%であり，過剰な施肥を行っていることが明らかになった。

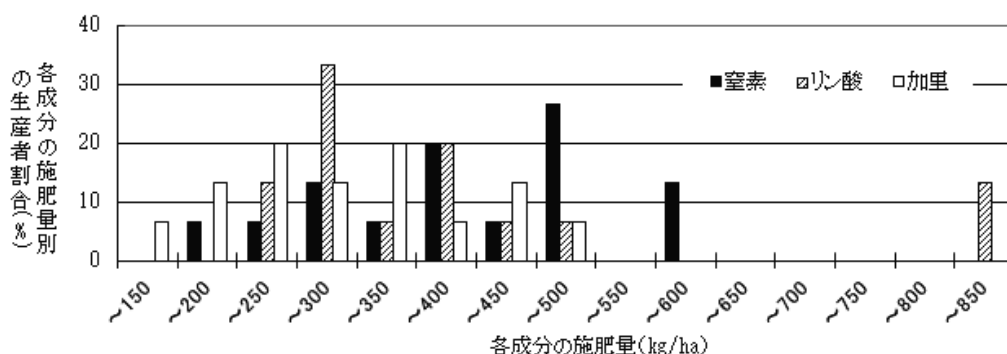


図 2 調査地域における各肥料成分の施肥量毎の生産者割合

(4) 堆肥の施用実態

堆肥の施用頻度は，「隔年」と「毎年施用」の合計が全体の 87%であった。このことから，堆肥を慣行

的に施用する実態が認められた。堆肥の入手方法は、「購入」が85%であり、「自家生産物」が15%であった。この「自家生産物」とは、畜産農家から家畜糞堆肥または家畜糞を入手し、ナシ生産者において副資材を混和するなどして堆積や堆肥化したものである。堆肥の種類は、「鶏糞堆肥」が69%、「豚糞堆肥」が23%であり、この2種類が大半を占めた。調査地域における各畜種堆肥の施用量毎の生産者割合を図3に示す。堆肥の施用量は、鶏糞堆肥では 8Mg ha^{-1} ～ 30Mg ha^{-1} の範囲であり、最頻値 10Mg ha^{-1} 、平均値 16.4Mg ha^{-1} であった。豚糞堆肥は 20Mg ha^{-1} 施用する生産者が3名あり、これは全体の23%であった。堆肥中肥料成分の施用量について生産者数割合を求めた結果、各成分の最頻値は、窒素「 $410\sim 450\text{kg ha}^{-1}$ 」、リン酸「 $910\sim 1000\text{kg ha}^{-1}$ 」、加里「 $260\sim 300\text{kg ha}^{-1}$ 」であり、それぞれ全体の40%であった。

本県の果樹栽培基準（茨城県農業総合センター，2003）では、地力維持のため堆肥又はその他の有機物を施用するとして推奨に留めており、堆肥施用量の具体的な数値を示していない。このため、堆肥や堆肥由来の肥料成分量の施用量の範囲にばらつきが大きく生産現場に混乱が生じていると考えられ、堆肥施用量の判断基準を明確にする必要がある。

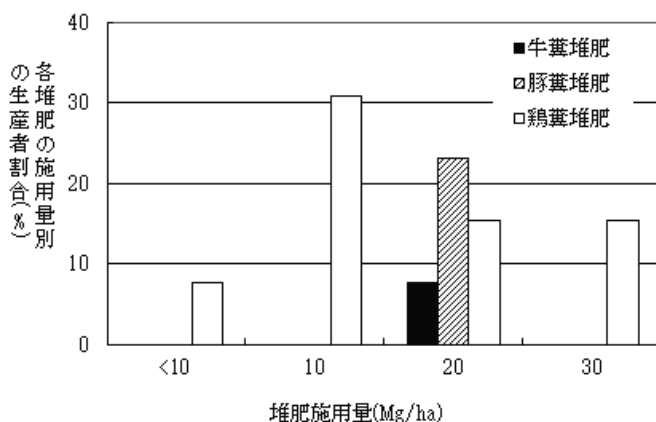


図3 調査地域における各畜種堆肥の施用量別の生産者割合

2. 3. 2 調査園の土壌断面

調査地域における代表的なナシ園の土壌断面について図4に示す。地表面から深さ30cmまでは腐植質の壤土であり、その下層（深さ30～120cm）は黄褐色の植壤土であった。深さ240cmから下層は重植土であり、この位置に斑鉄が認められたことから、この重植土が難透水層をなしていると推察される。すなわち、この地域の降雨は深さ240cm程度までは鉛直方向に移動し、その後難透水層の位置に達すると水平方向に移動すると考えられる。

2. 3. 3 土壌の化学性

土壌の化学性について、深さ別土層の各測定値とナシの主要根群域である深さ0～40cmの土壌の改善基準（茨城県農林水産部農業技術課，1997）との比較を表1に示す。

深さ0～40cmの土壌pHは5.3～5.4であり、改善基準値よりやや低い値であった。交換性石灰は $241\sim 354\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ 、交換性苦土は $32.5\sim 44.0\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ であり、各項目の平均値はともに改善基準値より低い値であった。可給態リン酸は $8.1\sim 42.4\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ 、交換性加里は $94.3\sim 103\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ であり、各項目の平均値はともに改善基準値より高い値であった。土壌中の可給態リン酸および交換性加里含量が高い値を示した要因は、施肥量または堆肥の施用量あるいはその両方の施用量が多いためと考えられる。また、苦土/加里（重量比）はほとんどの地点で0.5以下であり、改善基準値1～2を下回ってバランスが崩れていることから、潜在的な問題として苦土欠乏の可能性がある。

EC、硝酸態窒素、塩素イオン、硫酸イオンの各平均値は、下層ほど高い値を示す傾向が認められた。特に硝酸態窒素は、第1層（0～20cm）で $2.4\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ 、第2層（20～40cm）で $4.2\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ 、第3層（40～60cm）で $7.2\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ 、第4層（60～80cm）で $11.1\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ 、第5層（80～100cm）で $13.1\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ と下

層ほど高い値を示した。表層 0~40cm の硝酸態窒素含量が少なかった要因は、土壌を採取した 10 月中下旬は落葉前の生育期間でありこの層が主要根群域であることから、ナシ樹に吸収されたためと考えられる。土壌中に分布する肥料由来窒素の最大ピーク出現位置と積算降水量には高い相関関係が認められる(小川, 2000)。また、硝酸態窒素と同様に、肥料の副成分である塩素イオン、硫酸イオンも下層に溶脱する。これらのことから、硝酸態窒素が下層に多い要因は施肥した窒素が降雨によって溶脱した影響と考えられ、調査圃場ではナシ樹の吸収量を上回る窒素量を施用したと推察される。

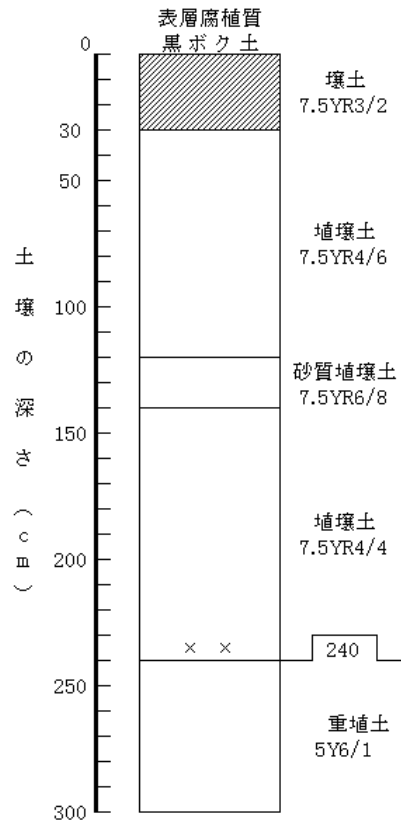


図4 調査ナシ園の土壌深さ別の土性および土色
注：英数字は土色（色彩，明度／彩度）を示す。

表1 調査地域における深さ別の土壌化学性

層 (深さcm)		pH (KCl)	EC dS m ⁻¹	NO ₂ -N	NO ₃ -N	可給態 P ₂ O ₅	交換性塩基			水溶性塩類	
							CaO	MgO	K ₂ O	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
							mg 100g ⁻¹				
第1層 0~20	平均値	5.4	0.20	0.2	2.4	42.4	354	44.0	102.7	2.4	24.9
	最大値	6.4	0.50	0.6	10.0	90.0	657	86.3	210.2	8.7	84.5
	最小値	4.3	0.08	0.0	0.3	10.1	125	12.4	30.0	0.5	1.3
第2層 (20~40)	平均値	5.3	0.25	0.3	4.2	8.1	241	32.5	94.3	2.2	35.0
	最大値	6.5	0.51	0.5	12.7	28.5	466	67.9	169.4	6.7	91.6
	最小値	4.5	0.10	0.0	0.4	2.3	107	12.8	33.9	0.4	13.7
第3層 (40~60)	平均値	5.7	0.31	0.5	7.2	4.1	259	37.8	99.9	4.1	36.3
	最大値	6.4	0.67	0.5	23.0	15.5	448	68.8	145.4	21.1	72.6
	最小値	4.7	0.09	0.5	0.4	2.0	94	17.7	41.1	0.5	12.3
第4層 (60~80)	平均値	5.9	0.38	0.2	11.1	3.3	256	41.0	93.2	6.3	35.9
	最大値	7.1	0.73	0.2	26.5	6.5	456	69.1	146.9	19.5	86.3
	最小値	4.5	0.11	0.2	1.2	1.6	78	16.8	28.7	0.5	16.6
第5層 (80~100)	平均値	6.1	0.42	0.8	13.1	3.9	243	44.3	85.5	7.6	37.0
	最大値	7.4	0.92	0.8	32.3	6.7	481	86.6	147.9	26.8	78.2
	最小値	4.2	0.12	0.8	1.5	2.2	75	17.9	20.4	0.7	17.0
主要根群域(0~40cm) の改善基準値		5.5~6.0	-	-	-	10	380~ 420	47~60	47~60	-	-

注:改良基準値の「-」は基準値がないことを示す。

2. 3. 4 地下水の化学性

ナシ園直下の不圧地下水の水質を表2に示す。pHは5.6~7.2で、農業用水水質基準値(6.0~7.5)よりやや低い値であった。亜硝酸イオンはすべての地点で検出されなかった。硝酸態窒素濃度は、20.7~256mg L⁻¹の範囲であり、19園すべてのサンプルにおいて環境基準である10mg L⁻¹を超過した値であった。炭酸水素イオンは3.0~123mg L⁻¹、塩素イオンは8.5~99.9mg L⁻¹、硫酸イオンは24.4~255mg L⁻¹の範囲であった。カルシウムイオンは35.7~277mg L⁻¹であった。マグネシウムイオンは12.4~60.8mg L⁻¹であった。カリウムイオンは0.1~153mg L⁻¹の範囲であり、調査地点によるばらつきが大きかった。ナトリウムイオンは2.4~27.3mg L⁻¹とほかのイオンと比較して低い値であった。

2. 3. 5 施肥窒素量および堆肥由来窒素量と収量との関係

調査地域ナシ園の収量は、施肥窒素量と堆肥由来窒素量が多いほど高い傾向が認められた。ナシの収量と施肥の関係は、これまでの知見として、施肥量の多少が収量に及ぼす影響は少ない(植田ら, 2001)、施肥量が多くなると収量が低下する傾向がある(石塚ら, 1969)などの報告があり、必ずしも一定の結論に至っていない。果樹は永年性であり樹体に養分を蓄積し利用することができるため、当年の肥料や堆肥由来の窒素供給の影響を正確に評価することは困難である。これらのことから、施肥や堆肥由来窒素量と収量の関係を明らかにするためには複数年の検討期間が必要と考えられる。

調査地域ナシ園において、施肥窒素量は平均390kg ha⁻¹であった。ナシ‘幸水’の地上部窒素吸収量は樹冠面積1ha当たり130kg(折本ら, 2003)と報告があり、施肥窒素量からナシ樹の窒素吸収量を差し引いた値(260kg ha⁻¹)は余剰分として主に地下に溶脱すると考えられる。また、堆肥は毎年または各年に施用されている事例が多いことから、堆肥由来窒素成分を考慮すると窒素の供給量はナシ樹の吸収量を大きく上回って余剰量はさらに増大すると推察される。他方で、鈴木ら(1996)は窒素施肥に対して収量と果実糖度は相反する傾向であると報告しており、施肥窒素の過多が果実糖度の低下に影響する可能性を示唆している。

これらのことから、ナシ栽培における施肥および堆肥由来窒素量は、地下水等の環境や収量および品質に対する影響を総合的に評価して、最適化する必要がある。

表2 調査地域におけるナシ園直下の不圧地下水の化学性

園No.	水位 (m)	pH	mg L ⁻¹							
			NO ₃ -N	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
2	0.23	6.4	48.5	6.1	15.6	80.9	57.4	15.5	42.1	2.4
3	0.60	6.3	117.5	13.7	78.9	179.7	160.4	45.7	27.2	19.7
5	0.42	6.3	198.1	7.6	99.9	227.2	208.5	56.1	152.8	20.5
6	0.71	6.3	127.0	10.7	30.8	82.1	115.5	35.3	70.6	12.0
7	1.45	7.2	57.0	123.4	34.0	157.7	159.9	18.5	31.7	13.6
8	0.79	6.0	111.1	9.1	39.4	90.3	116.4	31.3	52.6	12.1
9	1.72	6.6	78.7	15.2	21.2	139.2	107.0	26.9	43.2	7.0
10	1.52	6.1	33.3	16.8	49.4	99.9	66.4	20.8	6.4	13.2
11	0.62	5.8	37.9	4.6	30.0	94.9	59.3	17.1	20.9	4.6
12	1.11	5.8	24.9	10.7	17.7	72.6	35.7	12.4	15.8	7.1
13	1.51	6.2	184.4	12.2	48.4	255.4	230.1	58.2	43.5	27.3
14	1.42	6.2	65.5	12.2	29.7	88.2	88.2	27.0	0.1	10.7
15	1.76	5.8	20.7	9.1	8.5	114.6	45.4	16.6	0.6	2.6
16	1.17	6.9	24.9	12.2	34.1	71.7	45.4	18.0	0.6	7.1
17	0.86	6.0	71.5	10.7	29.6	223.5	104.7	27.6	65.8	14.2
18	1.56	6.0	84.8	13.7	27.8	164.6	110.2	38.2	-	22.3
20	1.71	5.9	201.2	4.6	67.1	45.3	217.2	45.0	10.5	12.8
21	2.00	5.8	256.0	4.6	92.3	67.1	276.7	60.8	1.5	18.3
22	1.56	5.6	98.5	3.0	56.5	24.4	114.0	26.2	5.3	9.1
平均値	1.20	6.2	96.9	15.8	42.7	120.0	122.0	31.4	32.8	12.4
最大値	2.00	7.2	256.0	123.4	99.9	255.4	276.7	60.8	152.8	27.3
最小値	0.23	5.6	20.7	3.0	8.5	24.4	35.7	12.4	0.1	2.4
変動係数	42.17	6.2	69.2	162.4	58.7	52.7	55.6	47.4	111.5	53.3

注:「-」は検出限界以下を示す

2. 3. 6 地下水の硝酸態窒素濃度と深さ別土壌の硝酸態窒素含量との関係

調査地域のナシ園で採取した地下水の硝酸態窒素濃度と深さ別の土壌の硝酸態窒素含量について、両者の相関関係を検討した。その結果、地下水の硝酸態窒素濃度は深さ 0~100cm の範囲において下層の土壌ほど相関関係が高くなり、最も相関が高かったのは深さ 80~100cm の土層であった。地下水の硝酸態窒素濃度は、深さ 80~100cm の土壌の硝酸態窒素含量が高いほど上昇する傾向を示した(図 5)。このことから、ナシ園下層の土壌中の硝酸態窒素は降雨により溶脱し、地下水の硝酸性窒素濃度に影響すると考えられる。

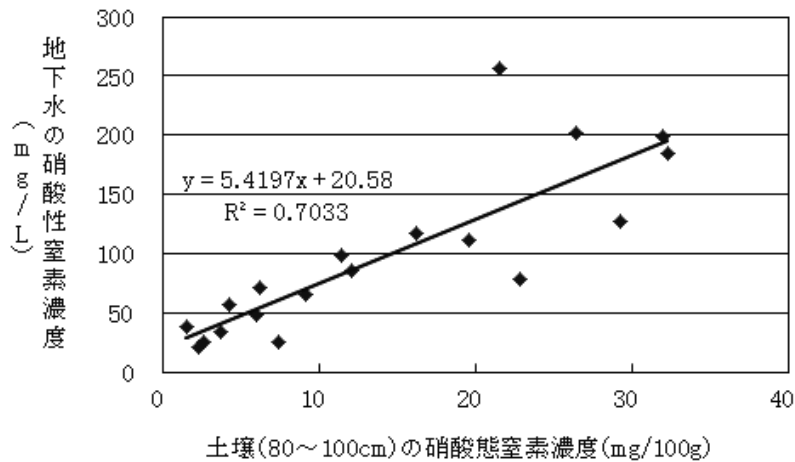


図 5 調査ナシ園における地下水の硝酸態窒素濃度と土壌(深さ 80~100cm)の硝酸態窒素濃度との関係

3 堆肥施用および施肥改善がナシ園のナシ生育と果実品質，ならびに窒素収支に及ぼす影響

3.1 施肥および堆肥連用がナシ園土壌における硝酸態窒素の溶脱に及ぼす影響

3.1.1 目的

本県のナシ園で慣行的な施肥方法である化学肥料と堆肥の併用が硝酸態窒素の溶脱に及ぼす影響について明らかにするため，黒ボク土を充填したナシ栽培ライシメーターを用いて窒素収支を精密に調査する。

3.1.2 材料および方法

(1) 試験場所の概要

本試験は茨城県農業総合センター園芸研究所（以下，茨城園研）内ライシメーター（コンクリート製，縦 2.25m，横 2.25m，深さ 2m）において，2004～2012 年の 9 年間実施した。試験規模は 1 区 5.1m² 反復とした。このライシメーターは 1994 年に造成され，その際に本県の主要土壌である腐植質普通黒ボク土を深さ 2m まで充填した。

(2) 堆肥施用および施肥

試験区の施肥窒素量および堆肥施用量を表 3 に示す。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，2003）に準じ，基準施肥量として年間 200kg ha⁻¹（基肥 100kg ha⁻¹，追肥 100kg ha⁻¹）の窒素を化学肥料で施用した。慣行区は，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，化学肥料区の基準施肥量に加えて豚糞堆肥を 300kg ha⁻¹ yr⁻¹ 施用した。化学肥料は硫酸を用い，基肥（2 月）：追肥 1（5 月）：追肥 2（6 月）：追肥 3（9 月）に分施した。なお，リン酸および加里の施肥はそれぞれ重焼リン，ケイ酸加里を用いて，一律に各成分 160kg ha⁻¹ yr⁻¹ を基肥として施用した。肥料および堆肥は地表面に散布し，基肥・追肥ともに耕起は行わなかった。石灰，苦土等の土壌改良資材は，試験期間を通じて施用しなかった。

供試堆肥の化学性を表 4 に示す。堆肥は 6 ヶ月程度堆積した豚糞堆肥を用い，毎年 2 月に全窒素含量を基準に施用した。各年次の堆肥の窒素含有率は乾物 1kg 当たり 20.3～31.5g の範囲にあり，平均値は 25.8 g kg⁻¹ であった。

表3 試験区の窒素施肥量と堆肥施用量

試験区	資材の種類	時期別・年間の窒素施肥量(kg ha ⁻¹)				合計
		基肥	追肥1	追肥2	追肥3	
化学肥料区	化学肥料*1	100	30	30	40	200
	堆肥*2	0	0	0	0	0
慣行区	化学肥料	100	30	30	40	200
	堆肥	300	0	0	0	300

*1 化学肥料は硫酸を用いた

*2 堆肥は豚糞堆肥を用い，窒素施肥量は全窒素含量を基準とした

表4 供試堆肥の化学性

	pH	EC	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-N	T-C	C/N	水分
	(H ₂ O)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹							
豚糞堆肥*	7.2 ±0.5	9.2 ±1.9	45.0 ±7.9	24.3 ±3.8	45.7 ±8.8	11.4 ±3.0	25.8 ±3.1	332 ±11	13.1 ±1.5	353 ±48

*1:2004～2012年に用いた堆肥，数値は平均値±標準偏差

水分は現物当たり，それ以外は乾物当たりの数値

(3) 供試作物および栽培管理

供試作物はナシ‘幸水’（2004年に樹齢7年生）を用いた。1995年3月にナシ‘豊水’をライシメーター1基当たりに1樹を定植し1999年まで栽培した。1999年11月に改植を行い，ナシ‘幸水’（樹齢2年生）を1基当たりに1樹を定植し，これを供試樹とした。地表面管理は雑草草生とし，雑草の生育の盛んな4～9月の期間に5回程度除草を行い，草丈を1～2cm程度に刈り込んだ。なお，刈った雑草は園外に持ち出さず，そのまま圃場に残した。また，落葉および剪定枝はすべて園外に持ち出した。

(4) 生育, 収量, 果実品質

生育調査は, 側枝長 (4~5 月), 新梢の本数・長さ (12 月) について実施した。側枝長はすべての側枝を測定した。新梢の本数・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。果実糖度は, 収穫前・中・後期にそれぞれ 1 樹当たり 10 果を採取して, 果汁を Brix 糖度計 (PR-101α, ATAGO) で測定した。

(5) 浸透水量および降水量の測定と蒸発散量の推定

ライシメーター下端から排出された浸透水は, そのすべてを 300L 容のタンクに受け, 量水計により約 2 週間毎に水量を計測した。降水量は, 茨城園研内に設置されている気象観測装置のデータを用いた。灌水は, 夏季において 2 週間程度の期間に降雨が認められなかった場合に 1 回当たり 30~40mm を適宜行い, 量水計により水量を測定した。

降水量および灌水量と浸透水量は, 1 月 1 日を基準とし四半期毎に集計して合計を年間値とした。蒸発散量は, 投入水量 (降水量と灌水量を合計) から浸透水量を差し引いて求めた。

(6) 浸透水の硝酸態窒素濃度と年間の硝酸態窒素溶脱量

ライシメーター下端から採取した浸透水の硝酸態窒素濃度は, イオンクロマトグラフ法 (土壤環境分析法編集委員会, 1997) で高速液体クロマトグラフ (L7470, H 社) により測定した。年間の硝酸態窒素溶脱量は, 浸透水採取毎に水量に硝酸態窒素濃度を乗じて求め年間積算した。

3. 1. 3 結果および考察

(1) ナシの収量, 生育および果実品質

堆肥の併用が生育・収量・果実品質に及ぼす影響について 9 年間の平均値を表 5 に示す。慣行区において, 新梢本数 7.5 ± 1.4 本, 新梢の長さ 76.6 ± 9.6 cm, 収量 1.36 ± 0.13 kg, 一果重 432 ± 51 g, 果汁糖度 12.7 ± 0.5 であり, それぞれ化学肥料区と比較して有意な差は認められなかった。また慣行区の収量は, 標準偏差が 0.13 であり化学肥料区 0.12 とほとんど差がなく, 試験期間中に大きな変動は認められなかった。

表5 堆肥併用がナシの生育・収量・果実品質に及ぼす影響^{*1}

試験区	新梢の生育		収量 ^{*2} kg	一果重 g	果汁糖度 Brix
	本数 ^{*2}	長さ(cm)			
化学肥料区	7.9 ± 1.2	73.1 ± 5.1	1.28 ± 0.12	410 ± 53	13.0 ± 0.5
慣行区	7.5 ± 1.4	76.6 ± 9.6	1.36 ± 0.13	432 ± 51	12.7 ± 0.5
有意水準 ^{*3}	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

*1 数値は, 2004~2012年の平均値±標準偏差

*2 側枝1m当たり

*3 t検定における有意水準 n.s.は有意差がないことを示す

(2) 浸透水量と降水量および灌水量

ナシ栽培ライシメーターにおける年間の水収支を表 6 に示す。降水量の平均値は 1292mm yr^{-1} であり, 月別の変動は 4~10 月が比較的多く 11~3 月は比較的少ない傾向であった。降水量と灌水量を合計した投入水量の平均値は 1373mm yr^{-1} であった。

浸透水量は, $384 \sim 879 \text{mm yr}^{-1}$ の範囲であり, 投入水量の変動に応じて増減した。浸透水量は季節により異なり, 年間の浸透水量に占める各期間の割合の平均値は, 第 1 四半期 (1~3 月) 34.0%, 第 2 四半期 (4~6 月) 44.3%, 第 3 四半期 (7~9 月) 9.0%, 第 4 四半期 (10~12 月) 12.7% であった。本県の気象条件において, ナシ樹の葉は, 4 月下旬から展葉し 8 月に葉枚数が最大となり, その後減少し 11 月にすべて落葉する。また, ナシ園の季節別の 1 日当たりの蒸発散量は, 春季 (4~5 月) と秋季 (9~10 月) が平均で 2.0mm 程度, 夏季 (6~8 月) は 3.0mm 程度である。第 3 四半期の浸透水量が最も少ないことは, この時期のナシ樹の葉が多く蒸発散量が高いためと考えられる。2006 年と 2007 年および 2011 年の第 3 四半期, 2004 年と 2006 年と 2010 年および 2011 年の第 4 四半期は, この期間の浸透水量の割合が平均値と比較して高か

った。江口 (2006) は、黒ボク土畑圃場の水移動の主体は水平方向にバラつきが小さく鉛直一次元の Darcy 式で表すことができるマトリックス流であるが、大雨時は選択流 (土壌中の一部分を水が選択的に流れる現象) により水の移動速度が速まる可能性を示している。各年の 0.5mm day^{-1} 以上の降水があった日数は 104 ~ 137 日の範囲 (平均 116 日) であり、このうち 50mm day^{-1} 未満の日数は平均 113 日で雨天日のほとんどを占めたが、それを超える大雨の日も数日あった。第 3 四半期と第 4 四半期において浸透水量の割合が平均値より高かった各年は、 50mm day^{-1} 以上の日が平年より多く降雨強度が高まったことにより、浸透水量が増加したと考えられる。

投入水量から浸透水量を差し引いて求めた蒸発散量は、平均値 761mm であり、投入水量や浸透水量と比較して年変動は小さかった。投入水量に対する浸透水量の割合を示した排水率は平均 44.1% であり、神野 (2000) が黒ボク土充填のナシ栽培ライシメーターで 5 年間試験した際の排水率 52.8% と比較してやや低い値であった。これは、本試験で用いたナシ樹の樹齢が 7 年生 ~ 14 年生であり、神野 (2000) が用いたナシ樹の樹齢 3 年生 ~ 7 年生と比較して樹体が大きく蒸発散量が多いためと考えられる。

表6 ナシ栽培ライシメーターにおける年間の水収支

年	降水量 (A)	灌水量 (B)	投入水量 (A+B) mm yr ⁻¹	浸透水量	蒸発散量*1	排水率*2 %	年間浸透水量に対する四半期毎浸透水量の割合 (%)			
							第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
2004	1285	0	1285	592	693	46.1	31.0	40.9	2.6	25.5
2005	1093	0	1093	384	709	35.1	81.1	14.9	2.8	1.2
2006	1417	0	1417	770	647	54.3	14.0	25.7	28.2	32.1
2007	1191	0	1191	450	741	37.8	35.2	47.5	16.8	0.6
2008	1079	0	1079	493	585	45.7	26.1	67.0	5.5	1.4
2009	1358	0	1358	604	754	44.5	37.9	52.9	1.3	7.9
2010	1524	245	1769	879	889	49.7	25.9	42.5	4.7	26.9
2011	1392	167	1559	658	901	42.2	26.0	40.0	17.0	17.0
2012	1293	313	1606	672	933	41.9	29.0	67.6	2.0	1.5
平均	1292	81	1373	611	761	44.1	34.0	44.3	9.0	12.7

*1蒸発散量:投入水量 - 浸透水量

*2排水率:浸透水量 / 投入水量 × 100

(3) 浸透水の硝酸態窒素濃度と年間の硝酸態窒素溶脱量

ナシ栽培ライシメーターにおける浸透水の硝酸態窒素濃度の推移を図 6 に示す。化学肥料区の硝酸態窒素濃度は調査期間を通じて $0.01\sim 3.85\text{mg L}^{-1}$ 程度の範囲でほぼ横ばいに推移し、平均値は 0.56mg L^{-1} であった。一方、慣行区は、化学肥料区と比較して 2007 年 12 月までは概ね同様に推移したが、2008 年 1 月以降は $0.76\sim 45.2\text{mg L}^{-1}$ の範囲で高く推移し増加傾向を示した。すなわち、慣行区の浸透水は、硝酸態窒素濃度が高まるまでに約 4 年を要したことになる。これは慣行区に施用した窒素肥料や豚糞堆肥中の窒素が無機化や有機化などの形態変化を経ながら下端までの移動に要した期間と考えられる。

浸透水の硝酸態窒素濃度に浸透水量を乗じて求めた硝酸態窒素溶脱量の推移を表 7 に示す。硝酸態窒素の溶脱量について、化学肥料区は $0.6\sim 3.5\text{kg ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ の範囲で推移した。これに対し、慣行区は 2004~2007 年までは $10.2\sim 19.9\text{kg ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ の範囲で化学肥料区と比べてやや高い程度の値で推移したが、2008 年以降は増加傾向を示し 2010 年に $317.6\text{kg ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ と高い値を示した。9 年間の硝酸態窒素溶脱量の合計が化学肥料区 16.5kg ha^{-1} に対して慣行区が 952.1kg ha^{-1} と多くなったことは、施肥窒素と堆肥由来窒素の合計量がナシ樹の窒素吸収量を上回ったためと考えられる。これらのことから、化学肥料と堆肥を併用する地表面管理法は、地下水への硝酸態窒素溶脱量の増加に影響すると考えられる。

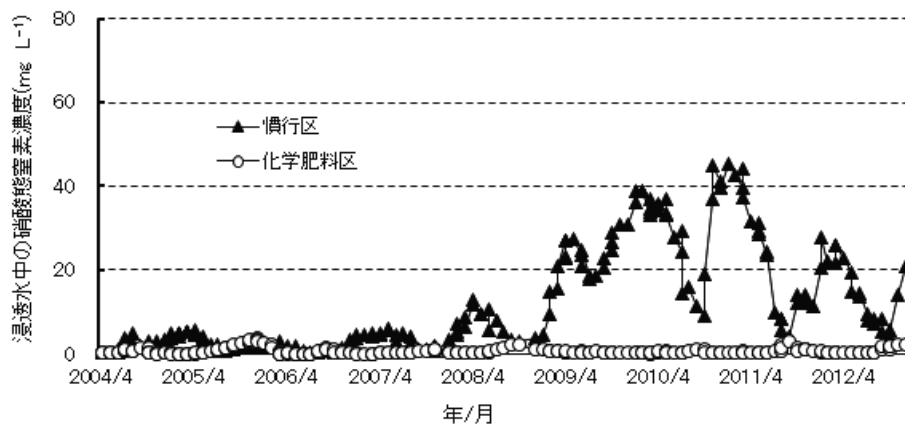


図6 堆肥併用が浸透水の硝酸態窒素濃度に及ぼす影響（ナシ栽培ライシメーター）

表7 ナシ栽培ライシメーターによる堆肥の併用が硝酸態窒素溶脱量の推移

年	硝酸態窒素溶脱量 (kg ha ⁻¹)	
	化学肥料区	慣行区
2004	1.2	33.1
2005	0.6	18.4
2006	1.0	10.2
2007	1.0	19.9
2008	1.8	44.8
2009	2.7	145.6
2010	3.1	317.6
2011	3.5	194.1
2012	1.6	168.3
合計	16.5	952.1

3. 2 堆肥の窒素肥効を考慮した施肥法の窒素収支改善効果

3. 2. 1 目的

前節のナシ栽培ライシメーター試験において、施肥および堆肥由来の窒素が硝酸態窒素溶脱量の増加に強く影響することがわかった。

そこで、ナシ農家の慣行的な施肥法（慣行区）が硝酸態窒素の溶脱パターンにどのような影響を及ぼすか、また本研究で設定した堆肥の窒素肥効を考慮した新規施肥法（代替区：化学肥料の一部を堆肥で代替）がナシの生育と窒素吸収量および窒素収支の改善に及ぼす効果を圃場レベルで明らかにする。

3. 2. 2 材料および方法

(1) 試験場所の概要

茨城園研内圃場において、2004～2012年の9年間実施した。試験規模は1区25m²3反復とした。

(2) 堆肥施用および施肥

試験区の施肥窒素量および堆肥施用量を表8に示す。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，2003）に準じ、年間で200kg ha⁻¹の窒素を施用した。また、堆肥中窒素を含めた総窒素投入量を基準施肥量に収めるため、基肥窒素を堆肥で代替する代替区を設定した。さらに、茨城県内のナシ園の施肥実態（植田，2002）に基づき、化学肥料による施肥に併せて堆肥を施用した慣行区を設定した。化学肥料は硫酸を用い、基肥（2月）：追肥1（5月）：追肥2（6月）：追肥3（9月）に分施した。なお、リン酸、加里はそれぞれ重焼リン、ケイ酸加里を用いて、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、基肥・追肥とも耕起は行わなかった。

供試堆肥の化学性を表9に示す。堆肥は6ヶ月程度堆積した豚糞籾殻堆肥を用い、毎年2月に全窒素含量を基準に施用した。各年次の堆肥の窒素含有率は乾物1kg当たり20.3～31.5gの範囲にあり、平均値は25.8gであった。

表8 各試験区における窒素施肥量と堆肥施用量

試験区	資材の種類	時期別・年間の窒素施肥量(kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)					9年間の窒素施肥量 (kg ha ⁻¹ 9yr ⁻¹)
		基肥	追肥1	追肥2	追肥3	合計	
化学肥料区	化学肥料 ^{*1}	100	30	30	40	200	1800
	堆肥 ^{*2}	0	0	0	0	0	0
代替区	化学肥料	0	30	30	40	100	900
	堆肥	100	0	0	0	100	900
慣行区	化学肥料	100	30	30	40	200	1800
	堆肥	300	0	0	0	300	2700

*1 化学肥料は硫酸を用いた

*2 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9 供試堆肥の化学性

	pH (H ₂ O)	EC dS m ⁻¹	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-N	T-C	C/N	水分 g kg ⁻¹
豚糞堆肥 ^{*1}	7.2 ±0.5	9.2 ±1.9	45.0 ±7.9	24.3 ±3.8	45.7 ±8.8	11.4 ±3.0	25.8 ±3.1	332 ±11	13.1 ±1.5	353 ±48
埋設供試堆肥 ^{*2}	7.2	9.5	59.2	24.6	55.1	14.6	24.5	318	13.0	350

*1: 2004～2012年に用いた堆肥、数値は平均値±標準偏差

*2: 2006年に堆肥の分解特性試験に用いた堆肥

水分は現物当たり、それ以外は乾物当たりの数値

(3) 供試圃場の土壌

供試圃場の土壌は、農耕地土壌分類第3次改訂版で腐植質普通黒ボク土に分類される。土層名は、深さ230cmまでが立川ローム層、その下330cmまでが武蔵野ローム層である。常総粘土層は、武蔵野ローム層の最下部330cmから出現し、厚さが約30cmで難透水層をなしている。また土性は、表層が埴壤土で、地

表下 15cm まで腐植に富み、45cm までは含む。45～102cm は黄褐色の軽埴土であった。

土壌の理化学性を表 10 に示す。物理性について、深さ 0～15cm の Ap1 層は飽和透水係数 $5.0 \times 10^{-6} \text{m s}^{-1}$ 、仮比重 0.76Mg m^{-3} 、固相率 30.6% であった。また、深さ 15～102cm までの層と比較して、Ap1 層は飽和透水係数がやや低く、仮比重と固相率が高かった。化学性について、土壌 pH (KCl) は、深さ 0～102cm まで 5.7 程度であり、土壌改良基準 (茨城県農林水産部農業技術課, 1997) の範囲内であった。EC および硝酸態窒素含量は、深さ 45～102cm の下層でそれぞれ $0.26 \sim 0.29 \text{dS m}^{-1}$ 、 $60.1 \sim 80.4 \text{mg kg}^{-1}$ であり、表層より高かった。全窒素および全炭素含量は下層ほど低い値であった。

表10 供試圃場の理化学性

層位	深さ cm	物理性 ^{*1}					化学性 ^{*2}					
		飽和透水係数 m s^{-1}	仮比重 Mg m^{-3}	三相分布(vol.%)			pH (KCl)	EC dS m^{-1}	NO ₃ -N mg kg^{-1}	T-N g kg^{-1}	T-C	C/N
				固相率	液相率	気相率						
Ap1	0～15	5.0×10^{-6}	0.76	30.6	51.1	18.3	5.73	0.22	19.0	4.51	56.8	11.5
Ap2	15～45	9.0×10^{-5}	0.58	22.0	52.9	25.1	5.75	0.23	30.3	2.69	43.4	12.6
Bw	45～59	1.4×10^{-5}	0.59	21.2	59.2	19.5	5.70	0.29	80.4	2.02	28.4	11.0
2Bw	59～102	6.7×10^{-5}	0.52	18.5	58.3	23.2	5.76	0.26	60.1	1.25	19.1	10.6

*1 土壌は2012年1月に採取

*2 土壌は2004年2月に採取

(4) 供試作物および栽培管理

供試作物はナシ‘幸水’ (2004年に樹齢12年生) 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耕種基準 (茨城県農林水産部, 1993) に準じた。植栽距離は $7.2\text{m} \times 7.2\text{m}$ 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、ここに幅 90cm の塩化ビニル製畦畔板を挿入して区切り、1区 25m^2 に1樹とした。土壌断面を観察した結果、根の大部分は地表下 45cm までの範囲に分布しており、90cm より下に根はほとんど認められなかった。

地表面管理は雑草草生とし、雑草の生育の盛んな 4～9 月の期間に 5 回程度の機械除草を行い、草丈を 1～2cm 程度に刈り込んだ。なお、刈った雑草は園外に持ち出さず、そのまま圃場に残した。また、落葉および剪定枝はすべて園外に持ち出した。灌水は行わなかった。

(5) 生育、収量、果実品質

生育調査は、樹冠面積 (4～5 月)、新梢の本数・長さ (12 月) について実施した。樹冠面積は主枝、亜主枝、側枝の先端位置を基準に平板測量法 (北橋, 1984) により求めた。新梢の本数・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。果実糖度は、収穫前・中・後期にそれぞれ 1 樹当たり 10 果を採取して、果汁を Brix 糖度計 (PR-101a, ATAGO) で測定した。

(6) ナシ樹体地上部の窒素吸収量

各試験区の代表的な 1 樹において、2010～2012 年 (樹齢 18～20 年生) の年間の地上部 (主幹・主枝・側枝・予備枝) 重量と新器官 (新梢・葉・果実) 重量を後述の方法により推定し、各器官の窒素濃度を乗じて樹体地上部の窒素含量を求めた。年間の窒素吸収量は、地上部の窒素増加量 (当年と前年の地上部の窒素量の差) と新器官の窒素含量の合計とした。なお、本県の果樹栽培基準 (茨城県農業総合センター, 2003) において樹齢 10 年生以上は成木とみなしており、成木の樹冠面積はほぼ一定に推移することから窒素吸収量もほぼ一定と仮定し、2004～2009 年 (樹齢 12～17 年生) の窒素吸収量は 2010～2012 年の窒素吸収量の平均値を用いた。

樹体地上部の各器官の構成を図 7 に示す。骨格部 (主幹、主枝) の重量は、円錐台近似モデルとして枝の基部および先端直径と枝の長さから体積を求め (岸本ら, 1998)、これに近接樹から採取した試料から求めた単位体積当たりの重量を乗じて算出した。また、新梢および剪定後の配置枝 (側枝と予備枝) の重量は、剪定前後の枝長の差と剪定枝重量から単位長さ当たりの重量を算出し、それぞれの枝長に乗じて推定した。剪定は毎年 1～2 月に実施した。また、黒ボク土で栽培された‘幸水’において、葉枚数は側枝密度

と正の相関が認められている（長野県・茨城県・埼玉県，2003）。本試験では，供試樹の樹冠面積当たりの側枝密度を果樹栽培基準（茨城県農業総合センター，2003）に従いほぼ一定に配置し，樹冠面積から葉枚数の推定を試みた。すなわち，供試樹の近接樹（樹齢 9，15，23 年生‘幸水’，各 3 反復）を用い，2012 年 7 月にすべての葉枚数と樹冠面積を計測し，葉枚数(y)と樹冠面積(x)との単回帰分析を行った。これにより得られた回帰式 ($y=1674.3x-12647$, $R^2=0.946$) を用い，供試樹の樹冠面積から供試樹の葉枚数を推定した。1 樹当たりの葉重は，平均的な葉 100 枚から求めた葉 1 枚当たりの重量を葉枚数に乗じて求めた。なお，各器官の水分は，送風定温恒温器 (DN63, yamato) において 70°C で 48 時間以上乾燥して重量を測定した。全窒素含量は，乾燥物を粉碎した試料を乾式燃焼法（土壤環境分析法編集委員会，1997）で全炭素全窒素分析装置 (VarioMAX CN, E 社) により測定した。

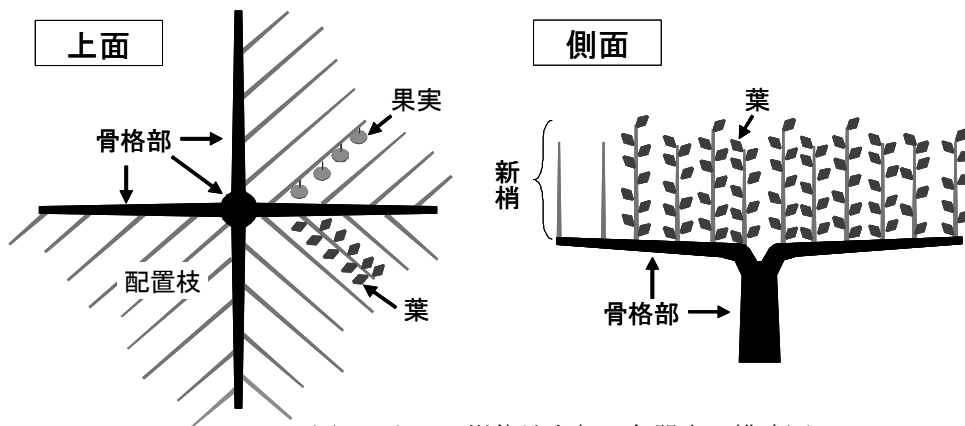


図7 ナシの樹体地上部の各器官の模式図

(7) 圃場における堆肥の分解特性と窒素放出量の予測

圃場条件下の堆肥の分解特性は，ガラス繊維ろ紙埋設法（土壤環境分析法編集委員会，1997）に準じて行った。すなわち，埋設供試堆肥（表9）を現物で 5g と試験圃場の表層土壌 15g を混和しポリエステル製の不織布袋に包み，試験圃場の深さ 20cm に 2006 年 11 月～2008 年 12 月の期間埋設した。埋設は 3 反復で行った。1 ヶ月毎に不織布袋を回収し，混和物中の全窒素を乾式燃焼法（土壤環境分析法編集委員会，1997）で全炭素全窒素分析装置 (VarioMAX CN, E 社) により測定した。混和物の全窒素の残存量は土壌だけを埋設したブランクとの差し引きで求め，供試堆肥中の全窒素含量で除して残存率を算出した。

連用 9 年目までの分解特性は，有機物を分解速度の異なる 3 つの画分から構成されるとみなして各画分が毎年一定の割合で分解すると仮定した内田のモデル式(1)（志賀，1985）に従って，連用年数毎の残存率として推定した。

$$\text{残存率}(y) = ab^t + cd^t + fg^t \quad (1)$$

a,c,f : 分解率が異なる有機物画分の割合
ただし， $a+c+f = 1$
b,d,g : 各画分の年残存率
t : 年

なお，b, d, g はそれぞれ半減期 0.2, 2.0, 20 年前後に相当する任意の値でよいとしている（志賀，1985）が，ここでは内田と同様に半減期 0.15, 1.5, 15.1 年の残存率に相当するものとして， $b=0.01$, $d=0.63$, $g=0.955$ を用いた。パラメータ a, c, f の値は，埋設後 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 年の堆肥の窒素残存率を内田のモデル式に当てはめ，最小二乗法により算出した。また，堆肥の窒素放出量は， $(100 - \text{窒素残存率}\%)$ を窒素放出率とし，堆肥の窒素含量に乗じて算出した。

(8) 土層内の硝酸態窒素量

試験開始前の2004年2月および各処理区9年目に当たる2012年12月に土壌を採取した。試験開始前は9ヶ所、9年目は各処理区3ヶ所において、ハンドオーガー(直径70mm, D社)を用い表層から深さ100cmまでの土壌を20cm刻みで採取・混合し、分析用の試料とした。固液比1:5で蒸留水を用いて試料から硝酸態窒素を抽出し、イオンクロマトグラフ法(土壤環境分析法編集委員会, 1997)で高速液体クロマトグラフ(L7470, H社)により測定した。土壌の仮比重から各層の土量を求め、硝酸態窒素濃度を乗じて土層内の硝酸態窒素量を求めた。

(9) 浸透水量の推定

試験圃場が平坦であり降雨時に大きな表面流去が認められないことから、浸透水量は年間の降水量から年間の蒸発散量を差し引いて求めた。年間の降水量と蒸発散量の集計は、降水量が少なく土層の水分変化が安定している1月1日を基準とした。なお、土層水分変化量については、我が国のような多雨地域では半年以上の期間を対象とすると土層水分変化量をゼロと見なすことができる(長谷川, 2006)ことから、年単位で浸透水量を求めた本試験ではこれを考慮しなかった。また、ナシ園における蒸発散量はペンマン蒸発散位と高い比例関係(日蒸発散量=ペンマン蒸発散位×0.80)が認められ(伊藤ら, 2006)、この推定式を用い供試ナシ園の蒸発散量を推定した。なお、ペンマン式の計算(三浦・奥野, 1993)に必要な気象情報について、気温は地表面から高さ50cm、地温は地表面から深さ10cmの位置をそれぞれ供試圃場において測定した。また、風速と日照時間は茨城園研内に設置されている気象観測装置(風向風速計:A7401-10, 日射計:H0621-10, ともにY社)のデータを用い、日射量に対する反射比を示すアルベドは日本の果樹園の年平均値0.158(Kotoda, 1989)を用いた。

(10) 土壤溶液の硝酸態窒素濃度と年間の硝酸態窒素溶脱量

土壤溶液を採取するため、2004年2月にテンシオメータ用オーガ(直径20mm)で深さ100cmまであけた穴にポラスカップ(直径18mm)を挿入し埋設した。埋設位置は、ナシ樹主幹から水平方向に50cm離れた所で、ナシの根域よりも下部と考えられる深さ100cmとした。土壤溶液の採取は約2週間毎にポラスカップ内部を真空ポンプで減圧し、20mL程度を定期的に採取した。土壤溶液の硝酸態窒素濃度は土層内の硝酸態窒素濃度の測定と同様に行った。年間の硝酸態窒素溶脱量は、年間の浸透水量に深さ100cmの土壤溶液の硝酸態窒素濃度の年平均値を乗じて求めた。

(11) 統計解析

ナシの収量・生育・果実品質および硝酸態窒素溶脱量について一元配置分散分析を行い、Tukey法により多重比較した。

3. 2. 3 結果および考察

(1) ナシの収量、生育および果実品質

圃場試験における堆肥の併用および基肥の堆肥代替が生育・収量・果実品質に及ぼす影響を表11に示す。新梢の本数は9.60~10.1本、新梢の長さは84.5~85.9cm、収量は3.18~3.32kg、一果重は348~361g、果汁糖度11.7~11.9の範囲で、各区とも施肥方法の違いによる有意な差は認められなかった。

ナシは施肥に対する樹体反応がにぶいとされる(浦木, 1983)が、9年間という比較的長期のモニタリングにおいても処理区間に収量・生育・果実品質の差が認められないことから、各処理区ともに作物が必要とする窒素を十分に供給したと考えられる。すなわち、環境負荷に配慮した施肥法として設定した代替区はナシの安定生産に有効と考えられる。

表11 堆肥の併用および基肥の堆肥代替が生育・収量・果実品質に及ぼす影響*1

	新梢の生育		収量*2 kg	一果重 g	果汁糖度 Brix
	本数*2	長さ(cm)			
化学肥料区	9.89	85.9	3.32	361	11.7
代替区	9.60	85.7	3.29	356	11.9
慣行区	10.1	84.5	3.18	348	11.7
有意水準*3	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

*1 圃場試験における2004～2012年の平均値

*2 樹冠1㎡当たり

*3 分散分析における有意水準 n.s.は有意差がないことを示す

(2) ナシ樹体地上部の年間の窒素吸収量

単位重量当たりの器官別の窒素濃度と水分を表12に、器官別の乾物重量を表13に示す。枝の窒素濃度および水分は、新梢が高く、枝齢の増す配置枝および骨格部でそれぞれ低下した。果実は、他の器官と比較して、窒素濃度が5.3g kg⁻¹と低く水分が856g kg⁻¹と多かった。

また、部位別の乾物重量について、骨格部は61.6～104kg 樹⁻¹の範囲ですべての処理区で増加傾向にあり、配置枝・新梢・葉・果実は処理区間および年次による大きな変化は認められなかった。

各器官の乾物重(表13)および窒素濃度(表12)から1樹当たりとして求めた各器官の窒素含量と樹体地上部の窒素吸収量を表14に示す。新生器官のうち、新梢と葉の窒素含量はそれぞれ118～131g 樹⁻¹、116～143g 樹⁻¹で平均125g 樹⁻¹程度と多く、果実は55g 樹⁻¹程度と少なかった。また、骨格部の窒素増加量は50g 樹⁻¹程度であり、配置枝の窒素増加量はほとんど変化がなかった。

新生器官と骨格部および配置枝の窒素増加量の和として求めた窒素吸収量は322～385g 樹⁻¹であり、栽植密度(380 樹 ha⁻¹)を乗じて求めた単位面積当たりの窒素吸収量は122～146kg ha⁻¹であった。梅宮(2004)は、ナシの窒素吸収量(‘幸水’‘二十世紀’‘長十郎’の3品種の平均)を152kg ha⁻¹と報告している。また折本ら(2003)は、ナシ‘幸水’の地上部新生器官について樹冠面積1㎡当たり窒素吸収量を求めており、この報告から圃場の樹冠占有面積を100%として単位面積当たりの窒素吸収量に換算すると130kg ha⁻¹であった。本試験の結果はこれらの数値と同程度であった。

処理区間別の窒素吸収量の年平均値は、化学肥料区131kg ha⁻¹に対し代替区139kg ha⁻¹、慣行区134kg ha⁻¹と概ね同等であり年次間差も小さかった。また、これらの平均値に試験年数を乗じて求めた9年間の積算値は、化学肥料区1182kg ha⁻¹、代替区1251kg ha⁻¹、慣行区1206kg ha⁻¹と推定され、化学肥料区を基準とした場合の増減は代替区および慣行区でそれぞれ+69kg ha⁻¹、+24kg ha⁻¹であった(表15)。

表12 樹体地上部の器官別の窒素濃度と水分

器官	窒素濃度*	水分
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
骨格部	7.1	417
配置枝	10.0	507
新梢	11.9	529
葉	11.0	652
果実	5.3	856

*窒素濃度は乾物当たりの数値

表13 樹冠面積と各器官の乾物重量の変動

試験区	年	樹冠面積 m ² 樹 ⁻¹	乾物重量(kg 樹 ⁻¹)						骨格部 増加量	配置枝 増加量
			骨格部	配置枝	新梢	葉	果実			
化学肥料区	2009	21.1	81.7	7.47	-	-	-	-	-	
	2010	20.9	90.4	7.41	10.4	11.1	9.3	8.70	-0.06	
	2011	20.2	95.2	7.25	9.9	10.5	10.4	4.76	-0.16	
	2012	20.4	104	7.21	10.2	10.7	10.7	8.84	-0.04	
代替区	2009	22.1	76.9	7.38	-	-	-	-	-	
	2010	23.2	83.8	7.66	9.9	13.0	9.9	6.90	0.28	
	2011	22.3	88.0	7.46	10.6	12.3	11.0	4.24	-0.20	
	2012	22.5	97.0	7.43	10.0	12.5	12.0	8.97	-0.03	
慣行区	2009	20.7	61.6	7.31	-	-	-	-	-	
	2010	21.3	70.2	7.51	11.0	11.4	8.7	8.59	0.20	
	2011	21.2	74.3	7.47	10.6	11.3	10.1	4.15	-0.05	
	2012	20.2	83.2	7.14	10.6	10.6	10.4	8.89	-0.32	

—:未測定

表14 各器官の窒素含量と樹体地上部の窒素吸収量

試験区	年	窒素含量(g 樹 ⁻¹)						窒素吸収量		
		骨格部	配置枝	新梢	葉	果実	骨格部 増加量	配置枝 増加量	g 樹 ⁻¹	kg ha ⁻¹
化学肥料区	2009	580	75.0	-	-	-	-	-	-	-
	2010	642	74.4	124	122	49.7	61.7	-0.60	357	136
	2011	676	72.8	118	116	55.6	33.8	-1.60	322	122
	2012	739	72.4	121	117	56.9	63.5	-0.36	359	136
代替区	2009	546	74.1	-	-	-	-	-	-	-
	2010	595	76.9	118	143	52.8	49.0	2.80	366	139
	2011	625	74.8	126	135	58.8	30.1	-2.06	348	132
	2012	689	74.6	120	137	64.2	63.7	-0.25	385	146
慣行区	2009	437	73.3	-	-	-	-	-	-	-
	2010	498	75.4	131	126	46.4	61.0	2.05	366	139
	2011	528	74.9	127	124	53.8	29.4	-0.46	334	127
	2012	591	71.7	127	116	55.4	63.1	-3.24	358	136

—:未測定

表15 9年間の樹体地上部の窒素吸収量

	窒素吸収量(kg ha ⁻¹)		
	化学肥料区	代替区	慣行区
	年平均値	131	139
9年間の積算値	1182	1251	1206
(化学肥料区との差*)		(+69)	(+24)

* 9年間の積算値において化学肥料区の値から代替区または慣行区を差し引いた値

(3) 施用した堆肥からの窒素放出量

試験圃場に埋設した堆肥の窒素残存率の推移を図8に示す。堆肥の窒素残存率は、埋設後0.5, 1.0, 1.5, 2.0年で、それぞれ0.54, 0.5, 0.4, 0.28であった。これらの数値を内田のモデル式に当てはめ、最小二乗法によりパラメータa, c, fの値を算出したところ、それぞれ0.37, 0.51, 0.12が得られた。この値を用いて残りの実測値を推定したところ決定係数(R²=0.926, n=19)で高い精度で予測できた。

予測式から求めた各年の窒素放出率と堆肥で施用した全窒素量に対して、推定した窒素放出量を表16に示す。窒素放出率は、施用1年目が56.2%であり、施用当年に堆肥中窒素含量の半分程度が放出される。また、2007年(連用4年目)には窒素放出率81.9%、2012年(連用9年目)には窒素放出率91.2%となっ

た。すなわち、品質が同様の堆肥を数年程度連用した場合、見かけ上、堆肥中窒素の大部分は施用当年に無機化すると推定された。また、9年間の堆肥由来の窒素量の合計は、代替区が施用量 900kg ha^{-1} に対して放出量 728kg ha^{-1} 、同様に慣行区が 2700kg ha^{-1} に対して 2183kg ha^{-1} と試算された。

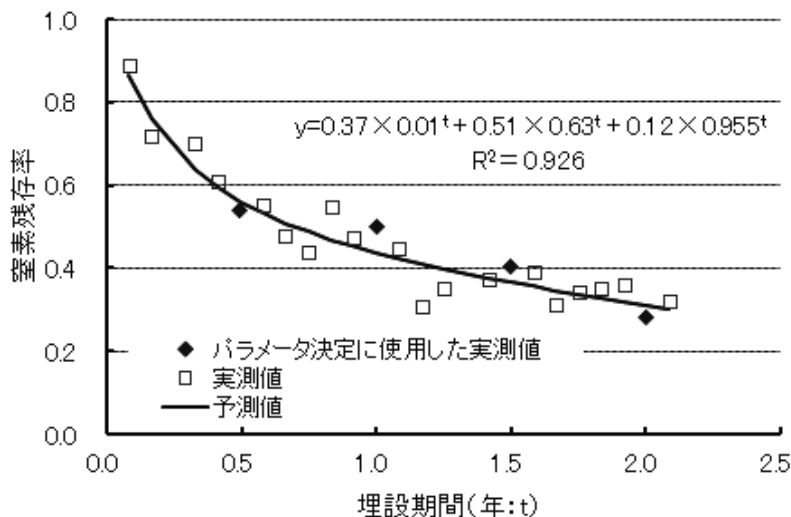


図 8 埋設期間別の堆肥の窒素残存率の実測値と内田のモデル式による予測値

表16 堆肥連用条件における供試堆肥の窒素放率と窒素放出量

年	各年に施用した堆肥の年間の窒素放率(%)										窒素放出量 $\text{kg ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$	
	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	合計 ^{*1}	代替区 ^{*2}	慣行区 ^{*3}
2004	56.2									56.2	56	169
2005	12.7	56.2								68.9	69	207
2006	7.9	12.7	56.2							76.8	77	230
2007	5.2	7.9	12.7	56.2						81.9	82	246
2008	3.4	5.2	7.9	12.7	56.2					85.3	85	256
2009	2.3	3.4	5.2	7.9	12.7	56.2				87.6	88	263
2010	1.6	2.3	3.4	5.2	7.9	12.7	56.2			89.2	89	268
2011	1.1	1.6	2.3	3.4	5.2	7.9	12.7	56.2		90.4	90	271
2012	0.8	1.1	1.6	2.3	3.4	5.2	7.9	12.7	56.2	91.2	91	274
合計											728	2183

*1 2005年(連用2年目)以降は見かけ上の窒素放率

*2 堆肥施用量: $100\text{kgN ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$

*3 堆肥施用量: $300\text{kgN ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$

(4) ナシ栽培圃場の水収支、浸透水量の推定

2004～2012年における試験圃場の年間の水収支の平均値は、降水量が 1292mm yr^{-1} であり、蒸発散量が 590mm yr^{-1} と推定された(表 17)。なお、推定された1日当たりの蒸発散量は、春季(4～5月)と秋季(9～10月)が平均で 2.0mm 程度、夏季(6～8月)は 3.0mm 程度であった。

これを年単位で見ると、蒸発散量は $542\sim 636\text{mm yr}^{-1}$ の範囲とほぼ一定なのに対し、降水量は $1079\sim 1524\text{mm yr}^{-1}$ と変動したことから、浸透水量は降水量が多い年ほど多くなると推定された。

ここで、降水量と蒸発散量の差で求めた浸透水量の平均値は 702mm yr^{-1} であり、排水率は 54.4% であった(表 17)。神野(2000)は黒ボク土充填のナシ栽培ライシメーターにおいて5年間試験した際の排水率を 52.8% と報告しており、また塚本ら(1993)が淡色黒ボク土充填の畑作物栽培ライシメーターで5年間の試験した際の排水率は 51.7% であった。圃場試験における年間の浸透水量の推定値は、これらの数値と

同程度であり、概ね妥当な値と考えられる。

表17 ナシ栽培圃場における年間の水収支

年	降水量	蒸発散量	浸透水量	排水率*
	mm yr ⁻¹			
2004	1285	636	649	50.5
2005	1093	560	533	48.8
2006	1417	550	867	61.2
2007	1191	618	573	48.1
2008	1079	542	537	49.8
2009	1358	563	795	58.5
2010	1524	613	911	59.8
2011	1392	606	786	56.5
2012	1293	621	672	52.0
平均	1292	590	702	54.4

*排水率:浸透水量/降水量×100

(5) ナシ栽培圃場の土壌溶液中硝酸態窒素濃度の推移

ナシ栽培圃場における土壌溶液中硝酸態窒素濃度の推移を図9に示す。なお、ポラスカップ設置時に土壌を攪乱した影響が認められたので、埋設後1年以上経過した2005年4月からの測定値を示す。

化学肥料区の硝酸態窒素濃度は調査期間を通じて0~20mg L⁻¹程度の範囲で推移し、代替区はこれと同様に推移した。一方、慣行区は、化学肥料区と比較して2007年8月までは概ね同様に推移したが、2007年9月以降は9.1~50.0mg L⁻¹の範囲で高く推移し増加傾向を示した。土壌溶液中硝酸態窒素濃度の時期別の傾向は、明確なピークが認められない時期もあったが、9~10月頃より濃度が上昇し、5~6月頃に低下した。

ここで、地表面管理の違いが土壌溶液中硝酸態窒素濃度に及ぼす影響を検討する。化学肥料による年間の施肥窒素量(表8)と堆肥1年目の窒素放出量(表16)の合計からナシの窒素吸収量の年平均値(表15)を差し引いた1年目の窒素収支は化学肥料区69kg ha⁻¹に対し慣行区235kg ha⁻¹であり試験開始当初から大きな差が認められたが、深さ1mの土壌溶液中硝酸態窒素濃度に影響する2007年9月までには約3年半を要したことになる。この要因の一つとして、西尾ら(2004)は有機質資材と化学肥料の併用下では硫安由来窒素の有機化量が増加し有機質資材中の窒素も無機化された後に多くの部分が再有機化されると報告していることから、慣行区では無機態窒素の有機化が促進され土層内へ保持されたと考えられる。また、有機化された硫安由来窒素は比較的安定で容易には後作に利用されない(松波ら, 2005)ことから、有機化された窒素は土層内にある程度の期間保持されたと考えられる。他方で、井原ら(2009)は、有機質資材と化学肥料の併用時に起る硫安由来窒素の有機化促進はその後の硫安由来窒素の再無機化などによってより長期的に見れば相殺されると報告している。すなわち、本試験において、慣行区の肥培管理が深さ1mの土壌溶液中硝酸態窒素濃度に影響するまでの約3年半の期間は、無機態窒素が有機化と再無機化という過程を経ながら地表面から深さ1mまで移動した時間と考えられる。

また、2010~2011年にすべての処理区で濃度が高まった。江口(2005)は、黒ボク土畑において地表侵入水が深さ1mまでの作物根群域を通過する時間は多雨年ほど短く、また硝酸態窒素は見かけ上、水とほぼ同じ速さで土壌中を下方移動したと報告している。2010年の雨量は1524mmであり(表17)、過去5年の雨量の平均値1228mmよりも296mm多かったことから、多雨量により土層内の無機態窒素の移動を速め土壌溶液の硝酸態窒素濃度を高めたと考えられる。

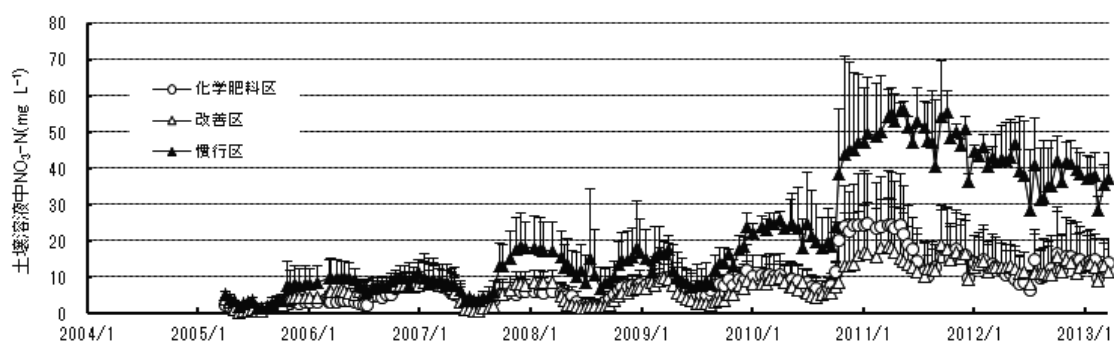


図9 ナシ栽培圃場における土壌溶液*の硝酸態窒素濃度の推移
注：深さ 100cm で採取，誤差線は標準偏差を示す

(6) 試験期間の硝酸態窒素溶脱量

各処理区の硝酸態窒素溶脱量を表 18 に示す。化学肥料区は 11~143kg ha⁻¹ の範囲で 2011 年までは増加傾向であったが、2012 年は 82kg ha⁻¹ と低下した。代替区は 13~117kg ha⁻¹ の範囲で化学肥料区と同様に推移した。慣行区は 24~393kg ha⁻¹ の範囲であり、化学肥料区と比較して 2009~2012 年の溶脱量は有意に多くなった。また、2005~2012 年の硝酸態窒素溶脱量の合計は、化学肥料区 504kg ha⁻¹ に対し、代替区は 442kg ha⁻¹ と同程度であり、慣行区は 1234kg ha⁻¹ と有意に多くなった。

本試験では、圃場から溶脱する年間の硝酸態窒素量を、年間の浸透水量に土壌溶液中硝酸態窒素濃度の年平均値を乗じて推定した。このことは、時期別の浸透水量と土壌溶液中硝酸態窒素濃度の変動を考慮していないことから、本試験の中で不確実性が大きい部分である。そこで、3 章 1 節のライシメーター試験データを利用して、以下のように、年単位での溶脱量計算結果の妥当性を検討した。

ライシメーター試験の年間の水収支を表 19 に示す。排水率は 2004 年~2012 年通算の平均値が 44.5% であった。また、浸透水量は季節により異なり、1~5 月の浸透水量が年間の 70.6% を占め、生育の盛んな 7~10 月が少なかった。

表18 ナシ栽培圃場における硝酸態窒素溶脱量

年	硝酸態窒素溶脱量(kg ha ⁻¹)		
	化学肥料区	代替区	慣行区
2004 ^{*1}	-	-	-
2005	11	13	24
2006	39	56	75
2007	30	29	52
2008	26	23	71
2009	63 ^a	45 ^a	104 ^b
2010	109 ^a	76 ^a	247 ^b
2011	143 ^a	117 ^a	393 ^b
2012	82 ^a	81 ^a	267 ^b
合計	504 ^a	442 ^a	1234 ^b
(化学肥料区との差 ^{*2})		(-62)	(+730)

*1 2004年は、土壌溶液NO₃-N濃度が不安定であったのでデータを除外

*2 化学肥料区の合計値から代替区または慣行区の値を差し引いた値異なる英小文字は有意差あり(Tukey法, 5%水準)

ここで、圃場試験における月間の浸透水量はライシメーター試験で得られた年間の浸透水量に対する月間の浸透水量の割合(表 19) で発生したと仮定した。これを図 9 の値から求めた月毎の土壌溶液中硝酸態

窒素濃度の平均値に乗じて、化学肥料区、代替区、慣行区の試験期間の硝酸態窒素溶脱量を再計算した。その結果、硝酸態窒素溶脱量はそれぞれ 525kg ha⁻¹、477kg ha⁻¹、1276kg ha⁻¹ となり、21~42kg ha⁻¹ の範囲で増加したものの試験区間の傾向に大きな影響は見られず、先の結果が妥当であることが支持された。

表19 ナシ栽培ライシメーターにおける年間の水収支と月間浸透水量の割合

年	降水量 (A)	灌水量 (B)	投入水量 (A+B)	浸透水量	排水率*	年間の浸透水量に対する月間浸透水量の割合(%)												
						1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
			mm yr ⁻¹		%													
2004	1285	0	1285	592	46.1	0.6	5.1	25.3	15.8	21.6	3.5	1.2	0.5	0.9	24.3	0.7	0.5	
2005	1093	0	1093	384	35.1	43.5	6.2	31.4	13.1	1.6	0.2	0.3	1.3	1.3	1.0	0.2	0.0	
2006	1417	0	1417	770	54.3	0.5	7.1	6.4	7.5	7.9	10.4	27.5	0.1	0.6	3.5	5.7	22.9	
2007	1191	0	1191	450	37.8	20.9	8.9	5.5	16.8	29.7	1.0	14.9	0.3	1.6	0.4	0.1	0.0	
2008	1079	0	1079	493	45.7	9.0	10.5	6.6	34.3	19.2	13.5	3.6	0.9	1.0	1.1	0.4	0.0	
2009	1358	0	1358	604	44.5	0.0	12.1	25.8	36.5	2.3	14.1	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	7.9	
2010	1524	245	1769	879	49.7	3.1	7.8	15.1	29.8	11.1	1.5	1.0	0.0	3.7	11.1	4.5	11.3	
2011	1392	167	1559	658	42.2	2.1	8.1	15.8	13.2	19.3	7.5	1.5	1.3	14.2	9.2	1.5	6.2	
2012	1293	313	1606	672	41.9	3.4	6.7	18.9	24.7	24.5	18.4	1.0	0.1	0.9	1.0	0.2	0.2	
平均	1292	81	1373	611	44.5	9.2	8.1	16.7	21.3	15.2	7.8	5.7	0.6	2.7	5.7	1.5	5.4	

*排水率:浸透水量/投入水量×100

(7) 土層内の硝酸態窒素量

試験開始前および各処理区9年目の土層の硝酸態窒素量を表20に示す。供試圃場において供試樹の根の大部分は深さ45cmまでに分布していることから、45cmより下層の硝酸態窒素は作物に吸収され難いと推察される。試験開始前にあたる2004年の土層(0-100cm)の硝酸態窒素の合計量は861kg ha⁻¹であり、層別では表層よりも深さ40cmより下層が多かった。

試験開始後9年目にあたる2012年の土層の硝酸態窒素量の合計量は、化学肥料区が495kg ha⁻¹であった。これに対し、代替区は405kg ha⁻¹と化学肥料区よりも90kg ha⁻¹少なかった。一方で慣行区は821kg ha⁻¹となり、化学肥料区よりも326kg ha⁻¹増加した。これを層別に見ると、代替区は、化学肥料区と比較して深さ0~60cmでは大きな差は認められなかったが深さ60~100cmで少なかった。このように代替区は、堆肥の窒素放出量を含めた総窒素投入量を適正化することで硝酸態窒素の溶脱量が減少し、下層土の硝酸態窒素量を低減させたと考えられる。また、慣行区は、深さ0~100cmのすべての層で化学肥料区よりも多くなり、土層内に硝酸態窒素が増加する傾向が認められた。

表20 試験開始前と各処理区9年目の土層の硝酸態窒素量

深さ (cm)	各層の硝酸態窒素量(kg ha ⁻¹)			
	2004年 試験開始前	2012年		
		化学肥料区	代替区	慣行区
0-20	26	16	20	30
20-40	104	74	106	187
40-60	273	141	143	243
60-80	269	136	73	204
80-100	190	128	63	157
土層合計	861	495	405	821
(化学肥料区との差*)			(-90)	(+326)

* 2012年の化学肥料区の土層合計値から代替区または慣行区の値を差し引いた値

(8) 試験期間の窒素収支

以上の結果を統合して、試験期間9年間の窒素収支について、化学肥料区の結果から差し引いて求めた代替区および慣行区の数値を図10に示す。樹体窒素吸収量の9年間の積算値は1182~1251kg ha⁻¹の範囲であり、化学肥料区との差は代替区が+69kg ha⁻¹、慣行区が+24kg ha⁻¹であった(表15)。また、同様に化学肥料区との差でみると、土層の硝酸態窒素量(表20)は代替区が-90kg ha⁻¹、慣行区が+326kg ha⁻¹であり、硝酸態窒素溶脱量(表18)は代替区が-62kg ha⁻¹、慣行区が+730kg ha⁻¹であった。このように、作物の窒素吸収量は処理区間に大きな差が認められなかったことから、硝酸態窒素溶脱量および土層の硝酸態窒素量

の違いは施肥および堆肥施用量の違いに起因すると考えられる。

慣行区は、化学肥料区と比較して堆肥の窒素放出量(表 16)の 2183kg ha⁻¹ が上乘せされ無機態窒素の投入量が多いため、土層内の硝酸態窒素残存量が多く、硝酸態窒素溶脱量も極めて多くなった。このことから、硝酸態窒素溶脱量を低減するためには、堆肥等の有機物中窒素を考慮した総窒素投入量による施肥設計が必要である。さらに、不明量が化学肥料区よりも 1122kg ha⁻¹ 多くあったが、これらの大部分は有機態として土壌に蓄積していると考えられる。また、畑地の作土層においても易分解性有機物が十分にあり降雨等により水分条件が整えば脱窒が生じる(小川ら, 2000) ことから、不明量の多い慣行区では特に脱窒が多いと考えられる。同時に、温室効果ガスの一つである一酸化二窒素の発生が増大する可能性がある。

代替区は、化学肥料区よりも窒素溶脱量がやや減少した。これは、化学肥料の代替で投入した堆肥の窒素放出量(表 16)の 728kg ha⁻¹ が減肥した化学肥料(900kg ha⁻¹)よりも少ないためと考えられる。ただし、堆肥中窒素の放出量は堆肥連用初期で少ないが、連用 9 年目には見かけ上その大部分が施用当年に無機化する と推定され、また、土層内の硝酸態窒素量は化学肥料区とほぼ同等であることから、今後の代替区の窒素溶脱量は 2012 年の水準で推移すると予測する。

このように、化学肥料の一部を堆肥で代替する施肥方法は、総窒素投入量を窒素吸収に見合った量に適正化することで窒素収支を改善し、地下水への窒素負荷低減に有効である。

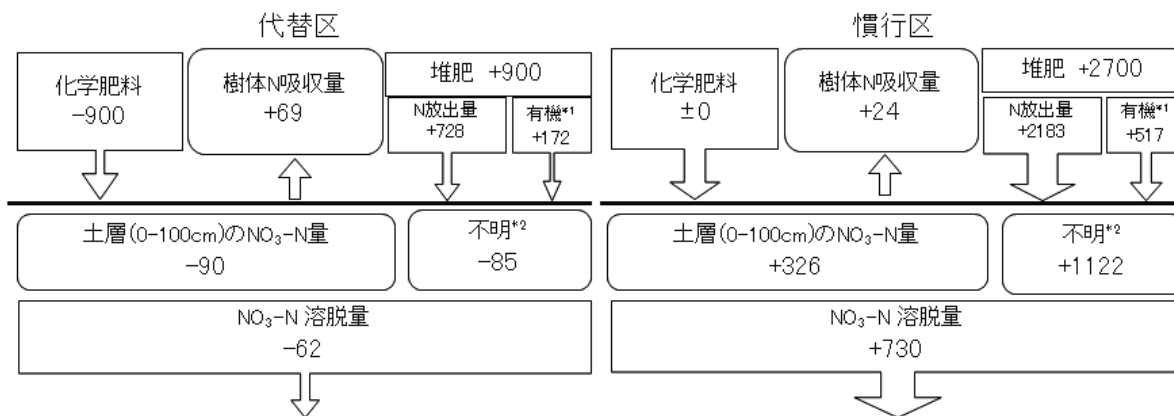


図 10 試験期間 9 年間*3 の各処理区の窒素収支*4

*1 投入した堆肥の全窒素含量と推定した窒素放出量の差

*2 土壌の有機態窒素の増減量および脱窒等による放出量を想定

*3 溶脱量は 2005～2012 年の 8 年間の合計値

*4 数値の単位は kg ha⁻¹, それぞれ化学肥料区との差を示す

4 堆肥施用および施肥改善が土壤環境に及ぼす影響

4.1 堆肥の窒素肥効を考慮した施肥法が土壤炭素蓄積に及ぼす影響

4.1.1 目的

本県のナシ園で慣行的な施肥方法である化学肥料と豚糞堆肥の併用、および作物生産と環境に配慮した施肥方法として化学肥料の一部を堆肥で代替する施肥方法が、土壤全炭素含量の変動に及ぼす影響を明らかにする。

4.1.2 材料および方法

(1) 供試圃場および供試材料

本試験は茨城園研内圃場（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)において、2004年～2013年まで豚糞堆肥連用試験を行った。

供試作物はナシ‘幸水’（樹齢12年生：2004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耕種基準（茨城県農林水産部、1993）に準じた。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。

処理区は、化学肥料区、慣行区、代替区の3区を設け、1区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、2003）に準じ、年間で200kg ha⁻¹（基肥100kg ha⁻¹, 追肥100kg ha⁻¹）の窒素を施用した。慣行区は、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併せて豚糞堆肥（以下堆肥、T-N : 25.3±3.1g kg⁻¹, T-C : 336±11g kg⁻¹, 水分 : 353±51g kg⁻¹）を全窒素で300kg ha⁻¹ yr⁻¹を施用（全炭素は平均で4.0Mg ha⁻¹ yr⁻¹施用）した。また、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、全炭素は平均で1.3Mg ha⁻¹ yr⁻¹施用）し、追肥は化学肥料区と同様に行った。堆肥は毎年2月に施用した。化学肥料は硫酸を用い、基肥（2月）：追肥1（5月）：追肥2（6月）：追肥3（9月）に分施した。なお、リン酸、加里はそれぞれ重焼リン、ケイ酸加里を用いて、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た。

(2) 土壤の全炭素含量の推移

土壤は、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ヶ所において、区画の中央にある主幹から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, D社）で採取し、混合して分析用の試料とした。採取した土壤は風乾し、2mmのふるいを通したものを全自動元素分析装置（VarioMAX CN, E社）で全炭素含量を分析した。

各年の土壤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。

4.1.3 結果および考察

(1) 土壤の全炭素含量の推移

堆肥連用ナシ園における土壤の全炭素含量の推移を図11に示す。化学肥料区の全炭素含量は、採取年および反復間の変動が大きかったが、2013年に53.1g kg⁻¹となり試験開始時56.8g kg⁻¹よりやや低減した。10年間の推移を最小二乗法により線形近似した結果、回帰式（ $y = -0.297x + 55.8$, x : 年）を得た。この式の傾きの有意性を検定した結果、危険率は5～10%の範囲であり低減傾向は明らかでなかった。井上ら（2012）は、落葉等を地表面に投入する条件において化学肥料区の表層0～10cmの全炭素含量が28年間ほぼ一定に推移したと報告している。落葉果樹の葉の炭素含量は平均で年間0.98Mg ha⁻¹と報告があり（伊藤ら、2000）、本試験では落葉を園外に持ち出していることから地表面への炭素投入量が少ない。このことから、本試験において化学肥料単用による栽培の継続によって今後さらに土壤炭素が減少する可能性があり、さらに長期的な検討が必要である。

代替区の全炭素含量は、変動がやや大きいもののほぼ一定で推移し、化学肥料区と同様に近似して回帰式（ $y = -0.063x + 57.18$, x : 年）を得た。中津・田村（2008）は、黒ボク土畑土壤において堆肥と収穫残渣をあわせた乾物あたりの有機物施用量が年間2.5Mg ha⁻¹（有機物中の炭素含量を40%と仮定した場合の炭素量：1Mg ha⁻¹）程度の場合に土壤中の全炭素含量の増減がないと報告している。本試験においてもこの報告とほぼ同様の結果であり、年間1.3Mg ha⁻¹程度の炭素施用量で黒ボク土ナシ園における土壤炭素含量の

維持が可能と考えられる。

慣行区は、代替区と同様に、10年間の堆肥の連用により土壤全炭素含量に有意な変化は認められず、回帰式 ($y=-0.055x+59.7$, x : 年) を得た。第 4-1 図においては、化学肥料区に比べて慣行区で土壤全炭素含量が高い値を示しているが、本試験では、慣行区の連用前の土壤全炭素含量を測定していなかったため、連用開始時における土壤全炭素含量が処理区間で異なっていた可能性が考えられる。上沢 (1991) は有機物連用による土壤全炭素含量の変化について、全炭素含量が相対的に低い土壤では有機物の経年的集積が認められるが、全炭素含量 60g kg^{-1} 以上の土壤では有機物の集積はほとんど見られないとしている。また、井上ら (2012) は黒ボク土ブドウ園において有機物を 28 年間連用すると表層土壤の全炭素含量は増加したが、土壤表面への稲わら施用等では 3 年、牛ふん堆肥施用では 10 年程度で増加は見られなくなったと報告している。慣行区的全炭素含量は 60g kg^{-1} 前後で大きな増減もなくほぼ横ばいに推移したことから有機物の蓄積が進んで全炭素含量が平衡に達したと考えられ、今後仮に堆肥の施用量を増加させてもこれ以上の全炭素含量の増加は期待できないと考えられる。

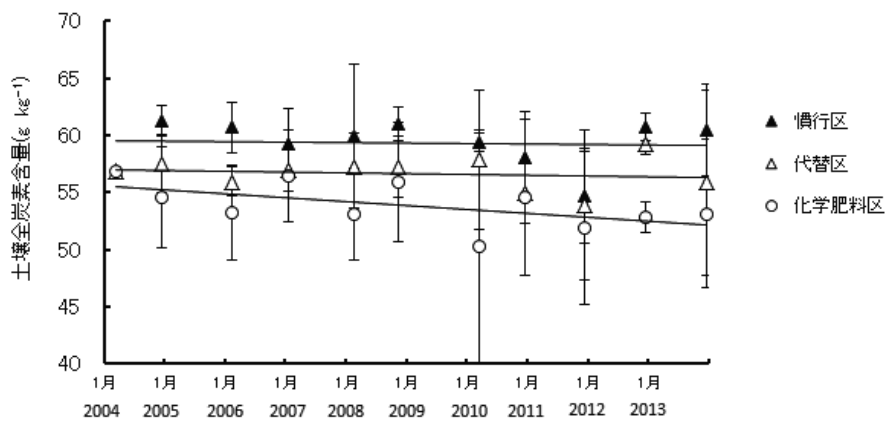


図 11 豚糞堆肥連用ナシ園における土壤全炭素含量の推移
注：誤差線は標準偏差(n=3)を示す。

4. 2 ナシ園における樹体の炭素蓄積量の推定

4. 2. 1 目的

地球温暖化は世界的な問題として取り上げられており、我が国でも気候変動が原因と考えられる猛暑や豪雨の増加が指摘されている。地球温暖化を防止するための国際的な取り決めとして、1997年に京都で開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）により京都議定書が採択された。京都議定書は、先進国などに対して温室効果ガスの排出量の削減を義務づけたと同時に、森林による二酸化炭素吸収量を温室効果ガスの削減量に算入することを認めている。

一方で果樹は、森林と同様に永年性の木本植物であり、光合成活動により大気から吸収した二酸化炭素を有機物として固定し、一定期間蓄積する機能を有する。しかし、日本国温室効果ガスインベントリ報告書（温室効果ガスインベントリオフィス（GIO）編、2014）は、転用のない農地（過去20年間において転用されず、継続して農地）カテゴリーの樹園地を樹体管理の実施により生長による炭素蓄積は見込まれないとして年間炭素固定量ゼロとしており、また樹園地へ転用された土地のバイオマスが定常状態に達するまでの成長量も計上していない。このことから、樹園地の炭素固定量を過小評価している可能性がある。

そこで、生長に伴う樹体の炭素蓄積をモデル化してナシ園における炭素蓄積量を推定し、我が国の樹園地の炭素ストック変化量の基礎資料とする。

4. 2. 2 材料および方法

（1）試験場所の概要

本試験は茨城園研内圃場（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）において、2010～2013年の4年間実施した。

（2）供試作物および栽培管理

供試作物はナシ‘幸水’を用いた。供試樹は、2010年に樹齢2年生、7年生、14年生、19年生、22年生をそれぞれ3樹用いた。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、2008）に準じた。

（3）ナシ樹体の炭素含量の推定

樹齢の異なる各供試樹において、各年の地上部（主幹・主枝・側枝・予備枝）重量と新器官（新梢・葉・果実）重量を後述の方法により測定し、各器官の水分率と炭素含有率を乗じて樹体地上部の炭素含量を求めた。地下部の乾物重は、小豆沢ら（1983）によるニホンナシ樹体乾物重量の地上部に対する地下部の割合0.27を、測定した各年の地上部乾物重量に乗じて求めた。地下部の炭素含量は、日本国温室効果ガスインベントリ報告書（温室効果ガスインベントリオフィス（GIO）編、2014）に示された森林の生体バイオマスの炭素含有率0.5を用いて推定した。

（4）樹体の乾物重量の測定方法

樹体地上部の各器官の構成は前述（図7）のとおりである。骨格部（主幹、主枝）の重量は、円錐台近似モデルとして枝の基部および先端直径と枝の長さから体積を求め（岸本ら、1998）、これに近接樹から採取した試料から求めた単位体積当たりの重量（1.02g cm⁻³）を乗じて算出した。また、新梢および剪定後の配置枝の重量は、剪定前後の枝長の差と剪定枝重量から単位長さ当たりの重量を算出し、それぞれの枝長に乗じて推定した。剪定は毎年1～2月に実施し、新梢および2年枝以上の枝に分類して各重量を測定した。また、黒ボク土で栽培されたナシ‘幸水’において、葉枚数は側枝密度と正の相関が認められている（長野県・茨城県・埼玉県、2003）。本試験では、供試樹の樹冠面積当たりの側枝密度を果樹栽培基準（茨城県農業総合センター、2008）に従いほぼ一定に配置し、樹冠面積から葉枚数の推定を試みた。すなわち、供試樹の近接樹（樹齢9、15、23年生‘幸水’、各3反復）を用い、2012年7月にすべての葉枚数と樹冠面積を計測し、葉枚数(y)と樹冠面積(x)との単回帰分析を行った。これにより得られた回帰式（ $y = 1674.3x - 12647$ 、 $R^2 = 0.946$ ）を用い、供試樹の樹冠面積から供試樹の葉枚数を推定した。樹冠面積は主枝、亜主枝、側枝の先端位置を基準に平板測量法（北橋、1984）により求めた。1樹当たりの葉重は、平均的な葉100枚から求めた葉1枚当たりの重量を葉枚数に乗じて求めた。果実重量は、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。なお、水分は送風定温恒温器（DN63, yamato）において70°Cで48時間以上乾燥して重量を測定し、各器官の重量に水分率を乗じて乾物重量を求めた。

(5) ナシ樹体の炭素含有率の測定

各器官の全炭素含有率は、乾物重量測定後の試料を用いた。試料の一部を粉碎し乾式燃焼法（土壤環境分析法編集委員会編，1997）で全炭素全窒素分析装置（VarioMAX CN，E社）により測定した。

(6) 炭素蓄積量の推定

ナシ樹体の炭素蓄積量は、樹体全体の炭素含量から持ち出し部分（葉，果実，剪定枝）の炭素含量を差し引いたもの（骨格部，配置枝および地下部の炭素含量の合計）とした。また，樹齢毎の樹体の炭素蓄積量の変化を最小二乗法により2次式で近似し，推定式を求めた。

ナシ園の炭素蓄積量は，実測値および推定式により求めた樹齢別の樹体の炭素蓄積量に栽植密度（10年生まで770樹 ha⁻¹，11年生以降380樹 ha⁻¹）を乗じて求めた。なお，森林分野において齢級（樹齢を5年間毎にまとめたもの）の炭素蓄積量は5年間の平均値で示されることから，同様に比較するためナシ園の炭素蓄積量も5年間毎の平均値で示した。

4. 2. 3 結果および考察

(1) ナシ樹体の炭素蓄積量

単位重量当たりの器官別の炭素含有率と水分を表21に，器官別の乾物重量を表22に示す。木質部（骨格部，配置枝，新梢）の炭素含有率は468～476g kg⁻¹の範囲で大きな差は認められなかったが，水分は，新梢が529g kg⁻¹と高く，枝齢の増す配置枝および骨格部でそれぞれ507g kg⁻¹，417g kg⁻¹と低下した。果実は，他の器官と比較して，炭素含有率が399g kg⁻¹と低く水分が856g kg⁻¹と多かった。

また，部位別の乾物重量について，骨格部は0.5～134.6kg 樹⁻¹の範囲で，樹齢が増すに応じて増加傾向にあった。配置枝・葉・果実・剪定枝の乾物重量は，2年生～10年生においては，骨格部と同様に樹齢が増すに応じて増加傾向にあった。一方で，14年生～25年生においては，配置枝5.4～9.0kg 樹⁻¹，葉7.4～12.8kg 樹⁻¹，果実9.1～14.3kg 樹⁻¹，剪定枝（新梢5.8～11.1kg 樹⁻¹，配置枝4.7～9.9kg 樹⁻¹）の範囲で大きな変化は認められなかった。樹齢2～10年生の樹体の各器官の乾物重量が増加傾向を示したことは，この期間に樹冠を拡大した影響と考えられる。また，14～25年生の配置枝・葉・果実・剪定枝の乾物重量に大きな変化がなかった。これは，11年生の時点で隣接樹と樹冠の一部が重なり合ったため樹冠拡大を終了し，この期間の樹冠面積を16.9～24.3m²の範囲で概ね一定に管理した影響と考えられる。

各器官の炭素含有率(表21)および乾物重量(表22)から1樹当たりとして求めた各器官の炭素含量と樹体の炭素蓄積量を表23に示す。骨格部および地下部の炭素含量は，それぞれ0.2～63.7kg 樹⁻¹，0.4～25.5kg 樹⁻¹の範囲であり樹齢が増すに応じて増加傾向にあった。配置枝・葉・果実・剪定枝の炭素含量は，それぞれ0～4.3kg 樹⁻¹，0.2～6.0kg 樹⁻¹，0～5.7kg 樹⁻¹，0.1～9.7kg 樹⁻¹の範囲であった。樹体の炭素蓄積量は0.2～93.5 kg 樹⁻¹であり，その樹齢毎の変化を図12に示す。樹体の炭素蓄積量は樹齢が増すに応じて増加傾向にあり，回帰式 ($y = 0.1235x^2 + 0.7105x - 1.4826$, $R^2=0.9983$) により高い精度で推定できることが示された。この式により2年生，6年生，7年生，11年生，12年生，13年生，22年生の炭素蓄積量を求めた結果，それぞれ0.43，7.23，9.54，21.3，24.8，28.6，73.9kg ha⁻¹と推定された。

表21 樹体地上部の器官別の炭素含有率と水分

器官	炭素含有率 g kg ⁻¹	水分 %
骨格部	474	41.7
配置枝	476	50.7
新梢	468	52.9
葉	466	65.2
果実	399	85.6

*炭素含有率は乾物当たりの数値

表22 樹冠面積と樹体の乾物重量の変動

試験区	年	樹冠面積 (m ² 樹 ⁻¹)	乾物重量(kg 樹 ⁻¹)								合計
			骨格部	配置枝	葉	果実	剪定枝		小計		
							新梢	配置枝	地上部	地下部	
2～5年生	2	-	0.5	0.0	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	1.9	0.3	0.3	0.0	0.2	0.0	2.8	0.8	3.6
	4	3.6	3.1	1.0	0.9	0.7	1.3	0.1	7.0	1.9	8.9
	5	4.3	5.8	1.4	1.4	2.2	1.6	0.3	12.7	3.4	16.2
7～10年生	7	-	11.5	2.8	-	-	-	-	-	-	-
	8	9.2	14.0	3.4	2.8	5.2	3.6	3.9	32.9	8.9	41.8
	9	12.1	18.6	3.5	3.8	4.6	4.1	4.2	38.7	10.5	49.2
	10	11.6	22.9	3.7	4.5	7.3	4.8	4.5	47.6	12.9	60.5
14～17年生	14	-	41.1	5.6	-	-	-	-	-	-	-
	15	19.5	45.3	5.4	8.4	12.4	5.8	5.0	82.3	22.2	104.5
	16	16.9	52.1	7.2	7.4	9.1	7.4	4.7	87.9	23.7	111.6
	17	19.1	58.3	8.1	8.4	13.0	10.0	6.3	104.1	28.1	132.2
18～22年生	19	21.3	81.5	7.3	12.0	9.9	10.2	8.7	129.6	35.0	164.6
	20	21.8	86.1	7.5	11.1	10.7	11.1	9.5	136.0	36.7	172.7
	21	21.2	94.7	7.9	10.9	11.6	10.4	8.9	144.4	39.0	183.4
	22	21.1	103.1	8.0	12.1	11.4	9.5	9.9	153.9	41.5	195.4
22～25年生	22	-	111.7	5.7	-	-	-	-	-	-	-
	23	24.3	113.0	5.5	12.8	14.1	8.7	7.9	162.1	43.8	205.8
	24	19.9	127.6	8.5	10.6	12.6	9.3	6.2	174.9	47.2	222.1
	25	21.1	134.6	9.0	11.3	14.3	10.8	8.8	188.7	51.0	239.7

-: 未測定

地下部の乾物重量は、地上部乾物重量に0.27を乗じて推定した

(2) ナシ園の炭素蓄積量

表 23 および図 12 の式により求めた樹体炭素蓄積量に栽植密度を乗じてナシ園の炭素蓄積量を算出した結果について、樹齢 25 年生までの 5 年毎の平均値を図 13 に示す。

炭素蓄積量は、樹齢 1～5 年が 1.6Mg ha⁻¹、6～10 年が 8.1Mg ha⁻¹、11～15 年が 11.0Mg ha⁻¹、16～20 年が 19.6Mg ha⁻¹、21～25 年が 30.6Mg ha⁻¹ となり、樹齢の経過に応じて直線的に増加した。森林総合研究所(2014)は、日本の森林が固定する平均的な炭素量として、1 齢級(1～5 年生)、2 齢級(6～10 年生)、3 齢級(11～15 年生)、4 齢級(16～20 年生)、5 齢級(21～25 年生)について、スギ人工林の場合 0, 2, 18, 34, 41Mg ha⁻¹、広葉樹天然林の場合 2, 15, 21, 28, 32Mg ha⁻¹ と、それぞれ算出している。ナシ園の炭素蓄積量は、これら森林の値と比較して、樹齢 6～11 年においてスギ人工林の値を上回り、それ以外では 52.3～95.5% の範囲でやや低い値であった。図 13 の回帰式の傾きは 5 年間毎の変化量を示しているためこれを年間の変化量に換算すると、樹体バイオマスとして 1.39Mg ha⁻¹ yr⁻¹ の炭素が増加すると考えられた。

農林水産省(2014)によると平成 26 年の全国のニホンナシ栽培面積は 13,200ha であることから、栽培面積に増減がなく既存園を継続すると仮定した場合に、ナシ樹体バイオマスとして全国で年間 1.8 万 Mg の炭素を蓄積できる。同様に、同年の茨城県のニホンナシ栽培面積 1,200ha(農林水産省, 2014)をナシ樹体バイオマスに換算すると、年間に 1,670Mg の炭素を蓄積できる。

表23 各器官の炭素含量と樹齢別の樹体の炭素蓄積量

試験区	樹齢	炭素含量(kg-C 樹 ⁻¹)							樹体の炭素蓄積
		骨格部	配置枝	葉	果実	剪定枝		地下部	
						新梢	配置枝		
2~5年生	2	0.2	0.0	-	-	-	-	-	-
	3	0.9	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.4	1.4
	4	1.5	0.5	0.4	0.3	0.6	0.0	0.9	2.9
	5	2.8	0.7	0.6	0.9	0.8	0.1	1.7	5.2
7~10年生	7	5.4	1.3	-	-	-	-	-	-
	8	6.6	1.6	1.3	2.1	1.7	1.8	4.4	12.7
	9	8.8	1.6	1.8	1.8	1.9	2.0	5.2	15.7
	10	10.8	1.8	2.1	2.9	2.2	2.1	6.4	19.0
14~17年生	14	19.5	2.7	-	-	-	-	-	-
	15	21.5	2.6	3.9	4.9	2.7	2.4	11.1	35.1
	16	24.7	3.4	3.5	3.6	3.5	2.2	11.9	39.9
	17	27.6	3.9	3.9	5.2	4.7	3.0	14.1	45.5
18~22年生	19	38.6	3.5	5.6	3.9	4.8	4.2	17.5	59.6
	20	40.8	3.6	5.2	4.3	5.2	4.5	18.4	62.7
	21	44.9	3.7	5.1	4.6	4.9	4.2	19.5	68.1
	22	48.8	3.8	5.7	4.5	4.4	4.7	20.8	73.4
22~25年生	22	52.9	2.7	-	-	-	-	-	-
	23	53.5	2.6	6.0	5.6	4.1	3.8	21.9	78.0
	24	60.4	4.1	5.0	5.0	4.3	2.9	23.6	88.1
	25	63.7	4.3	5.2	5.7	5.1	4.2	25.5	93.5

-:未測定

樹体の炭素蓄積量=(骨格部炭素含量)+(配置枝炭素含量)+(地下部炭素含量)

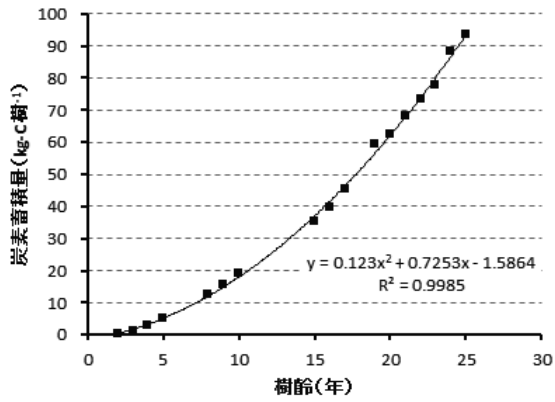


図12 一樹当たりの炭素蓄積量の推移

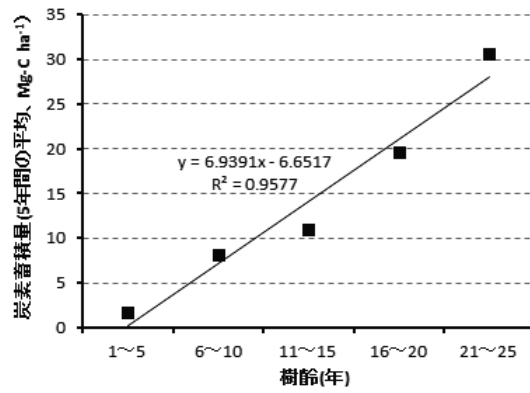


図13 ナシ園の炭素蓄積量の推移

5 堆肥施用および施肥改善が大気環境に及ぼす影響

5.1 堆肥の窒素肥効を考慮した施肥法が地表からの二酸化炭素発生に及ぼす影響

5.1.1 目的

長期間の有機物施用は土壌の全炭素含量を高めることが報告されているが、4章1節で検討したとおり、本県ナシ栽培での慣行的な施肥法や堆肥に含有される窒素肥効を考慮した新規施肥法は、いずれの施用法も土壌への炭素蓄積は認められなかった。

そこで、本県のナシ園で慣行的な施肥方法である化学肥料と豚糞堆肥の併用、および作物生産と環境に配慮した施肥方法として化学肥料の一部を堆肥で代替する施肥方法が地表からの二酸化炭素発生量に及ぼす影響を調査し、ナシ園の炭素収支を明らかにする。

5.1.2 材料および方法

(1) 供試圃場および供試材料

本試験は茨城園研内圃場（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)において、2004年～2013年まで豚糞堆肥連用試験を行った。

供試作物はナシ‘幸水’（樹齢12年生：2004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耕種基準（茨城県農林水産部、1993）に準じた。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。

処理区は、化学肥料区、慣行区、代替区の3区を設け、1区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、2003）に準じ、年間で200kg ha⁻¹（基肥100kg ha⁻¹、追肥100kg ha⁻¹）の窒素を施用した。慣行区は、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併せて豚糞堆肥（以下堆肥、T-N : 25.3±3.1g kg⁻¹、T-C : 336±11g kg⁻¹、水分 : 353±51g kg⁻¹）を全窒素で300kg ha⁻¹ yr⁻¹を施用（全炭素は平均で4.0Mg ha⁻¹ yr⁻¹施用）した。また、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、全炭素は平均で1.3Mg ha⁻¹ yr⁻¹施用）し、追肥は化学肥料区と同様に行った。堆肥は毎年2月に施用した。化学肥料は硫酸を用い、基肥（2月）：追肥1（5月）：追肥2（6月）：追肥3（9月）に分施した。なお、リン酸、加里はそれぞれ重焼リン、ケイ酸加里を用いて、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た。

(2) 地表面の二酸化炭素発生速度の測定

堆肥連用9年目および10年目にあたる2012年1月から2013年12月までの2年間において、地表面の二酸化炭素発生速度を測定した。二酸化炭素発生速度の測定は、クローズドチャンバー法（八木、1997）で行った。ガス測定は、おおむね午前8時から午前10時までの間に行い、3月から11月の期間は週に1回、特に堆肥および施肥直後は週に2回の頻度で行った。なお、12月から2月までの期間は地温が低く、事前調査において二酸化炭素発生量が極めて少ないことを確認したことから、2012年1月と2月および2013年2月と12月にそれぞれ1回測定を行った。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。台座内は定期的に除草剤を散布し、期間を通じて無植栽とした。測定時は、NDIR（非分散型赤外線吸収法）方式二酸化炭素濃度計測センサ（TR-76Ui, T&D）を台座内に設置し、塩化ビニル樹脂製のチャンバー（直径25cm×高さ5cm）を装着し密閉した。チャンバー内部に二酸化炭素濃度センサを設置し二酸化炭素濃度の増加速度から二酸化炭素発生速度を算出する方法は、玉井ら（2005）の方法に準拠した。すなわち、チャンバー装着から一定時間経過後の二酸化炭素濃度増加が線形性を示す範囲を用いて二酸化炭素発生速度を算出した。本試験では、チャンバーの密閉時間を180秒とし、装着から100秒間経過した後の二酸化炭素濃度の増加率を直線回帰し、二酸化炭素発生速度を算出した。また、年間の積算発生量は台形法で算出した。一般に、地表から放出される二酸化炭素発生速度は、根呼吸と微生物による有機物分解呼吸の二つに大きく分けられる。檀浦ら（2006）は広葉樹林において細根量は土壌二酸化炭素発生速度に高い寄与率を示すこと、花田ら（1987）は黒ボク土リンゴ園において細根量は樹幹から離れるにつれて少なくなること報告している。本試験では主幹とチャンバーの距離を処理区間で同一としたことから根呼吸を一定と仮定し、施用した堆肥由来の微生物呼吸による二酸化炭素発生量は慣行区および代替区の値から化学肥料

区の値を差し引いて求めた。

地温は、地温計（TR-52i, T&D）を用いセンサ先端部を土壌表面から深さ 10cm に埋設し、同期間中にそれぞれ 60 分間隔で測定した結果を日平均した。降水量は、茨城園研内の気象観測データを用いた。

5. 1. 3 結果および考察

(1) 地表面の二酸化炭素発生速度

堆肥施用による土壌全炭素含量の変化と土壌有機物の分解との関係を明らかにするため、土壌表面から発生する二酸化炭素発生速度を測定した。試験期間中の日積算降水量および日平均地温の推移を図 14 上に、試験期間中の二酸化炭素発生速度の推移を図 14 下に示す。また、年間の炭素施用量と二酸化炭素発生量を表 24 に示す。

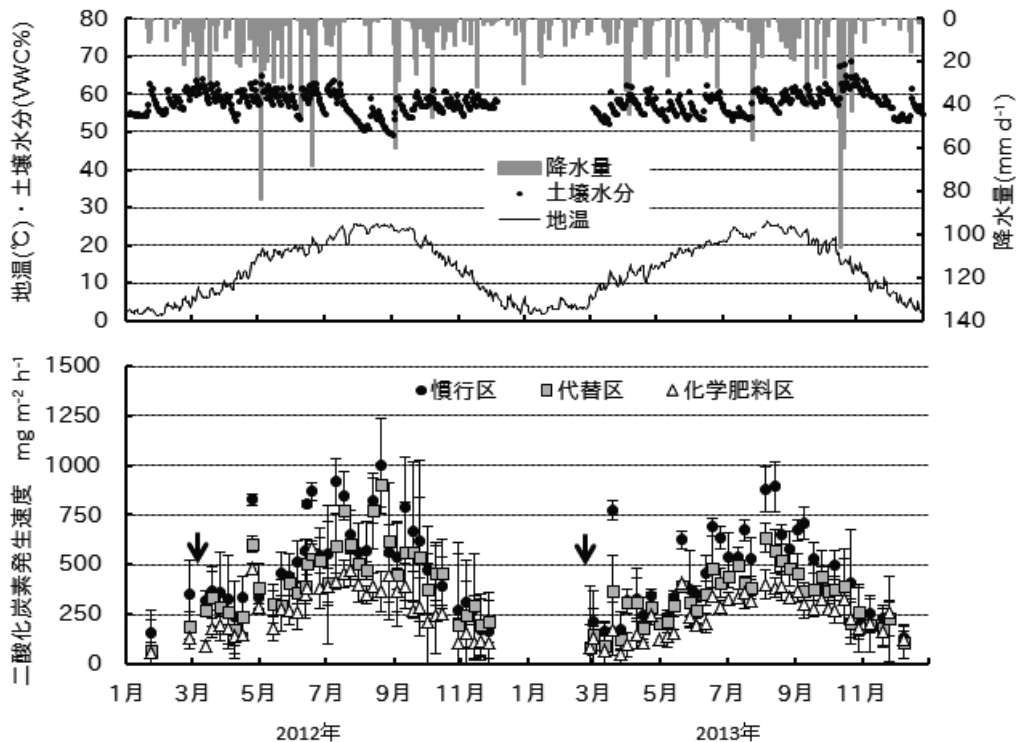


図 14 豚糞堆肥連用黒ボク土ナシ園における二酸化炭素発生速度および日平均地温・日積算降水量の推移

注：図中の矢印は堆肥施用時期，誤差線は標準偏差(n=3)を示す。

2012 年は年間降水量 1293mm，日平均地温 1.3°C～25.8°C，2013 年は年間降水量 1233mm，日平均地温 1.6°C～26.5°C の範囲で推移した。二酸化炭素発生速度の全体的な傾向は日平均地温の変化と対応し，3 月から高まり 8 月に最も高い値を示し冬季にかけて減少した。年間の二酸化炭素発生量は 2 年間の平均値において 4.9～9.0Mg-C ha⁻¹ の範囲であった。これは，佐藤・瀬戸（2000）が牛ふん堆肥を年間 1.2Mg-C ha⁻¹ 施用した火山灰土果樹園で推定した年間の二酸化炭素発生量 6.1Mg-C ha⁻¹ とほぼ同等の値であった。二酸化炭素発生量は化学肥料区が 4.9±0.4Mg-C ha⁻¹ に対し，代替区 7.1±1.1Mg-C ha⁻¹，慣行区 9.0±0.8Mg-C ha⁻¹ となり年間の炭素施用量が多いほど高くなった。また，慣行区および代替区では，堆肥施用後の 3 月～4 月に比較的大きな二酸化炭素発生が観測された。これは，易分解性有機物の量と二酸化炭素発生量に正の相関がある（瀬戸ら，1978）ことから，施用した堆肥中の易分解性有機物の分解によると考えられる。

化学肥料区との差で求めた施用堆肥由来の二酸化炭素発生量は，2 年間の平均値で慣行区 4.0±0.9Mg-C

ha⁻¹ となり、年間の炭素施用量と同等であった。このことは、見かけ上炭素の施用量と発生量が平衡状態にあることを示唆し、4章1節において土壌全炭素含量が平衡状態に達したとの結論と一致する。また代替区では、年間の炭素投入量 1.3Mg ha⁻¹ に対し、施用堆肥由来の二酸化炭素発生量は年平均値で 2.2±0.9Mg-C ha⁻¹ とやや高い値であった。花田ら（1987）は、リンゴ園 6 樹において主幹からの距離別に測定した根群密度の平均値の標準偏差はかなり大きいと報告している。本試験では処理区間の根呼吸を一定と仮定したが、代替区において施用堆肥由来の二酸化炭素発生量は2 ヶ年とも炭素投入量に対して多かったことから、代替区の測定場所は他区よりも根の多い所であった可能性が考えられる。

表24 豚糞堆肥によるナシ園への年間炭素施用量と土壌表面からの二酸化炭素発生量

試験区	年間炭素施用量* Mg-C ha ⁻¹ yr ⁻¹	年間の二酸化炭素発生量(Mg-C ha ⁻¹ yr ⁻¹)		
		2012年	2013年	平均
慣行区	4.0	9.6±1.6 (4.4±1.1)	8.4±1.0 (3.7±0.7)	9.0±0.8 (4.0±0.9)
代替区	1.3	7.9±1.1 (2.7±0.6)	6.4±1.5 (1.7±1.2)	7.1±1.1 (2.2±0.9)
化学肥料区	0	5.2±0.5	4.7±0.4	4.9±0.4

値は、平均値±標準偏差で示す。また、括弧内の数値は、慣行区または代替区の二酸化炭素発生量から化学肥料区の二酸化炭素発生量を差し引いた値

*2004年から2013年に施用した豚糞堆肥中の炭素含量の平均値

5. 2 堆肥の窒素肥効を考慮した施肥法が一酸化二窒素発生に及ぼす影響

5. 2. 1 目的

農耕地への有機物施用は土壌の全炭素含量を高めることが報告されており(井上ら, 2012; 中津・田村, 2008), 炭素蓄積による二酸化炭素の排出削減効果が期待されている。一方で, 家畜糞堆肥を含む有機質肥料の施用は一酸化二窒素の排出源になる(秋山ら, 2004)ことや土壌有機物の分解は一酸化二窒素の排出に影響する(谷山ら, 2011)ことから, 有機物施用による土壌への炭素蓄積により二酸化炭素排出量が削減されたとしても一酸化二窒素発生量が増加した場合は温室効果ガス削減効果が相殺される。

そこで, 本県のナシ園で慣行的な施肥方法である化学肥料と豚糞堆肥の併用, および作物生産と環境に配慮した施肥方法として化学肥料の一部を堆肥で代替する施肥方法が地表からの一酸化二窒素発生量に及ぼす影響を調査し, ナシ園から大気への窒素排出量を明らかにする。

5. 2. 2 材料および方法

(1) 供試圃場および供試材料

本試験は茨城園研内圃場(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, 2004年~2013年まで豚糞堆肥連用試験を行った。

供試作物はナシ‘幸水’(樹齢12年生: 2004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耕種基準(茨城県農林水産部, 1993)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, ここに幅90cm の塩化ビニル製畦畔板を挿入して区切り, 1区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, 試験期間中に灌水は行わなかった。

処理区は, 化学肥料区, 慣行区, 代替区, 無窒素区を設け, 各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, 2003)に準じ, 基準施肥量として年間200kg ha⁻¹(基肥100kg ha⁻¹, 追肥100kg ha⁻¹)の窒素を化学肥料で施用した。慣行区は, 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, 化学肥料区の基準施肥量に加えて豚糞堆肥(以下堆肥, T-N: 25.3±3.1g kg⁻¹, T-C: 336±11g kg⁻¹, 水分: 353±51g kg⁻¹)を全窒素で300kg ha⁻¹ yr⁻¹施用した。代替区は, 基準施肥量のうち基肥窒素100kg ha⁻¹ yr⁻¹を堆肥で代替し, 追肥は化学肥料で100kg ha⁻¹ yr⁻¹を施用した。無窒素区は窒素施肥および堆肥施用は行わなかった。なお, 無窒素区は, 永年性のナシ樹において無窒素による継続的な栽培は困難なため, 圃場の外周部に設置した。化学肥料は硫酸を用い, 基肥は2月に, 追肥は追肥1(5月): 追肥2(6月): 追肥3(9月)を3:3:4の割合で分施した。リン酸, 加里はそれぞれ重焼リン, ケイ酸加里を用いて, 各処理区一律に各成分160kg ha⁻¹ yr⁻¹を基肥として施肥した。肥料および堆肥は地表面に散布し, 耕起は行わなかった。

(2) 地表面の一酸化二窒素フラックスの測定

2012年1月から2013年12月までの2年間において, 地表面の一酸化二窒素フラックスをクローズドチャンバー法(八木, 1997)で測定した。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としたので, 台座は主幹から約4m 程度離れた位置に設置した。台座内は無植栽とした。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。調査は, 原則午前8時から午前10時までの間に行った。測定頻度は, 3月から11月までの期間に週1回, 特に堆肥施用および施肥直後は週2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。採取した試料の一酸化二窒素濃度はECD付ガスクロマトグラフ(GC-2014, S社)で分析した。分析手法は既報(須藤, 2012)に基づいた。年間の一酸化二窒素発生量は, 台形積分法により算出した。排出係数は, 各区の年間一酸化二窒素発生量から無窒素区の年間一酸化二窒素発生量を差し引き, 各区の年間施肥窒素量で除して百分率で求めた。

(3) 土壌水分, 地温, 降水量

土壌水分 (0~10cm 深) は土壌水分センサ (10HS, D 製) を用い, 体積含水率を 1 時間毎に測定した。水分飽和度 (Water Filled Pore Space ; 以下 WFPS) は, 体積含水率を供試土壌の孔隙率で除して得られた商を百分率で求めた。地温は, 地温計 (TR-52i, T&D 製) を用いセンサ先端部を地表面から深さ 10cm に埋設し, 1 時間毎に測定し結果を日平均した。なお, 土壌水分および地温の測定は, 試験区画の中央部分に位置するナシ樹 (慣行区) の主幹から約 50cm 離れた位置で行った。降水量は, 茨城園研内の気象観測データを用いた。

(4) 土壌の全炭素含量および全窒素含量

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, 深さ 0~20cm の層位をハンドオーガー (直径 70mm, D 社) 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, E 社) で全炭素および全窒素含量を分析した。

(5) 推定モデルによる一酸化二窒素発生要因の解析

Mu et al. (2009) は, 微生物の有機物分解による窒素の無機化過程を考慮し, また一酸化二窒素発生が微生物活性に依存するという考えに基づき, 土壌の一酸化二窒素発生量を二酸化炭素発生量と土壌の C/N 比および施肥窒素量で説明できる経験的なモデル式(2)により推定している。この推定式をナシ園のデータに適用し, 推定値と実測値とを比較した。

$$\text{一酸化二窒素発生量}(\text{kg-N ha}^{-1}) = a \exp[b*(E_{\text{CO}_2}/S_{\text{cn}}+F_n)] \quad (2)$$

a,b=モデルパラメータ

E_{CO_2} = 土壌の従属栄養呼吸 (Rh:heterotrophic respiration, kg-C ha^{-1})

S_{cn} = 土壌の C/N 比

F_n = 化学肥料の施肥量 (kg-N ha^{-1})

$(E_{\text{CO}_2}/S_{\text{cn}}+F_n)$ = 土壌の総無機態窒素 (kg-N ha^{-1})

ここで, モデルパラメータは, 異なる気候や土壌条件および土地管理の畑圃場で測定された 114 点のデータを適用して求めた値 $a=0.2937$, $b=0.00408$ (Mu et al.2009) を用いた。また, 作物が植栽された条件で測定された二酸化炭素フラックスでは従属栄養呼吸は概ねその半分と推定(Andrews et al.,1999; Hanson et al. 2000)されたことから, 同様に E_{CO_2} はナシ園の二酸化炭素発生量の半量とした。なお, 二酸化炭素発生量は, 5 章 1 節による 2012 年および 2013 年の値 (表 24) を用いた。

(6) 統計処理

ナシ園土壌からの一酸化二窒素発生量および排出係数, モデル推定による土壌の無機態窒素の検定には, Tukey 法を用いた。

5. 2. 3 結果および考察

試験期間中の日積算降水量, WFPS および日平均地温の推移を図 15 上に, 一酸化二窒素フラックスの推移を図 15 下に示す。年間降水量は 2012 年 1293mm, 2013 年 1233mm であり, 過去 5 年 (2007~2011 年) の平均値 1309mm と大きな差は認められなかった。日平均地温は 2 年間ともに 1.3°C (1 月下旬) ~ 26.5°C (8 月上旬) の範囲で推移した。WFPS は, 期間を通じて 80% 前後で推移し, 降雨後は 90% 程度に高まり, また夏季の干天時には 70% 程度に低下した。一酸化二窒素フラックスは, 基肥および堆肥, 追肥施用後で降雨後の WFPS が高まった際に著しく増加することを認め, ピークの高さは慣行区 > 化学肥料区 \approx 代替区であった。2012 年および 2013 年の一酸化二窒素フラックスの年平均値は, 慣行区 (314 ± 63 , $355 \pm 101 \mu\text{g-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$), 化学肥料区 (152 ± 17 , $133 \pm 9 \mu\text{g-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$), 代替区 (124 ± 41 , $134 \pm 34 \mu\text{g-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$) であり, 慣行区と化学肥料区および代替区との間にそれぞれ 5% 水準で有意な差が認められた。また, 慣行区は反復間の変動が他区と比較して大きかった。本試験では堆肥は地表面に散布し耕起を行わなかったが, 代替区では施用した堆肥がそれぞれ重ならず土壌との接触程度がほぼ均一であったのに対し, 慣行区では処理

した堆肥の量が代替区より多く土壌表面を覆いさらにやや厚みがあったため、堆肥の状態が反復間で不均一になり易かったと考えられる。一般に有機物分解は土壌との混和や水分状態等に影響されることから、慣行区において土壌表面に施用した堆肥の厚みのばらつきにより、一酸化二窒素発生が変動したと考えられる。また、地温の低い12月～2月はすべての処理区で、無窒素区は期間を通じて、一酸化二窒素の発生が少なかった。

ナシ栽培圃場における年間の総窒素投入量、一酸化二窒素発生量および排出係数を表 25 に示す。2012年および2013年の一酸化二窒素発生量は、慣行区 3.14, 3.55kg-N ha⁻¹ yr⁻¹、代替区 1.24, 1.35kg-N ha⁻¹ yr⁻¹、化学肥料区 1.52, 1.33kg-N ha⁻¹ yr⁻¹、無窒素区 0.14, 0.22kg-N ha⁻¹ yr⁻¹ で総窒素投入量に応じて増加した。各区の一酸化二窒素発生量は年次間で大きな差がなく、これは2年間の降水量や日平均地温および土壌水分がほぼ同様の条件であったためと考えられる。2012年および2013年の排出係数は、慣行区 0.60, 0.67%、代替区 0.55, 0.56%、化学肥料区 0.69, 0.55%と各試験区間に有意な差は認められず、日本国温室効果ガスインベントリ報告書（温室効果ガスインベントリオフィス（GIO）編、2014）による排出係数（合成肥料と畜産廃棄物を含めた有機質肥料の排出係数は同じであり、「その他の作物」においてそれぞれ 0.62%）とほぼ同水準であった。

モデル式(2)の変数として、試験区の二酸化炭素発生量、土壌の全炭素含量および全窒素含量、化学肥料施肥量と、それらから算出した土壌の従属栄養呼吸、C/N比、無機態窒素および総無機態窒素について、2012年および2013年の値を表 26 に示す。土壌の従属栄養呼吸は 1.6～4.8Mg-C ha⁻¹、土壌の全炭素含量は 51.1～60.8g kg⁻¹、土壌の全窒素含量 4.0～6.1g kg⁻¹ であり、慣行区>代替区>化学肥料区≥無窒素区の関係が認められた。土壌のC/N比は、代替区および化学肥料区が 11.6～11.9 の範囲でほぼ同等であり、これらと比較して無窒素区は 12.6 および 12.8 とやや高く、慣行区は 10.1 および 11.3 とやや低かった。二酸化炭素発生量と土壌C/N比から推定された土壌無機態窒素とこれに化学肥料施肥量を合わせた土壌の総無機態窒素は、慣行区 575, 672kg ha⁻¹、代替区 437, 370kg ha⁻¹、化学肥料区 426, 397kg ha⁻¹、無窒素区 200, 127kg ha⁻¹ であり、2012年および2013年ともに慣行区の値が高く、代替区および化学肥料区は同等で、無窒素区は低かった。表 26 のデータセットを用いて式(2)により算出した一酸化二窒素発生量および土壌の総無機態窒素の推定値と一酸化二窒素発生量の実測値の関係を図 16 に示す。黒ボク土ナシ園における一酸化二窒素発生量は、土壌の総無機態窒素が 600kg ha⁻¹ 前後でやや変動があるものの、推定した土壌の総無機態窒素の増加に応じて指数関数的な増加を示す式(2)による推定値によく一致した。最小二乗法による両者の回帰直線の決定係数は ($R^2=0.8257$, $n=8$) と高い精度で予測できることが示され、有機物連用条件における黒ボク土ナシ園の一酸化二窒素発生予測に適用できると考えられる。本試験で用いたモデル (Mu et al., 2009) は 114 点の観測データから構築されているが、土壌の総無機態窒素が 600kg ha⁻¹ より高いデータは 6 点と比較的少ない。今後、土壌の総無機態窒素が高い地点の観測データが蓄積されることにより、一酸化二窒素発生量の推定精度の向上が期待される。

以上の結果から、ナシ栽培圃場における豚糞堆肥連用試験において、慣行区の一酸化二窒素発生量が化学肥料区や代替区と比較して多いことは、慣行区で土壌の総無機態窒素量が多くなったことの影響と考えられる。すなわち、無機態窒素の系外への流出が確認された3章の結果と同様に、過剰になった無機態窒素が一酸化二窒素の発生量増加に影響したと考えられる。また、9～10年の豚糞堆肥連用条件において代替区の一酸化二窒素発生量は化学肥料区と同等であったことから、化学肥料の一部を堆肥で代替する施肥方法は一酸化二窒素発生量を増加させることなく有機物を施用する方法として有効であると考えられる。これらのことから、一酸化二窒素発生量を低減するためには、堆肥等の有機物中窒素を考慮した総窒素投入量による施肥設計が必要である。

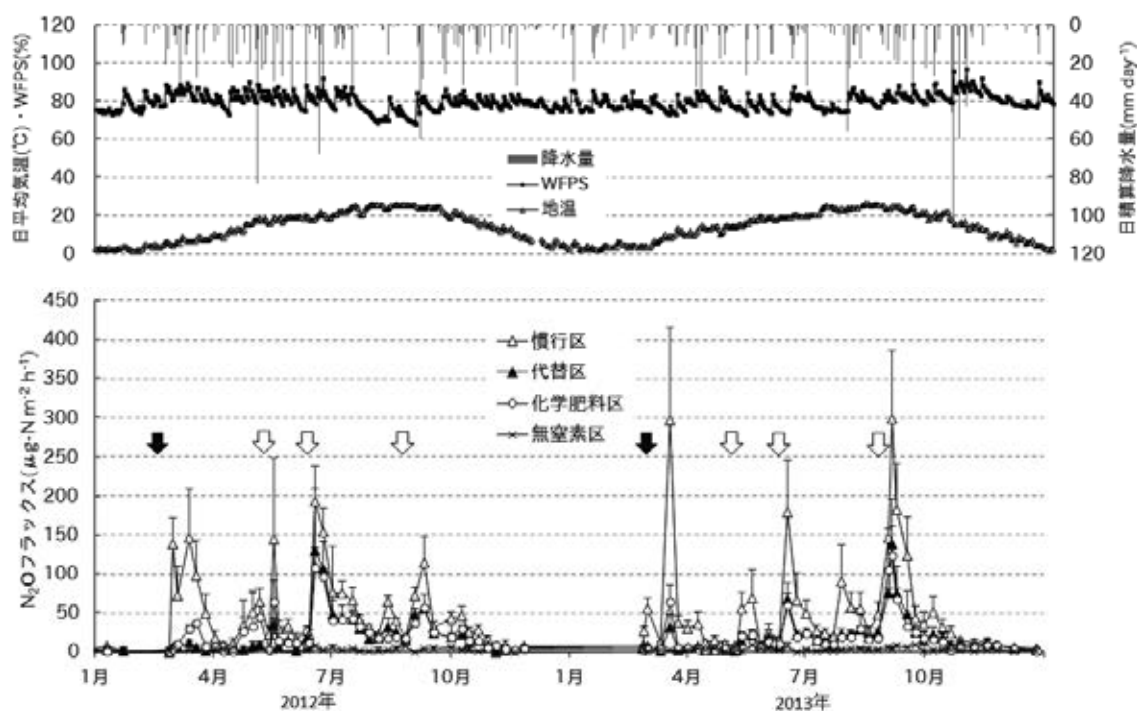


図15 ナシ栽培圃場における日平均地温，WFPS，日積算降水量および一酸化二窒素フラックスの推移
 注：図中の矢印は窒素施肥時期（黒塗りは堆肥または堆肥+基肥，白抜きは追肥），誤差線は標準偏差を示す。

表25 ナシ栽培圃場における年間の総窒素投入量、一酸化二窒素発生量および排出係数

試験区	窒素投入量		一酸化二窒素発生量 (kg-N ha ⁻¹ yr ⁻¹)		排出係数 (%)	
	化学肥料	堆肥	2012年	2013年	2012年	2013年
	慣行区	200	300	3.14 a ± 0.51	3.55 a ± 0.82	0.60 a ± 0.13
代替区	100	100	1.24 b ± 0.34	1.35 b ± 0.28	0.55 a ± 0.21	0.56 a ± 0.17
化学肥料区	200	0	1.52 b ± 0.14	1.33 b ± 0.08	0.69 a ± 0.09	0.55 a ± 0.05
無窒素区	0	0	0.14 c ± 0.02	0.22 c ± 0.06		

総窒素投入量は、化学肥料と堆肥(全窒素含量)の窒素投入量の合計

排出係数 = (各試験区N₂O発生量 - 無窒素区N₂O発生量) / 総窒素投入量 × 100

平均値 ± 標準偏差 (n=3) 異なるアルファベットは、5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)

表26 施肥および豚糞堆肥施用方法の違いによる土壌における二酸化炭素発生量および土壌炭素と各形態の窒素含量

年	試験区	CO ₂ 発生量	土壌Rh (E _{CO₂})	土壌T-C	土壌T-N	C/N (S _{cn})	土壌無機態窒素 (E _{CO₂} /S _{cn})	化学肥料施肥量 (F _n)	土壌の総無機態窒素 (E _{CO₂} /S _{cn} +F _n)
		Mg-C ha ⁻¹ yr ⁻¹		g kg ⁻¹			kg-N ha ⁻¹ yr ⁻¹		
2012	慣行区	9.6 ± 1.6	4.8 ± 0.8	60.8 ± 0.9	6.1 ± 0.7	10.1 ± 1.1	472 ± 46	200	672 a ± 46
	代替区	7.9 ± 1.1	3.9 ± 0.6	59.3 ± 1.2	5.1 ± 0.3	11.6 ± 0.5	337 ± 48	100	437 b ± 48
	化学肥料区	5.2 ± 0.5	2.6 ± 0.3	52.8 ± 1.3	4.6 ± 0.5	11.7 ± 1.3	226 ± 45	200	426 b ± 45
	無窒素区	5.1 ± 0.4	2.5 ± 0.2	52.5 ± 0.6	4.2 ± 0.2	12.6 ± 0.3	200 ± 13	0	200 c ± 13
2013	慣行区	8.4 ± 1.0	4.2 ± 0.5	60.5 ± 8.1	5.4 ± 1.0	11.3 ± 0.7	375 ± 69	200	575 a ± 69
	代替区	6.4 ± 1.5	3.2 ± 0.7	55.8 ± 4.0	4.8 ± 0.3	11.7 ± 0.7	270 ± 56	100	370 b ± 56
	化学肥料区	4.7 ± 0.4	2.4 ± 0.2	53.1 ± 6.5	4.5 ± 0.5	11.9 ± 0.1	197 ± 17	200	397 b ± 17
	無窒素区	3.3 ± 0.4	1.6 ± 0.2	51.1 ± 1.8	4.0 ± 0.2	12.8 ± 0.3	127 ± 19	0	127 c ± 19

土壌Rh: 従属栄養呼吸 (CO₂発生量の1/2とした)

土壌無機態窒素: 土壌RhをC/N比で除して推定した

土壌の総無機態窒素: 土壌無機態窒素と化学肥料施肥量の合計値

平均値 ± 標準偏差 (n=3) 異なるアルファベットは、5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)

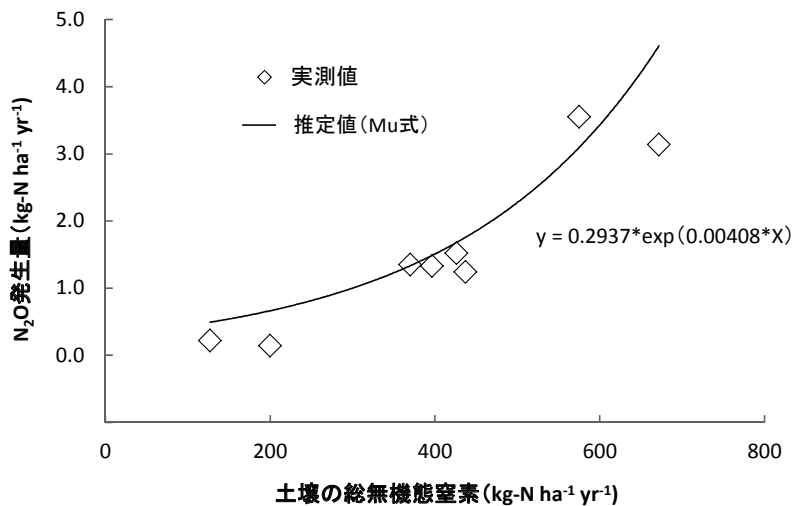


図 16 ナシ栽培圃場における一酸化二窒素発生量と土壌の総無機態窒素の関係
注: 土壌の総無機態窒素=「土壌の従属栄養呼吸」/「土壌の C/N 比」+「化学肥料の施肥量」

6 総合考察

6.1 堆肥施用および施肥改善が地下水・土壌・大気各環境に及ぼす影響

茨城県内のナシ産地では、県施肥基準量と比較して過剰な施肥が行われ、同時に有機物として施用している堆肥中の肥料成分は施肥成分に全く考慮されていない事例が認められた。また、このような慣行的な施肥は、ナシ園直下の浅層地下水の硝酸態窒素濃度に影響する可能性が示唆された。

この慣行的な施肥（慣行区）がナシの生産性と地下水環境に及ぼす影響を明らかにするため、県施肥基準量（化学肥料区）との比較で、ナシ栽培ライシメーター用いた9年間の栽培試験で検討した。その結果、両区の生産性は同等であったが、調査期間の硝酸態窒素溶脱量の合計値は化学肥料区 16.5kg-N ha^{-1} に対し、慣行区で 952.1kg-N ha^{-1} と著しく増加した。

そこで、堆肥中の窒素肥効を考慮した新規施肥法（代替区）がナシ生産性と地下水環境に及ぼす影響を明らかにするため、慣行区および化学肥料区との比較で、試験規模を圃場レベルに拡大して9年間の栽培試験で検討した。その結果、収量、生育、果実品質等の生産性は施肥処理の違いに関わらず同水準であり、樹体地上部の窒素吸収量は $135\text{kg ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ 程度と推定された。供試した豚糞堆肥は、窒素放出率（ $100 - \text{窒素残存率}\%$ ）が施用1年目に56.2%であり、数年程度の連用により、見かけ上、堆肥の窒素含量の大部分が施用当年に無機化されると推定された。そのため、窒素成分 $200\text{kg ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ を硫酸で施用した化学肥料区と比較して、無機態窒素投入量（化学肥料と堆肥の窒素放出量の合計、1年目～9年目： $369 \sim 474\text{kg ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ ）が多い慣行区は、4年目以降に土壌溶液の硝酸態窒素濃度（深さ1m）が上昇し、全期間の硝酸態窒素溶脱量が大きく増加した。9年間の窒素収支は、作物の窒素吸収量が処理区間で同等であったことから、化学肥料区に対し総窒素投入量の多い慣行区で硝酸態窒素溶脱量が 730kg ha^{-1} 増加した。一方で、総窒素投入量を窒素吸収に見合った量に適正化した代替区は、化学肥料区と比べて、硝酸態窒素溶脱量が 62kg ha^{-1} 少なく、窒素収支を改善し地下水への窒素負荷低減に有効であった。

ナシ園の炭素動態は、土壌有機物の消耗や有機物施用による補給または樹体生長と関連し、持続的なナシ生産を実現する上で重要である。慣行区および代替区、化学肥料区の土壌管理が土壌全炭素含量に及ぼす影響について、4章の結果（図11）から算出した値とその変化量を表27に示す。化学肥料区的全炭素含量は、10年間の栽培により試験開始時の値からやや低減した。一方で、慣行区および代替区は、10年間にわたって堆肥を連用しても土壌表層0～20cmの全炭素含量の有意な変化に寄与しなかった。土壌表面から発生する二酸化炭素量をみると、堆肥連用9～10年目において、二酸化炭素発生量は化学肥料区が $4.9 \pm 0.4\text{Mg-C ha}^{-1}$ に対し、代替区 $7.1 \pm 1.1\text{Mg-C ha}^{-1}$ 、慣行区 $9.0 \pm 0.8\text{Mg-C ha}^{-1}$ となり年間の炭素施用量が多いほど高くなった。化学肥料区との差で求めた施用堆肥由来の二酸化炭素発生量と年間の炭素施用量を比較した結果、代替区ではやや高い値であったものの慣行区では同等であった。このように、見かけ上、炭素の施用量と発生量が平衡状態にあったことは、先に述べた土壌全炭素含量が平衡状態に達したとの結論と一致する。すなわち、代替区の炭素供給量は黒ボク土ナシ園において消費する土壌有機物の補給量を満たしており、これ以上に炭素供給量を増やしても土壌炭素の蓄積効果は期待できないと考えられる。さらに、樹園地土壌における炭素蓄積量は、果樹が永年性作物であることから、樹体を含めて捉える必要がある。生長に伴う樹体の炭素蓄積をモデル化してナシ園の炭素蓄積量を推定した結果、一樹当たりの炭素蓄積量は樹齢に応じて増加する傾向にあった。この一樹当たりの炭素蓄積量に栽植密度を乗じてナシ園の樹体の炭素蓄積の変化量を求めた結果、年間 1.39Mg-C ha^{-1} 増加すると推定できた。これは、日本の森林（スギ人工林や広葉樹天然林）が固定する平均的な炭素量と比較して同等かやや低い値であり、ナシ園が森林と同様に温室効果ガスの吸収源として十分に機能することが明らかになった。そのため、ナシ園を適切に管理し、栽培面積を新たに増やすことが温暖化緩和に大いに寄与すると考えられる。

表27 ナシ園の土壤炭素含量と年間の変化量

試験区	土壤炭素含量*		土壤炭素 の変化量
	2004年 (試験開始前)	2013年 (10年後)	
	g-C kg ⁻¹		
慣行区	59.7	59.1	-0.06
代替区	57.1	57.0	-0.01
化学肥料区	55.8	52.8	-0.30

*: 第4-1図の近似直線(慣行区 $y = -0.055x + 59.7$ 、代替区 $y = -0.063x + 57.1$ 、化学肥料区 $y = -0.297x + 55.8$)で算出した値

ナシ栽培が大気環境に及ぼす影響として、農業由来の温室効果ガスのうち、一酸化二窒素の排出が問題になる。慣行区および代替区、化学肥料区の土壤管理が一酸化二窒素発生量に及ぼす影響について検討した結果、一酸化二窒素発生量は慣行区>化学肥料区≧代替区となり、肥料と堆肥由来窒素の合計である総窒素投入量に応じて増加した。慣行区の一酸化二窒素発生量が化学肥料区や代替区と比較して多いことは、慣行区で土壤の総無機態窒素量が多くなったことの影響と考えられる。すなわち、地下水への硝酸態窒素溶脱量が増加した結果と同様に、過剰になった無機態窒素が一酸化二窒素発生に影響したと考えられる。また、9～10年の豚糞堆肥連用条件において代替区の一酸化二窒素発生量は化学肥料区と同等であった。このことから、化学肥料の一部を堆肥で代替する施肥方法は一酸化二窒素発生量を増加させることなく有機物を施用する方法として有効である。

6. 2 総合的な環境影響の評価

慣行区および代替区、化学肥料区の土壤管理でナシ栽培を実施した結果、生産性に違いは認められなかった。また、地力の指標として土壤炭素含量の変化に着目すると、堆肥を施用した慣行区と代替区は土壤炭素含量を維持できたのに対し化学肥料区は減少傾向を示したことから、持続的な農業のためには定期的な有機物の補給が必要であると考えられる。一方、土壤炭素含量の維持に必要な堆肥施用量は、代替区(約1.5Mg-C ha⁻¹ yr⁻¹)で十分であり、慣行区(約4.0Mg-C ha⁻¹ yr⁻¹)まで増加しても土壤炭素含量の増加に寄与しなかった。これらのことから、ナシ栽培の営農的な評価として、施肥コストおよび堆肥コストを低減できる代替区の土壤管理方法は合理的である。

また、慣行区および代替区、化学肥料区の土壤管理が地下水および大気環境に及ぼす影響を総合的に評価するため、これまで検討した結果である硝酸態窒素溶脱量の年平均値、および大気環境に影響するものとして樹体炭素の蓄積量、土壤炭素の変化量、一酸化二窒素排出量の各年平均値とそれらの合計値を表28に示す。硝酸態窒素溶脱量は、慣行区>化学肥料区≧代替区であり、樹体炭素の蓄積量と土壤炭素の変化量および一酸化二窒素発生量の合計で求めた温室効果ガス排出量は、化学肥料区≧慣行区>代替区であった。このように、代替区は、地下水および大気環境への負荷をそれぞれに低減することが可能であり、総合的に見ても環境にやさしい施肥法といえる。

以上のことから、代替区として検討した新規施肥法は、農業生産性の向上や安定化にとって不可欠である有機物を十分量供給でき、なおかつ堆肥由来の窒素供給を勘案して窒素施肥量を適正化することから地下水・土壌・大気それぞれへの環境負荷低減に有効であり、本県における持続的なナシ生産を実現することができると思われる。

表28 地下水および大気環境

試験区	地下水への影響		大気への影響(温室効果ガス排出量)		
	硝酸態窒素 溶脱量*1 kg-N ha ⁻¹ yr ⁻¹	樹体炭素 の蓄積量	土壌炭素 の変化量*2 kg-C ha ⁻¹ yr ⁻¹	N ₂ O発生量*3	合計
慣行区	137	-1388	90	427	-871
代替区	49	-1388	9	165	-1214
化学肥料区	56	-1388	453	182	-753

*1: 第3-16表の2004～2012年の年平均値

*2: 第〇-〇表の重量当たりの土壌炭素含量について、仮比重0.76Mg m⁻³、深さ0～0.2mで面積換算した。*3: 第5-2表の2012～2013年の平均値について、京都議定書第二約束期間におけるN₂Oの地球温暖化係数299により炭素換算した。

6. 3 最後に

本研究で確立した「堆肥中の窒素の肥効を考慮した新規施肥法」は、平成24年(2012)の茨城県主要研究成果として採用された。また、ナシ栽培における基本技術の一つとして果樹栽培基準に記載された。さらに、普及センターと連携して本施肥法の現地実証圃の設置や講習会を実施して生産現場への普及を図った。その結果、県内の先進農家で取り組まれ、環境にやさしいナシ栽培方法として拡がりつつある。

本施肥法の普及においては、堆肥の品質を安定させ、耕種農家が安心して利用できる堆肥を生産することが重要である。そのために、畜産農家、耕種農家および指導機関それぞれが、堆肥を「土づくり効果を持った肥料」として位置づけて、堆肥の肥料効果について共通認識を持つことが必要である。

謝辞

本研究の遂行にあたり終始、懇切なご指導とご助言を賜り、さらにご校閲の労を賜り本論文の完成にまで先導いただきました東京農業大学応用生物科学部 前田良之博士に深くお礼申し上げます。

本論文のとりまとめにあたり、全体や細部に渡って丁寧なご指導と有益なご助言を賜りました鯉淵学園農業栄養専門学校教授 小川吉雄博士、東京農業大学名誉教授 後藤逸男博士に謹んで感謝申し上げます。

本研究の共同研究者である国立研究開発法人農業環境技術研究所(現:農研機構 農業環境変動研究センター)物質循環研究領域 板橋 直氏(現:有害化学物質領域 領域長)には、本研究のみならず日頃よりご指導ご鞭撻を賜りました。同研究所 江口定夫博士、須藤重人博士、大浦典子博士、佐野智人博士(現:農研機構 本部 監査室)、同機構果樹研究所(現:果樹茶業研究部門)杉浦裕義氏には、本研究のきっかけを与えていただくとともに、実験の遂行等にあたり多大なるご協力を賜りました。本研究の遂行過程において、茨城県農業総合センター園芸研究所土壌肥料研究室 折本善之室長(現:園芸研究所 所長)、同研究所同研究室 植田稔宏室長(現:県南農林事務所 つくば地域農業改良普及センター 経営課長)、同研究所同研究室 飯村 強室長(現:園芸研究所 研究調整監)、同研究所果樹研究室 清水 明室長(現:公益社団法人 茨城県農林振興公社)には適切なアドバイスとご指導を頂きました。本研究の圃場調査や圃場管理に際し、鶴谷陽子氏、渡辺正光氏には多大なるご協力を頂きました。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

著者が茨城県農業総合センター園芸研究所に在籍中において、研究室の同僚である石井貴氏(現:茨城県農業総合センター園芸研究所流通加工研究室 室長)、内田智子氏(現:県北農林事務所)、小田部裕博士(現:自治研修所)、遠藤佳那子氏(現:県央農林事務所)には貴重なご助言と温かいご配慮を頂きました。皆様にお礼申し上げます。

本研究のとりまとめに際し終始、ご配慮と励ましを賜りました茨城県農業総合センター専門技術指導員室長 飯田幸彦博士(現:主任専門技術指導員)をはじめとする農業総合センターの諸先輩方に感謝いたします。

摘要

ナシ園の施肥および堆肥施用が環境に及ぼす影響について、窒素と炭素の動態を中心に、地下水・土壌・

大気に及ぼす影響の解析を行った。

茨城県県央地域ナシ園における施肥実態を調査し、併せて施肥管理の違いがナシ園土壌およびナシ園直下の地下水の化学性に及ぼす影響を検討した。その結果、調査地域の窒素、リン酸、加里の施肥量は、本県の施肥基準と比較して過剰であり、施肥基準を超過した生産者の割合は窒素が73%、リン酸が100%、加里が80%であった。堆肥の施用頻度は、「隔年」と「毎年施用」の合計が全体の87%であり、堆肥を慣行的に施用している実態が明らかになった。ナシ園直下の不圧地下水の硝酸態窒素濃度は、地下水が採取できた19園のすべてにおいて環境基準である 10mg L^{-1} を超過した。

本県のナシ園における慣行的な施肥方法が硝酸態窒素の溶脱に及ぼす影響を明らかにするため、本県施肥基準量を化学肥料により施用した化学肥料区と、県施肥基準量に堆肥を上乗せ施用した慣行区を設け、ナシ栽培ライシメーターを用いて調査した。浸透水の硝酸態窒素濃度に浸透水量を乗じて硝酸態窒素溶脱量を算出した結果、調査期間の合計値は化学肥料区 16.5kg-N ha^{-1} に対し、慣行区で 952.1kg-N ha^{-1} と著しく高く、化学肥料と堆肥の併用によって硝酸態窒素の溶脱量が著しく増加することが明らかとなった。

化学肥料と堆肥の併用（慣行区）および化学肥料の一部を堆肥で代替（代替区）する施肥方法が、黒ボク土ナシ園における窒素動態に及ぼす影響について9年間調査し、以下の結果を得た。収量、生育、果実品質は施肥処理に関わらず同水準であり、樹体地上部の窒素吸収量は $135\text{kg ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ 程度と推定された。豚糞粗殻堆肥の窒素放出率（ $100 - \text{窒素残存率}\%$ ）は、施用1年目に56.2%であり、数年程度の連用により見かけ上、堆肥の窒素含量の大部分が施用当年に放出されると推定された。そのため、窒素成分 $200\text{kg ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ を硫酸で施用した化学肥料区と比較して、無機態窒素投入量（化学肥料と堆肥の窒素放出量の合計、1年目～9年目： $369 \sim 474\text{kg ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ ）が多い慣行区は、4年目以降に土壌溶液の硝酸態窒素濃度（深さ1m）が上昇し、全期間の硝酸態窒素溶脱量が大きく増加した。9年間の窒素収支は、作物の窒素吸収量が処理区間で同等であったことから、化学肥料区に対し総窒素投入量の多い慣行区で硝酸態窒素溶脱量が 730kg ha^{-1} 増加した。また、総窒素投入量を窒素吸収に見合った量に適正化した代替区は、化学肥料区に対し硝酸態窒素溶脱量が 62kg ha^{-1} 少なく、窒素収支を改善し地下水への窒素負荷低減に有効であった。

土壌全炭素含量に及ぼす影響については、化学肥料と豚糞堆肥の併用を10年間継続しても土壌表層の全炭素含量の有意な変化に寄与しなかったことから、供試圃場の土壌炭素は平衡状態にあると考えられる。また、代替区は、年間 1.3Mg-C ha^{-1} 程度の炭素施用量により、黒ボク土ナシ園における土壌炭素を維持できると考えられる。

日本国温室効果ガスインベントリ報告書において樹園地の二酸化炭素吸収は考慮されていない。そこで、我が国の樹園地の炭素ストック変化量の基礎資料とするため、ナシの生長に伴う樹体の炭素蓄積をモデル化し、ナシ園における炭素蓄積量を推定した。その結果、一樹当たりの炭素蓄積量は樹齢に応じて増加傾向にあり、回帰式により高い精度で推定できることが示された。また、栽植密度を乗じて求めたナシ園の樹体の炭素蓄積の変化量は、年間 1.39Mg-C ha^{-1} が増加すると考えられる。

地表からの二酸化炭素発生量は、化学肥料区が $4.9 \pm 0.4\text{Mg-C ha}^{-1}$ に対し、代替区 $7.1 \pm 1.1\text{Mg-C ha}^{-1}$ 、慣行区 $9.0 \pm 0.8\text{Mg-C ha}^{-1}$ となり年間の炭素施用量が多いほど高くなった。施用堆肥由来の二酸化炭素発生量は年間の炭素施用量とほぼ同等であり、見かけ上、炭素の施用量と発生量が平衡状態にあった。

一酸化二窒素発生量は、総窒素投入量に応じて増加した。これは、過剰になった無機態窒素が一酸化二窒素発生に影響したと考えられる。また、9～10年の豚糞堆肥連用条件において代替区の一酸化二窒素発生量は化学肥料区と同等であったことから、化学肥料の一部を堆肥で代替する施肥方法は一酸化二窒素発生量を増加させることなく有機物を施用する方法として有効であると考えられる。

慣行区および代替区、化学肥料区の土壌管理でナシ栽培を実施した結果、生産性に違いは認められなかった。また、地力の指標として土壌炭素含量の変化に着目すると、堆肥を施用した慣行区と代替区は土壌炭素含量を維持できたのに対し化学肥料区は減少傾向を示したことから、持続的な農業のためには定期的な有機物の補給が必要であると考えられる。一方、土壌炭素含量の維持に必要な堆肥施用量は、代替区（約 $1.5\text{Mg-C ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ ）で十分であり、慣行区（約 $4.0\text{Mg-C ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ ）まで増加しても土壌炭素含量の増加に寄与しなかった。これらのことから、ナシ栽培の営農的な評価として、肥培管理資材コストを低減できる代替区の土壌管理方法は合理的であると考えられる。また、慣行区および代替区、化学肥料区の土壌管理が

地下水および大気環境に及ぼす影響を総合的に評価すると、硝酸態窒素溶脱量は慣行区>化学肥料区≧代替区であり、樹体炭素の蓄積量と土壌炭素の変化量および一酸化二窒素発生量の合計で求めた温室効果ガス排出量は化学肥料区≧慣行区>代替区であった。このように、堆肥中の窒素の肥効を考慮した新規施肥法である代替区は、地下水および大気環境への負荷を共に低減できる。

以上のことから、代替区として検討した新規施肥法は、農業生産性の向上や安定化にとって不可欠である有機物を十分量供給でき、なおかつ堆肥由来の窒素供給を勘案して窒素施肥量を適正化することから地下水・土壌・大気それぞれへの環境負荷低減に有効であり、本県における持続的なナシ生産を実現することができると思われる。

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.niaes.affrc.go.jp/sinfo/result/result20/result20_24.html
- Andrews J. A. ・Harrison K. G ・Matamala R. ・Schlesinger W. H. （1999） Separation of root respiration from total soil respiration using carbon-13 labelling during free-air carbon dioxide enrichment (FACE). *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63 : 1429-1435.
- 小豆沢 斉・伊藤武義（1983）二十世紀ナシの乾物生産と養分吸収。鳥取農試研報。18 : 31-47.
- 檀浦正子・小南裕志・玉井幸治・後藤義明・上村真由子・金澤洋一（2006）京都府南部広葉樹林において短期間に測定された根呼吸の土壌呼吸に対する寄与の評価。農業気象。62 : 15-21.
- 伊達 昇・塩崎尚郎（1997）肥料便覧第5版。農文協。東京。p. 211-214.
- 土壌環境分析法編集委員会編（1997）土壌環境分析法。博友社。東京。p. 120-233.
- 江口定夫（2005）黒ボク土畑における水と硝酸性窒素の地下水到達時間と流出経路。農業環境研究の最前線。独立行政法人農業環境技術研究所。茨城。p. 34-35.
- 江口定夫（2006）黒ボク土畑圃場における水移動と硝酸塩の溶脱。土壌の物理性。102 : 19-30.
- 花田 慧・斉藤 寛・青山正和（1987）土壌類型が異なるリンゴ園の有効根群域とその根群密度（第5報）根張りりと土壌環境。弘大農報。48 : 89-112.
- Hanson P. J. ・Edwards N. T. ・Garten C. T. ・Andrews J. A. （2000） Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry* . 48 : 115-146.
- 長谷川周一（2006）土壌浸透水調査法（水収支法）。水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル改訂版。独立行政法人農業環境技術研究所。茨城。p. 103-106.
- 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（2003）果樹栽培基準。p. 40-41.
- 茨城県農業総合センター（2008）“栽培概要：ナシ”。果樹栽培基準。
- 茨城県農林水産部（1993）果樹耕種基準。p. 13-31.
- 茨城県農林水産部農業技術課（1997）土壌・作物栄養診断マニュアル。p. 84-85.
- 井原啓貴・前田守弘・高橋 茂・駒田充生・太田 健（2009）重窒素標識牛ふん堆肥を施用した砂丘未熟土モノリスライシメータにおける2年半の窒素動態。土肥誌。80 : 494-501.
- 井上博道・梅宮善章・草場新之助・杉浦裕義（2012）有機物長期連用ブドウ園地の土壌中全炭素濃度と全窒素濃度の経年変化。土肥誌。83 : 687-690.
- 石塚由之・小松鋭太郎・南雲光治（1969）和ナシの施肥合理化に関する研究（第一報）。茨城園研研報。3 : 39-50.
- 伊藤大雄・杉浦俊彦・黒田治之（2006）ニホンナシ園における蒸発散速度の実態解明と日蒸発散量の推定。農業気象。62(1) : 23-32.
- 伊藤大雄・杉浦俊彦・黒田治之（2000）わが国の温暖地落葉果樹園における年間炭素収支の推定。果樹試報。34 : 81-94.

- 神野雄一 (2000) 畑地における窒素溶脱に関する研究-ライシメータ試験による施肥窒素の溶脱過程と窒素収支の解析-. 鳥取園試特別報告. 6 : 40-41.
- K. Kotoda (1989) Estimation of river basin évapotranspiration from consideration of topographies and Sand use conditions. Estimation of Areal Evapotranspiration. 177 : 271-281.
- 岸本 修・本條 均・伊谷樹一・蛭田雅彦・村田奈芳・深町 浩・友松篤信 (1998) 日本ナシ主要品種の果実生産力の推移に関する研究 1. 宇都宮大学農学部学術報告. 17(1) : 1-11.
- 北橋 直 (1984) 教程平板測量. 山海堂. 東京. p. 79-143.
- 松本英一・平山 力・青木 武・小山田 勉 (1994) 畑作地帯の浅層地下水水質の実態. 茨城農研研報. 1 : 63-78.
- 松波寿弥・寶示戸雅之・森 昭憲 (2005) 多量窒素連用条件下のオーチャードグラス単播草地における重窒素標識硫酸の動態. 土肥誌. 76 : 609-617.
- 三浦健志・奥野林太郎 (1993) ペンマン式による蒸発散位計算方法の詳細. 農業土木学会論文集. 164 : 157-163.
- Mu Z. J.・Huangd A.・Kimura S. D.・Jinb T.・Weia S.・Hatano R. (2009) Linking N₂O emission to soil mineral N as estimated by CO₂ emission and soil C/N ratio. Soil Biol. Biochem. 41 : 2593-2597.
- 長野県・茨城県・埼玉県 (2003) 早生ナシ「幸水」の施肥効率向上とせん定改善による多収生産新技術の開発. 先端技術等地域実用化研究促進事業研究成果報告書. p. 145.
- 中津智史・田村 元 (2008) 30年間の有機物(牛ふんバーク堆肥および収穫残さ)連用が北海道の淡色黒ボク土の全炭素, 全窒素および物理性に及ぼす影響. 土肥誌. 79 : 139-145.
- 西尾 隆・三浦憲蔵 (2004) 有機質資材と化学肥料の併用下における畑土壌中の窒素動態の特徴と窒素収支. 土肥誌. 75 : 445-451.
- 農林水産省 (2008) 地力増進基本指針. http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/pdf/chi4.pdf
- 農林水産省 (2014) 平成 26 年果樹及び茶栽培面積<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/index.html>
- 小川吉雄 (2000) 地下水の硝酸汚染と農法転換. 農文協. 東京. p. 85-90.
- 小川吉雄・加藤英孝・陽捷行 (2000) 地下水面上部における降下浸透水中の硝酸態窒素の消長と土壌の脱窒能. 土肥誌. 71 : 494-501.
- 温室効果ガスインベントリオフィス (GIO) 編 (2014) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書. 独立行政法人国立環境研究所. 茨城. 6-26~6-31.
- 折本善之・武井昌秀・小山田勉 (2003) 日本ナシ「幸水」と「二十世紀」の地上部新生器官における窒素吸収特性の比較. 土肥誌. 74 : 203-206.
- 佐藤 輝・瀬戸昌之 (2000) 火山灰土壌における微生物の単位バイオマス当たりの呼吸速度と炭素収支. 土と微生物. 54 : 13-21.
- 瀬戸昌之・宮沢武重・田崎忠良 (1978) いくつかの土壌における二酸化炭素の発生速度と土壌の温度および水溶性有機物量との関係. 生物環境調節. 16 : 109-112.
- 志賀一一 (1985) 土壌中における施用有機物の分解過程と土壌有機物の集積過程の解明. 農林水産技術会議事務局編プロジェクト研究成果. 166 : 12-49.
- 森林総合研究所 (2014) 森林の林木(幹・枝葉・根)が吸収(固定)する炭素の平均的な量. <http://www.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/>
- 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.
- 鈴木智久・山田健悦・亀和田國彦 (1996) ナシ園黒ボク土壌の実態と果実の収量・品質との関係. 栃木農試研報. 44 : 15-23.
- 玉井幸治・小南裕志・深山貴文・後藤義明 (2005) 山地小流域における地温, 土壌含水率からの土壌呼吸量時系列データの推定とその空間変動. 日林誌. 87 (4) : 331-339.

- 谷山一郎・河野憲治・波多野隆介・石塚成宏・澤本卓治・麓多門・長谷川利拓・酒井英光・安立美奈子・常田岳志・永田 修・木村園子ドロテア (2011) 炭素・窒素動態モニタリングと予測にもとづく地球温暖化適応・緩和戦略. 土肥誌. 82 : 166-172.
- 塚本雅俊・峰岸恵夫・加藤 晃 (1993) 群馬県における淡色黒ボク土壌への有機物施用と肥料成分の溶脱. 群馬農業研究 A 総合. 10 : 29-40.
- 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(4) : 50-51.
- 梅宮善章 (2004) 果樹園の施肥に由来する窒素負荷の現状. 園学研. 3 (2) : 127-132.
- 梅宮善章・関谷宏三 (1983) 果樹園土壌への有機物集積 (第 1 報) 土壌管理の違いが土壌有機物集積に及ぼす影響. 土肥要旨集. 29 : 122.
- 浦木松寿 (1983) 施肥と土壌管理. 農業技術体系果樹編 3. 農山漁村文化協会. 東京. p. 156.
- 上沢正志 (1991) 化学肥料・有機物の連用が土壌・作物収量に与える影響の全国的解析. 農業技術. 46 : 393-397.
- 八木一行 (1997) 温室効果ガス発生・呼吸量. 土壌環境分析法編集委員会編 土壌環境分析法. 博友社. 東京. p. 129-138.

Summary

Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) production is widespread in Ibaraki Prefecture, eastern Japan. In this production system of Japanese pear, a large amount of compost is used in addition to chemical fertilizer. The purpose of this paper, therefore, is to comprehensively evaluate the influence of fertilization and compost application on groundwater, soil and air environment mainly from the dynamics of nitrogen and carbon, and to make clear crop production and environment-conscious fertilization management method. Specifically, three application methods were tested: (a) the common method(CM), with the application of swine manure (300 kg-N ha⁻¹ year⁻¹) in addition to standard application of a manufactured fertilizer (200 kg-N ha⁻¹ year⁻¹); and (b) the reduced application method(RAM), in which 50% of the fertilizer was replaced with swine manure (chemical fertilizer: 100 kg-N ha⁻¹ year⁻¹, swine manure: 100 kg-N ha⁻¹ year⁻¹); (c) chemical fertilizer method(CFM), with the application of a manufactured fertilizer (200 kg-N ha⁻¹ year⁻¹). As a result of cultivating pears in those soil management, the yield and quality of pears by the RAM is similar to that in the other method. Regarding the change of soil carbon content which is an index of soil fertility, the CM and the RAM applied compost, while maintaining the soil carbon content, the CFM showed a decreasing trend. This fact shows that periodic organic supply is necessary for sustainable agriculture. On the other hand, compost application rates required to maintain the soil carbon content is sufficient in an amount of the RAM (1.5Mg-C ha⁻¹ yr⁻¹), be increased until the amount of the CM (4.0 Mg-C ha⁻¹ yr⁻¹) does not contribute to an increase in soil carbon content. In consequence, the soil management by the RAM is considered rational. Moreover, when comprehensively evaluating the influence of these soil managements on the groundwater and the atmospheric environment, nitrate nitrogen (NO₃-N) leaching amount decreased in the order of CM>CFM≧RAM. The amount of greenhouse gas(CO₂-eq) emissions determined by the sum of carbon content of tree, the change amount of soil carbon, and the amount of nitrous oxide(N₂O) generated decreased in the order of CFM≧CM>RAM. Thus, the RAM, which is a new fertilization method that takes into consideration the nitrogen fertilizer effect in the swine manure compost, can reduce both the load on the groundwater and the atmospheric environment as compared with other methods.

keywords: Japanese pear, swine manure compost, Andosols, Improved fertilization, Environmental load reduction

小ギク新品種 ‘常陸オータムゆうひ’, ‘常陸サマーライト’ の育成

平井弓子 , 鈴木一典¹⁾, 小松拓真²⁾, 村崎 聡³⁾, 坂井佳代子⁴⁾, 高津康正⁵⁾,

吉田稔之⁶⁾, 石井亮二⁷⁾, 市毛秀則

(茨城県農業総合センター生物工学研究所)

New released Small Spray-type Chrysanthemum Cultivars ‘Hitachi Autumn Yuhi’, ‘Hitachi Summer Right’

Yumiko HIRAI¹⁾, Kazunori SUZUKI, Takuma KOMATSU, Satoshi MURAZAKI, Kayoko SAKAI, Yasumasa TAKATSU, Toshiyuki YOSHIDA, Ryoji ISHII and Hidenori ICHIGE

要約

交雑育種により, 花色が赤紫色の品種および黄色の小ギク品種をそれぞれ育成した。赤紫色品種の ‘常陸オータムゆうひ’ は当所が保有する系統同士を交雑して得られた品種で, 9月上旬から中旬に開花し, 分枝数および花蕾数が多い。黄色品種の ‘常陸サマーライト’ は, ‘みのる’ の自然交雑種子から得られた品種で, 7月下旬から8月上旬に開花し, 葉色が濃く, 葉に艶がある。

キーワード: 育種, 交雑, 小ギク, 常陸シリーズ, 品種

1 はじめに

キク (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) は日本の切り花生産量の約40%を占める重要な品目であり (農林水産省 2018), 特に7月の東京盆, 8月の旧盆, 3月と9月の彼岸および12月から1月にかけての正月における需要が高い。

茨城県のキク生産は, 特に小ギクの割合が高く, 県内のキク類切り花出荷量の約70%を占める。出荷量は2,080万本で全国第4位であり, 沖縄県, 奈良県, 福島県に次ぐ小ギクの産地となっている (農林水産省, 2016)。県内の主な産地は, 笠間市, 鉾田市, 石岡市, 龍ヶ崎市, 牛久市, 筑西市, 桜川市である。生産は7月の東京盆, 8月の旧盆, 9月の彼岸の物日需要向けが主体であり, 東京都中央卸売市場の小ギク出荷量のうち, 6月から10月にかけては茨城県産が約41%を占める (茨城県農産物販売促進東京本部, 2018)。

県内の生産現場では, 6月から10月にかけての長期出荷に対応するために多くの品種が栽培されており, 市場には, 赤色は約140種, 黄色は約150種, 白色は約130種が出荷されている。1生産者あたりの保有品種数には個人差があるが, 多い生産者では70品種以上を保有しており, 管理の複雑化が問題となっている。そのため, 今後優良品種の導入と不良品種の淘汰による品種の絞り込みが課題である (茨城県, 2017)。当研究所では, 2002年から物日出荷に適する県オリジナル品種の育成に取り組み, これまでに「常陸シリ

- 1) 現 農業総合センター園芸研究所 2) 現 農林水産部農業政策課
3) 現 農業総合センター鹿島地帯特産指導所 4) 現 営業戦略部販売流通課
5) 現 一般社団法人日本植物防疫協会茨城研究所
6) 現 農業総合センター企画調整課 7) 現 鹿行農林事務所経営・普及部門

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

ーズ」14品種を育成した。先に育成された12品種については既に報告しており（鈴木・霞 2012,平井ら 2017）、今回は新たに育成した2品種の育成経過と特性を報告する。

2. ‘常陸オートムゆうひ’の育成とその特性

2.1 育成経過

赤色品種の育成を目的として、2008年に茨城県農業総合センター生物工学研究所が保有する赤紫色の系統である‘生研15号’を種子親、‘07C64’を花粉親として交雑した。得られた57粒の種子を2009年に播種し、発芽した42個体の実生を育成圃場に定植した。これらの実生から、9月上旬に開花し、花色が赤紫色で草丈が高く、キク白さび病の発生が少ない個体を‘09C90’として1次選抜した。次いで、2010年に挿し穂による増殖を行い、2次選抜試験を実施し、有望系統として選抜した。さらに2011年から2013年にかけて特性調査を行った結果、9月上旬から下旬にかけて開花し、9月彼岸出荷向けとして優れる系統であると認め、2013年に‘生研32号’を付与した。2014年に茨城県農業総合センター園芸研究所（以下、園芸研究所）において品種適応性検定および市場性評価を実施した結果、有望と認められ、‘ひたち22号’を付与した。2015年に現地適応性試験を実施した結果、品種化要望ありと評価された。2015年に品種登録に向けた特性調査を行い、区別性を評価した。2017年1月19日に種苗法に基づく品種登録を出願し、2018年1月30日に‘常陸オートムゆうひ’（図1）の品種名で登録された（登録番号26461）。



↑花の様子



↑草姿の様子

図1 小ギク‘常陸オートムゆうひ’の花および草姿

2.2 品種特性と区別性

農林水産省植物種類別審査基準きく（農林水産省、2012）に基づく特性調査において、草丈等の27項目について、表1のとおり9段階の各階級値の特性および特性の基準値を定めて評価を行った。

2015年に実施した‘常陸オートムゆうひ’の所内特性調査の結果を表2に示した。草丈は“やや高”，葉の長さは“やや長”，葉の幅は“やや狭”，葉の先端裂片の相対的な長さは“やや短”，葉の一次欠刻の深さは“やや浅”，葉の基部の形は“凹形”，葉の表面の緑色の濃淡は“やや淡”，花序の一次分枝の基部の向き着生角度は“小”，頭花の型は“一重”，頭花の直径は“かなり小”，頭花の舌状花数は“極少”，舌状花は“斜上”，舌状花の最大幅部の横断面の形は“平”，舌状花の縦断面の形状は“平”，舌状花の長さは“短”，舌状花の幅は“かなり狭”，舌状花の表面の主な色は Royal Horticultural Society カラーチャート（以下、RHS）による評価で“N79C”，舌状花の裏面の色は RHS による評価で“N79D”，花盤の頭花に対する直径の大きさは“やや小”，花盤の開やく前の中央暗色スポットの有無は“無”，開花習性は“7月～9月咲き（夏秋）”，各開花習性における早晩性は“かなり晩”である。

表1 きく特性調査における各階級値の特性および基準値

形質番号	調査項目	階級値/特性および基準値								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	草丈 (cm)	極低 ~50	かなり低 50~60	低 60~70	やや低 70~80	中 80~90	やや高 90~100	高 100~110	かなり高 110~120	極高 120~
6	たく葉の大きさ ※たく葉の最大長 (mm)	無又は極小 ~2	かなり小 2~4	小 4~6	やや小 6~8	中 8~10	やや大 10~12	大 12~14	かなり大 14~16	極大 16~
7	葉柄の向き ※主茎からの角度 (°)	上 ~20	やや上 20~40	斜上 40~60	やや斜上 60~80	水平 80~100	やや斜下 100~120	斜下 120~140	やや下垂 140~160	下垂 160~
8	葉柄の葉長に対する長さ (mm)	極短 ~10	かなり短 10~15	短 15~20	やや短 20~25	中 25~30	やや長 30~35	長 35~40	かなり長 40~45	極長 45~
9	葉の長さ (mm)	極短 ~50	かなり短 50~60	短 60~70	やや短 70~80	中 80~90	やや長 90~100	長 100~110	かなり長 110~120	極長 120~
10	葉の幅 (mm)	極狭 ~30	かなり狭 30~40	狭 40~50	やや狭 50~60	中 60~70	やや広 70~80	広 80~90	かなり広 90~100	極広 100~
11	葉の長さ/幅 (比)	極低 ~0.8	かなり低 0.8~1.0	低 1.0~1.2	やや低 1.2~1.4	中 1.4~1.6	やや高 1.6~1.8	高 1.8~2.0	かなり高 2.0~2.2	極高 2.2~
12	葉の先端裂片の相対的な長さ (mm)	極短 ~15	かなり短 15~20	短 20~25	やや短 25~30	中 30~35	やや長 35~40	長 40~45	かなり長 45~50	極長 50~
13	葉の一次欠刻の深さ ※一次欠刻の深さ (mm)	極浅 ~10	かなり浅 10~15	浅 15~20	やや浅 20~25	中 25~30	やや深 30~35	深 35~40	かなり深 40~45	極深 45~
21	葉の周縁の二次欠刻の数 ※二次欠刻の数 (個)	極少 ~2	かなり少 2~3	少 3~4	やや少 4~5	中 5~6	やや多 6~7	多 7~8	かなり多 8~9	極多 9~
24	花序の最大幅 (cm)	極狭 ~6	かなり狭 6~9	狭 9~12	やや狭 12~15	中 15~18	やや広 18~21	広 21~24	かなり広 24~27	極広 27~
25	花序の一次分枝の着生角度 ※主茎からの角度 (°)	極小 ~10	かなり小 10~20	小 20~30	やや小 30~40	中 40~50	やや大 50~60	大 60~70	かなり大 70~80	極大 80~
26	花序の側枝の頭花の向き ※花柄からの角度 (°)	上 ~1	やや上 1~30	斜上 30~60	やや斜上 60~80	水平 80~100	やや斜下 100~120	斜下 120~150	やや下 150~170	下 170~
27	一茎当たりの頭花の総数 ※頭花の総数 (個)	極少 ~5	かなり少 5~15	少 15~25	やや少 25~35	中 35~45	やや多 45~55	多 55~65	かなり多 65~75	極多 75~
32	頭花の直径 (mm)	極小 ~20	かなり小 20~40	小 40~60	やや小 60~80	中 80~100	やや大 100~120	大 120~140	かなり大 140~160	極大 160~
34	頭花の高さ (mm)	極低 ~5	かなり低 5~10	低 10~15	やや低 15~20	中 20~30	やや高 30~40	高 40~50	かなり高 50~60	極高 60~
36	頭花の花柄の長さ (mm)	極短 ~20	かなり短 20~35	短 35~50	やや短 50~70	中 70~90	やや長 90~110	長 110~130	かなり長 130~150	極長 150~
38	頭花の舌状花数 (枚)	極少 ~20	かなり少 20~50	少 50~100	やや少 100~150	中 150~200	やや多 200~250	多 250~300	かなり多 300~350	極多 350~
44	舌状花の基部の向き ※花柄からの角度 (°)	上 ~45	やや上 45~60	斜上 60~75	やや斜上 75~90	水平 90~105	やや斜下 105~120	斜下 120~135	やや下 135~150	下 150~
47	舌状花の花筒の長さ (mm)	極短 ~2	かなり短 2~3	短 3~4	やや短 4~5	中 5~6	やや長 6~7	長 7~8	かなり長 8~9	極長 9~
54, 57	舌状花の縦断面の湾曲の強弱 ※舌状花の湾曲の角度 (°)	極弱 ~10	かなり弱 10~30	弱 30~50	やや弱 50~70	中 70~90	やや強 90~110	強 110~130	かなり強 130~150	極強 150~
58	舌状花の長さ (mm)	極短 ~10	かなり短 10~15	短 15~20	やや短 20~30	中 30~40	やや長 40~50	長 50~60	かなり長 60~70	極長 70~
59	舌状花の幅 (mm)	極狭 ~2	かなり狭 2~6	狭 6~10	やや狭 10~14	中 14~18	やや広 18~22	広 22~26	かなり広 26~30	極広 30~
60	舌状花の長さ/幅 (比)	極低 ~1.5	かなり低 1.5~2.0	低 2.0~2.5	やや低 2.5~3.0	中 3.0~3.5	やや高 3.5~4.0	高 4.0~4.5	かなり高 4.5~5.0	極高 5.0~
76	花盤の頭花に対する直径の大きさ ※花盤直径/頭花直径 (比)	極小 ~0.1	かなり小 0.1~0.2	小 0.2~0.3	やや小 0.3~0.4	中 0.4~0.5	やや大 0.5~0.6	大 0.6~0.7	かなり大 0.8~0.9	極大 0.9~
80	花盤と比較した開やく前の中央暗色スポットの大きさ※暗色スポット直径/花盤直径	極小 ~0.1	かなり小 0.1~0.2	小 0.2~0.3	やや小 0.3~0.4	中 0.4~0.5	やや大 0.5~0.6	大 0.6~0.7	かなり大 0.8~0.9	極大 0.9~
104	管状花の花冠の深裂の深さ ※深裂の深さ (mm)	極浅 ~1.0	かなり浅 1.0~1.1	浅 1.1~1.2	やや浅 1.2~1.3	中 1.3~1.4	やや深 1.4~1.5	深 1.5~1.6	かなり深 1.6~1.7	極深 1.7~

※調査項目内の () は単位を示す。

※各特性の基準値については、「~〇=〇未満」、「〇~△=〇以上△未満」、「△~△以上」を示す。

表2 小ギク ‘常陸オータムゆうひ’ の主な形質

形質 番号	形 質 名	特 性	出願品種の階級値 (特性値)
1	草丈	やや高	6 (97.8cm)
2	草型	叢生でない	1
9	葉の長さ	やや長	6 (91.0mm)
10	葉の幅	やや狭	4 (53.8mm)
11	葉の長さ／幅	やや高	6 (1.7)
12	葉の先端裂片の相対的な長さ	やや短	4 (25.2mm)
13	葉の一次欠刻の深さ	やや浅	4
15	葉の基部の形	凹形	5
17	葉の表面の緑色の濃淡	やや淡	4
25	花序の一次分枝の着生角度	小	3 (24.0°)
30	頭花の型	一重	2
31	花盤の型	デイジー	1
32	頭花の直径	かなり小	2 (37.0mm)
38	頭花の舌状花数	極少	1 (15 個)
40	頭花の舌状花の形の数	1	1
41	頭花の舌状花の主要な形	舌状	1
44	舌状花の基部の向き	斜上	3 (65~75°)
47	舌状花の花筒の長さ	かなり短	2 (2.7mm)
48	舌状花の最大幅部の横断面の形	平	6
52	舌状花の縦断面の形状	平	2
58	舌状花の長さ	短	3 (18.7mm)
59	舌状花の幅	かなり狭	2 (5.8mm)
60	舌状花の長さ／幅	中	5 (3.2)
62	舌状花の表面の色数	1	1
63	舌状花の表面の主な色	N79C	
70	舌状花の表面と比較した裏面の色の類似性	類似する	1
71	舌状花の裏面の色	N79D	
76	花盤の頭花に対する直径の大きさ	やや小	4
78	花盤の開やく前の色の区分	黄緑	3
79	花盤の開やく前の中央暗色スポットの有無	無	1
90	開花習性	7月～9月咲き (夏秋)	2
91	各開花習性における早晩性	かなり晩	8

調査年 2015 年. 定植 5 月下旬. 耕種概要は「茨城県花き栽培基準」に準ずる.

‘常陸オータムゆうひ’ の類似品種との特性を比較した結果を表 3 に示した。類似品種 ‘美人草’ と比較し、草丈が“やや高”、葉の表面の緑色の濃淡が“やや淡”、舌状花の表面の主な色が“N79C”、舌状花の裏面の色が“N79D”である点で明確に区別された。また、類似品種 ‘かれん’ と比較した結果、草丈が“やや高”、葉の基部の形が“凹形”、葉の表面の緑色の濃淡が“やや淡”、舌状花の花筒の長さが“かなり短”、舌状花の表面の主な色が“N79C”、舌状花の裏面の色が“N79D”である点で明確に区別された。

なお、農林水産省登録品種データベース (2019) における ‘常陸オータムゆうひ’ の品種特性では、葉の一次欠刻の深さは“かなり深”、葉の基部の形は“鈍形”、頭花の型は“半八重”、舌状花の基部の向きは“水平”、舌状花の長さ／幅は“低”、花盤の頭花に対する直径の大きさは“やや大”である点が所内特性調査の結果と異なった。しかし、対照品種 ‘美人草’ と比較し、たく葉の大きさが“小”であること、舌状花の先端の形“突起状”であること等で区別性が認められ、また、対照品種 ‘かれん’ と比較し、舌状花の先端の形“突起状”であること等で区別性が認められた。

表3 小ギク‘常陸オータムゆうひ’と類似品種との区別性

調査項目	特性(測定値)		
	常陸オータムゆうひ	美人草	かれん
草丈(cm)	やや高(97.8)	やや低(76.5)	やや低(78.3)
茎の色	紫又は褐を帯びた緑	緑	紫又は褐を帯びた緑
葉の基部の形	凹形	平形	平形
葉の表面の緑色の濃淡	やや淡	やや濃	やや濃
一茎当たりの頭花の総数(個)	多(57)	やや少(30)	やや多(53)
舌状花の花筒の長さ(mm)	かなり短(2.7)	短(3.1)	中(5.7)
舌状花の表面の主な色【RHS】	N79C	71A	71A
舌状花の裏面の色【RHS】	N79D	77B	77B

調査年 2015 年.

2.3 品種の栽培特性と評価

2.3.1 栽培特性

‘常陸オータムゆうひ’の開花時期および切花形質について、2015年の調査結果を表4に示した。対照品種は‘美人草’とした。‘常陸オータムゆうひ’は5月下旬定植の作型において、9月上旬から中旬に開花するため、9月彼岸出荷向けの品種として利用可能であった。また、‘美人草’と比較して切花長が長く、切花重が重く、節数、分枝数および花蕾数が多かった。また、フラワーフォーメーションは頂点咲きの傾向であり‘美人草’よりも優れた。

2.3.2 市場性評価および現地適応性試験

2014年に市場7社、21名による市場性評価を実施した結果、全体の85%が対照品種‘美人草’と比較して総合的に同等以上と評価し、特に切花のボリュームに対する評価が高く、評価者の半数以上がやや良い〜良いと評価した(図2)。

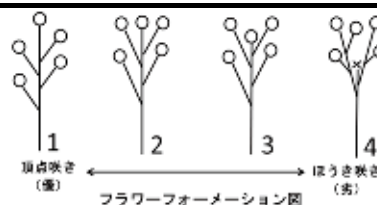
2015年に現地適応性試験における生産者評価を実施した。対照品種は‘美人草’とし、県内3地域(笠間市、石岡市、筑西市)で評価した結果、対照品種の‘美人草’と比較し、収量性および作りやすさは同等であるが、病虫害発生が少なく、花色、花質(形・大小)、ボリューム感およびフラワーフォーメーションが優れると評価され、品種化要望ありとされた(表5)。

表4 小ギク‘常陸オータムゆうひ’の栽培特性

品種名	開花時期 始~終	切花長 (cm)	切花重 (g)	節数 (節)	分枝数 (本)	花蕾数 (個)	FF ¹⁾
常陸オータムゆうひ	9/2~9/16	92.6	111.1	47.3	20.7	78.8	2.7
美人草	9/12~9/19	77.3	71.6	45.6	7.8	26.6	3.0

調査年 2015 年. 定植 5 月下旬. 耕種概要は「茨城県花き栽培基準」に準ずる.

1)フラワーフォーメーション(右図参照).



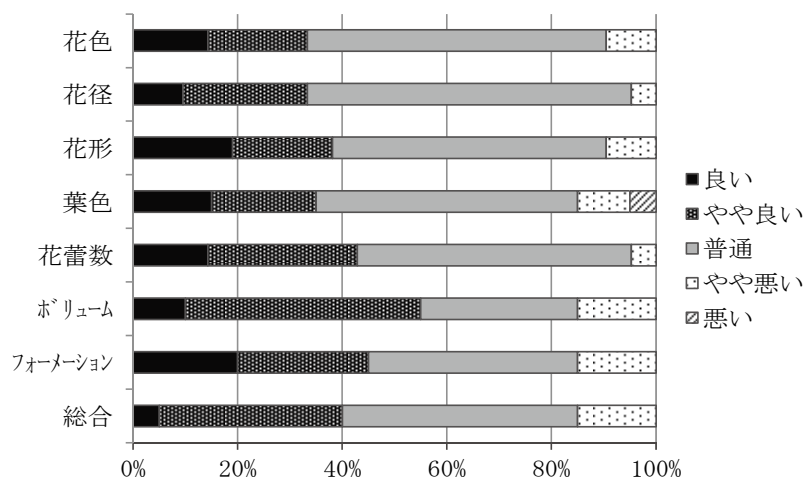


図2 小ギク「常陸オータムゆうひ」の市場性評価 (2014年)
 1)調査対象：7社，21名，2)評価方法：「美人草」を普通とした比較評価法で判定。

表5 小ギク「常陸オータムゆうひ」の現地適応性試験における生産者評価の結果

評価項目	常陸オータムゆうひ	美人草
収量性	多	多
作りやすさ	良	良
病虫害発生	少	普通
切花長	普通	普通
花色	良	普通
花質(形・大小)	良	普通
茎葉色	普通	普通
ボリューム感	良	普通
フォーメーション	中間	段(ほうき)
総合評価	良	普通
導入希望	有	—

調査年 2015年，県内3地域（笠間市，石岡市，筑西市）の生産者各1名による評価結果（平均）を示す。

3. 「常陸サマーライト」の育成とその特性

3.1 育成経過

黄色品種の育成を目的に，2008年に黄色品種である「みのる」の自然交雑種子を150粒採種した。2009年に播種したところ，132個体が発芽し，そのうち生育が良好な122個体を育成圃場に定植した。これらの実生から，7月下旬に開花し，花色が黄色で草丈が高く，キク白さび病の発生が少ない個体を「09C44」として1次選抜した。次いで2010年に挿し穂による増殖を行い，2次選抜試験を実施し，有望系統として選抜した。さらに2011年から2014年にかけて特性調査を行った結果，7月下旬から8月上旬にかけて開花し，8月旧盆出荷向けとして優れる系統であると認め，2015年に「生研34号」を付与した。2015年に園芸研究所において品種適応性検定および市場性評価を実施した結果，有望と認められ，「ひたち23号」を付与した。2016年に現地適応性試験を実施した結果，品種化要望ありと評価された。2016年に品種登録に向けた特性調査を行い，区別性を評価した。2017年6月13日に種苗法に基づく品種登録を出願し，2019年3月13日に「常陸サマーライト」(図3)の品種名で登録された(登録番号27336)。



↑花の様子



↑草姿の様子

図3 小ギク‘常陸サマーライト’の花および草姿

3.2 品種特性と区別性

農林水産省植物種類別審査基準きく（農林水産省，2012）に基づく特性調査において，草丈等の27項目について，表1のとおり9段階の各階級値の特性および特性の基準値を定めて評価を行った。

2016年に実施した‘常陸サマーライト’の所内特性調査の結果を表6に示した。草丈は“中”，葉の長さは“長”，葉の幅は“中”，葉の先端裂片の相対的な長さは“やや長”，葉の一次欠刻の深さは“中”，葉の基部の形は“凹形”，葉の表面の緑色の濃淡は“やや濃”，花序の一次分枝の着生角度は“かなり小”，頭花の型は“一重”，頭花の直径は“小”，頭花の舌状花数は“かなり少”，舌状花の基部の向きは“上”，舌状花の最大幅部の横断面の形は“わずかに凸”，舌状花の縦断面の形状は“外反”，舌状花の長さは“短”，舌状花の幅は“狭”，舌状花の表面の主な色はRHSによる評価で“7A”，舌状花の裏面の色はRHSによる評価で“7B”，花盤の頭花に対する直径の大きさは“やや小”，花盤の開やく前の中央暗色スポットの有無は“無”，開花習性は“7月～9月咲き（夏秋）”，各開花習性における早晩性は“やや早”である。

表6 小ギク ‘常陸サマーライト’ の主な形質

形質 番号	形質名	特性	出願品種の階級値 (特性値)
1	草丈	中	5 (87.5cm)
2	草型	叢生でない	1
9	葉の長さ	長	7 (108.2mm)
10	葉の幅	中	5 (68.0mm)
11	葉の長さ／幅	中	5 (1.59)
12	葉の先端裂片の相対的な長さ	やや長	6 (35.6mm)
13	葉の一次欠刻の深さ	中	5 (28.3mm)
15	葉の基部の形	凹形	5
17	葉の表面の緑色の濃淡	やや濃	6
25	花序の一次分枝の着生角度	かなり小	2 (17.0°)
30	頭花の型	一重	2
31	花盤の型	デイジー	1
32	頭花の直径	小	3 (40.2mm)
38	頭花の舌状花数	かなり少	2 (22 個)
40	頭花の舌状花の形の数	1	1
41	頭花の舌状花の主要な形	舌状	1
44	舌状花の基部の向き	上	1 (43.0°)
47	舌状花の花筒の長さ	かなり短	2 (2.7mm)
48	舌状花の最大幅部の横断面の形	わずかに凸	7
52	舌状花の縦断面の形状	外反	3
58	舌状花の長さ	短	3 (18.7mm)
59	舌状花の幅	狭	3 (7.1mm)
60	舌状花の長さ／幅	やや低	4 (2.6)
62	舌状花の表面の色数	1	1
63	舌状花の表面の主な色	7A	
70	舌状花の表面と比較した裏面の色の類似性	類似する	1
71	舌状花の裏面の色	7B	
76	花盤の頭花に対する直径の大きさ	やや小	4 (0.32)
78	花盤の開やく前の色の区分	黄緑	3
79	花盤の開やく前の中央暗色スポットの有無	無	1
90	開花習性	7月～9月咲き	2
91	各開花習性における早晚性	やや早	4

調査年 2016 年. 定植 4 月下旬. 耕種概要は「茨城県花き栽培基準」に準ずる.

‘常陸サマーライト’の類似品種との特性を比較した結果を表7に示した。類似品種‘すばる’と比較し、葉の長さが“長”，葉の幅が“中”，葉の1次欠刻の深さが“中”，葉の表面の緑色の濃淡が“やや濃”，舌状花の最大幅部の横断面の形が“わずかに凸”，舌状花の縦断面の形状が“外反”，舌状花の裏面の色が“7B”である点で明確に区別された。

なお、農林水産省登録品種データベース（2019）における‘常陸サマーライト’の品種特性では、葉の一次欠刻の深さは“かなり深”，頭花の型は“半八重”である点が所内特性調査の結果と異なった。しかし、対照品種‘すばる’と比較し、たく葉の大きさが“小”であること、舌状花の縦断面の形状が“外反”であること等で区別性が認められた。

表7 小ギク‘常陸サマーライト’と類似品種との区別性

調査項目	特性(測定値)	
	常陸サマーライト	すばる
葉の長さ (mm)	長 (108.2)	極長 (123.3)
葉の幅 (mm)	中 (68.0)	広 (81.6)
葉の一次欠刻の深さ	中	深い
葉の表面の緑色の濃淡	やや濃	中
舌状花の最大幅部の横断面の形	わずかに凸	わずかに凹
舌状花の縦断面の形状	外反	平
舌状花の裏面の色 (RHS)	7B	8A

調査年 2016 年.

3.3 品種の栽培特性と評価

3.3.1 栽培特性

‘常陸サマーライト’の開花時期および切花形質について、2016年の調査結果を表8に示した。対照品種は‘すばる’とした。‘常陸サマーライト’は4月下旬定植の作型において、7月下旬から8月上旬に開花するため、8月旧盆出荷向けの品種として利用可能であった。また、‘すばる’と比較して切花長は同等、切花重は重く、節数、分枝数、花蕾数およびフラワーフォーメーションは同等であった。

表8 小ギク‘常陸サマーライト’の栽培特性

品種名	開花時期 始～終	切花長 (cm)	切花重 (g)	節数 (節)	分枝数 (本)	花蕾数 (個)	FF ¹⁾
常陸サマーライト	7/26～8/8	92.0	90.8	40.3	11.0	32.3	2.5
すばる	7/26～8/8	91.2	55.3	41.8	12.5	27.7	2.5

試験年 2016 年. 定植 4 月下旬. 耕種概要は「茨城県花き栽培基準」に準ずる.

1) フラワーフォーメーション (表4 参照).

3.3.2 市場性評価及び現地適応性試験

2015年に市場7社、8名による市場性評価を実施した結果、全体の87.5%が対照品種‘すばる’と比較して総合的にやや良いと評価し、特に葉色とフォーメーションに対する評価が高く、全ての評価者がやや良い～良いと評価した(図4)。

2016年に現地適応性試験における生産者評価を実施した。県内1地域(筑西市)において評価した結果、‘常陸サマーライト’は‘すばる’と比較し、収量性、病虫害発生、花質(形・大小)、ボリューム感およびフラワーフォーメーションは同等であるが、作りやすさ、切花長、花色および茎葉色が優れると評価され、品種化要望ありとされた(表9)。

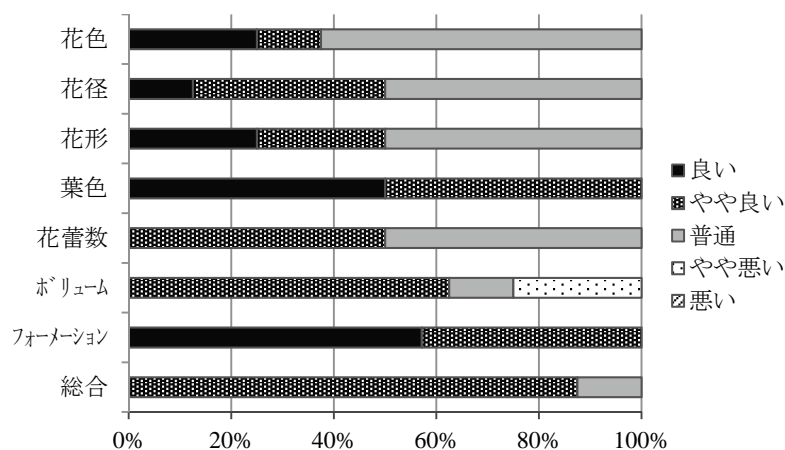


図4 小ギク「常陸サマーライト」の市場性評価 (2015年)

1)調査対象: 7社, 8名. 2)評価方法: 「すばる」を普通とした比較評価法で判定.

表9 小ギク‘常陸サマーライト’の現地適応性試験における生産者評価の結果

評価項目	常陸サマーライト	すばる
収量性	普通	普通
作りやすさ	良	普通
病害虫発生	普通	普通
切花長	良	普通
花色	良	普通
花質(形・大小)	普通	普通
茎葉色	良	普通
ボリューム感	普通	普通
フォーメーション	頂点	頂点
総合評価	良	普通
導入希望	有	—

調査年 2016年. 県内1地域(筑西市)の生産者1名による評価結果を示す.

4. 育成品種の普及と今後の活用

育成した新品種‘常陸オータムゆうひ’および‘常陸サマーライト’の種苗は、公益社団法人茨城県農林振興公社を通じて、2017年から茨城県内に供給が開始されている。今後は、‘常陸オータムゆうひ’は9月彼岸出荷向けの品種、‘常陸サマーライト’は7月東京盆および8月旧盆出荷向けの品種として、県内主要産地である笠間市、銚田市、石岡市、土浦市、龍ヶ崎市、筑西市および桜川市の7地域全てに導入することを目標として普及を図る。

茨城県では、7月東京盆、8月旧盆、9月彼岸の高単価時期に出荷できる品種を主体に14品種の小ギクを育成してきた。しかし、現場では長期間の収益確保および作業負担の分散を目的に、6月から10月にかけて小ギクを栽培する生産者が多く、この長期栽培に適した品種の育成が求められている。また、生産現場ではキク白さび病の発生による品質低下およびキク矮化ウイルス(CSVd)の発生による収量低下が大きな問題となっている。今回育成した‘常陸オータムゆうひ’は、現地適応性試験において病害の発生が少ないと評価されたことから、今後は‘常陸オータムゆうひ’を母本のひとつとして用い、キク白さび病およびキク矮化ウイルス(CSVd)に耐病性のある品種の育成を目指していく。

謝辞

本研究を進めるにあたり、現地適応性試験ではJA常陸、JAほこた、JA新ひたち野、JA土浦(現:JA水郷つくば)、JA竜ヶ崎(現:JA水郷つくば)、JA北つくば管内の生産者のご協力をいただいた。現地の生産者評価および市場性評価では、各農林事務所経営・普及部門、地域農業改良普及センターおよび茨城県農産物販売推進東京本部のご協力をいただいた。また、全農茨城県本部花き流通部会の皆様、専門技術指導員の駒形智幸氏(現:鹿島地帯特産指導所)をはじめとする農業総合センターの皆様には多大なるご支援、ご助言をいただいた。さらに、農業総合センター管理課の伊王野資博氏、久保木玲子氏、渡辺正光氏、米川善孝氏には試験圃場の管理に多大なるご支援をいただいた。ここに記して、これらの方々により感謝の意を表す。なお、本研究は「需要拡大のためのコギク新品種育成」、「新品種育成普及促進事業」により実施した。

引用文献

- 平井弓子・高津康正・鈴木一典・小松拓真・田附博・霞正一・常見高士・喜多晃一・市毛秀則. 2017. 小ギク新品種‘常陸サニーバナラ’、‘常陸サマールージュ’、‘常陸サマーシルキー’の育成. 茨城県農総生工研研報. 16:6-14.
- 茨城県(2017), 茨城県花き振興計画～花いっぱい美しいばらきづくりを目指して～. 2017:31-32.
- 茨城県農産物販売促進東京本部(2018), 東京都中央卸売市場における花きの取扱数量・価格の推移. 2018:58.

農林水産省（2012），農林水産植物種類別審査基準きく Chrysanthemum. <www.hinshu2.maff.go.jp/info/sinsakijun/kijun/1161.pdf>.

農林水産省（2016）花き生産出荷統計（平成 28 年産），農林水産省統計情報ホームページ. <www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kaki/index.html>.

農林水産省（2018）花き生産出荷統計（平成 30 年産），農林水産省統計情報ホームページ. <www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kaki/index.html>.

農林水産省登録品種データベース（2019），農林水産省品種登録ホームページ. <www.hinshu2.maff.go.jp/vips/cmm/apCMM110.aspx?MOSS=1>

鈴木一典・霞 正一. 2012. コギク新品種「常陸シリーズ」9 品種の育成. 茨城農総生工研研報. 12 : 13-25.

Summary

We have developed new small spray-Type chrysanthemum cultivars that one is red-purple flower and another one is yellow flower. ‘Hitachi Autumn Yuhi’ with red-purple flower have developed by cross with ours two genealogy, which blooms from early to middle September and has many lateral shoots and flowers. ‘Hitachi Summer Right’ with yellow flower have developed by open-pollinate of ‘Minoru’, which blooms late July to early August and that leaves are deep green and glossy.

グラジオラス新品種 ‘常陸はつこい’ の育成

稲崎史光, 鈴木一典¹⁾, 坂井佳代子²⁾, 喜多晃一³⁾,

宮本美里⁴⁾, 高津康正⁵⁾, 石井亮二⁶⁾, 小松拓真⁷⁾, 市毛秀則

(茨城県農業総合センター生物工学研究所)

Breeding a New Gladiolus Cultivar ‘Hitachi Hatsukoi’

Fumihiko INAZAKI¹, Kazunori SUZUKI, Kayoko SAKAI, Koichi KITA,
Misato MIYAMOTO, Yasumasa TAKATSU, Ryoji ISHII,
Takuma KOMATSU and Hidenori ICHIGE

要約

‘花かすみ’を種子親に, ‘マッチポイント’を花粉親として人工交配し, 得られた123の実生個体から選抜し, 新品種‘常陸はつこい’を育成した。花色はサーモンピンク色で黄色のぼかしが入り, 季咲き栽培における到花日数は‘常陸あけぼの’と比べて, 同日から3日(5カ年平均0.8日)早く, 極早生である。促成栽培ではトンネルとマルチを組み合わせることで5月の早期出荷が可能である。

キーワード: グラジオラス, 品種, 育種, 常陸はつこい, 極早生

1 はじめに

グラジオラス (*Gladiolus* L.) はアヤメ科に属し, 地下に肥大した球茎をもつ多年生草本である。球茎は球形ないし卵形で, 膜質または繊維質の外皮で包まれている。球茎からは普通は分枝しない茎が伸長し, 先端に穂状花序を形成する。種の数はいは約150, あるいは250~300といわれる。ヨーロッパ, 特に地中海沿岸地域から, 北アフリカ, 中東, 西アジア, マダガスカル, 熱帯および南アフリカまでの広い範囲にわたって分布する(今西, 1989)。

グラジオラスは春咲き系と夏咲き系とに大別され, 普通グラジオラスといえば夏咲き系統を指し, 春咲き系統は春咲きグラジオラスと呼び区別されている(今西, 1989)。夏咲き系統には, 現在の主流をなすグランディフローラ系(*G. x grandiflora* hort.)と呼ばれる高性, 大輪の品種群と, ピクシオーラ系(*G. x pixiola* hort.)と呼ばれる草丈が低く, 小輪の品種群がある。グラジオラスは, 冠婚葬祭を中心とした業務用の切り花や初夏の花壇用球根として欠かせない花き品目である。茨城県における栽培は古く, 1956年に土浦市西北部の今泉地区で球根生産を目的に開始したのがきっかけとなり, 1960年から切り花生産が始まった。その後, 旭村(現 銚田市)や石岡市へ栽培面積が拡大されたが, 次第に施設栽培が増加する中で他作物へ

1) 現 茨城県農業総合センター園芸研究所 2) 現 茨城県営業戦略部販売流通課

3) 現 茨城県県民生活環境部環境対策課 4) 現 茨城県県央農林事務所 経営・普及部門

5) 現 一般社団法人 日本植物防疫協会 茨城研究所

6) 現 茨城県鹿行農林事務所 経営・普及部門 7) 現 茨城県農林水産部農業政策課

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

の転換を図る生産者が多く、また、経営の柱が露地から施設に移行しつつあることから栽培面積はやや減少傾向（久賀，2006）にあった。2014年以降は、新規就農者加入等の影響で栽培面積は増加傾向にある。現在の茨城県内の主産地はJA水郷つくば管内（旧 JA土浦）で、土浦市を中心としたその周辺市町に広がっている。県内のグラジオラスはほとんどが露地栽培で生産され、出荷時期は5月から11月と幅広く、出荷量は6月から7月がピークである。5月出荷は促成作型で生産されている。2016年現在、切り花生産は栽培面積23.0ha、出荷数量417.8万本、農家戸数24戸、出荷額は2.2億円で、全国第2位である（鹿児島県，2018）。さらに、東京都中央卸売市場（2018）における数量占有率は42.5%であり、茨城県における主要な花き品目となっている。

県内で生産されている主要な品種は‘ソフィー’，‘シマロサ’‘シュガーベイブ’‘常陸はなよめ’‘ハンティングソング’‘マグマ’などで、‘常陸はなよめ’を除いて輸入球がほとんどを占めている。そのため、種球の輸入の不安定化等が経営上の課題となっている。また、同様の品種を生産している他県産地との差別化のためには、独自の品種を確保することが産地の販売戦略上必要となってきた。さらに、栽培面では主要出荷時期である夏期の高温、強日射により、小花の苞周縁部が枯死する穂やけ症の発生が問題となっており、耐病性や早生性などの栽培上有利な特性とあわせて、茨城県の気象条件や作型に適合する品種が求められている。特に、国内グラジオラス主産地である鹿児島県と茨城県の産地切り替わり時期に当たる4～5月は、単価が高く、夏場の出荷時期が重なる長野県と競合することがないため、県内産地からはこの時期に出荷できる極早生品種の育成が求められている。

そのため、2002年から茨城県農業総合センター生物工学研究所で、5月出荷が可能な極早生品種の交雑育種を開始し、2019年に‘常陸はつこい’の名で品種登録したので、その育成経過と品種特性について報告する。

2 育成経過

育成経過を図1に示す。2002年に‘花かすみ’を種子親，‘マッチポイント’を花粉親として人工交配を行った。2003年に得られた種子を播種し、球根を養成して123の実生個体を得た。2006年から季咲き栽培による選抜を開始し、2011年に花色・草姿などに優れ、病害虫の発生が少なく球根増殖性の良好な1系統を‘生研15号’として選抜した。2012年に茨城県農業総合センター園芸研究所で特性調査を実施し、有望と認められたため、‘ひたち10号’とし、さらに、2012年、2013年に市場性評価、2013年、2014年に現地適応性試験を実施したところ品種としての優良品性が認められた。また、2015年に、類似品種である‘常陸あけぼの’，‘トラベラ’を対照品種として、品種登録に向けた特性調査を行い、品種登録の要件である区別性、均一性および安定性を確認したため、育成を完了した。

2017年7月に農林水産省により種苗法に基づく品種登録出願が受理され、2019年3月に、‘常陸はつこい’の品種名で登録された（登録番号27339号）。名称は、2016年7月に名称候補を茨城県のホームページ上で一般公募し、応募があった68点から選定した。極早生のピンク系グラジオラスで、促成栽培ではトンネルとマルチを組み合わせた作型で5月出荷が可能であり、既存栽培品種の中でも茨城県で最初に出荷できるため、“初恋の初々しさと最初に出荷できる品種”というイメージを重ねて、‘常陸はつこい’と命名した。

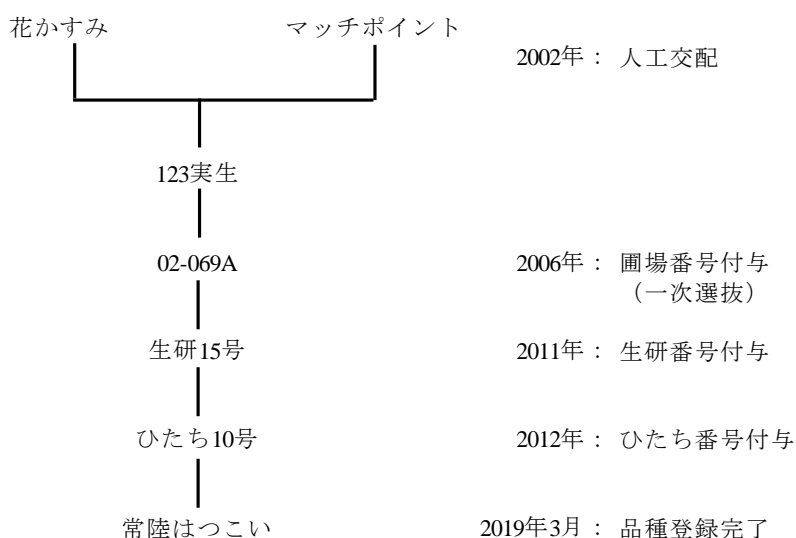


図1 グラジオラス‘常陸はつこい’の系譜及び育成経過

3 品種特性評価

3.1 試験方法

‘常陸はつこい’の品種特性を明らかにするため、2015年に露地季咲きの作型で栽培試験を行った。対照品種として‘常陸あけぼの’と‘トラベラ’を供試し、球根の大きさが2等級（球根の周径10～12cm）のものを縦横15cm間隔の3条植えで定植した。栽培および肥培管理は茨城県花き栽培基準に準じて、特性調査は農林水産省グラジオラス属品種特性分類調査基準（2011年11月）に基づいて行った。

3.2 結果

‘常陸はつこい’の草姿を図2、品種特性を表1に示す。草丈は中、葉群の高さは中、葉の幅は中であり、葉の上半分の曲がりの強弱は無又は極弱であった。花序の側枝の有無は無であるが、稀に見られた。花穂の長さの中、一花穂の花数は中であり、同時開花数はやや多であった。花穂の花の配列は2列、ほうのアントシアニンの着色の強弱は無又は極弱であった。花の正面の形は星形、花の向きは半直立、花の幅は広であった。花の主な色は50C（RHSカラーチャート）、花の主な色の濃淡の変化は基部に向かって淡くなるであった。花被筒部の長さは中、花被筒部の斑点の数は無、花被喉部の外面の斑点の数は無であった。内花被片の斑紋の形は2型、内花被片の斑紋の主な色は10D（RHSカラーチャート）、内花被片の斑紋の二次色は155A（RHSカラーチャート）であった。中央内花被片の向きは半直立～水平、中央内花被片の先端の向きはやや内曲していた。花糸の主な色は白、やく隔の色は黄白、やくの口辺細胞の色は青味紫、花柱の主な色は白、花柱の分枝の色は白であった。球茎の肉の色は8B（RHSカラーチャート）で、開花始期は極早であった。‘常陸はつこい’は対照品種‘常陸あけぼの’と比較して、花穂の花の配列が2列であること、花の主な色が50C（RHSカラーチャート）であること、花被筒部の内面および花被喉部の外面の斑点の数が無であること等で区別性が認められた。また、対照品種‘トラベラ’と比較して、ほうのアントシアニンの着色の強弱が無又は極弱であること、花の主な色が50C（RHSカラーチャート）であること、花被筒部の内面および花被喉部の外面の斑点の数が無であること、開花始期が極早であること等から区別性が認められた。



図2 グラジオラス‘常陸はつこい’の草姿

表1 グラジオラス‘常陸はつこい’の品種特性

形質	(対照品種)		
	常陸はつこい	常陸あけぼの	トラペラ
草丈	中 (135.9 cm)	(135.4 cm)	(130.9 cm)
葉群の高さ	中 (75.7 cm)	(68.1 cm)	(82.0 cm)
葉幅	中 (3.0 cm)	(3.3 cm)	(3.9 cm)
葉の上半分の曲がりの強弱	無又は極弱	弱	弱
花序の側枝の有無 ※	無 (稀に有り)	有	無
花穂の長さ	中 (66.4 cm)	(64.7 cm)	(56.6 cm)
一花穂の花数	中 (19.2 花)	(14.6 花)	(16.2 花)
一花穂の同時開花数	やや多 (7.5 花)	(6.4 花)	(6.7 花)
花穂の節間の長さ	中 (5.1 cm)	(5.2 cm)	(4.3 cm)
花穂の花の配列 ※	2列	1列	2列
ほうの先端の形	鋭形	鋭形	鋭形～鈍形
ほうのアントシアニン着色の強弱 ※	無又は極弱	無又は極弱	中
花の正面の形	星形	星形	星形
花の向き	半直立	半直立	半直立
花の幅	広 (11.3 cm)	(9.1 cm)	(10.2 cm)
花の主な色 (RHSカラーチャート) ※	50C	41B	68D
花の主な色の濃淡の変化	基部に向かって 淡くなる	基部に向かって 淡くなる	基部に向かって 淡くなる
花被筒部の長さ	中 (3.3 cm)	(3.0 cm)	(3.5 cm)
花被筒部の内面の斑点の数 ※	無	多	少
花被筒部の内面の斑点の分布	—	連続した筋	不整
花被喉部の外面の斑点の数 ※	無	中	少
花被喉部の外面の斑点の色	—	赤	赤
外花被片の形	卵形	楕円	卵形
外花被片の周縁部の波打の強弱	弱	弱	弱 (～中)
内花被片の周縁部の波打の強弱	弱	弱	弱 (～中)
内花被片の条線の有無 ※	有	有	無
内花被片の条線の長さ	長 (60.5 mm)	(32.3 mm)	(— mm)
内花被片の条線の幅	中 (4.6 mm)	(3.0 mm)	(— mm)
内花被片の条線の色	白	紫赤	—
内花被片の斑紋の有無	有	有	無
内花被片の斑紋の位置	基部	基部	—
内花被片に占める斑紋の大きさ	中	中	—
内花被片の斑紋の形	2型	2型	—
内花被片の斑紋の主な色 (RHSカラーチャート)	10D	59C	—
内花被片の斑紋の二次色 (RHSカラーチャート)	155A	—	—
内花被片の斑紋の周縁の形	かなり不整	かなり不整	—
内花被片の周縁部の複色の有無	無	無	無
内花被片の周縁部の複色の幅	—	—	—
内花被片の周縁部の複色の境界の形	—	—	—
内花被片の周縁部の複色の色	—	—	—
中央内花被片の向き	半直立～水平	半直立～水平	半直立～水平
中央内花被片の先端の向き	やや内曲	直	やや外反
花糸の主な色	白	白	淡桃
花糸の基部の小斑点の有無	無	無	無
花糸の主な色と比較した先端部の色	同色	同色	わずかに異なる色
やく隔の色	黄白	黄白	白
やくの口辺細胞の色	青味紫	桃紫	青味紫
花柱の主な色	白	白	白
花柱の基部の色	黄白	黄白	黄白
花柱の分枝の色 ※	白	赤	桃
球茎の肉の色 (RHSカラーチャート)	8B	8B	7A
開花始期 ※	極早	極早	早

注) ※：対照品種と明確な区別性が認められた形質

4 所内栽培試験

4.1 試験方法

花き形質、切花形質および球根への木子着生程度を明らかにするために、2010年から2014年まで、所内（生物工学研究所および園芸研究所）栽培試験を行った。対照品種として、‘常陸あけぼの’および‘トラベラ’を供試し、球根の大きさが2等級（球根の周径10～12cm）のものを定植した。試験として、露地季咲き栽培（4月中旬定植）、促成栽培、抑制栽培を行い、到花日数、切花長、花穂長、小花数、穂やけ症発生等を調査した。また、木子からの球根生産性を明らかにするために、2013年に、所内栽培試験を行った。対照品種として‘トラベラ’を供試し、木子（直径5～9mm程度）を3月下旬に各500ml定植し、10月下旬に掘り上げて等級別収量を調査した。栽培および肥培管理は茨城県花き栽培基準に準じて行った。

4.2 結果

所内栽培試験の結果を表2～表5に示す。‘常陸はつこい’の花の主な色はサーモンピンク色で、黄色のぼかしが入った（表2）。季咲き栽培における‘常陸はつこい’の到花日数は‘常陸あけぼの’と比較して、同日から3日（5カ年平均 0.8日）早かった。切花長は5カ年平均で114.0cmと‘常陸あけぼの’、‘トラベラ’と同等であったが、切花重は‘トラベラ’と比べて軽く、細身であった。花穂長、小花数、花径は‘トラベラ’と同等の大輪品種であり、同時開花数は‘常陸あけぼの’と比較して、わずかに多かった。促成栽培ではトンネルとマルチを組み合わせることで5月出荷が可能であり、穂やけ症の発生がほとんどなかった（表3）。定植時期別の穂やけ症の発生は、5月下旬定植、梅雨明け後の7月中下旬開花の作型から穂やけ症の発生が見られるようになり、7月下旬から9月上旬開花の作型は激発状態であった（表4）。切花長は6月4日定植、8月上旬開花から100cmに満たなくなり、7月30日定植、10月上旬開花から100cmを超えるようになった。球根生産性を見ると、球根への木子着生数は‘常陸あけぼの’よりやや少なく、‘トラベラ’より多かった（表2）。また、木子からの球根生産性を調査した結果、切花生産で使用される3等球および4等球の球根数が‘トラベラ’と比べて有意に多く、高い生産性を示した（表5）。

表2 グラジオラス‘常陸はつこい’の季咲き栽培（4月中旬定植）における特性

（生物工学研究所 2010～2014年）

品種	年度	花色 ¹⁾	開花日	到花日数 ²⁾	切花長 (cm)	切花重 (g)	花穂長 (cm)	花径 (cm)	小花数	同時開花数	木子着生数 (個/球根)
常陸はつこい	2010	50C サーモン ピンク・ 黄ぼかし	6/23	70	99.5	—	49.5	9.8	14.6	6.1	55.8
	2011		6/28	75	121.5	—	55.9	9.7	17.5	6.9	25.6
	2012		6/25	74	123.6	—	61.2	9.7	19.4	7.4	105.8
	2013		6/28	79	96.1	72.5	42.5	9.6	12.3	6.3	—
	2014		6/30	80	129.5	136.6	51.1	11.0	15.5	7.5	41.9
	平均			75.6	114.0	104.6	52.0	10.0	15.9	6.8	57.3
常陸あけぼの	2010	41B 明橙赤	6/26	73	112.1	—	54.6	7.8	14.3	6.5	55.8
	2011		6/28	75	114.2	—	47.6	9.9	14.8	5.3	69.9
	2012		6/26	75	127.2	—	68.6	8.9	18.1	6.8	134.8
	2013		6/28	79	119.3	72.3	47.1	7.7	12.3	3.0	—
	2014		7/2	80	107.7	92.3	49.6	9.0	11.8	6.3	—
	平均			76.4	116.1	82.3	53.5	8.7	14.3	5.6	86.8
トラベラ	2010	68D 鮮ピンク	7/6	97	103.1	—	45.7	9.6	13.6	5.5	26.5
	2011		7/9	86	114.2	—	47.6	9.9	14.8	5.3	15.6
	2012		7/8	87	126.1	—	61.4	11.0	18.1	7.2	59.4
	2013		7/17	98	94.8	—	56.3	9.6	15.8	6.4	—
	2014		7/11	91	134.0	182	54.1	10.8	15.1	6.0	29.2
	平均			91.8	114.4	182.0	53.0	10.2	15.5	6.1	32.7

1) RHSカラーチャートによる。

2) 2010年、2011年は4/14定植、2012年は4/12定植、2013年は4/10定植、2014年は4/11（常陸はつこい、トラベラ）と4/13（常陸あけぼの）に定植。

表3 グラジオラス‘常陸はつこい’の促成栽培における特性（園芸研究所 2014年）

品 種	定植日 (作型)	開花日	到花日数 (日)	切花長 (cm)	切花重 (g)	花穂長 (cm)	小花数
常陸はつこい	1/23	5/24	121	95.9	82.9	52.0	16.2
トラベラ	(トンネル +マルチ)	6/1	129	112.3	186.7	58.4	17.1
常陸はつこい	2/20	6/11	111	90.1	99.6	56.7	16.7
トラベラ	(マルチ)	6/17	117	104.9	214.6	58.7	17.5

表4 グラジオラス‘常陸はつこい’の定植時期別の特性（生物工学研究所 2012年）

定植日 (月/日)	開花日 (月/日)	到花日数 (日)	切花長 (cm)	穂やけ症発生 (達観評価)
5/1	7/6	66	126.0	
5/8	7/13	66	123.4	
5/14	7/18	65	125.4	
5/23	7/26	64	120.6	中発
5/29	7/30	62	116.0	激発
6/4	8/5	62	92.4	激発
6/11	8/9	59	93.4	激発
6/18	8/18	61	95.2	激発
6/26	8/31	66	73.0	激発
7/2	9/4	64	77.6	激発
7/9	9/12	65	83.4	少発
7/17	9/21	66	97.0	微発
7/23	10/2	71	97.8	微発
7/30	10/8	70	100.2	
8/7	10/18	72	103.0	

表5 グラジオラス‘常陸はつこい’の木子からの球根生産性（生物工学研究所 2013年）

品 種	反復	球根数（個）					計	木子 (ml)
		特大	大 (1等球)	中 (2等球)	小 (3等球)	極小 (4等球)		
常陸はつこい	1	12	36	37	58	119	262	1000
	2	2	24	32	47	140	245	1200
平均		7.0	30.0	34.5	52.5*	129.5**	253.5**	1100.0
トラベラ	1	2	15	27	20	24	88	950
	2	10	22	18	22	21	93	1100
平均		6.0	18.5	22.5	21.0	22.5	90.5	1025.0

注) 3月下旬定植（木子500ml），10月下旬に掘上。

*：t検定（5%水準），**：t検定（1%水準）で有意差ありを示す

1) 木子は含めない

5 市場性評価

5.1 試験方法

市場性評価は2012年および2013年に行った。2012年は、7月に東京都中央卸売市場2社に、季咲き栽培で生産した切花を持参し、アンケート調査を実施した。2013年は、5月15日に茨城県切花流通研究会会員である東京都中央卸売市場12社に、5月22日にH社を経由して取引がある仲卸業者に、促成栽培で生産した切花を送付し、アンケート調査を実施した。調査項目は花色や花形、外観の印象などの商品性を3段階評価で、

期待される用途を選択評価とした。

5. 2 結果

市場性評価の結果を表6、表7に示す。市場関係者による評価では、花形については、2012年は普通が良よりもわずかに多く、2013年は良が多かった（2012年はデータ省略）。その他の項目は、2カ年とも同様の結果を示した。すなわち、花の大きさについては良が多いが、花色および商品性は普通が多かった（表6）。仲卸業者による評価では、花色、花形については良が普通よりもわずかに多く、商品性は良と普通が同数だった。また、意見として、早期出荷が見込めるのは良いと評価された一方で、純粋なピンク色ではないため、色の表記に注意が必要との指摘があった。茎の細さについてはボリュームを求める使い方ができないというマイナス評価と、生け花や花束等のアレンジに良いとのプラス評価に分かれた。また、期待される用途では、重複回答を含む選択率による評価で、市場関係者からは生け花（50.0%）、ブライダル（41.7%）、花束（33.3%）の順に多く、仲卸業者からの評価では、ばら売り（87.5%）、花束（37.5%）、生け花（37.5%）の順で多かった（表7）。

表6 グラジオラス‘常陸はつこい’の市場性評価（園芸研究所 2013年）

	極良	良	普通	悪	極劣
花色	—	●●○○○ ○○	●●●●● ●●●●● ○○○	—	—
花の大きさ	—	●●●●● ●●●○○ ○	●●●●○ ○○○○	—	—
花形	—	●●●●● ●●●○○ ○○○	●●●●○ ○○	—	—
商品性	—	●○○○○	●●●●● ●●●●● ○○○○	●	—
コメント	<p>（長所）大輪系なのが良い。色合いは良い。茎があまり太くないため、生け花や花束等のアレンジに良い。全体的なバランスが良い。早期出荷が見込めるのは良い。</p> <p>（短所）ピンク系としてはオレンジ色が濃く、あまり良くない。色の表記に注意が必要。好みが分かれる。細いため、ボリュームを求める使い方ができない。暑さに弱く夏場に出荷できないのが気になる。花穂先の曲がり、葉先のやけが気になる。</p>				

●：市場関係者（12名），○：仲卸業者（8名）

注）調査時期：5月下旬（促成作型で栽培した切花での評価）

表7 グラジオラス‘常陸はつこい’に期待される用途（園芸研究所 2013年）

	ばら売り (%)	花束 (%)	アレンジ (%)	生け花 (%)	ブライダル (%)	葬儀 (%)	その他 (%)
市場関係者 ¹⁾	25.0	33.3	8.3	50.0	41.7	16.7	8.3
仲卸業者 ²⁾	87.5	37.5	12.5	37.5	0	0	0

1) 回答者12名の選択率（重複回答あり）

2) 回答者8名の選択率（重複回答あり）

6 現地適応性試験

6.1 試験方法

現地適応性試験は、2013年と2014年に行った。促成栽培（5月出荷作型）、抑制栽培（10月または11月出荷作型）を行い、収量、作りやすさ、切花品質、病害虫発生程度（赤斑病、アザミウマ、ダニ、その他病害虫）、穂腐れ症、穂やけ症発生程度、総合評価等の10項目について、5段階評価で生産者にアンケート調査を実施した。促成栽培では、トンネルとマルチを組み合わせた作型で2013年、2014年とも2月1日定植、抑制栽培では2013年は7月30日定植、2014年は8月17日定植とした。対照品種として、2013年は‘ソフィー’、2014年は促成栽培では‘グリーンアイル’、抑制栽培では‘フレボスピリット’を供試した。栽培は茨城県花き栽培基準に準じた。

6.2 結果

現地適応性試験の結果を表8に示す。総合評価は、促成栽培では2013年、2014年とも良であった（表8）。促成栽培では、極早生の特徴に加えて、切花品質はやや細身であるものの良好で、採花率も高く、葉が短いためトンネル栽培に適していると評価され、導入希望があった。その一方で、抑制栽培の総合評価では2013年は普通、2014年は良と評価された。2013年は穂やけ症の発生が著しかったこと、ボリュームが落ちる点が不安要素として挙げられ、導入には慎重な意見であった。2014年はボリュームに欠ける欠点が指摘されたが、穂やけ症の発生がなく、極早生の特徴から従来品種だと収穫が困難な遅い定植時期で収穫できたこともあり、導入希望があった。

表8 グラジオラス‘常陸はつこい’の現地適応性試験結果（園芸研究所 2013年、2014年）

2013年					2014年						
評価項目	極良	良	普通	劣	極劣	評価項目	極良	良	普通	劣	極劣
収量		●○				収量	●				○
作りやすさ		●○				作りやすさ		●○			
切花品質		●	○			切花品質		●	○		
赤斑病	●	○				赤斑病		●○			
アザミウマ		●○				アザミウマ				●○	
ダニ		●○				ダニ	●○				
その他病害虫		○	●			その他病害虫		●○			
穂腐れ症	●		○			穂腐れ症		●○			
穂やけ症			●		○	穂やけ症	○	●			
総合評価		●	○			総合評価		●○			
導入希望		有（促成）				導入希望		有（促成・抑制）			

●：促成栽培（5月出荷作型）、○：抑制栽培（10月または11月出荷作型）

注）現地：土浦市

評価：対照品種（2013年は‘ソフィー’、2014年は促成栽培では‘グリーンアイル’、抑制栽培では‘フレボスピリット’）と比較しての達観評価（5段階）、赤斑病、アザミウマ、ダニ、その他病害虫、穂腐れ症、穂やけ症は発生程度を示し、極少（極良）～極多（極劣）の5段階評価

7 考察

7.1 品種特性および市場性評価

茨城県ではグラジオラスの新たな需要喚起と主産県としての産地活性化を目的に、耐病性・早生性など栽培上有利な特性を持ち、また、茨城県の気象条件や作型に適合し、消費者ニーズにも適した新品種を育成するため、1983年に茨城県園芸試験場で交雑育種を開始した。これまでに、茨城県農業総合センター園芸研究所において、交雑育種により‘紫峰の朝’と‘舞姫’が育成され（浦野ら、1997、市村ら、2000）、

また、同生物工学研究所においては、突然変異育種により‘プリンセスサマー’（霞ら，2003），交雑育種により‘プリンセスサマーイエロー’（鈴木ら，2009），‘常陸あけぼの’（鈴木ら，2009），‘常陸はなよめ’（喜多ら，2015）を育成している。‘常陸はつこい’は‘舞姫’，‘常陸はなよめ’に次ぐ，ピンク系グラジオラスである。花色を比べると，‘舞姫’が鮮やかな淡い紫ピンク色（浦野ら，1997），‘常陸はなよめ’が明るいピンク色で白の条斑とぼかしが入る（喜多ら，2015）のに対して，‘常陸はつこい’はサーモンピンク色で，黄色のぼかしが入るのが特徴である。‘常陸はつこい’は花色が純粋なピンク色でないことから，色の表記に注意が必要である。‘常陸はつこい’の草姿はスリムだが，花数が多く，同時に6～7花が開花する。季咲き栽培における到花日数は‘常陸あけぼの’と比べて，同日から3日（5カ年平均 0.8日）早く，極早生である。促成栽培ではトンネルとマルチを組み合わせることで5月の早期出荷が可能である。この時期はグラジオラスの主要産地である鹿児島県と茨城県の出荷端境期にあたり，市場関係者からは早期出荷が見込めるのは良いと評価され，端境期の供給を担う品種として期待されている。国産グラジオラスの供給が鈍る端境期には，グラジオラスに代わる別の花材が使用されるなど，国産グラジオラス需要拡大の点で余地を残している。国内のグラジオラス主産地である鹿児島県，長野県，茨城県では，2015年から産地間で連携して，端境期における安定供給やリレー出荷の検討などを協議しているが，具体的な方策はまだ見出せていない。そうした状況の中，茨城県で‘常陸はつこい’が育成され，5月の端境期出荷が可能になることは国産グラジオラスの需要拡大，さらに産地活性化の点で期待されている。さらに，茨城県内で生産されている既存品種の中で最も早く開花することから茨城県産グラジオラスの出荷開始を告げるオリジナル品種として，県内産地のPRに大きく貢献できるものである。

一方で，市場関係者による商品性の評価は普通が多く，茎の細さについてはボリュームを求める使い方ができないというマイナス評価と，生け花や花束等のアレンジに良いとのプラス評価に分かれた。評価が分かれた要因としては，市場毎の客層が業務需要と量販・加工等で異なることが推察された。また，期待される用途としては，市場関係者，仲卸業者で共通して，生け花や花束を挙げていた。このことから，グラジオラスの主用途である冠婚葬祭での利用よりも生け花や花束での利用が見込まれる。

‘常陸はつこい’の種苗は茨城県グラジオラス球根協会により増殖されている。球根の生産性はグラジオラス新品種の普及に関わる重要形質である。例えば‘舞姫’は低い球根生産性等の特徴から普及が進まなかった品種である。‘常陸はつこい’の球根生産性を見ると，球根への木子着生数は‘常陸あけぼの’よりやや少なく，‘トラベラ’より多かった。木子からの球根生産は，切花生産で使用される3等球および4等球の球根数が‘トラベラ’と比べて有意に多く，高い生産性を示した。‘トラベラ’は県内球根生産農家が長年栽培してきた品種であることから，‘常陸はつこい’は球根生産性に問題が無いと考えられる。近年は球根肥大期にあたる夏期の猛暑や球根掘取時期に降雨が続き，品質の優れた球根を確保することが困難な状況が続いているが，‘常陸はつこい’は優れた球根生産性を有するので高品質な種苗の安定供給が可能であり，今後の普及が期待できる。

7. 2 栽培上の留意点

促成栽培による5月の早期出荷を想定すると，トンネルとマルチを利用した1月下旬以前の定植が望ましい。トンネルの除去は晩霜害の発生に注意して行う必要がある。また，穂やけ症の発生は梅雨明け後の7月中下旬開花の作型から見られるようになり，7月下旬から9月上旬開花の作型は激発状態であった。また，2013年の現地適応性試験における抑制栽培（7月30日定植，10月出荷作型）で著しい発生が認められた。さらに，切花長100cmの確保を勘案すると，季咲き栽培では定植時期は5月中旬以前，抑制栽培では定植時期は8月上旬以降に限定されると考えられる。

謝辞

本研究の遂行にあたり，現地適応性試験は土浦市の萩島一郎氏に担当していただいた。また，茨城県グラジオラス球根協会，茨城県農産物販売推進東京本部，茨城県農業総合センター，県南農林事務所経営・普及部門の皆様には多大なるご協力・ご助言をいただいた。さらに，農業総合センター管理課，当研究所臨時職員の皆様には試験ほ場の管理に多大なるご支援をいただいた。ここに記してこれらの方々々に心より感謝の意を表す。

引用文献

- 市村 勉・永井永久・本図竹司・浅野 昭・高城誠志 (2000) グラジオリス新品種‘舞姫’の育成経過および特性. 茨城農総セ園研研報 8 : 27-31.
- 今西英雄 (1989) 植物遺伝資源集成 (松尾孝嶺 監修). 第 3 巻 : 1077-1080.
- 鹿児島県 (2018) 農林水産省統計部調査対象外花きの生産状況調査結果.
- 霞 正一・高津康正・眞部 徹・林 幹夫・友常秀彦・佐久間文雄・江面 浩・雨ヶ谷 洋 (2003) グラジオリス新品種‘プリンセスサマー’の育成とその特性. 茨城農総セ生工研研報 6 : 1-8.
- 喜多晃一・坂井佳代子・鈴木一典・眞部 徹・高津康正・霞 正一・本図竹司・吉田稔之 (2015) グラジオリス新品種‘常陸はなよめ’の育成とその特性. 茨城農総セ生工研研報 14 : 22-28.
- 久賀保之 (2006) 茨城県における球根切花の生産現況と課題. 茨城県花き研究会会誌 8 : 3-5.
- 農林水産省 (2014) 品種登録審査調査基準グラジオリス属 (2011 年 11 月) : 1-26.
- 鈴木一典・高津康正・藤田光子・眞部 徹・友常秀彦・佐久間文雄・林 幹夫・霞 正一 (2009) グラジオリス新品種‘プリンセスサマーイエロー’と‘常陸あけぼの’の育成とその特性. 茨城農総セ生工研研報 11 : 15-21.
- 浦野永久・市村 勉・本図竹司・浅野 昭 (1997) グラジオリス新品種‘紫峰の朝’育成経過及び特性. 茨城農総セ園研研報 5 : 27-32.

Summary

A new gladiolus cultivar ‘Hitachi Hatsukoi’ was selected from 123 seedlings obtained by crossing between ‘Hana Kasumi’ and ‘Match Point’. The flower color of ‘Hitachi Hatsukoi’ is salmon pink with yellow mottle. It is extremely early flowering cultivar which takes 0~3 day (5-year average:0.8day) earlier in the natural flowering period compared to ‘Hitachi Akebono’. Furthermore, early shipment in May is possible by using both tunnel and multi in the forcing cultivation.

Keywords : gladiolus, cultivar, breeding, Hitachi Hatsukoi, extremely early flowering cultivar

外観画像分析によるクリ果実の品種判定

佐野健人¹⁾

(茨城県農業総合センター園芸研究所)

Determination of Chestnut Cultivars by Appearance Image Analysis

Taketo SANO¹

要約

クリ 8 品種を対象に側果を外側面側から撮影した外観画像分析による品種判定モデルの構築を試みた。外観として果皮色と輪郭を分析した結果、果皮色は貯蔵により変化したが、輪郭は貯蔵による変化が認められなかったことから、輪郭が品種の判定項目として適当と考えられた。輪郭をフーリエ記述子に変換して主成分分析を行い、マハラノビス距離を算出し、最小のマハラノビス距離を与える群を該当品種と判定する品種判定モデルを構築できた。1190 果を判定モデルで検証した結果、個体判定としての正答率は 54% であった。一方、生産現場では樹（品種）ごとにコンテナ収穫することが多いため、コンテナ単位など集団の品種判定モデルとしてボルダ方式による集計を採用すると、8 品種とも正しく判定できた。

キーワード：クリ，画像分析，品種判定，輪郭，果皮色

1 はじめに

本県は生産量・出荷量ともにクリの全国一の産地である。クリ果実は、‘利平’等の品質が良く高単価が期待される品種や‘ぼろたん’のように性質（剥皮性）の異なる品種以外では、品種を区別して取り扱われることは一般的ではないが、本県の一部の産地・団体・業者ではクリ果実を品種別に集出荷している。出荷までの貯蔵中に品種を混同、判定困難になる懸念から、著者は既報（佐野ら，2012）で、クリ‘ぼろたん’と‘国見’の果実の近赤外分光法による非破壊品種判別に取り組み、近赤外線 2 次微分スペクトルを PLS 回帰法による検量モデルに適合することで 9 割程度の正答率で判別可能と報告した。しかし、産地で取り扱われている品種はより多岐にわたる。また、果皮が厚いクリ果実への近赤外分光法の測定は、測定時間が一果実あたり数十秒～数分かかることから、より簡便な手法が期待されていた。品種判定の手法としては DNA 解析によるものも試みられているが（矢野，2004 門田，2017）、簡便な手法とは言い難い。そのような中、近年では画像処理技術が発達し、外観を撮影した写真をもとに、形状や色を定量的に取り扱うことができるようになった。そこで、本県で栽培されるクリの 8 品種について、果実の形状および果皮色を定量化し、品種の分類・判定を試みたので、その結果について報告する。なお、一部の産地・団体・業者では、低温貯蔵後に出荷をしているため、貯蔵前と貯蔵後の外観変化についても検討した。

2 材料および方法

2. 1 外観定量化のための画像データの収集

クリ果実は目視で選別した側果（外グリ）を用い、外側面側から外観を撮影した。撮影には、zoom を 3、focus を 40 に設定したビジュアルアナライザー VA300（A 株式会社）を使用した。

1) 現 茨城県霞ヶ浦環境科学センター

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

外観に、貯蔵による変化が見られるか検証するため、貯蔵前と貯蔵後に撮影を行い、それぞれの果皮色および輪郭を評価した。2013年は2時期（貯蔵前・9～10月と貯蔵後・11月）に、2014年は3時期（貯蔵前・9～10月と貯蔵後1・10月、貯蔵後2・12月）に撮影を行った。

2013年の貯蔵前の写真撮影は‘丹沢’が9月11日、‘ぼろたん’が9月18日、‘筑波’が10月2日、‘石鎚’が10月11日に、収穫当日の果実を用いて行った（表1）。なお、いずれも中庸な大きさの果実を目視で選び撮影に用いた。

2013年の貯蔵後の写真撮影は、収穫後0℃で貯蔵していた果実を用い、11月11日に行った。果実は、品種ごとに複数の収穫日の果実を混ぜて貯蔵したものから無作為に選別した8品種（‘丹沢’、‘ぼろたん’、‘国見’、‘利平’、‘銀寄’、‘筑波’、‘石鎚’、‘岸根’）の果実を用い、‘ぼろたん’は3L規格果、その他の品種は目視で中庸な大きさの果実を選び撮影対象とした。なお、2013年の貯蔵前と貯蔵後の写真撮影は別の果実を用いた。

表1 クリの収穫及び撮影日等

年	撮影時期等	撮影の有無	品種							
			丹沢	ぼろたん	国見	利平	銀寄	筑波	石鎚	岸根
2013	収穫日（貯蔵前）	有	9/11	9/18	—	—	—	10/2	10/11	—
	貯蔵後	有	11/11							
2014	収穫日	無	9/8	9/17	9/17	9/26	9/26	9/26	10/7	10/7
	収穫～撮影までの一時保管条件	無	2℃	9/17～9/18, 18℃		9/26～9/29, 18℃		9/18～9/19, 0℃		2℃
	貯蔵前	有	9/11	9/19	9/19	9/30	9/30	9/30	10/9	10/9
	貯蔵後1	有	10/17							
	貯蔵後2	有	12/24							

※ “—”：実施せず。

2014年は1品種あたり200果程度を供試し、貯蔵前と貯蔵後に撮影したが、個体の区別はつけず、また、完全に一致していない。つまり、‘丹沢’では9月8日収穫の2L果258果のうち100果を9月11日に貯蔵前の撮影を行い、258果を貯蔵して10月17日と12月24日に個体を区別せずに100果をそれぞれ選び撮影した。‘ぼろたん’は9月17日収穫の2L果を9月19日に貯蔵前の撮影を行った。‘国見’は9月17日収穫の果実のうち側果のみを選び、9月19日に貯蔵前の撮影を行った。‘利平’、‘銀寄’、‘筑波’は9月26日に収穫して中庸な大きさの側果のみを選び出し、9月30日に貯蔵前の撮影を行った。‘石鎚’は2L果、‘岸根’は3L果を10月7日に収穫、10月9日に貯蔵前の撮影を行った。貯蔵後の撮影は各品種とも‘丹沢’と同日の2回行った。

2013、2014年に撮影した果数を表2に示した。

なお、果実は水洗し、表面についた水をペーパータオルでふき取ってから撮影した。撮影後に果実を低密度ポリエチレン袋に入れ、袋の口を軽く折った状態で、次の撮影まで0℃で貯蔵した。

表 2 撮影したクリの果数

年	撮影時期	品種								計
		丹沢	ぼろたん	国見	利平	銀寄	筑波	石鎚	岸根	
2013	貯蔵前	30	30	—	—	—	30	30	—	120
	貯蔵後	52	43	11	49	64	106	67	92	484
-----		-----								-----
	貯蔵前	100	100	53	100	68	100	100	85	706
2014	貯蔵後 1	100	100	52	100	64	100	100	84	700
	貯蔵後 2	100	100	45	100	63	100	100	81	689
品種累計		382	373	161	349	259	436	397	342	2,699

※ “—”：データなし。

2. 2 果皮色による品種判定

得られた画像は、ビジュアルアナライザーVA300 (A 株式会社) 付属の「アルファソフト ver12.42」により表 3 の設定で各画像を処理し、それぞれの果実の画像を構成する画素を色別に集計した。

表 3 アルファソフト ver12.42 による果皮色の解析時の設定

項目	設定値
閾値	Lab
データタイプ	L : in 0-200, a : in 0-255, b : in 0-255
プリミティブパラメータ	オブジェクト, スペクトラム, プリミティブ
マルチオブジェクト	カラー距離 : 50, 最小サイズ : 10
スペクトラム	最小サイズ : 50
	値 最小 : 1, 平均値 最小 : なし

※ 各項目及び設定値の表記は、アルファソフト ver12.42 上の表記による。

なお、「閾値」とは、撮影画像から目的領域を抽出する際の基準値であり、ここでは表色形式として Lab を選択し、L 値 0~200 かつ a 値 0~255 かつ b 値 0~255 の色の領域のみを選択するよう設定している (L 値 201~255 の明るすぎる色領域は、背景として扱い、目的領域としないように設定した)。

2. 3 輪郭による品種判定

2. 1 で得た累計 2699 果分の各画像を Iwata ら (2002) によるソフトウェアパッケージ「SHAPE Ver.1.3」により、各果実の輪郭を標準化楕円フーリエ記述子 (調和数 20) に変換した (表 4 参照)。この処理により、標準化楕円フーリエ記述子のフーリエ係数は、x 座標分 2 ケ、y 座標分 2 ケ、調和数 (表 4 の Max Harmonic

表 4 SHAPE Ver.1.3 による果形特徴の解析時の設定

項目	内容
【プログラム】 ChainCoder	
Gray Scale	G (Green)
Ero Dil Filter	1
Dil Ero Filter	0
-----	-----
【プログラム】 Chc2Nef	
Max Harmonic No.	20
Normalization Method	based on the Longest radius

No.での設定項目) の 20 ケ分、合わせて $2 \times 2 \times 20 = 80$ ケが各果実当たり得られる。なお、標準化楕円フーリエ記述子へ変換時の角度調整は目視で行い、果頂部を最上部に配置した。

得られた標準化楕円フーリエ記述子の係数を、年、貯蔵前後および品種ごとに平均し、平均したフーリエ記述子の係数から年、貯蔵前後および品種ごとに平均果形（輪郭）をフリーソフトウェア「R」により作図した。

次に、2013年は貯蔵後の8品種484果、2014年の貯蔵前706果、合わせて1190果を対象に、Iwataら(2002)の方法を参考に、楕円フーリエ記述子のフーリエ係数を説明変数とした主成分分析を行い、主成分得点をもとに品種の判定モデルを作成した。

判定モデル作成の手順については以下の通りである（図1参照）。

まず、品種（目的変数）とフーリエ係数（説明変数）のデータを用意する。試料件数を n 件、説明変数の数を m 件とすると、 n 件の試料それぞれに、1 件の品種情報と m 件の説明変数データがあるため、 n 件 \times $(1+m)$ 件のデータセット（ n 行 \times $(1+m)$ 列）となる。

手順（1）～（12）により、判定モデルを作成した。

- （1） n 件 \times m 件の説明変数に対して主成分分析を行い、 n 件 \times m 点（ n 行 \times m 列）の主成分得点を得る。
- （2）各列の主成分得点に対し、統計的に有意な品種差があるか分散分析を行う。
- （3）有意差のない k 列を除く。 n 行 \times $(m-k)$ 列の主成分得点データセットが得られる。

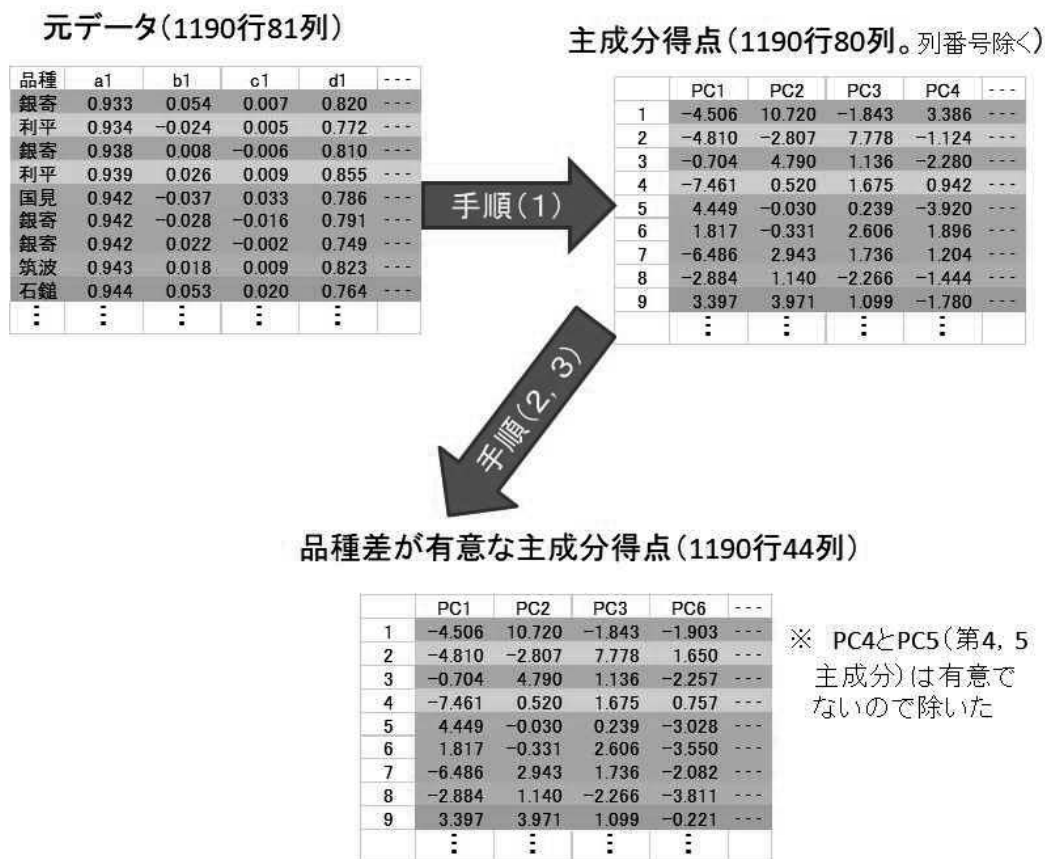


図1 (1/5) クリの輪郭をもとにした品種判定モデルの作成手順（本文（1）～（3））

- （4）1 列目のみを抜き出して、 n 行 \times 1 列の主成分得点データセットを得る。
- （5）任意の 1 件の試料データ x_1 を除く（ x_1 は 1 行 1 列）。残りの $(n-1)$ 行 \times 1 列のデータセットを A とすると、 A を品種別に分ける（品種別に $A_1 \sim A_8$ とする）。
- （6） x_1 , $A_1 \sim A_8$ の 1 列目の主成分得点を用い、 x_1 と A_i ($i=1 \sim 8$) それぞれのマハラノビス距離を求める。
- （7） x_1 は、最小のマハラノビス距離を与える A_i 群の品種だと判定する。
- （8）（7）の「 x_1 が品種 i である」という判定が、正か誤か評価する。

- (9) (5) ~ (8) の手順を別の試料データ x_h ($h=1\sim n$) についても繰り返す。
 (10) x_1 から x_n までの品種判定の正・誤件数をまとめ、正答率を求める。

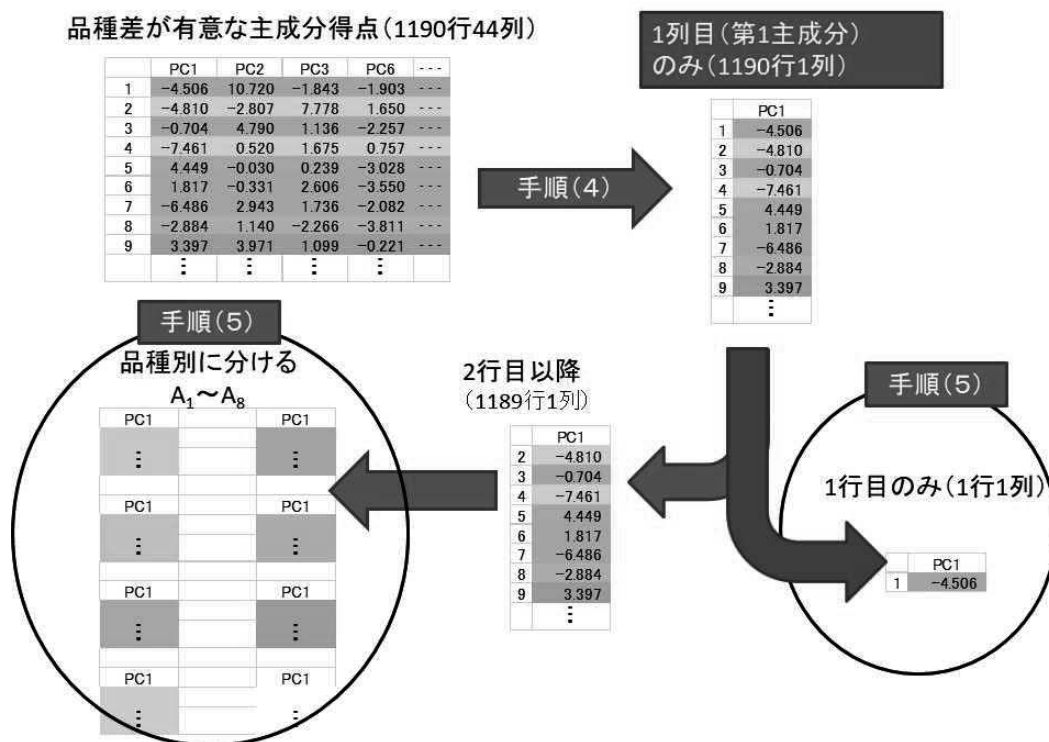


図1 (2/5) クリの輪郭をもとにした品種判定モデルの作成手順 (本文 (4) ~ (5))

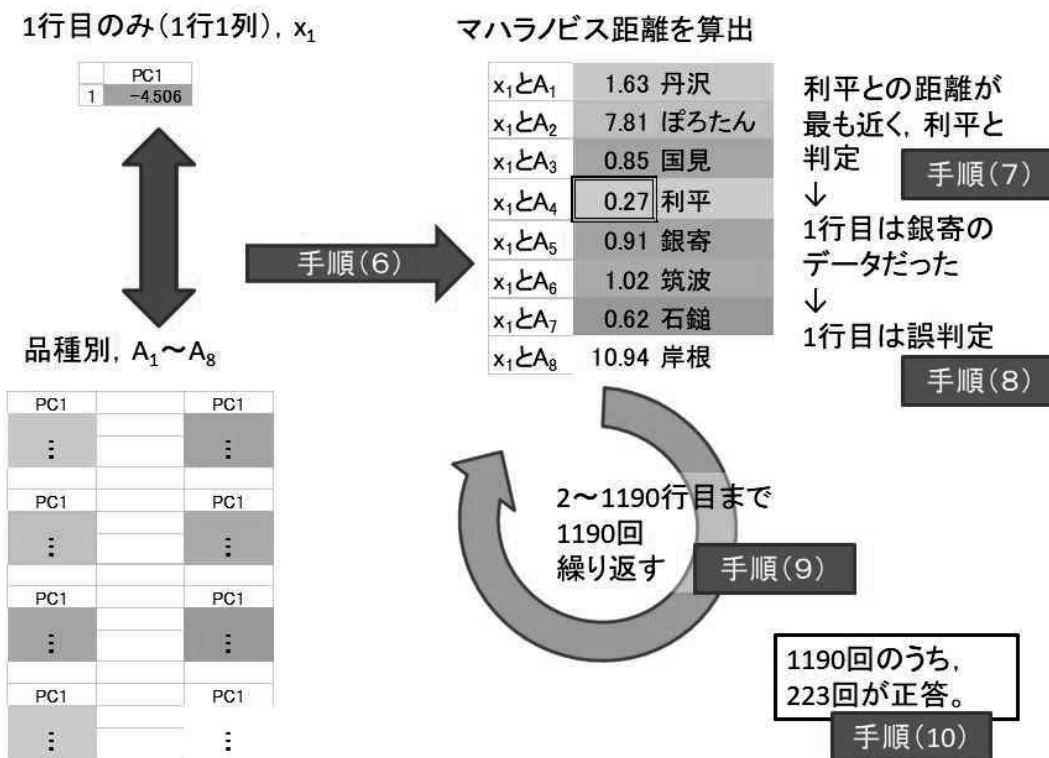


図1 (3/5) クリの輪郭をもとにした品種判定モデルの作成手順 (本文 (6) ~ (10))

(11) (3) で得た n 行 \times $(m-k)$ 列のデータセットから、 $1 \sim g$ 列目 ($g \leq m-k$) を抜き出した n 行 g 列のデータセットに対し、(5) ~ (10) を行う。

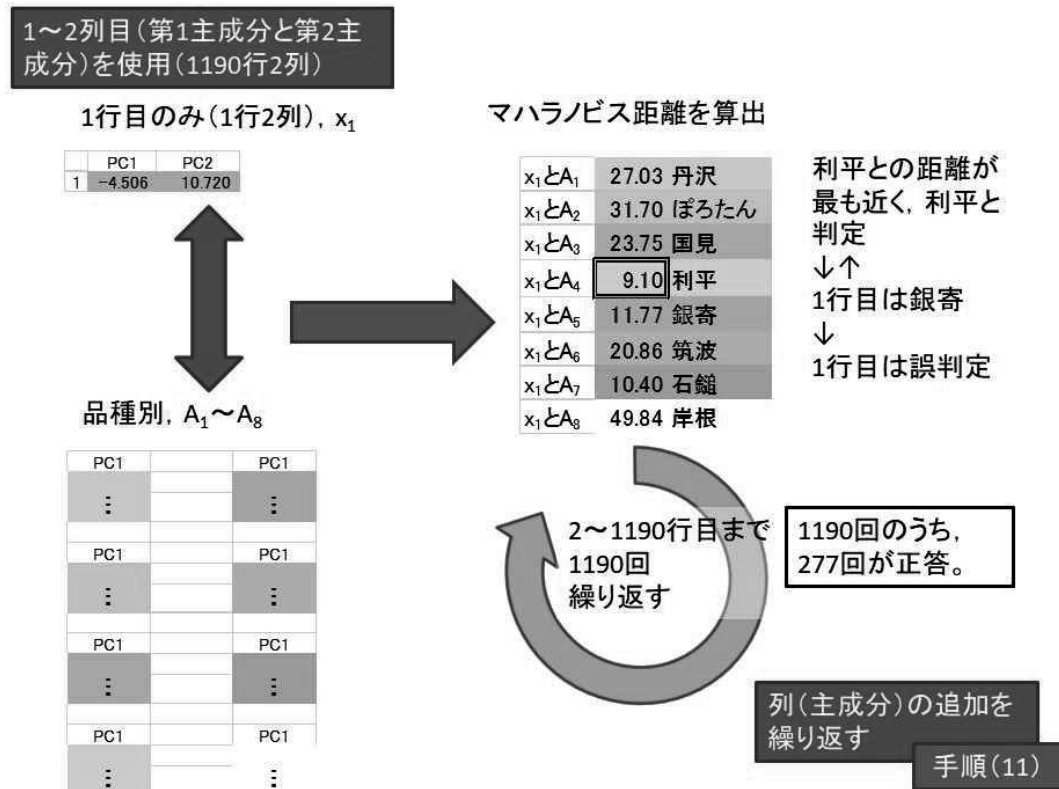


図1 (4/5) クリの輪郭をもとにした品種判定モデルの作成手順 (本文 (11))

(12) 1列目のみを抜き出した場合の正答率と、 $1 \sim 2$ 列目を抜き出した場合の正答率、 $1 \sim g$ 列を抜き出した場合の正答率を比較し、正答率が減少に転じる列数を f ($f \leq g$) とすると、 $f-1$ 列目までの主成分得点を利用する。

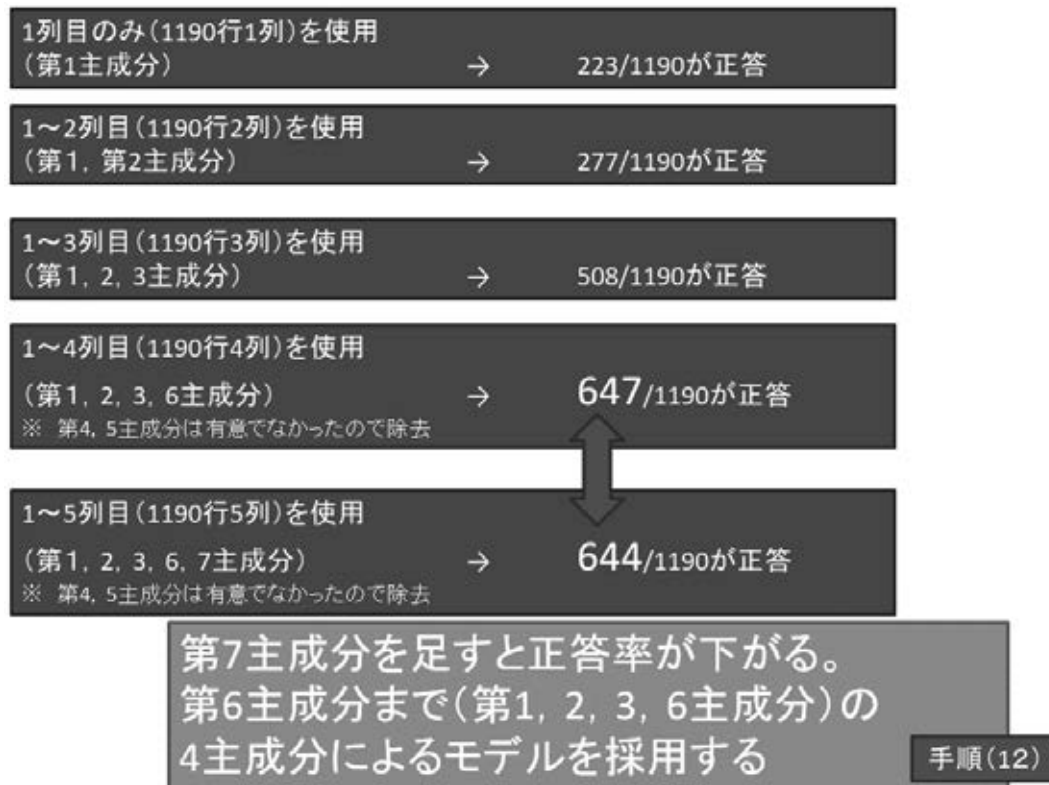


図 1 (5/5) クリの輪郭をもとにした品種判定モデルの作成手順 (本文 (12))

ところで、クリの収穫時期は品種ごとに概ね一定しており、品種ごとに収穫し、コンテナ等に入れて貯蔵される。そのため、果実個体での判定ではなく、コンテナ毎にどの品種か判定するような、果実を集団として品種判定する場面が想定される。「果実 3 ヶが品種 A にもっとも良く似ていて、品種 C にやや似ており、品種 B には似ていないが、4 ヶは品種 B にもっとも良く似ていて、品種 A にやや似ており、品種 C には似ていない。」といったような状況で、どの品種か判定するための方法として、ボルダ方式による集計を試みた。単純集計とボルダ方式による品種判定の概念図を図 2 に示した。ボルダ方式は、 n 個の順位のうち、最高位に n 点、次点に $n-1$ 点、次次点に $n-2$ 点…最下位に 1 点と各順位に得点を傾斜配分した上で集計する方式で、品種判定の場合では「もっとも似ているわけではないが、かなり似ている」というケースも判定に反映させることができる。すなわち、最小のマハラノビス距離を与える品種候補にボルダ得点 8, 次に小さい距離の品種候補にボルダ得点 7 と、マハラノビス距離の小さい順に 8 から 1 へと点数を付し、ボルダ得点の合計が最も大きい品種候補と判定した。

品種がわからない 10 果の測定結果

番号	マハラノビス距離の小さい順		
	品種A	品種B	品種C
1	1位	3位	2位
2	2位	1位	3位
3	1位	3位	2位
4	2位	1位	3位
5	3位	2位	1位
6	2位	1位	3位
7	1位	3位	2位
8	2位	3位	1位
9	2位	3位	1位
10	2位	1位	3位

正答回数による集計

	品種A	品種B	品種C
1位	3	4	3
2位	6	1	3
3位	1	5	4

最もマハラノビス距離が短い(1位である)回数の多い、**品種 B だと判定**する。

しかし、**品種 B だとマハラノビス距離が遠い(3位の)回数も多い。**

ボルダ方式による集計

番号	ボルダ得点		
	品種A	品種B	品種C
1	3点	1点	2点
2	2点	3点	1点
3	3点	1点	2点
4	2点	3点	1点
5	1点	2点	3点
6	2点	3点	1点
7	3点	1点	2点
8	2点	1点	3点
9	2点	1点	3点
10	2点	3点	1点
合計	22点	19点	19点

ボルダ方式では、1位に3点、2位に2点、3位に3点で集計する。

↓

最高得点の**品種 A だと判定**する。

図2 マハラノビス距離の単純集計とボルダ方式による集計の比較概念図

3 結果および考察

3.1 果皮色による品種判定

果皮色は貯蔵に伴い変化した(図3)。貯蔵に伴い、明度の低い色(各図の横軸左方向)が減少し、明度の高い色(横軸右方向)が増加した。また、さらに貯蔵により特定少数の色に集中する傾向が見られた。貯蔵期間の長短でも果皮色占有率が変化した。(図3(2/3)および図3(3/3)の貯蔵後1と貯蔵後2を品種ごとに比較)。

以上のように、果皮色は貯蔵により変化した。そのため、貯蔵後の任意の時期で品種判定を行うことに、果皮色の情報は不相当と考えられる。

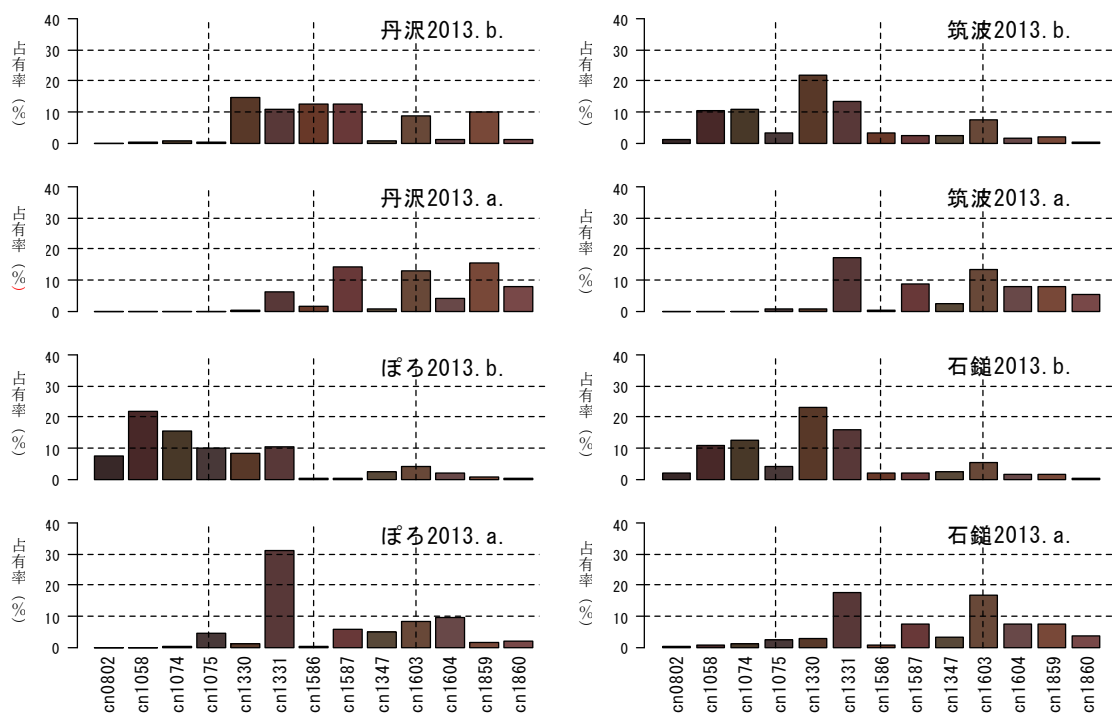


図 3(1/3) 貯蔵前後の品種ごと平均果皮色 (2013 年, ‘ぼろたん’ は「ぼろ」と略記)
 ※ 左に明度の低い, 右に明度の高い色を配置。貯蔵前果実 826 果を対象に, 各色の占有率の標準偏差が 3%を超えた 13 色のみを掲載した。横軸の“cn”を付した番号はビジュアルアナライザーの色番号
 b: 貯蔵前 (before), a: 貯蔵後 (after, 2013 年 11 月 11 日)

図 3 付表 ビジュアルアナライザーの色番号と RGB 値および色名*

色番号	R	G	B	色名
802	56	40	40	dark reddish brown
1058	72	40	40	dark reddish brown
1074	72	56	40	dark grayish yellowish brown
1075	72	56	56	dark grayish reddish brown
1330	88	56	40	dark brown
1331	88	56	56	dark reddish brown
1347	88	72	56	dark grayish yellowish brown
1586	104	56	40	deep brown
1587	104	56	56	deep reddish brown
1603	104	72	56	moderate brown
1604	104	72	72	dark grayish red
1859	120	72	56	moderate reddish brown
1860	120	72	72	dark red

※ いずれもビジュアルアナライザー独自の表記

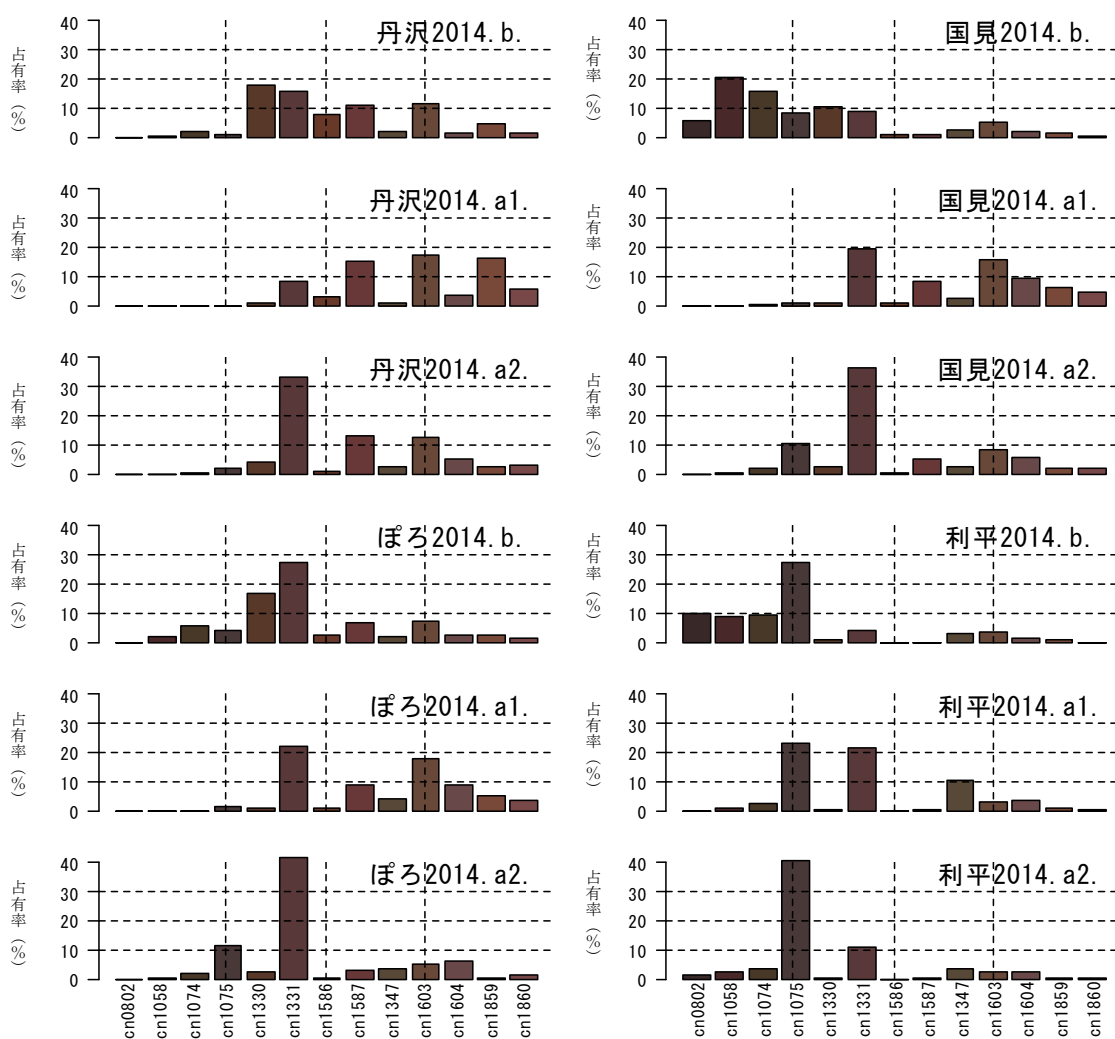


図 3(2/3) 貯蔵前後の品種ごと平均果皮色 (2014 年, 'ぼろたん' は「ぼろ」と略記)

※ b : 貯蔵前, a1 : 貯蔵後 1 (2014 年 10 月 17 日), a2 : 貯蔵後 2 (2014 年 12 月 24 日)。表 2 参照

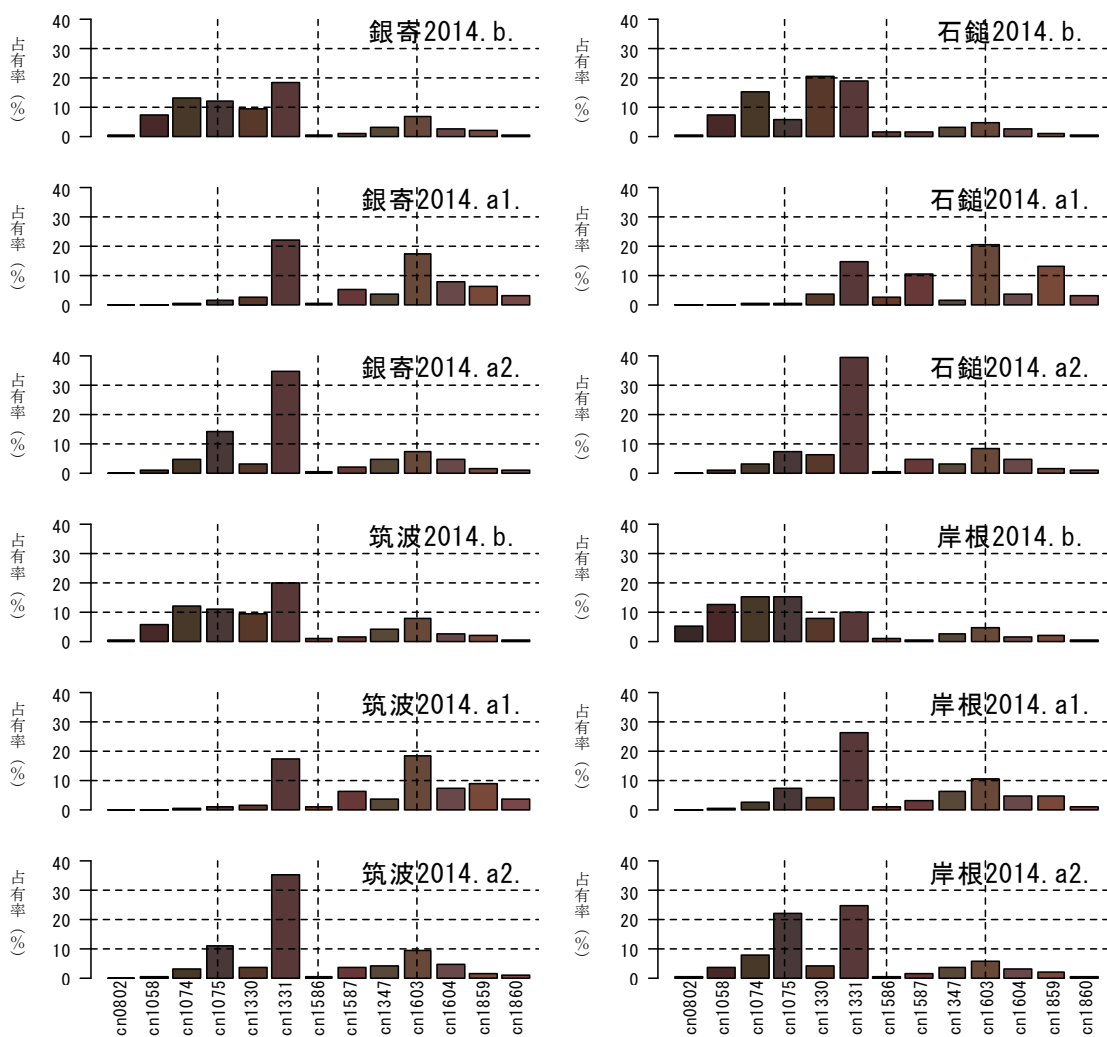


図 3(3/3) 貯蔵前後の品種ごと平均果皮色 (2014 年つき)

※ b : 貯蔵前, a1 : 貯蔵後 1 (2014 年 10 月 17 日), a2 : 貯蔵後 2 (2014 年 12 月 24 日)。表 2 参照

3. 2 輪郭による品種判定

2. 3により得られた標準化楕円フーリエ記述子の係数を, 年, 貯蔵前後および品種ごとに平均し, 平均したフーリエ記述子の係数から年, 貯蔵前後および品種ごとに平均果形 (輪郭) をフリーソフトウェア「R」により作図したが, 輪郭には貯蔵による変化は認められなかった (図 4)。

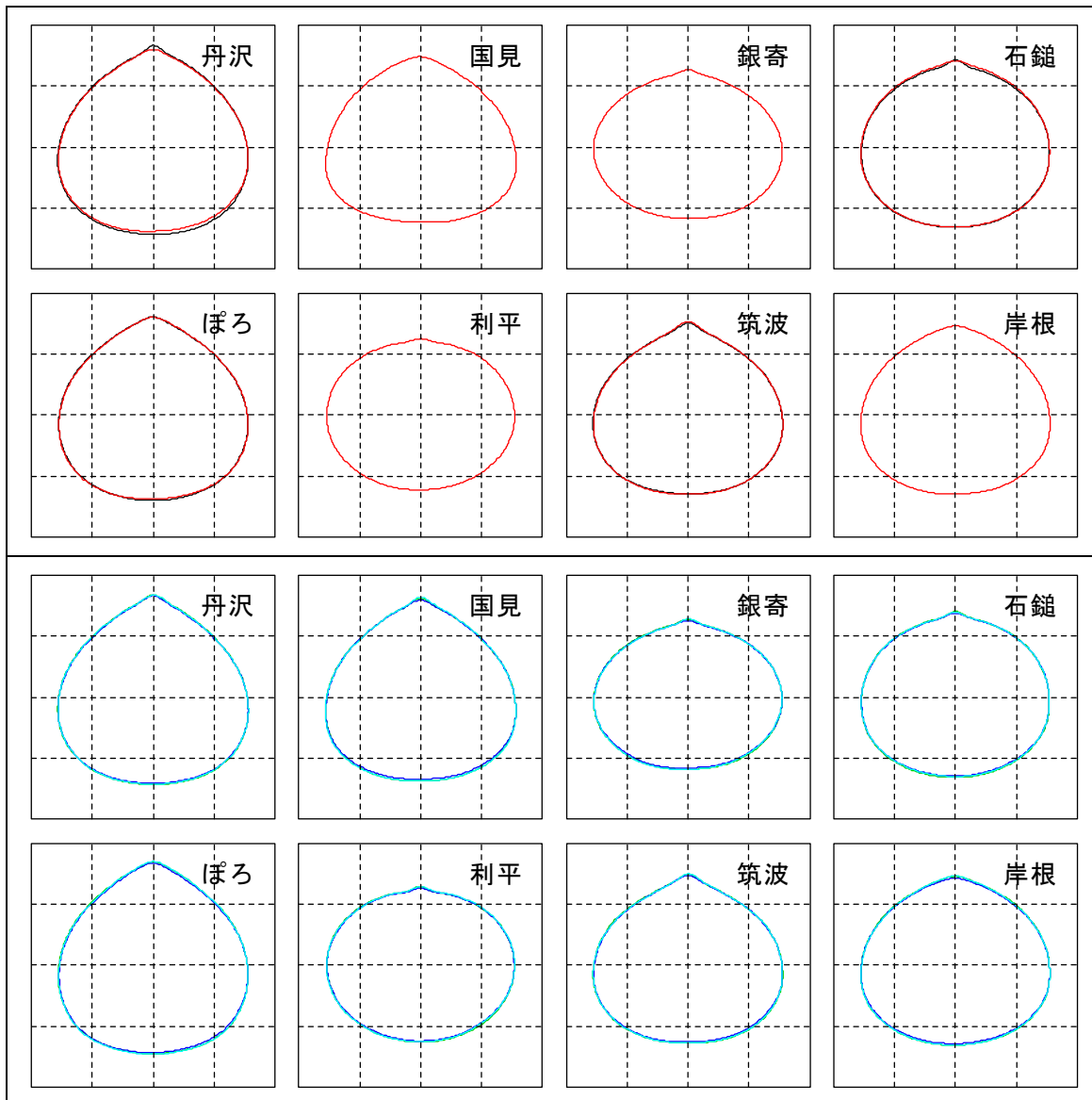


図4 貯蔵前後の品種別平均果形（輪郭）

※ 上段は2013年で、貯蔵前が黒線、貯蔵後が赤線

下段は2014年で、貯蔵前が緑線、貯蔵後1が青線、貯蔵後2が水色線

輪郭には貯蔵による変化は認められなかったため、以後2013年は貯蔵後の8品種484果、2014年の貯蔵前706果、合わせて1190果を対象に検討を行った。

2.3により、各果実の標準化楕円フーリエ記述子の係数の主成分分析を行ったところ、品種差が優位な44主成分を得た(図1(1/5))。44主成分のうち、品種の正答率が最も高くなる第1, 2, 3, 6主成分の4主成分による品種判定モデルを採用した(図1(5/5))。その結果、合計1190果中647果が正しい品種に判定され、全果実数ベースでの正答率が54%の判定モデルが作成できた(表5)。

なお、正答率が低い品種は‘丹沢’、‘国見’、‘岸根’だった。‘丹沢’と‘国見’では、互いの誤判定が多かったが‘国見’は‘丹沢’の子品種であり、また、‘岸根’は‘筑波’や‘石鎚’との誤判定が多かったが‘筑波’‘石鎚’ともに‘岸根’の子品種であり、これらの遺伝的関係が形質(果形)に影響したものと推測されるが、詳細については遺伝的解析も合わせた検討が必要である。

表5 果形（輪郭）からの品種判定結果

	判定結果(ヶ)								果数 小計 (ヶ)	正答 数 ¹⁾ (ヶ)	正答 率 ¹⁾ (%)	
	丹沢	ぼろ たん	国見	利平	銀寄	筑波	石鎚	岸根				
元の 品種 ²⁾	丹沢	53 (35)	24 (16)	39 (26)	0 (0)	0 (0)	21 (14)	1 (1)	14 (9)	152	53	35
	ぼろ たん	21 (15)	86 (60)	19 (13)	0 (0)	0 (0)	6 (4)	1 (1)	10 (7)	143	86	60
	国見	14 (22)	9 (14)	25 (39)	0 (0)	0 (0)	7 (11)	3 (5)	6 (9)	64	25	39
	利平	0 (0)	0 (0)	0 (0)	101 (68)	36 (24)	0 (0)	12 (8)	0 (0)	149	101	68
	銀寄	0 (0)	0 (0)	0 (0)	29 (22)	83 (63)	5 (4)	15 (11)	0 (0)	132	83	63
	筑波	13 (6)	2 (1)	19 (9)	0 (0)	8 (4)	129 (63)	20 (10)	15 (7)	206	129	63
	石鎚	0 (0)	0 (0)	7 (4)	13 (8)	15 (9)	13 (8)	107 (64)	12 (7)	167	107	64
	岸根	7 (4)	10 (6)	21 (12)	1 (1)	6 (3)	32 (18)	37 (21)	63 (36)	177	63	36
									1190	647	54	

1) 元の品種がどのくらい正確に判定されているか評価

例：‘丹沢’ 果実を判定すると、35%が‘丹沢’と正しく判定される。

2) 上段は果数（ヶ），下段のカッコ付き数字は果数小計を母数とした割合（%）

ボルダ方式による集計結果を図5に示した。8品種共に本来の品種が最も高いボルダ得点を獲得しており、正しく判定できたと認められる。

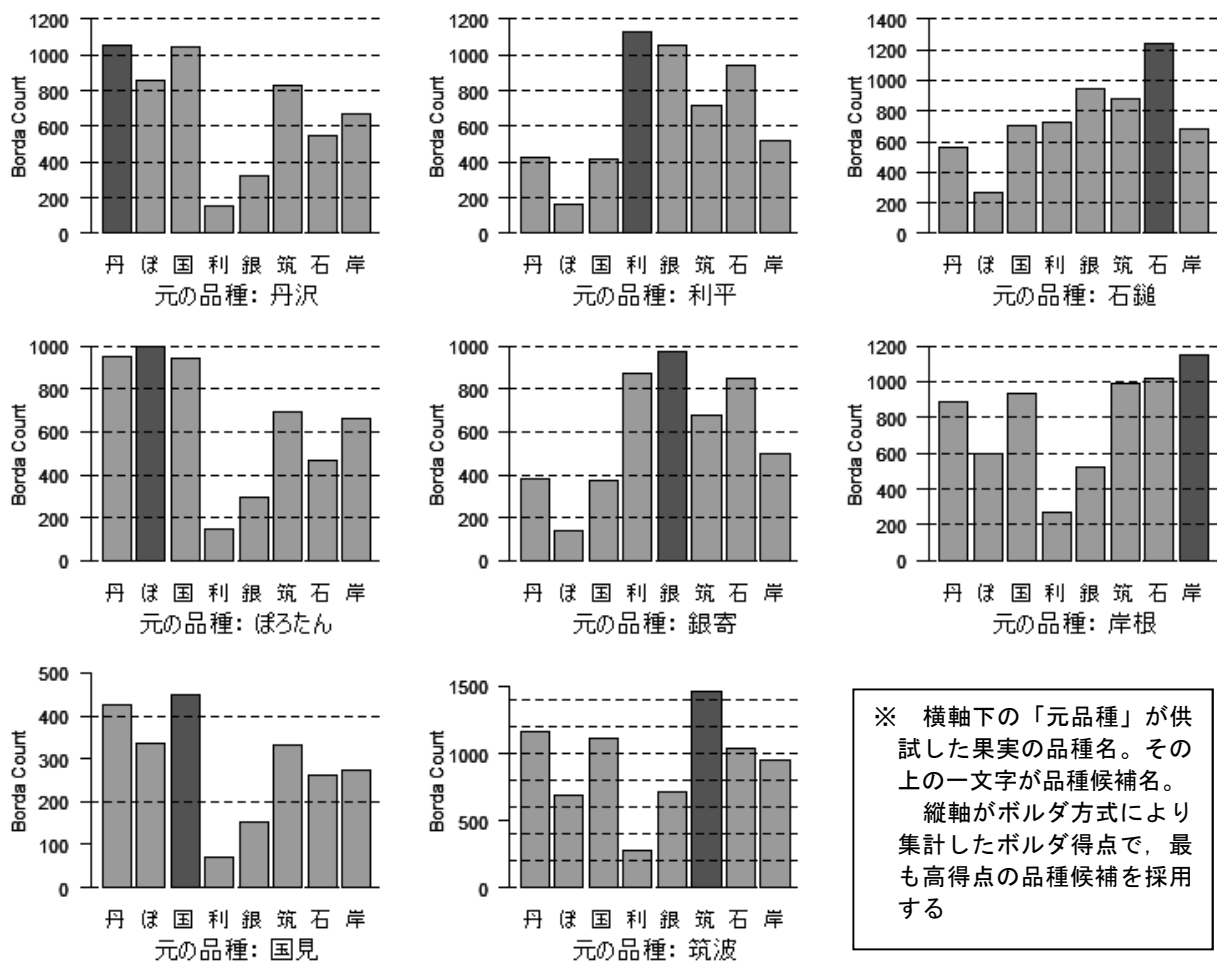


図5 ボルダ方式による集団の品種判定結果

輪郭からの品種判定では、一果実を対象に判定する場合（最小のマハラノビス距離となる品種と判定する場合）では54%程度の正答率に留まる。一方、果実集団を対象とする場合は、マハラノビス距離順の集計にボルダ方式を採用することで、品種判定が可能と考えられた。

今回の試験では、品種毎に中庸な大きさの果実を使用したが、大きさの違いが輪郭に差異を生じるかについては未検討である。

また、近年クリでは‘美玖里’や‘ぼろすけ’といった新品種も出てきており、今後栽培面積も増えることが予想されるので、今後はそれらの品種も併せた上で、判定可能か検証する必要がある。

摘要

クリ8品種を対象に、側果外側面側の外観を定量化した。クリ果実の果皮色は貯蔵により変化することが分かった。貯蔵により変化しない果形の画像情報から、クリ8品種の判定モデルを構築した。一果実の判定では正答率は54%程度にとどまるが、果実集団を対象とする場合はボルダ方式で集計することで品種を正確に判定できた。

引用文献

Iwata H. and Ukai Y (2002) SHAPE : A computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. *Journal of Heredity* 93:384-385

門田有希 (2017) 農作物・食品の品種判定検査技術の開発日本の大切な品種を守るために。化学と生物。

55(12) : 817-824

佐野健人・森田陽一・鹿島恭子 (2012) 近赤外分光法によるクリ ‘ぼろたん’ と ‘国見’ の非破壊判別.

茨城農総セ園芸研究所研究報告. 19 : 47-52

矢野 博 (2004) DNA 多型分析による品種識別の可能性. 農業および園芸. 79(1) : 131-136

Summary

An attempt was made to construct a variety determination model for eight chestnut varieties by analyzing the appearance image of the lateral side. As a result of analyzing the skin color and contour as the appearance, the skin color changed with storage, but the contour did not change with storage, so the contour was considered to be appropriate as a judgment item of the variety. A contour determination model was converted into a Fourier descriptor, a principal component analysis was performed, a Mahalanobis distance was calculated, and a model for determining a group that gave the smallest Mahalanobis distance as a corresponding variety could be constructed. As a result of verifying 1190 fruits with a judgment model, the correct answer rate as an individual judgment was 54%. On the other hand, containers are often harvested for each tree (variety) at the production site, so if the boulder method is used as a model for determining the variety of groups such as containers, it was possible to correctly determine all 8 types.

Keywords: chestnut, image analysis, cultivars determination, contour, skin color

茨城県における二条ハダカムギ‘キラリモチ’の特性および 高品質安定生産技術

四宮一隆・柳澤貴司¹⁾・菅 京子・寺門ゆかり²⁾・田中研一³⁾・福田弥生・森 拓也
(茨城県農業総合センター農業研究所)

Characterization and Optimum Cultivar Method of Two-rowed Naked Barley ‘Kirari-mochi’ in Ibaraki Prefecture

Kazutaka SHINOMIYA¹, Takashi YANAGISAWA, Kyoko SUGA,
Yukari TERAKADO, Kenichi TANAKA, Yayoi FUKUDA and Takuya MORI

要約

茨城県における二条ハダカムギ‘キラリモチ’の特性は、対照品種の二条カワムギ‘ミカモゴールドン’と比較して、オオムギ縞萎縮病I, II, IIIおよびV型に抵抗性を有し、出穂期はほぼ同等で、成熟期は2日～3日遅く、収量は同等～やや多く、現地ほ場でも360kg/10a以上の安定した収量が確保できるなどの栽培適性を持つ。また、 β -グルカンが高い特性を有する‘キラリモチ’の精麦加工適性評価は‘シルキースノウ’に比べ黄色味がやや強いが、黒条線が薄く、品質が良好である。以上のことから、2017年に奨励品種(認定品種)として採用し、2020年までに300haを目標に普及拡大を図ることとした。さらに、遅れ穂の発生を抑え、高品質で安定収量を得るのに適する栽培法を明らかにした。

キーワード：二条ハダカムギ‘キラリモチ’，奨励品種，遅れ穂，収量， β -グルカン

1 はじめに

茨城県の主要なオオムギ品種は、六条カワムギ‘カシマムギ’，六条カワムギ‘カシマゴール’，二条カワムギ‘ミカモゴールドン’で、ほとんどが麦茶用として加工されている。

一方、消費者の健康志向への高まりから生活習慣病に予防効果のある麦飯が注目され、実需者から本県の生産現場および関係機関に対し、精麦用オオムギ品種の生産が強く求められてきた。一方、生産現場からも、本県の主力オオムギ品種である‘カシマムギ’が、オオムギ縞萎縮病やその栽培性により収量、品質が安定しないため、オオムギ縞萎縮病に抵抗性を有し、栽培性が優れる品種の選定および導入が要望されてきた。このような実需者と生産現場の要望に応えるため、本県ではオオムギ縞萎縮病I, IIおよびIII型に抵抗性を有する、稈性の精麦用六条カワムギ‘シルキースノウ’を2007年に奨励品種(認定品種)として採用した。その後、2009年に‘シルキースノウ’の高品質安定栽培法を開発し、普及拡大に努めてきたが、需要動向の変化から、‘シルキースノウ’の作付面積は減少し、2011年には作付けがなくなり、奨励品種から除外した。

近年、生活習慣病に対して予防効果のある麦飯が再び注目を集めるようになり(青江, 2015)，精麦生産量が大幅に増加している(図1)。しかし、国内の生産量が需要に追いついていないため、外国産の輸入量が増加しており(図2)，国産の精麦用オオムギ品種の増産が強く求められている。特に、糯性の精麦用オオムギは、稈性と比較して良食感で、機能性成分である水溶性食物繊維(β -グルカン)を多く含む(Ullrich et al., 1986)ことから増産の要望が強く、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

1) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構次世代作物開発研究センター

2) 現 茨城県県南農林事務所, 3) 現 茨城県産地振興課

1 Address : Agricultural Research Institute, Ibaraki Agricultural Center, 3974 Daitokutyo, Ryugasaki, Ibaraki 301-0816, Japan

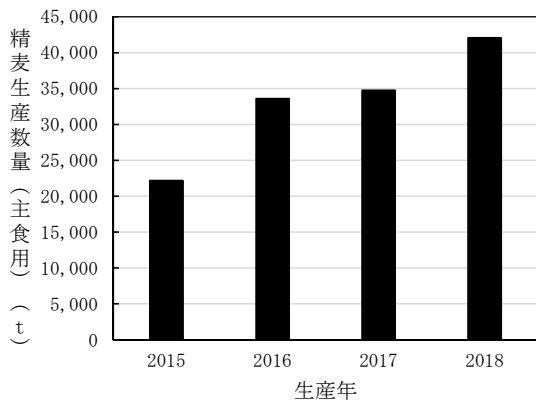


図1 全国の精麦生産量の推移

注1) 全国精麦工業協同組合連合会調べ。

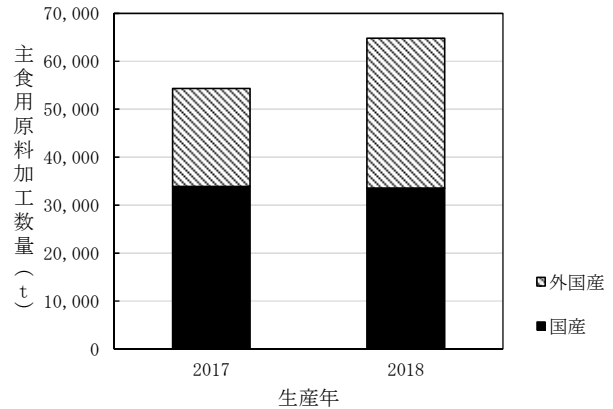


図2 主食用精麦の原料加工数量の

国産と外国産の内訳(2017年, 2018年)

注1) 全国精麦工業協同組合連合会調べ。

(以下, 農研機構) や各県が品種育成に努めてきた。その結果, 二条ハダカムギ ‘キラリモチ’ (Yanagisawa et al., 2011), 六条カワムギ ‘はねうまもち’ (関ら, 2018), 六条カワムギ ‘ホワイトファイバー’ (上原ら, 2016), 二条カワムギ ‘もち絹香’ (山口ら, 2019) といった品種が育成され, 国内産糯性オオムギ品種の種類は豊かになってきている。中でも, ‘キラリモチ’ は, 糯性(良食感), 高 β -グルカン(食物繊維に富む), プロアントシアニンフリー(炊飯後に褐変しにくい, 図3) の特性を有し (Yanagisawa et al., 2011), 健康面(青江ら, 2018) および品質面の両方で優位性があり, 実需者ニーズはかなり高い。また, 本県の二条カワムギの主力品種である ‘ミカモゴールドン’ は, オオムギ縞萎縮病IおよびII型に抵抗性を有するが, III型には罹病性であり (Kashiwazaki et al., 1989), 県内の一部の地域でIII型の発生による生育不良, 収量の低下が問題となっている(渡辺ら, 1995)。



図3 二条ハダカムギ ‘キラリモチ’ と六条ハダカムギ ‘イチバンボシ’ の炊飯12時間後の様子

一方，‘キラリモチ’はオオムギ縞萎縮病I，II，IIIおよびV型に抵抗性を有し（Yanagisawa et al.2011），‘ミカモゴールドン’と比較して本病の抵抗性に優れている。そこで，本県は奨励品種決定調査において，‘キラリモチ’の栽培性や精麦加工適性を調査し，良好な結果が得られたことから，2017年に‘キラリモチ’を認定品種に採用し，2020年までの普及目標面積を300haとした。また，2017年～2019年にかけて試験課題「二条ハダカムギ‘キラリモチ’の高品質安定生産技術の開発」の中で，栽培条件の違いが‘キラリモチ’の収量，遅れ穂数及びβ-グルカン含有率に及ぼす影響について調査し，遅れ穂の発生を抑え高品質で安定収量を得るのに適する栽培法を明らかにした。本報では，‘キラリモチ’の栽培性と精麦加工適性に加えて，遅れ穂の発生を抑え，高品質で安定収量を得るのに適する栽培法について報告する。

2 ‘キラリモチ’の来歴および育成地における特性評価

1999年に四国農業試験場（現 農研機構西日本農業研究センター）において，極低ポリフェノール（*ant28*），モチ性，二条，早生，多収を育成目標に，「四国裸103号」と「大系HL107」（後の「とちのいぶき」）のF₁（四交1951）を母親とし，「四国裸97号」を父親として交配を行った（Yanagisawa et al., 2011, 図4）。2001年にF₃をほ場で栽培し，以降，系統育種法により育成を進めた。2003年（F₅）より「四系9643」として生産力検定予備試験，2006年度（F₈）から同本試験に供試し，2007年に特性検定試験，系統適応性試験に供試した。その結果，地方系統名「四国裸糯119号」が付され，2008年（F₁₀）より関係各県における奨励品種決定調査に供試された。

育成地における特性評価（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構，Web閲覧）では，秋播き性程度はI，オオムギ縞萎縮ウイルスI，II，IIIおよびV型に抵抗性を有し，うどんこ病抵抗性は極強，赤かび病抵抗性はやや強，穂発芽性は易である。

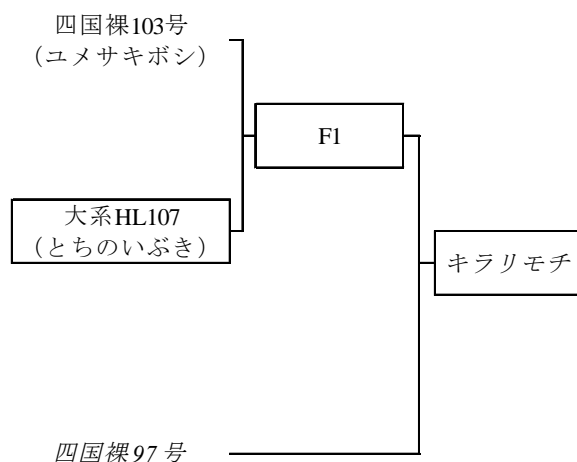


図4 ‘キラリモチ’の系譜図（Yanagisawa et al., 2011より作成）

注1) 四角で囲われているものはプロアントシアニジンフリー（*ant28*）を有する系統を示す。

注2) 斜体は糯性を有する系統を示す。

3 茨城県における‘キラリモチ’の特性調査

3. 1 材料および方法

3. 1. 1 試験年次および場所

生育および収量調査は，茨城県龍ヶ崎市の茨城県農業総合センター農業研究所水田利用研究室（中粗粒灰色低地土，以下，龍ヶ崎市）で2008年播種から8年間，水戸市の同研究所作物研究室（表層腐植質黒ボク土，以下，水戸市）と筑西市現地圃場（表層腐植質多湿黒ボク土，以下，筑西市）で2013年播種から3年間実施した。対照品種は，‘ミカモゴールドン’とした。実需者による精麦加工適性評価は，龍ヶ崎市の2012年播種産と2013年播種産のサンプルで実施した。対照品種は，過去に精麦用オオムギとして本県の

認定品種に採用された‘シルキースノウ’とした。

3. 1. 2 耕種概要および試験区構成

龍ヶ崎市は播種期が11月上旬、播種量は10kg/10a、播種様式は条間30cmのシーダーテープ播種、基肥量はN-P₂O₅-K₂O=8-12-11 (kg/10a)を播種溝施用、茎立期追肥窒素量は4kg/10aを表層施用した。なお、茎立期は主稈長が2cmとなった日とした。水戸市は播種期が11月上旬、播種量は10kg/10a、播種様式は条間30cmのドリル播き、基肥量はN-P₂O₅-K₂O=6-6-6 (kg/10a)を全面全層施用、追肥は無施用とした。筑西市は播種期が11月中旬、播種量は10kg/10a、播種様式は条間30cmのドリル播き、基肥量はN-P₂O₅-K₂O=6-6-6 (kg/10a)を全面全層施用、追肥は無施用とした。試験区は水戸市が9.6m²、龍ヶ崎市が12m²、筑西市が9.6m²で、2区制、乱塊法で配列した。

3. 1. 3 生育、収量および品質調査

出穂期は、有効分けつの40～50%が出穂した日、成熟期は、茎葉並びに穂首部分が黄化し、穂軸や粒は緑色が抜け、粒には爪跡がわずかにつき、ほぼ蠟ぐらいの固さに達した粒を付ける茎が正常に出穂、登熟した穂の80%以上に達した日として判定した。稈長および穂長は、糊熟期～黄熟期に1試験区当たり生育が中庸な株の中から10本を任意に抽出して測定した。穂数は、稈長および穂長の測定と同時期に、1試験区当たり1条内50cm幅の本数を測定し、1m²当たり本数に換算した。倒伏程度は成熟期に達観で0(無)～5(甚)の6段階評価とした。収量、千粒重、容積重およびタンパク質含有率は、成熟期に試験区中央付近の2.4m²(水戸市、筑西市)または2.7m²(龍ヶ崎市)を地際から刈り取り、網室等で乾燥後、脱穀、唐箕選により調製したサンプルで調査した。千粒重は子実20.0g当たりの粒数から換算し、容積重は子実150gをブラウエル穀粒計で測定した。子実水分は穀粒水分計(K社製ライスタf2)で測定した。収量、千粒重および容積重は子実水分12.5%換算値とした。タンパク質含有率は、近赤外線多成分分析装置(F社製インフラテック1241型)による子実水分13.5%換算値とした。整粒歩合は‘キラリモチ’が2.2mm、‘ミカモゴールド’は2.5mmの篩目による値とした。検査等級は、全農茨城県本部米穀総合課の農産物検査員による目視判定とした。

精麦加工適性評価は、関東地域麦新品种等品質評価協議会大麦研究会において、(株)N精麦が2012年播種産と2013年播種産の2年実施した。‘キラリモチ’と‘シルキースノウ’ともに2.2mm篩目で調製後のサンプルを供試した。精麦加工適性評価は、‘キラリモチ’は60%搗精、‘シルキースノウ’は55%搗精した丸麦の白度、搗精時間、碎麦率、黒条線の濃さと太さおよび外観品位の評価と、丸麦を黒条線で切断し、加工した切麦の白度、碎麦率、未切断粒率、外観品位の評価をもとに総合的に評価した。

3. 2 結果および考察

3. 2. 1 ‘キラリモチ’の生育、収量および品質

‘ミカモゴールド’と比較して、出穂期は、龍ヶ崎市で4月6日と1日早く、水戸市で4月13日と1日遅かった(表1)。成熟期は龍ヶ崎市で5月21日と2日遅く、水戸市で5月26日と3日遅かった。稈長は龍ヶ崎市で73cmと18cm短く、水戸市で87cmと10cm短く、筑西市で78cmと19cm短かった。穂長は龍ヶ崎市で6.2cmと1.1cm長く、水戸市で6.5cmと1.0cm長く、筑西市で6.1cmと0.6cm長かった。穂数は、龍ヶ崎市で841本/m²(対照比109%)、水戸市で1078本/m²(対照比120%)、とやや多い～多い、筑西市で598本/m²(対照比76%)と少なかった。倒伏程度は、龍ヶ崎市で0.1(対照0.8)と小さかった。水戸市と筑西市では‘キラリモチ’、‘ミカモゴールド’ともに倒伏は認められなかった。収量は、龍ヶ崎市で421kg/10a(対照比100%)、水戸市で516kg/10a(対照比105%)、と同等～やや多かった。容積重は龍ヶ崎市で852g/L(対照比118%)、水戸市で833g/L(対照比114%)と重かった。千粒重は龍ヶ崎市で34.7g(対照比91%)、水戸市で35.6g(対照比86%)とやや軽い～軽かった。整粒歩合は、龍ヶ崎市で91%、水戸市で96%と高かった。タンパク質含有率は、龍ヶ崎市で8.1%と0.9%高く、水戸市で9.9%と0.6%高かった。検査等級は龍ヶ崎市で1～2等、水戸市で1～2等となった。

現地ほ場である筑西市は、目標である360kg/10a以上の収量を毎年達成するとともに、龍ヶ崎市および

水戸市同様に、容積重は854g/L（対照比116%）、タンパク質含有率は対照品種に比べ高く、検査等級は毎年1等を得るなど、安定した収量および品質を確保できることを明らかにした。以上のことから、‘キラリモチ’は本県における栽培適性があると判断した。

一方で、2014年播種の龍ヶ崎市において、出穂期の約2週間前に氷点下となる低温に遭遇し、不稔が発生した（図5）。また、遅れ穂も発生し（図6）、収量は281kg/10aと少なかった（表1）。遅れ穂が発生すると、収穫適期の判定が困難になることから収穫の遅れを誘発し、それに伴う子実品質の悪化が懸念される。不稔の発生と遅れ穂の発生および収量の低下との関連は不明であるが、凍霜害の回避に適した播種期の選定や、遅れ穂の発生を抑え、多収を得るための栽培法の開発が必要である。

表1 ‘キラリモチ’の生育、収量および品質

試験場所	品種	播種年度	播種期 (月・日)	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏程度 (0-5)	収量 (kg/10a)	同左対照比 (%)	容積重 (g/L)	千粒重 (g)	整粒歩合 (%)	タンパク質含有率 (%)	検査等級 (等)
龍ヶ崎市	キラリモチ	2008	11.05	3.30	5.15	74	5.8	727	0.0	306	79	864	33.3	93	7.2	1
		2009	11.09	4.09	5.25	70	6.0	667	0.0	368	112	831	35.2	95	7.1	1
		2010	11.11	4.10	5.25	78	6.2	920	0.0	520	92	842	33.8	90	8.3	1
		2011	11.01	4.08	5.24	68	6.1	1,050	0.0	407	130	842	29.5	91	8.3	1
		2012	11.08	4.08	5.27	70	6.5	723	0.0	547	101	852	37.8	98	9.0	2
		2013	11.14	4.12	5.24	74	6.4	680	0.1	494	84	848	39.1	96	8.4	1
		2014	11.05	4.01	5.16	70	6.2	1,127	0.0	281	69	886	35.3	78	8.4	1
		2015	11.12	4.03	5.14	81	6.4	833	1.0	447	202	849	33.9	88	8.5	1
	平均	11.08	4.06	5.21	73	6.2	841	0.1	421	100	852	34.7	91	8.1	1.1	
龍ヶ崎市	ミカモ ゴールデン (対照)	2008	11.05	3.28	5.13	89	4.8	710	0.0	386	-	698	38.6	67	6.8	1
		2009	11.09	4.09	5.24	91	5.2	717	-	329	-	713	37.0	69	7.1	1
		2010	11.09	4.12	5.21	95	5.0	883	0.0	563	-	686	36.3	57	7.0	1
		2011	11.01	4.13	5.21	80	4.7	667	0.0	314	-	656	34.4	31	6.3	1
		2012	11.05	4.08	5.22	88	5.6	707	0.0	541	-	714	40.6	85	6.8	1
		2013	11.14	4.13	5.23	97	5.7	810	1.2	591	-	838	39.8	85	7.7	1
		2014	11.05	4.02	5.16	83	4.7	807	0.5	409	-	754	43.7	85	8.0	1
		2015	11.12	4.02	5.12	102	5.3	903	4.0	221	-	703	33.8	41	8.0	1
	平均	11.07	4.07	5.19	91	5.1	775	0.8	419	-	720	38.0	65	7.2	1	
水戸市	キラリモチ	2013	11.05	4.15	5.26	76	5.5	657	0.0	327	105	820	36.9	98	9.4	2
		2014	11.04	4.18	6.01	82	6.4	1,543	0.0	601	103	837	38.1	99	10.7	1
		2015	11.04	4.08	5.21	103	7.5	1,035	0.0	621	107	842	31.8	92	9.5	1
		平均	11.04	4.13	5.26	87	6.5	1,078	0.0	516	105	833	35.6	96	9.9	1.3
水戸市	ミカモ ゴールデン (対照)	2013	11.05	4.14	5.25	93	4.9	813	0.0	311	-	733	41.6	89	9.0	1
		2014	11.04	4.17	5.25	98	5.7	958	0.0	586	-	722	44.5	89	9.7	1
		2015	11.04	4.07	5.20	101	6.0	927	0.0	579	-	733	38.6	71	9.3	1
		平均	11.04	4.12	5.23	97	5.5	899	0.0	492	-	729	41.6	83	9.3	1
筑西市	キラリモチ	2013	11.14	-	-	79	6.3	607	0.0	411	100	857	39.8	98	8.7	1
		2014	11.04	-	-	77	5.9	600	0.0	387	82	851	40.1	99	8.8	1
		2015	11.14	-	-	77	6.0	588	0.0	367	80	855	37.0	96	8.3	1
		平均	11.10	-	-	78	6.1	598	0.0	388	87	854	39.0	98	8.6	1
	2013	11.14	-	-	96	5.4	673	0.0	410	-	740	43.3	94	7.7	1	
筑西市	ミカモ ゴールデン (対照)	2014	11.04	-	-	96	5.3	870	0.0	472	-	719	41.0	89	7.0	1
		2015	11.14	-	-	99	5.7	810	0.0	459	-	748	40.0	63	6.9	1
		平均	11.10	-	-	97	5.5	784	0.0	447	-	736	41.4	82	7.2	1



図5 ‘キラリモチ’の不稔発生の様子

注1) 光で透けている粒が不稔となった粒を示す。

注2) 写真は2015年4月23日撮影（この試験区の出穂期は2015年4月7日）。

注3) 2015年3月26日に-2.1℃，2015年3月27日に-0.9℃の最低気温を記録した（龍ヶ崎アメダス）。



図6 ‘キラリモチ’の遅れ穂発生の様子

注1) 穂首が曲がっているものが正常に登熟した穂であり，それより短く緑色が抜けていない穂が遅れ穂である。

注2) 写真は2015年5月21日撮影（この試験区の成熟期は2015年5月18日）。

注3) 2015年3月26日に-2.1℃，2015年3月27日に-0.9℃の最低気温を記録した（龍ヶ崎アメダス）。

3. 2. 2 実需者による‘キラリモチ’の精麦加工適性評価

経営所得安定対策における品質ランク区分では、主食用六条カワムギおよびハダカムギの評価項目は、容積重、細麦率、精麦白度および硝子率であり、それぞれ基準値と許容値が設定されている（表2）。また、実需者は搗精時間、砕麦の発生程度、黒条線支配率についても評価しており、搗精時間は短く、砕麦は少なく、黒条線支配率は低い方が高品質と評価される。

‘キラリモチ’における品質ランク区分の評価項目は、2012年播種産では容積重が基準値を下回ったが、2013年播種産では基準値を達成した（表3）。その他の項目は両年播種産ともに基準値または許容値を達成した。また、丸麦搗精の品質は、‘シルキースノウ’と比較して、‘キラリモチ’の方が白度は同等～やや劣ったが、搗精時間は短く、砕麦は同等、黒条線支配率は低かったため、高い評価となった。切麦搗精の品質は、白度はやや劣り、砕麦は同等～やや劣ったが、未切断粒率が少ないことから高い評価となった。丸麦搗精と切麦搗精ともに、‘キラリモチ’の方が、黄色味がやや強く、白度の評価はやや劣ったが、実需者が問題視する程度ではなかった。以上より、総合評価では同等となり、精麦加工適性に問題がないと判断した。

表2 品質ランク区分における主食用六条カワムギ
およびハダカムギの評価項目別の基準値と許容値
(農林水産省, 2006より作成)

評価項目	麦種	基準値	許容値
容積重	六条オオムギ	690g/L以上	-
	ハダカムギ	840g/L以上	-
細麦	六条オオムギ	2.2mm (篩) 下に2.0%以下	-
	ハダカムギ	2.0mm (篩) 下に2.0%以下	-
白度	六条オオムギ	43以上	40以上
	ハダカムギ	43以上	40以上
硝子率	六条オオムギ	40%以下	50%以下
	ハダカムギ	50%以下	60%以下

表3 ‘キラリモチ’の精麦加工適性評価

播種 年度	品種	原麦			丸麦搗精				切麦搗精			外観 品位	原麦 評価	丸麦 評価	切麦 評価	総合 評価	
		容積重 (g/L)	千粒重 (g)	硝子率 (%)	白度	搗精 時間 (分:秒)	砕麦 (%)	黒条線 支配率 (%)	外観 品位	白度	砕麦 (%)						未切断 (%)
2012	キラリモチ	B 833	A 40.0	A 49.5	C 42.8	A 11:45	A 0.5	A 10.6	C	B 45.0	A 4.0	B 5.5	C	5	4	4	4
	シルキースノウ (対照)	A 724	B 37.6	A 25.0	B 44.5	C 14:30	A 0.5	B 12.2	C	A 46.7	A 5.0	D 10.5	C	5	4	4	4
2013	キラリモチ	A 847	A 40.4	A 27.0	B 45.0	A 11:45	A 0.8	C 14.2	C	B 44.6	C 10.3	A 2.0	B	5	4	3	4
	シルキースノウ (対照)	A 719	B 35.1	A 29.5	B 45.0	C 14:45	A 0.8	C 15.7	C	A 45.9	B 8.8	D 9.3	C	5	4	4	4

注1) (株)N精麦による評価

注2) 判定基準：原麦、丸麦搗精、切麦搗精の調査項目を、A：上、B：上の下、C：中、D：中の下、E：下、F：問題あり、と判定した。

注3) 評価基準：判定基準をもとに、原麦、丸麦搗精、切麦搗精のそれぞれの評価を行い、それをもとに総合評価を行った。

5：優、4：良、3：可、2：劣、1：不可

注4) 判定基準の下の数字は測定値を示す。

4 ‘キラリモチ’の高品質安定生産技術の開発

4. 1 目的

‘キラリモチ’は気象条件や栽培条件によっては遅れ穂が発生しやすく、低収となる場合があるため、高品質多収栽培法の開発が生産現場から求められてきた。そこで、栽培条件の違いが‘キラリモチ’の遅れ穂数、収量および β -グルカン含有率に及ぼす影響について調査し、遅れ穂の発生を抑え、高品質多収を得るのに適する栽培法を検討した。

4. 2 材料および方法

4. 2. 1 基肥窒素量と茎立期追肥窒素量の組合せの影響（試験1）

試験は、茨城県龍ケ崎市の茨城県農業総合センター農業研究所水田利用研究室（中粗粒灰色低地土，以下，龍ケ崎市）において、2013年播種から2014年播種の2年実施した。播種期は2013年播種が11月9日，2014年播種が11月11日，播種量は10kg/10a，播種様式はシーダーテープ播種とした。基肥は播種溝施用，茎立期の窒素追肥は表層施用した。基肥窒素量（以下，基肥N）と茎立期追肥窒素量（以下，茎立期N）の組み合わせは以下のとおりとした。試験区は9m²，2区制，乱塊法で配列した。

(a) 6+2，(b) 8+0，(c) 6+4，(d) 8+2（基肥N+茎立期N）（kg/10a）

4. 2. 2 播種期の違いの影響（試験2）

試験は、2015年播種から2017年播種の3年実施した。基肥量はN-P₂O₅-K₂O=8-12-11（kg/10a）で播種溝施用し，茎立期Nは2kg/10aとした。各試験年の播種期は以下のとおりとした。試験場所，播種量，播種様式，基肥と茎立期追肥の資材および施用法，試験区の面積，区制および配列は試験1と同じ。

(a) 2015年播種：11月13日（標準），11月25日，12月4日

(b) 2016年播種：11月15日（標準），11月24日，12月4日

(c) 2017年播種：11月15日（標準），11月27日，12月4日，12月14日

4. 2. 3 播種量と基肥窒素量の組合せの影響（試験3）

試験は、2015年播種から2017年播種の3年実施した。播種期は2015年播種が11月13日，2016年播種が11月15日，2017年播種が11月15日とした。播種量と基肥Nの組み合わせは以下のとおりとした。また，茎立期Nは2kg/10aとした。試験場所，播種様式，基肥と茎立期追肥の資材および施用法，試験区の面積，区制および配列は試験1に準じた。

(a) 播種量：4，8，10，12（kg/10a），(b) 基肥N：4，6，8，10，12（kg/10a）

4. 2. 4 後期重点施肥法の影響（試験4）

試験は、2016年播種から2017年播種の2年実施した。播種期は2016年播種が11月14日，2017年播種が11月7日とした。本試験における後期重点施肥法とは，基肥を無施用とし，同量の窒素量を4葉期頃に施用する方法とした。なお，基肥は播種溝施用した。4葉期の窒素施用は表層施用した。茎立期Nは2kg/10aで表層施用した。試験場所，播種量，播種様式と試験区の面積，区制および配列は試験1に準じた。

(a) 試験区（後期重点施肥法）：基肥無施用，4葉期に窒素8～10kg/10a

(b) 対照区（標準基肥施用）：基肥N8～10kg/10a

4. 2. 5 土壌の違いが β -グルカン含有率に及ぼす影響（試験5）

試験は2017年播種の1年実施した。供試サンプルは，試験2～4で得られたものと，水戸市の農業研究所作物研究室（表層腐植質黒ボク土，以下，水戸市）における11月6日，11月20日，12月4日播種のものである。播種量は10kg/10a，播種様式はドリル播種とした。基肥量はN-P₂O₅-K₂O=6-6-6（kg/10a）とし全面全層施用，追肥は無施用とした。

4. 2. 6 生育, 収量および品質調査

主稈長が2cmとなった日を茎立期と判定し、茎立期の草丈、茎数、葉色 (SPAD値) を調査した。草丈は、1試験区当たり生育が中庸な株の中から10本を任意に抽出して測定した。茎数は、1試験区当たり1条内50cm幅の本数を測定し、1m²当たり本数に換算した。SPAD値は葉緑素計 (M社製SPAD-502) を用いて測定した。出穂期、成熟期および倒伏程度の判定と、稈長、穂長および穂数の測定法は「3. 1. 3 生育, 収量および品質調査」に準じた。なお、穂数は遅れ穂を含めて測定した。本研究では、遅れ穂は、成熟期になっても正常に登熟した穂に比べて稈長が短く、黄色や緑色が抜けていない穂と定義して、成熟期に遅れ穂のみを再度測定した。収量および品質は、成熟期に試験区中央付近の2.4m² (水戸市) または2.2m² (龍ヶ崎市) を地際から刈り取り、網室等で乾燥後、脱穀、2.2mmの篩目で調製したサンプルを調査した。千粒重、容積重、子実水分およびタンパク質含有率の測定法は「3. 1. 3 生育, 収量および品質調査」に準じる。整粒歩合は2.2mmの篩目による値とした。精麦は60%搗精で行い、精麦白度は玄米・精米白度計 (K社製C-600) を用いた。 β -グルカン含有率 (g/100gFW) は、2017年播種のみ試験2~試験5で得られた原麦と60%搗精麦を測定した。また、 β -グルカン含有率は、原麦粉および精麦粉を試料として、市販の測定キット (Megazyme Mixed-linkage beta-glucan assay kit) を用いてAOAC995.16法に基づいて測定した。検査等級は、全農茨城県本部米穀総合課の農産物検査員による目視判定とした。

4. 3 結果および考察

4. 3. 1 基肥窒素量と茎立期追肥窒素量の組合せの影響 (試験1)

茎立期は2013年播種が2014年3月17日、2014年播種が2015年3月13日であった。2013年播種、2014年播種ともに総施肥窒素量8kg/10aより10kg/10aの方が多収となった。遅れ穂が多発した2014年播種における、総施肥窒素量10kg/10aの組合せでは、基肥N6kg/10a+茎立期N4kg/10aより、基肥N8kg/10a+茎立期N2kg/10aの方が、遅れ穂の発生は少なく、27%多収であった。以上より、基肥を多くし、茎立期Nは2kg/10aまでとする基肥重点型の施肥法が、遅れ穂を抑制し安定収量を得るのに適している (表4)。

表4 基肥窒素量と茎立期追肥窒素量の組合せが‘キラリモチ’の生育, 収量に及ぼす影響

播種年度	播種期 (月・日)	総施肥窒素量 (kg/10a)	基肥N (kg/10a)	茎立期N (kg/10a)	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数		収量 (kg/10a)	容積重 (g)	千粒重 (g)	整粒歩合 (%)	タンパク質含有率 (%)	検査等級
									全体 (本/m ²)	遅れ穂 (本/m ²)						
2013	11.09	8	6	2	4.09	5.22	70	6.1	590	-	330	852	36.8	94	7.5	1
			8	0	4.09	5.22	68	5.8	583	-	310	853	37.5	96	7.8	1
		10	6	4	4.09	5.23	71	6.6	613	-	381	852	37.9	94	7.9	1
			8	2	4.09	5.22	74	6.2	640	-	362	854	37.3	95	7.7	1
2014	11.11	8	6	2	4.07	5.18	69	6.1	593	123	264	873	35.1	88	7.8	1
			8	0	4.07	5.18	71	5.8	603	13	269	874	35.0	93	8.0	1
		10	6	4	4.07	5.18	70	6.3	803	250	282	864	35.0	82	8.0	1
			8	2	4.07	5.18	75	6.4	800	127	357	867	35.8	94	8.3	1

注1) 試験は農業研究所水田利用研究室 (茨城県龍ヶ崎市大徳町, 中粗粒灰色低地土) で実施。

注2) 「-」は未調査を示す。

4. 3. 2 播種期の違いの影響 (試験2)

2015年播種、2016年播種は、いずれの播種期でも多収となり、遅れ穂の発生も少なかった。一方、遅れ穂の発生が多かった2017年播種の収量は、11月中の播種で375~436kg/10aであったが、12月中の播種では305~332kg/10aと少なく、遅れ穂は播種期が遅くなるほど多発した (表5)。茎立期の生育量 (草丈 (c

m) × 茎数 (本/m²) × 葉色 (SPAD)) と収量との間には有意な正の相関関係が認められた (図7) 。一方、播種期の違いに伴って得られた茎立期の生育量は、その後の発生する遅れ穂数との間には有意な負の相関関係が認められた (図7) 。このことから、‘キラリモチ’で遅れ穂を抑え多収を得るには、11月中下旬播種により茎立期の生育量を確保することが重要であり、‘キラリモチ’の播種適期は11月中旬～下旬であると推察された。なお、播種期によって精麦白度とβ-グルカン含有率は変動したが、播種期の早晩が両者に及ぼす影響については判然としなかった (表5, 図8) 。

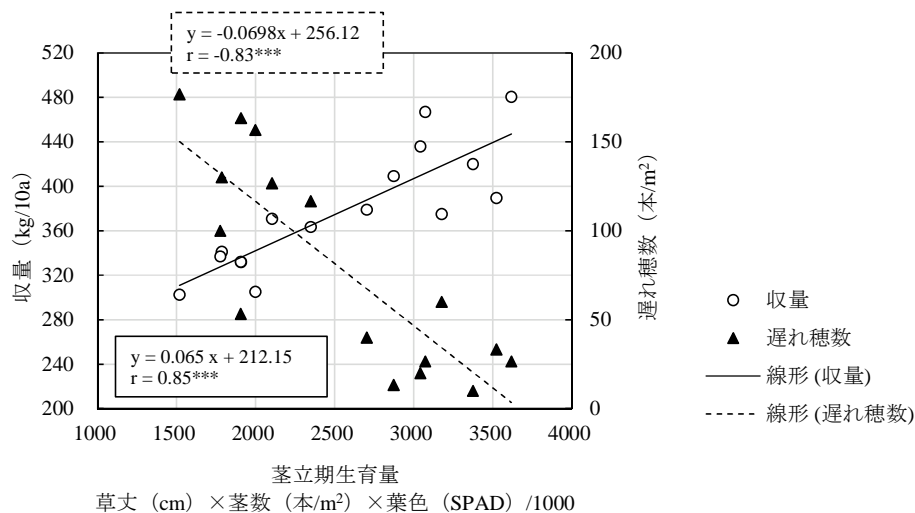


図7 ‘キラリモチ’における標準播種期から晩播の茎立期の生育量と収量、遅れ穂数との関係

注1) データは2017年播種。***は0.1%水準で有意であることを示す。

表5 播種期の違いが‘キラリモチ’の生育、収量に及ぼす影響

播種年度	播種期 (月.日)	苗立数 (本/m ²)	茎立期の生育				出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	穂数			千粒重 (g)	容積重 (g/L)	精麦白度
			草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉色 (SPAD)	生育量 (×1000)			全体 (本/m ²)	遅れ穂数 (本/m ²)	収量 (kg/10a)			
2015	11.13	267	23.5	1957	43.3	1994	4.02	5.15	930	10	477	35.0	861	-
	11.25	222	26.5	2160	43.8	2509	4.09	5.20	837	93	458	36.9	847	-
	12.04	250	30.4	2567	43.6	3401	4.13	5.24	893	20	449	36.5	848	-
分散分析		*	**	NS	NS	NS	-	-	NS	NS	NS	**	NS	-
2016	11.15	202	20.9	2277	48.4	2316	4.13	5.22	903	57	470	36.9	850	36.7
	11.24	237	28.7	2597	46.4	3459	4.18	5.26	843	20	497	38.5	848	39.9
	12.04	238	30.2	2467	45.7	3397	4.19	5.28	947	13	558	39.8	845	41.1
分散分析		**	**	NS	*	*	-	-	NS	NS	NS	**	NS	**
2017	11.15	223	24.8	2543	48.1	3028	4.10	5.19	747	20	436	39.6	851	41.2
	11.27	203	30.1	2410	43.7	3171	4.14	5.21	757	60	375	40.3	849	41.4
	12.04	205	30.7	1500	39.7	1828	4.15	5.22	723	163	332	40.3	845	40.8
	12.14	203	29.9	1537	43.6	2001	4.20	5.27	650	157	305	40.5	839	40.4
分散分析		**	**	*	**	NS	-	-	NS	**	*	NS	NS	NS

注1) 試験は農業研究所水田利用研究室(茨城県龍ヶ崎市大徳町, 中粗粒灰色低地土)で実施。

注2) 生育量は草丈(cm) × 茎数(本/m²) × 葉色(SPAD)による。

注3) 分散分析は、播種期を要因とした一元配置分散分析を示し、*は5%、**は1%水準で有意であり、NSは有意でないことを示す。

注4) 2015年播種の各播種期の茎立期は11月13日が2016年2月26日、11月25日播種が2016年3月12日、12月4日播種が2016年3月18日

注5) 2016年播種の各播種期の茎立期は11月15日が2017年3月9日、11月24日播種が2017年3月24日、12月4日播種が2017年3月28日

注6) 2017年播種の各播種期の茎立期は11月15日が2018年3月16日、11月27日播種が2018年3月24日、12月4日播種が2017年3月29日

12月14日播種が2018年3月31日

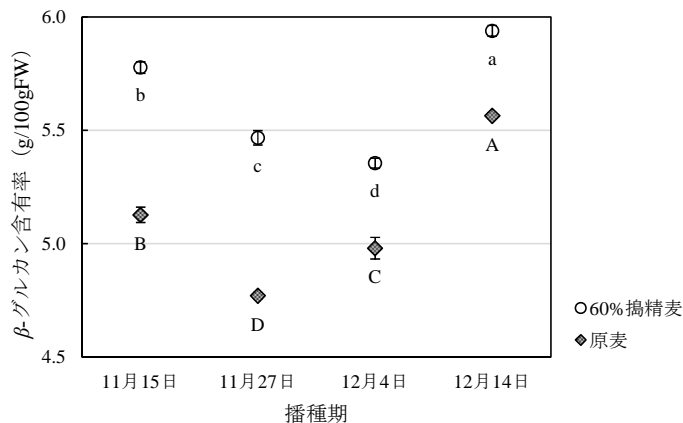


図8 播種期別の‘キラリモチ’原麦および60%精麦のβ-グルカン含有率

注1) 2017年播種のみ実施（農研機構次世代作物開発研究センター調べ）。

注2) 図中のバーは標準偏差を示す。

注3) 異なるアルファベットはTukey-Kramer法の多重比較により5%水準で有意差があることを示す。

4. 3. 3 播種量と基肥窒素量の組合せの影響（試験3）

試験期間を通して、播種量と収量との間の相関関係は判然としなかった（表6, 図9）。これは、播種量が増加しても茎立期の生育量や穂数が増加しにくいことが影響したと推察された（表7）。また、同量の基肥Nにおける播種量別の収量を比べると、播種量8kg/10a～12kg/10aの範囲では収量の増加が認められなかった（表7）。播種量4kg/10aでは遅れ穂が発生し、低収となった。以上より、播種量は8kg/10a～10kg/10aが適切と推察された。

試験期間を通して、基肥Nと収量との間には高い正の相関関係が認められた（表6, 図10）。これは、基肥Nの増加により、茎立期の生育量が増加し、穂数が増加したためと推察された（表7）。また、播種量と基肥Nの組合せで変動させた茎立期の生育量と収量との間には有意な正の相関関係が認められた（図11）。このことから、多収を得るには茎立期生育量を確保することが重要であると推察された。しかし、播種量4kg/10aと基肥N12kg/10aの組合せでは、茎立期の生育量が確保され多収が得られるものの、遅れ穂が多発する傾向が認められたため（表7）、基肥Nは標準～標準+2kg/10aが適切と推察された。

一方、標準播種期において、播種量と基肥窒素量で変動させた茎立期の生育量と遅れ穂数との間には有意な相関関係は認められなかった（図11）。また、精麦白度は、播種量と基肥Nの影響は認められなかったが（表7）、β-グルカン含有率は、基肥Nが多いとわずかに高まる傾向が見られた（図12）。

表6 各播種年の播種量と収量，基肥窒素量と収量の相関係数

	播種年度		
	2015(n=26)	2016(n=26)	2017(n=26)
播種量と収量との相関係数	-0.31 NS	-0.44 *	-0.05 NS
基肥窒素量と収量との相関係数	0.88 ***	0.81 ***	0.89 ***

注1) *は5%水準，**は1%水準，***は0.1%水準で有意であることを示す。NSは有意でないことを示す。

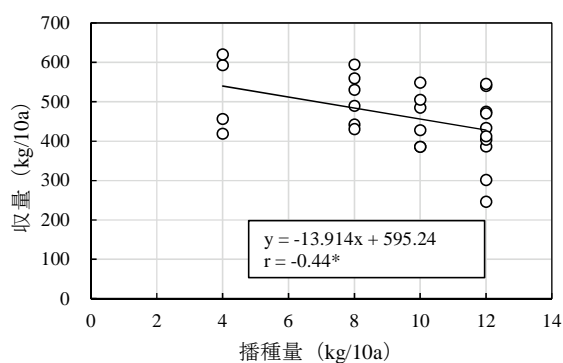


図9 播種量と収量の関係 (2016年播種)

注1) *は5%水準で有意であることを示す。

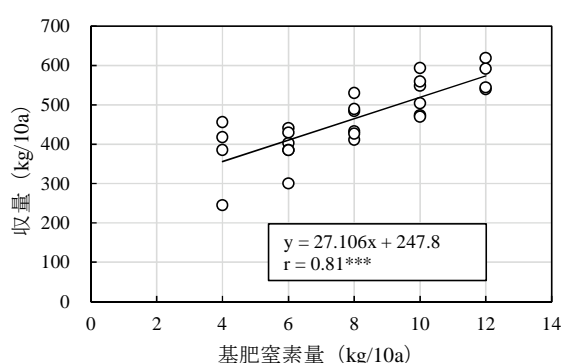


図10 基肥窒素量と収量の関係 (2016年播種)

注1) ***は0.1%水準で有意であることを示す。

表7 播種量と基肥窒素量の組合せが‘キラリモチ’の生育、収量および品質に及ぼす影響

播種量 (kg/10a)	基肥N (kg/10a)	苗立数 (本/m ²)	茎立期の生育				出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	穂数		収量 (kg/10a)	千粒重 (g)	容積重 (g/L)	精麦白度
			草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉色 (SPAD)	生育量 (×1000)			全体 (本/m ²)	遅れ穂 (本/m ²)				
4	4	99	20.0	1653	44.5	1460	4.07	5.18	570	51	330	38.1	843	41.0
	12	105	22.4	1960	47.5	2105	4.08	5.18	769	73	428	38.3	844	41.3
8	6	196	21.3	2151	45.2	2084	4.08	5.17	659	3	374	37.7	852	39.9
	8	191	23.0	2372	47.0	2590	4.08	5.18	794	19	438	37.2	845	40.5
10	10	187	23.7	2531	46.9	2809	4.08	5.18	854	30	501	37.7	845	40.4
	6	214	20.3	2060	44.2	1891	4.07	5.17	624	4	369	37.1	846	40.5
12	8	201	21.9	2220	45.2	2200	4.08	5.17	717	1	417	37.0	843	40.7
	10	204	23.0	2374	47.2	2597	4.08	5.18	816	6	473	37.1	845	40.1
12	4	253	18.7	1928	40.4	1502	4.07	5.17	583	33	325	36.7	849	41.0
	6	242	20.5	2111	43.5	1935	4.07	5.17	717	2	387	36.7	846	40.9
12	8	246	22.2	2312	45.5	2345	4.08	5.17	817	23	447	36.5	846	40.4
	10	241	22.6	2256	48.0	2480	4.08	5.18	756	8	430	36.9	850	39.9
分散分析	12	243	23.8	2489	48.5	2871	4.08	5.18	948	21	521	37.3	846	40.0
	年次(A)	**	**	NS	**	**	-	-	NS	**	**	**	**	**
播種量(B)	**	NS	**	**	**	NS	-	-	NS	**	**	NS	**	NS
基肥N(C)	**	**	**	**	**	**	-	-	**	**	**	NS	*	NS
交互作用	A×B	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	NS	NS	NS	NS	**	NS
	A×C	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	NS	**	NS	NS	NS	NS
	B×C	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	A×B×C	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	NS	NS	NS	NS	NS	NS

注1) 試験は農業研究所水田利用研究室(茨城県龍ヶ崎市大徳町, 中粗粒灰色低地土)で実施。

注2) 播種期は2015年播種が11月13日, 2016年播種が11月15日, 2017年播種が11月15日。

注3) 生育量は草丈(cm)×茎数(本/m²)×葉色(SPAD)による。

注4) 各播種年の茎立期は, 2015年播種が2016年3月18日, 2016年播種が2017年3月9日, 2017年播種が2018年3月16日。

注5) 表中の値は試験期間の平均値。

注6) *は5%水準, **は1%水準で有意であることを示し, NSは有意でないことを示す。

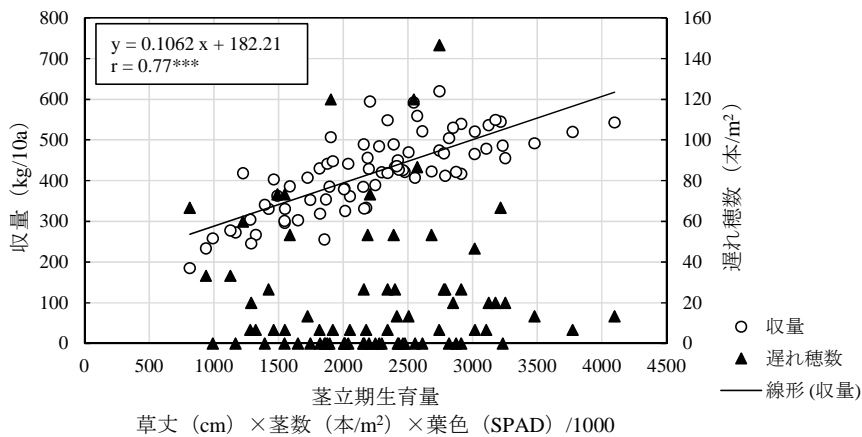


図11 ‘キラリモチ’の茎立期生育量と収量，遅れ穂数との関係

注1) 生育量は播種量と基肥窒素量の組合せで変動させている。

注2) データは2015年播種～2017年播種。***は0.1%水準で有意であることを示す。

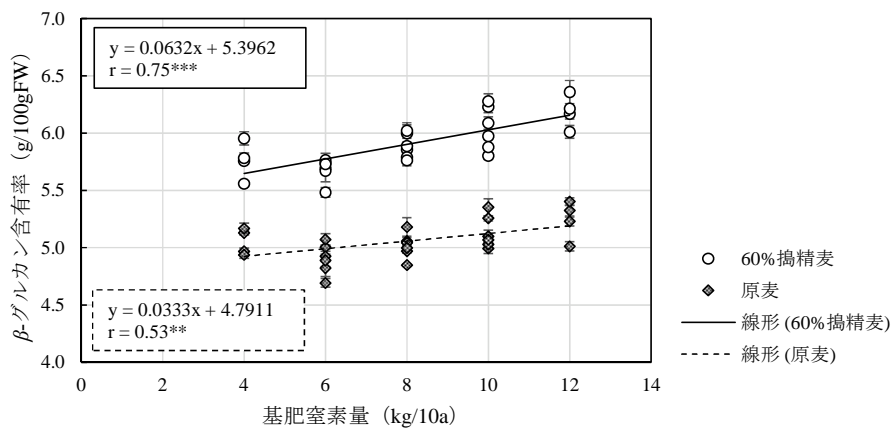


図12 基肥窒素量と‘キラリモチ’原麦および60%精麦のβ-グルカン含有率の関係

注1) 2017年播種のみ実施（農研機構次世代作物開発研究センター調べ）。

注2) 図中のバーは標準偏差を示す。**は1%水準，***は0.1%水準で有意であることを示す。

4. 3. 4 後期重点施肥法の影響（試験4）

基肥重点施肥法と比較して，後期重点施肥法の成熟期は，2016年播種では，2日遅くなったが，2017年播種では同日となり，施肥法の違いが熟期に及ぼす影響は試験期間中では認められなかった（表8）。後期重点施肥法の茎立期の生育量は，2016年播種ではかなり少なかったが，2017年播種では基肥重点施肥法を上回り，播種年度による違いが大きかった。収量は，試験期間を通して，後期重点施肥法の方が6～7%多収となった。また，60%搗精麦のβ-グルカン含有率も，後期重点施肥法の方が高くなる傾向が認められた（図13）。一方で，遅れ穂数は試験期間を通して後期重点施肥法の方が多かった（表8）。

また，遅れ穂が発生した場合の収穫適期を明らかにするために，2016年播種において，適期に収穫した場合と，遅れ穂が登熟するまで（成熟期20日後）収穫を遅らせた場合における，収量と子実の外観品質の比較を行った。その結果，遅れ穂が登熟するまで収穫を遅らせた場合，収量は同等となったが（表9），子実表面が茶褐色を帯びる‘ヤケ粒’が多くなる傾向が見られた（図14）。このことから，‘キラリモチ’で遅れ穂を抑え高品質多収を得るには，後期重点施肥法より基肥重点施肥法の方が適していると考えられる。また，遅れ穂が発生した場合の収穫は，‘ヤケ粒’の混入を防ぐため遅れ穂の登熟を待たずに実施した方が良いと考えられる。

表8 後期重点施肥法が‘キラリモチ’の生育、収量および品質に及ぼす影響

播種年度	施肥法	施肥窒素量			茎立期の生育				出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	穂数			千粒重 (g)	容積重 (g/L)	精麦白度
		基肥 (kg/10a)	4葉期	茎立期	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉色 (SPAD)	生育量 (×1000)			全体 (本/m ²)	遅れ穂 (本/m ²)	収量 (kg/10a)			
2016	後期重点	0	10	2	18.0	877	48.4	764	4.12	5.24	903	57	531	38.0	839	38.4
	基肥重点	10	0	2	21.4	2737	49.4	2878	4.13	5.22	913	43	500	36.5	844	36.0
	分散分析				**	*	NS	**	-	-	NS	NS	NS	*	*	**
2017	後期重点	0	8	2	21.5	2567	49.8	2770	4.04	5.15	647	157	458	40.8	847	41.8
	基肥重点	8	0	2	26.7	2133	45.9	2657	4.04	5.15	783	0	428	38.6	829	40.5
	分散分析				**	NS	*	NS	-	-	NS	*	NS	*	NS	*

注1) 試験は農業研究所水田利用研究室(茨城県龍ケ崎市大徳町, 中粗粒灰色低地土)で実施。

注2) 播種期は2016年播種が11月14日, 2017年播種が11月7日。

注3) 各播種年の茎立期は, 2016年播種が2017年3月9日, 2017年播種が2018年3月14日。

注4) 生育量は草丈(cm)×茎数(本/m²)×葉色(SPAD)による。

注5) 分散分析は施肥法を要因としたときの一元配置分散分析を示し, *は5%, **は1%水準で有意であることを示す。

NSは有意でないことを示す。

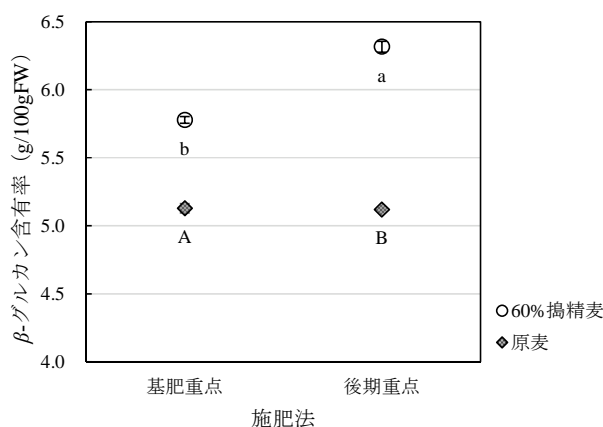


図13 施肥法別の‘キラリモチ’原麦および60%精麦のβ-グルカン含有率

注1) 2017年播種のみ実施(農研機構次世代作物開発研究センター調べ)。

注2) 図中のバーは標準偏差を示す。

注3) 異なるアルファベットはTukey-Kramer法の多重比較により5%水準で有意差があることを示す。

表9 後期重点施肥法における収穫時期の違いが‘キラリモチ’収量および品質に及ぼす影響

播種年度	施肥法	施肥窒素量			収穫期	収穫日 (月.日)	収量 (kg/10a)	千粒重 (g)	容積重 (g/L)
		基肥 (kg/10a)	4葉期	茎立期					
2016	後期重点	0	10	2	成熟期	5.24	531	38.0	839
		0	10	2	成熟期 20日後	6.13	533	38.8	842
分散分析							NS	NS	NS

注1) 試験場所, 播種期は表8に準じる。

注2) 分散分析は, 収穫期を要因とした一元配置分散分析を示し, NSは有意でないことを示す。



図14 後期重点施肥法における収穫時期の違いが
‘キラリモチ’の外観に及ぼす影響

注1) 2016年播種のみ実施。

注2) 図中の赤丸は‘ヤケ粒’を示す。どちらも検査等級は1等であった。

4. 3. 5 土壌の違いがβ-グルカン含有率に及ぼす影響（試験5）

試験2～4で得られた龍ヶ崎市産（中粗粒灰色低地土）のβ-グルカン含有率は、原麦が4.5～5.6%（図15）、60%搗精麦が5.3～6.5%となり（図16）、栽培条件の違いにより、β-グルカン含有率がわずかに変動した。一方、水戸市産（表層腐植質黒ボク土）のβ-グルカン含有率は、原麦が6.3%（図15）、60%搗精麦が6.9～7.5%となり（図16）、龍ヶ崎市産よりも高い値となった。このことから、同じ種類の土壌において栽培条件を変動させることよりも、土壌の種類の違いの方がβ-グルカン含有率に及ぼす影響が大きいことが推察された。また、原麦β-グルカン含有率と近赤外線多成分分析装置で測定したタンパク質含有率の間には有意な正の相関関係が認められた（図17）。以上より、β-グルカン含有率は、腐植質黒ボク土のように土壌中の窒素が生育後半に多く無機化し供給されるほ場において、高くなると考えられる。また、近赤外線多成分分析装置で測定したタンパク質含有率の値から、β-グルカン含有率を予測できる可能性が示唆された。

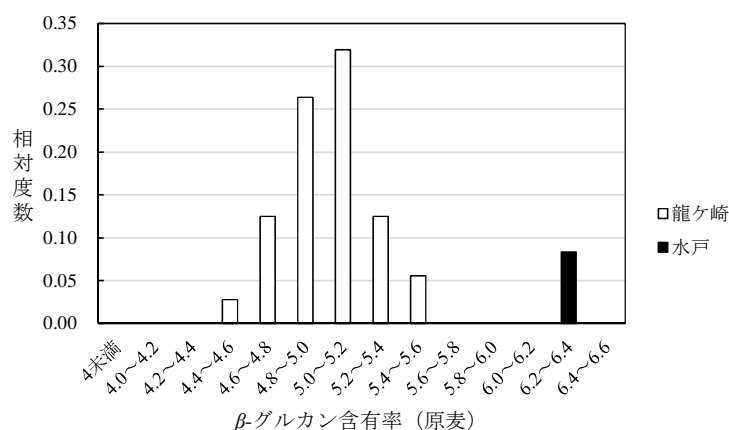


図15 栽培地別の‘キラリモチ’原麦のβ-グルカン含有率の分布

注1) 2017年播種のみ実施（農研機構次世代作物開発研究センター調べ）。

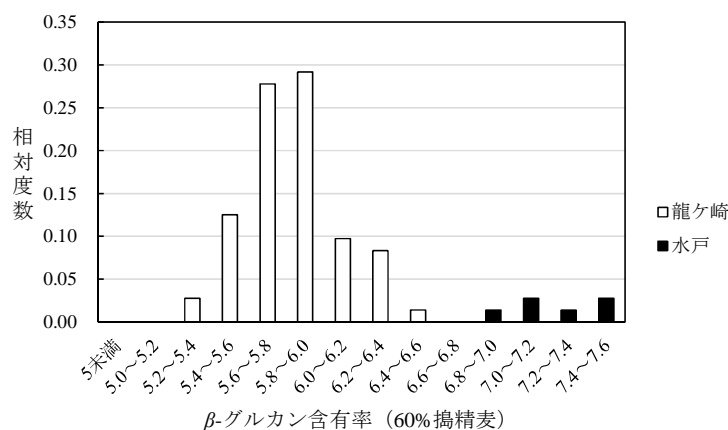


図16 栽培地別の‘キラリモチ’60%搗精麦のβ-グルカン含有率の分布
注1) 2017年播種のみ実施（農研機構次世代作物開発研究センター調べ）。

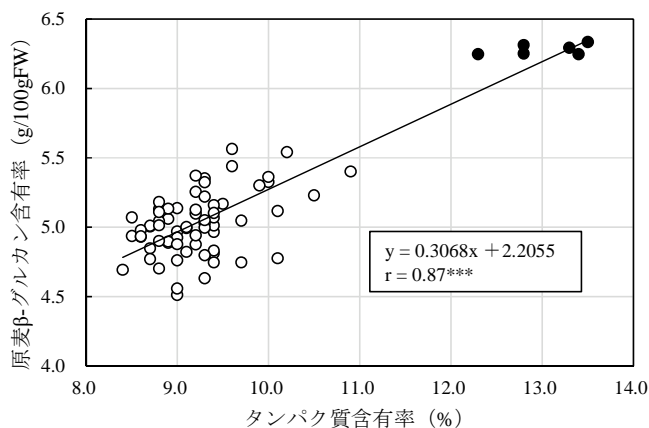


図17 栽培地別の‘キラリモチ’原麦β-グルカン含有率とタンパク質含有率の関係
注1) 2017年播種のみ実施（農研機構次世代作物開発研究センター調べ）。
注2) ○は龍ヶ崎市産（中粗粒灰色低地土），●は水戸市産（表層腐植質黒ボク土）を示す。
注3) ***は0.1%水準で有意であることを示す。

5 総合考察

本研究により、茨城県における二条ハダカムギ‘キラリモチ’の栽培特性を調査した結果、‘キラリモチ’は本県における栽培適性があり、実需者による精麦加工適性評価も良好な結果が得られた。これらの結果から、本県では、2017年に‘キラリモチ’を奨励品種（認定品種）に採用し、2020年産までに300haを目標に普及面積を拡大することとした。その後、筑西市および結城市現地において普及面積が拡大し、2020年産は256haとなる見込みである。目標面積である300haをわずかに下回ったが、順調に拡大している。

また、本研究により、栽培条件の違いが‘キラリモチ’の遅れ穂数、収量およびβ-グルカン含有率に及ぼす影響について明らかにし、高品質安定生産技術を開発した。結論として、‘キラリモチ’を高品質安定生産するには、(a) 11月中下旬に8～10kg/10a播種する、(b) 基肥窒素量は標準～標準+2kg/10a施用し、茎立期追肥窒素量は2kg/10aまでとする、(c) 収穫時期は遅らせずに適期に収穫する、という基本的な技術が重要であることを明らかにした。ここでは、‘キラリモチ’における今後の課題として、遅れ穂の発生要因と対策、β-グルカン含有率の変動要因について、本研究と既往の研究成果をもとにさらに考察する。

5. 1 遅れ穂の発生要因と対策

本研究において、遅れ穂は (a) 出穂期前後の低温による凍霜害、(b) 播種期の遅れ、(c) 少ない播

種量で多肥，(d) 後期重点施肥法，という条件で多発する傾向が認められた。松永ら(2017)は，ハダカムギ‘トヨノカゼ’における遅れ穂の発生は，出穂期付近の土壤の過湿等の環境変化によるストレスや，出穂期8日前の施肥が影響していると示唆している。また，遅れ穂の発生割合は，施肥時の茎数等の生育量の違いが影響していることも示唆している。本研究の成果と，松永らの報告を合わせて考察すると，ハダカムギにおける遅れ穂の発生は，(a) 出穂期付近の環境変化によるストレス(土壤の過湿または凍霜害)，(b) 生育が不足している状態での多肥条件，(c) 生育後半の施肥，によって助長され，遅れ穂の発生割合は施肥時の茎数等の生育量の違いが影響していると考えられた。

以上のような発生要因を考慮して，遅れ穂の発生を抑えるための対策を講じる必要がある。

まず，環境ストレスのうち凍霜害は，播種期によって発生程度が異なるため(高橋ら，2003)，凍霜害の回避に適した播種期を選定できる可能性がある。本研究において，標準より早い播種期も設置したが(データ略)，早播きから遅播きまで凍霜害の発生は軽微であり，凍霜害の回避に適した播種期を選定できなかった。しかし，出穂期11～12日前である2015年3月26日，3月27日の氷点下の低温により，軽微な不稔が発生した(図5)。高橋らは，群馬県東毛地域における1999年産の二条カワムギ‘きぬか二条’において，1999年4月9日の氷点下の低温による不稔が，播種期が遅くなるほど多く発生したことを報告している。その要因として低温に遭遇した生育ステージの差異が影響していることを示唆しており，出穂期12日前～15日前にあたる時期に低温に遭遇した区で不稔の発生が多かった。これらのことから，二条オオムギは，概ね出穂期約2週間前に氷点下の低温に遭遇すると不稔が発生しやすいことが考えられる。また，本研究の一環として，‘キラリモチ’の主稈幼穂長と積算温度との関係を解析し，主稈幼穂長から出穂期を予測する技術を開発した(茨城県農業総合センター農業研究所，Web閲覧)。この技術を応用すれば，播種期別の出穂期約2週間前となる日を予測することも可能となる。近年，3月下旬～4月上旬の気温の変動が激しく，‘キラリモチ’をはじめ，麦類の生育に及ぼす影響が懸念される。本研究の成果をもとに，さらなる研究開発を進める必要がある。

次に，施肥等の栽培条件によって遅れ穂を制御する方法である。本研究では，本県の既往の成果に準じ，追肥時期を茎立期に限定し，播種期，播種量および基肥窒素量を組み合わせて茎立期の生育量を変動させ，遅れ穂の発生を抑え収量を確保するのに適する栽培条件の解明に取り組んできた。その結果，適期播種と基肥重点型の施肥法により生育量を確保し，生育後半の追肥を控えることが重要であることを明らかにした。松永(2017)らは，ハダカムギ‘トヨノカゼ’において，施肥時期が遅れ穂の発生に及ぼす影響を調査し，出穂期32日前～出穂期19日前，または出穂期16日後～出穂期30日後の期間の施肥では遅れ穂の発生が少ないことを明らかにした。この結果からは，後者の施肥時期では穂数が確保できず，低収となることが予想されるため，前者の方が遅れ穂の発生を抑え収量を確保するのに適していると考えられる。また，本研究の追肥時期である茎立期から出穂期までの日数は，11月中旬播種が32日，11月下旬播種が25日，12月上旬播種が22日であり，松永らが報告した遅れ穂の発生が少ない時期に追肥していたと考えられた(表5)。一方で，本研究では，12月以降の播種期になると遅れ穂が発生し，茎立期の生育量の不足が影響したと推察された(表5)。今後は，基肥+追肥体系の栽培法において，茎立期の生育量と窒素追肥量の違いが‘キラリモチ’の遅れ穂の発生，収量および品質に及ぼす影響を調査する必要がある。

5. 2 β -グルカン含有率の変動要因

本研究において， β -グルカン含有率は，(a) 後期重点施肥法，(b) 地力の高いほ場で高くなることを明らかにした。また，地力の低いほ場で栽培条件を変動させるよりも，地力の高いほ場で作付ける方が β -グルカン含有率が高くなる傾向が認められた。塔野岡ら(2010)は，灰色低地土水田と黒ボク土畑における稈性オオムギの精麦品質の差異について調査し，黒ボク土畑の方が β -グルカン含有率が有意に増加したことを報告している。本研究においても，表層腐植質黒ボク土で栽培された‘キラリモチ’の β -グルカン含有率の方が，中粗粒灰色低地土で栽培されたものよりも高くなり，塔野岡らの報告と同様の結果となった。

また，オオムギの β -グルカン含有率を高める栽培法についても検討されており，特に，開花期の窒素追肥の施用が試みられている(稲葉ら，2017；島崎ら，2019；内田ら，2019)。島崎らは，六条カワムギ‘はねうまもち’を供試し，開花期の窒素施用量が多いほど β -グルカン含有率は高くなり，開花後14日～28

日にかけて急速に蓄積することを報告している。

これらのことから、 β -グルカン含有率を高めるには腐植質黒ボク土のように生育後半に土壤中の窒素が多く無機化し供給されるほ場、あるいは、生育後半の窒素施用が有効と考えられた。

一方で、 β -グルカン含有率を高める栽培条件は、硝子率も高めることが報告されており（塔野岡ら，2010），それによる精麦白度の低下が懸念される。経営所得安定対策の主食用大麦の品質ランク区分において、精麦白度と硝子率は許容値と基準値が設定されており（表2），生産者の所得向上のためには、これらの達成が重要である。糯性大麦は稈性大麦よりも硝子率が高くなりにくいいため、硝子率と精麦白度ともに品質ランク区分の許容値および基準値を達成しやすいことが考えられる。したがって、糯性の二条ハダカムギ‘キラリモチ’は β -グルカン含有率を高める栽培条件においても、硝子率の増加や精麦白度の低下による品質の低下が発生しにくく、実需者ニーズに応えた高品質安定生産が可能となると考えられた。

本研究においては、生育後半の窒素施用により遅れ穂が多発することが懸念されたため、窒素追肥量の変動試験は行わず、播種期、播種量、基肥窒素量が β -グルカン含有率に及ぼす影響に注目した。その結果、播種期、播種量の影響はほとんど認められず（図8），基肥窒素量を多くするとわずかに高まる傾向が認められたが、顕著に高まらなかった（図12）。なお、本研究における β -グルカン含有率の調査結果は、2017年播種のみであり、気象、生育および栽培条件が及ぼす影響について考察するには、継続して研究を行う必要がある。

謝辞

‘キラリモチ’の選定にあたり、現地試験にご協力いただいた堀江正一氏、検査等級の判定にご協力いただいた全農茨城県本部米穀総合課の農産物検査員各位、並びに精麦加工適性評価試験にご協力いただいた農研機構次世代作物開発研究センター大麦育種ユニット及び実需者各位に深甚な感謝の意を表す。また、本品種の普及拡大に向け、現地指導にご尽力いただいている県西農林事務所経営・普及部門の方々に深甚な感謝の意を表す。さらに、本報の一部は、農研機構と茨城県の包括的研究連携協定に基づき、農研機構次世代作物開発研究センターとの共同研究で得られた成果である。終わりに、日頃の研究活動から本報の取りまとめに際し、多大なるご指導を賜った農業研究所の方々に、深甚な感謝の意を表す。

摘要

茨城県において、オオムギ縞萎縮病I, II, IIIおよびV型に抵抗性を有する二条ハダカムギ‘キラリモチ’の特性を明らかにした。また、栽培条件の違いが‘キラリモチ’の遅れ穂数、収量及び β -グルカン含有率に及ぼす影響について調査し、遅れ穂の発生を抑え高品質多収を得るのに適する栽培法を明らかにした。

- (a) ‘ミカモゴールドン’と比較して、出穂期は1日早い～1日遅く、成熟期は2日～3日遅かった。
- (b) 稈長は10～19cm短く、穂数は現地ではやや少なかったが、所内ではやや多い～多かった。
- (c) 収量は現地ではやや少なかったが、所内では同等～多かった。
- (d) ‘シルキースノウ’と比較して、実需者による精麦加工適性の評価は、黄色味はやや強いが、黒条線は薄く、品質は良好と評価された。
- (e) ‘キラリモチ’を高品質安定生産するには、11月中下旬に8～10kg/10a播種、基肥窒素量は標準～標準+2kg/10a施用、茎立期追肥窒素量は2kg/10aまでが適している。
- (f) 遅れ穂は、出穂期付近の低温による凍霜害、播種期が遅い、少ない播種量で多肥、後期重点施肥法の条件で多発する傾向がある。
- (g) β -グルカン含有率は、後期重点施肥法や地力の高いほ場で作付けすると高くなる。また、地力の低いほ場で栽培条件を変動させるよりも、地力の高いほ場で作付けした方が β -グルカン含有率が高くなる傾向がある。

引用文献

青江誠一郎（2015）大麦 β -グルカンの機能性について.日本食生活学会誌26(1):3-6

青江誠一郎・小前幸三・井上 裕・村田 勇・峰岸悠生・金本郁男・神山紀子・一ノ瀬靖則・吉岡藤治・

- 柳澤貴司 (2018) 配合比率の異なるモチ性大麦混合米飯の摂取が食後血糖値に及ぼす影響. 日本栄養・食糧学会誌71(6):283-288
- 茨城県農業総合センター農業研究所 H30主要成果 二条裸麦「キラリモチ」の茎立期・出穂期予測法<<http://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/noken/seika/h30pdf/documents/30-03.pdf>> (2019年8月27日閲覧)
- 稲葉俊二・高橋 肇・荒木英樹・水田圭祐・高橋飛鳥・吉岡藤治 (2017) 窒素の穂肥・開花期追肥によるモチ性大麦の高 β -グルカン含量化. 第244回日本作物学会講演会要旨集
- Kashiwazaki S, Ogawa K, Usugi T, Omura T and Tsuchizaki T (1989) Characterization of Several Strains of Barley Yellow Mosaic Virus. *Annals of the phytopathological society of Japan* 55:16-25
- 国立研究開発法人農業・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2009年の成果情報 炊飯後に褐変しにくく、食味に優れる二条裸麦新品種「キラリモチ」<<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/warc/2009/wenarc09-08.html>> (2019年8月27日閲覧)
- 松永雅志・原田夏子 (2017) はだか麦「トヨノカゼ」の遅れ穂発生要因の解明. 日本作物学会中国史部研究集録57:22-23
- 農林水産省 (2006) 平成18年8月7日農林水産省告示第1010号 (農業の担い手に対する経営安定のための交付金の交付に関する法律施行規則第七条の農林水産大臣が定める規格及び第九条第一項第一号の農林水産大臣が定める規格を定める件) <http://www.maff.go.jp/j/kokuji_tuti/kokuji/pdf/k0001494.pdf> (2019年8月27日閲覧)
- 島崎由美・関 昌子 (2019) 開花期窒素追肥がモチ性およびうるち性オオムギの β -グルカン蓄積に及ぼす影響. 第247回日本作物学会講演会要旨集
- 関 昌子・長嶺 敬・青木秀之・山口 修・伊藤誠治・中田 克 (2018) 新たなモチ性遺伝子をもつ寒冷地向け六条皮麦新品種「はねうまもち」の育成. 育種学研究20:133-137.
- 高橋行継・佐藤泰史・前原 宏・石関敏宏 (2003) 群馬県東毛地域における1998年および、1999年産の麦類の不稔発生状況. 日本作物学会紀事72(2):219-226
- 塔野岡卓司・河田尚之・吉岡藤治・乙部千雅子 (2010) 黒ボク土がオオムギの精麦品質に及ぼす影響-灰色低地土水田と黒ボク土畑におけるオオムギ精麦品質の差異-. 日本作物学会紀事79(3):296-307
- 内田多江子・高橋 肇・荒木英樹・水田圭祐・高橋飛鳥・吉岡藤治 (2018) 遅れ穂の発生したオオムギ・モチ性はだか麦品種「キラリモチ」の収穫期前の穂重・粒重の分布. 日本作物学会中国支部研究集録58:44-45
- 内田多江子・高橋 肇・荒木英樹・水田圭祐・高橋飛鳥・吉岡藤治・杉田智彦 (2019) もち性オオムギ品種「キラリモチ」の後期重点型施肥体系における穂肥の早期施用が収量ならびに子実の β -グルカン含有率に及ぼす影響. 第247回日本作物学会講演会要旨集
- 上原 泰・前島秀和・吉田清志・矢ヶ崎和弘・牛山智彦・細野 哲・久保田基成・酒井長雄・田淵秀樹・後藤和美・中澤伸夫・谷口岳志・新井利直・高橋伸夫・中村和弘 (2016) 糯性で β -グルカン含量が高い六条大麦新品種「ホワイトファイバー」の育成. 育種学研究18(別2):79.
- Ullrich SE, Clancy JA, Eslick RF and Lance RCM (1986) β -glucan content and viscosity of extracts from waxy barley. *Journal of Cereal Science*4: 279-295
- 渡辺 健・小川 奎・飯田幸彦・千葉恒夫・山崎郁子・上田康郎 (1995) 茨城県におけるムギ類土壌伝染性ウイルス病の発生生態と防除に関する研究 第2報 被害と防除法. 茨城県農業総合センター農業研究所研究報告第2号
- 山口昌宏・大関美香・五月女敏範・大山 亮・加藤常夫・関和孝博・望月哲也・沖山 毅・春山直人・高山敏之・新井友輔・渡邊浩久・新井 申・豊島貴子・鈴木康夫・斉藤哲哉・薄井雅夫・塚原俊明・吉成悠佑・白間香里・長嶺 敬 (2019) もち性で良食味の温暖地向け二条大麦新品種「もち絹香」. 栃木県農業試験場研究報告79:1~22.
- Yanagisawa T, Nagamine T, Takahashi A, Takayama T, Doi Y, Matsunaka H and Fujita M(2011) Breeding of Kirari-mochi: A new two-rowed waxy hull-less barley cultivar with superior quality characteristics. *Breeding Science* 61:307-310

Summary

We investigated the characterization of two-rowed naked barley 'Kirari-mochi' and compared with that of two-rowed hull barley 'Mikamo Golden' which is a standard cultivar of two-rowed hull barley in Ibaraki prefecture. The heading date is one day earlier or one day later than that of 'Mikamo Golden'. The maturity date is 2 or 3 days later than that of 'Mikamo Golden'. The grain yield of 'Kirari-mochi' is equal or slightly more than that of 'Mikamo Golden' in the laboratory fields. Furthermore, the grain yield of 'Kirari-mochi' is more than 360 kg/10a in the farmer's field. The pearling quality is more superior than that of 'Silkysnow' which had been recommended cultivar for pearled barley in Ibaraki prefecture. 'Kirari-mochi' exhibited resistance to barley yellow mosaic virus strain types I, II, III and V. As a result, we adopted 'Kirari-mochi' as a recommended cultivar in 2017. And the crop acreage of 'Kirari-mochi' will expand to 300ha in 2020. Furthermore, we investigated the effects of cultivation condition to late emerging head, yield, and β -glucan content of 'Kirari-mochi' and considered about optimum cultivar method.

Keywords: two-rowed naked barley 'Kirari-mochi', recommended cultivar, late emerging head, yield, β -glucan content

茨城県における水稲奨励品種 ‘ミルキークイーン’ の特性

泉澤 直¹⁾・田中研一²⁾・中川悦男³⁾・狩野幹夫⁴⁾

(茨城県農業総合センター農業研究所)

Characteristics of the Recommended Cultivar

‘Milky Queen’ in Ibaraki Prefecture , Japan

Tadashi IZUMISAWA¹⁾, Kenichi TANAKA , Etsuo NAKAGAWA and Mikio KANO

要約

水稲低アミロース品種 ‘ミルキークイーン’ は、生育、収量等は ‘コシヒカリ’ とほぼ同様である。食味は低アミロースという特性から粘りが強く、柔らかく、総合評価は優れる。‘ミルキークイーン’ の奨励品種（認定品種）採用により、茨城県産米の高付加価値と多様化を図る。

キーワード：奨励品種，食味，水稲，低アミロース，ミルキークイーン

1 はじめに

1995年の「主要食糧の需給及び価格安定に関する法律」、いわゆる「食糧法」の施行を契機に、米の流通は原則自由となり、水稲の産地間競争は激しさを増している。一方、1970年頃から米の過剰が問題となる中、1994年（平成6年）年以降はほぼ連続して豊作が続き、米の需給バランスが大きく崩れ、さらには食生活の欧米化や多様化にともなう米消費量の減少や景気の低迷が追い打ちとなり、米価は低下を続けている。

このような状況の中で、‘ミルキークイーン’ は胚乳のアミロース含有率が低いため、従来のうるち品種よりも飯米の粘りが強く、かつ柔らかいという特性を持つ新形質米（低アミロース米）として食味評価が高く、高価格で取引されている。また、本品種は飯米が冷えても硬くなりやすく、おにぎりや加工飯米、炊き込みご飯や米菓などの適応性が高いといわれ、業務用米としても様々な可能性を有している。

茨城県では、現地主導で全国に先駆け栽培が始まり、茨城県農林水産部農産課（現産地振興課）調べでは1998年の栽培面積は223ha、1999年は422haと、全国一の栽培面積となっていた。しかし、自家採種が続いていることから、品質の低下などの問題が危惧された。そこで、優良種子の供給を確実にし、生産物品質の維持・向上を図るため、‘ミルキークイーン’ を付加価値の高い「特色ある米」として位置づけ、2000年より全国に先駆けて奨励品種に採用した。ここでは、‘ミルキークイーン’ の適切な普及のため、本品種の特性と採用に至るまでの試験成績概要について報告する。

2 来歴及び系譜

‘ミルキークイーン’ は1985年、農業研究センターにおいて、‘コシヒカリ’ の受精卵に化学的突然変異源MNU（N-methyl-N-nitrosourea メチルニトロソウレア）処理を行い育成され、1995年に品種登録された（伊勢ら、2001）。図1に系譜を示した。

1) 現 全国農業協同組合連合会茨城県本部，2) 現 茨城県農林水産部産地振興課，
3) 元農業研究所，4) 現 日本モンサント株式会社

1 Address : Agricultural Research Institute, Ibaraki Agricultural Center, 3402 Kamikuniityo, Mito, Ibaraki
311-4203, Japan



図1 ‘ミルキークイーン’の系譜（伊勢ら，2001）

3 試験方法

3.1 試験年次および場所

茨城県農業総合センター農業研究所作物研究室（水戸市上国井町，以下作物研究室）では，水稻奨励品種決定試験において，1992年に‘関東168号’として配布を受け，生産力予備試験に供試したが，当時は低アミロースという食味特性の評価が十分でなく，試験は1年間で打ち切った。しかし，1995年に‘ミルキークイーン’として農業研究所水田利用研究室（龍ヶ崎市大徳町）で再開し，1996年まで試験を行った後，1997～1999年は作物研究室で試験し，農業研究所として通算6年間試験を行った。

3.2 耕種概要

試験の耕種概要は表1のとおりである。栽培管理は県栽培基準に準じたが，薬剤防除は種子消毒と雑草および害虫に対してのみ行い，いもち病や紋枯病などの病害に対しては，抵抗性の程度を判定するために，圃場での防除は行わなかった。

表1 耕種概要

試験場所 土壌条件	年次 (年)	移植期	移植方法	栽植 密度 (株/m ²)	施肥量 (基肥+追肥) (kg/a)			試験区 反復数
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
農業研究所	1992	5月8日			0.7+0.3	0.7	0.7+0.3	
作物研究室	1997	5月6日	育苗機械植	22.2	0.6+0.3	0.6	0.6+0.3	2
水戸市上国井町	1998	5月6日			0.6+0.3	0.6	0.6+0.3	
表層腐植質黒ボク土	1999	5月6日			0.6+0.3	0.6	0.6+0.3	
農業研究所								
水田利用研究室	1995	4月27日	育苗手植	22.2	0.6+0.3	0.6	0.6+0.3	2
龍ヶ崎市大徳町	1996	4月26日						
中粗粒グライト								

3.3 調査方法

生育調査，収量調査の各項目の測定は，水稻奨励品種決定試験の調査基準に従って行った。病害の被害程度，玄米外観品質および倒伏の多少は観察によって調査した。食味は，農業研究所職員を主なパネルとする官能試験によって評価した。

4 試験結果

4.1 特性の概要

4.1.1 早晩性

‘ミルキークイーン’の出穂期と成熟期は，表2と表3のように，作物研究室と水田利用研究室とも‘コシヒカリ’と変わらないことから，茨城県では中生の品種に属する。

表2 ‘ミルキークイーン’の生育・収量および特性調査結果（水戸市：作物研究室）

品 種	試験	出穂期	成熟期	稈長	穂長	穂数	玄米重	同比率
	年次	(月. 日)	(月. 日)	(cm)	(cm)	(本/m ²)	(kg/a)	
ミルキークイーン	1992	8. 9	9.13	88	18.9	531	60.4	102
	1997	8. 1	9.11	90	19.2	448	69.3	100
	1998	8. 1	9. 8	91	18.3	428	54.3	95
	1999	7. 29	9. 4	85	19.7	471	63.7	96
平 均		8. 2	9. 9	89	19.0	470	61.9	98
コシヒカリ	1992	8. 9	9.16	91	18.3	553	59.2	100
	1997	8. 1	9.10	87	18.8	431	69.6	100
	1998	8. 2	9. 8	89	19.0	409	57.4	100
	1999	7. 29	9. 2	85	19.5	471	66.6	100
平 均		8. 2	9. 9	88	18.9	461	63.2	100

品 種	試験 年次	千粒重 (g)	玄米 品質 ¹⁾	倒伏 程度 ²⁾	病害の程度 ²⁾		
					葉いもち	穂いもち	紋枯病
ミルキークイーン	1992	21.3	6.0	1.8	0.8	0	1.5
	1997	22.3	4.5	2.0	1.0	1.0	2.5
	1998	21.0	4.0	0	3.0	3.0	2.5
	1999	21.5	5.0	2.0	2.0	1.5	2.0
平 均		21.5	4.9	1.5	1.7	1.3	2.3
コシヒカリ	1992	21.7	4.8	3.0	1.5	0.8	2.0
	1997	22.9	4.3	2.0	1.0	1.0	2.0
	1998	21.4	4.3	0.5	2.5	3.0	2.3
	1999	22.0	5.5	2.0	2.0	1.0	2.0
平 均		22.0	4.7	1.9	1.8	1.5	2.5

1) 玄米品質：1（上の上）～9（下の下） 2) 倒伏程度および病害の程度：0（無）～5（甚）

表3 ‘ミルキークイーン’の生育・収量および特性調査結果（龍ヶ崎市：水田利用研究室）

品 種	試験	出穂期	成熟期	稈長	穂長	穂数	玄米重	同比率
	年次	(月. 日)	(月. 日)	(cm)	(cm)	(本/m ²)	(kg/a)	
ミルキークイーン	1995	7. 30	9. 6	73	18.4	439	52.5	96
	1996	8. 2	9.12	90	19.4	490	60.2	104
平 均		8. 1	9. 9	87	18.9	465	56.4	100
コシヒカリ	1995	7. 30	9. 6	88	18.2	476	54.6	100
	1996	8. 2	9.12	90	19.0	485	57.8	100
平 均		8. 1	9. 9	89	18.6	481	56.2	100

品 種	試験 年次	千粒重 (g)	玄米 品質 ¹⁾	倒伏 程度 ²⁾	病害の程度 ²⁾		
					葉いもち	穂いもち	紋枯病
ミルキークイーン	1992	20.2	4.5	4.0	0.5	0	1.3
	1997	20.2	4.0	4.0	0.3	0	0.3
平 均		20.2	4.3	4.0	0.4	0	0.8
コシヒカリ	1992	20.8	5.8	3.8	0.3	0	0.8
	1997	20.8	5.5	3.8	0.5	0	0.2
平 均		20.8	5.7	3.8	0.4	0	0.5

1) 玄米品質：1（上の上）～9（下の下） 2) 倒伏程度および病害の程度：0（無）～5（甚）

4. 1. 2 形態的特性, 耐倒伏性および収量性

‘ミルキークイーン’の稈長, 穂長, 穂数は年次による差はあるものの, ‘コシヒカリ’とほぼ同じである(表2, 表3)。草型は, ‘コシヒカリ’同様中間型である。着粒はやや密で, 短い芒が稀にあり, ふ先色は黄白である(表4)。倒伏程度は表2, 表3のように年次によってわずかに差は見られるものの, ‘コシヒカリ’とほぼ同じで耐倒伏性は低い。

収量(玄米重)について, 作物研究室での4年間の平均値は‘コシヒカリ’より2%低いが, 水田利用研究室での2年間の平均値はほぼ同じであり, ‘コシヒカリ’とほぼ同等の収量性を有すると考えられる(表2, 表3)。

表4 ‘ミルキークイーン’の形態的特性

品 種	草型	稈		芒		ふ先色	着粒 密度	脱粒 難易	玄米	
		細太	剛柔	多少	長短				形状	大小
ミルキークイーン	中間	中	やや柔	稀	短	黄白	やや密	難	中	中
コシヒカリ	中間	中	やや柔	稀	短	黄白	やや密	難	中	中

農業研究所作物研究室, 水田利用研究室における観察による

4. 1. 3 玄米特性と食味

‘ミルキークイーン’の玄米千粒重は, 作物研究室と水田利用研究室とも‘コシヒカリ’より0.5g程度軽い。‘ミルキークイーン’の玄米は低アミロースという特性により, 乾燥後にわずかに白濁が認められる。そのため, ‘コシヒカリ’と同一の基準での玄米品質の比較はできないが, 背白粒や腹白粒の発生はやや少なく, また心白粒の発生は目立たないことから, 玄米品質評価はやや高くなることが多い(表2, 表3)。

食味は, 低アミロース品種の特性として粘りが強く, さらに柔らかいことから, 食味官能試験では‘コシヒカリ’, ‘キヌヒカリ’よりも評価が優れる。また, 食味のやや劣る‘チヨニシキ’に重量比で30%混米することにより, ‘コシヒカリ’に劣らぬ評価が得られた(表5)。なお, パネルの中には, ‘ミルキークイーン’単品では粘りが強すぎるとか, もち臭が気になるといった意見もあった。

表5 食味官能試験結果¹⁾

基準品種	試験品種	総合評価 ³⁾	外観	香り	味	粘り	硬さ
ミルキークイーン	コシヒカリ	-0.42±0.45	-0.04	0.04	-0.15	-0.58	-0.54
	キヌヒカリ	-0.46±0.37	-0.12	0.04	-0.31	-0.50	-0.65
コシヒカリ	チヨニシキ	-0.07±1.02	-0.14	-0.12	-0.11	0.04	0.07
	チヨニシキ70%+ミルキークイーン30% ²⁾	0.11±1.10	0.07	0.21	0.07	0.04	0.82

1) 1999年の作物研究室における試験。パネルは26~28名 2) 品種混合は重量比 3) 総合評価は平均値±標準偏差 4) 各項目は-5(極端に悪い)~0(基準と同じ)~+5(極端に良い)の11段階評価で, 粘りは+(強い), -(弱い)とし, 硬さは+(柔らかい), -(硬い)とした

4. 1. 4 病害・障害抵抗性

試験期間をとおして葉いもち, 穂いもちおよび紋枯病の発生は, ‘コシヒカリ’とほぼ同様であり, 特にいもち病に対しては弱いと考えられる(表2, 表3)。

また, 圃場および玄米品質の観察では, 穂発芽は認められなかった。

5 考察

‘ミルキークイーン’の生育や収量, 耐病性などの特性は, 低アミロースという食味特性を除いて‘コシヒカリ’とほとんど同じである。そのため, 特性から見た栽培上および品種導入上の留意点としては, 倒伏しやすいくことやいもち病に弱いことを考慮して, (a)多肥にせず, ‘コシヒカリ’の良食味栽培法に準じた施肥法で栽培する。(b)いもち病などの防除についても, ‘コシヒカリ’に準じて適切に行う。また, 低アミロースというこれま

でない食味特性から、流通は契約栽培や相対取引が中心であるので、(c)販売先、方法などを十分検討してから作付けすることが重要である。さらに、‘コシヒカリ’と草型や熟期などが変わらないので、(d)混種した場合、生育期における識別は困難であり、自家採種は行わない、などが挙げられる。

近年の低米価により生産の低コスト化が求められ、その方策の一つとして直播栽培が推進されているが、‘ミルククイーン’は‘コシヒカリ’同様倒伏しやすく、直播適性は高くない。

普及見込み地域は、県内の‘コシヒカリ’栽培地域で、1999年当時1,000ha栽培面積を見込んでいた。

その後‘ミルククイーン’は2007年までは600ha前後の作付面積で推移していたが、2008年以降は1,000ha台でほぼ横ばいで推移し、一定の面積を維持している(図2)。県南の稲敷地域では、‘ミルククイーン’を中心とした産地も形成されており、奨励品種採用により、茨城県の米生産の振興に一定の役割を果たしていると考えられる。

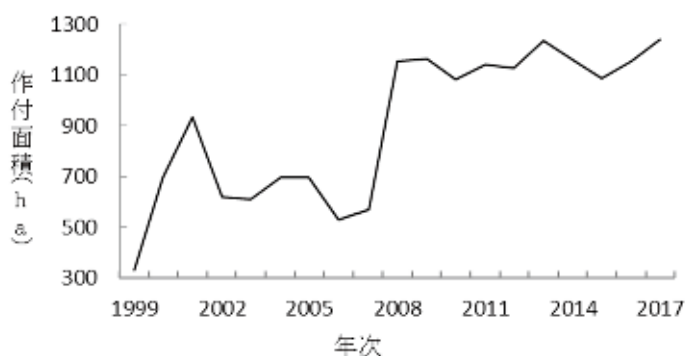


図2 茨城県における「ミルククイーン」の作付面積
注) 作付面積は、農林水産省の水稲作付面積や茨城県農林水産部産地振興課の品種別種子出荷数量割合などからの推定値。

謝辞

本試験を進めるにあたり、種々の助言・協力を頂いた関係各位ならびに栽培管理・調査を行った方々に感謝の意を表します。

摘要

‘ミルククイーン’は、農業研究センターで1995年に育成された低アミロース品種で、茨城県では2000年より奨励品種(認定品種)として普及に移した。2008年以降、1,000ha台の作付面積があり、一定の面積を維持している。

‘コシヒカリ’と比較した‘ミルククイーン’の特性の概要は以下のとおりである。

1. 出穂期と成熟期はほぼ同じである。耐倒伏性はほぼ同じで弱く、いもち病と紋枯病の発生もほぼ同じである。
2. 稈長、穂長、穂数はほぼ同じである。収量もほぼ同じであるが、千粒重は0.5g程度軽い。
3. 玄米は半透明で、玄米品質はやや優れ、評価は中程度である。
4. 食味官能試験では粘りが強く、柔らかく、総合評価は優れる。また、他品種との混米による食味改善効果も認められる。

引用文献

伊勢一男・赤間芳洋・掘末 登・中根 晃・横尾政雄・安東郁男・羽田丈夫・須藤 充・沼口賢治・根本 博・古舘 宏・井辺時雄(2001)低アミロース良食味水稲品種「ミルククイーン」の育成. 作物研究所研究報告 2: 39-61.

Summary

‘Milky Queen’, a rice cultivar with a low amylose content in the endosperm, was developed at National Agriculture Research Center, in 1995 and released in Ibaraki Prefecture as the recommended cultivar in 2000. After 2008, it has been cultivated more than 1,000 ha every year.

Several important Characteristics are as follows.

1. The heading time and the maturing time of ‘Milky Queen’ are nearly equivalent to those of ‘Koshihikari’. The lodging

resistance of both the varieties are equally weak. The occurrence of rice blast and sheath blight in paddy field on 'Milky Queen' are highly similar to those of 'Koshihikari'.

2. The culm length, the panicle length, the panicle number and the yield are nearly equivalent to those of 'Koshihikari'. The thousand kernel weight of 'Milky Queen' is lighter than that of 'Koshihikari' about 0.5g.
3. The brown rice of 'Milky Queen' is translucent. The grain quality of 'Milky Queen' is superior to that of 'Koshihikari'.
4. Because 'Milky Queen' shows high viscosity and soft texture, its eating quality is evaluated higher than that of 'Koshihikari'. When 'Milky Queen' is mixed with 'Chiyonishiki', eating quality of 'Chiyonishiki' is improved.

keywords : eating quality, low amylose, Milky Queen, paddy rice, recommended variety

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）	宮本 昭彦
園芸研究所所長（編集委員長）	折本 善之
生物工学研究所所長（副編集委員長）	塚本心一郎
農業研究所所長（副編集委員長）	檜村 英一
山間地帯特産指導所所長	弓野 功
鹿島地帯特産指導所所長	駒形 智幸
専門技術指導員室長	清水 裕
研究管理監	内藤 和也
企画調整課係長	半田 貴彦

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2号

2020年3月23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.2
March 2020

Contents

Effects of Successive Application of Swine Manure Compost and Fertilizer on Groundwater, Soil, and Air Environment in the Japanese Pear Production System in Ibaraki Prefecture. Yutaka FUJITA	1
New released Small Spray-type Chrysanthemum Cultivars ‘Hitachi Autumn Yuhi’, ‘Hitachi Summer Right’ Yumiko HIRAI, Kazunori SUZUKI, Takuma KOMATSU, Satoshi MURAZAKI, Kayoko SAKAI, Yasumasa TAKATSU, Toshiyuki YOSHIDA, Ryoji ISHII and Hidenori ICHGE	45
Breeding a New Gladiolus Cultivar ‘Hitachi Hatsukoi’ Fumihiko INAZAKI, Kazunori SUZUKI, Kayoko SAKAI, Koichi KITA, Misato MIYAMOTO, Yasumasa TAKATSU, Ryoji ISHII, Takuma KOMATSU and Hidenori ICHIGE	56
Determination of Chestnut Cultivars by Appearance Image Analysis Taketo SANO	66
Characterization and Optimum Cultivar Method of Two-rowed Naked Barley ‘Kirari-mochi’ in Ibaraki Prefecture Kazutaka SHINOMIYA, Takashi YANAGISAWA, Kyoko SUGA, Yukari TERAOKA, Kenichi TANAKA, Yayoi FUKUDA and Takuya MORI	81
Characteristics of the Recommended Cultivar ‘Milky Queen’ in Ibaraki Prefecture, Japan Tadashi IZUMISAWA, Kenichi TANAKA, Etsuo NAKAGAWA and Mikio KANOU	101

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