

水稲無農薬栽培を28年間継続した水田における

収量の年次変動とその要因

大森誉紀

Variation in yield of paddy rice cultivated for 28 years by herbicide and pesticide free

OOMORI Takanori

要 旨

耕地内の自然循環機能を活かして、除草剤や殺虫剤を使用しない水稲栽培技術の確立をめざし、耕地生態系農法確立試験ならびに有機栽培技術確立実証試験として、無農薬栽培を28年間実施した。試験開始初期は雑草害や病虫害の発生がなく、慣行区並みの収量が得られた。試験開始6年目から雑草害が顕著となり、収量が低下した。耕地生態系は不安定な系であるため外部からの影響を受けやすいが、雑草の発生量を人為的に抑制することで水稲収量を慣行並みとすることが可能であった。次いでイネクロカメムシ等害虫が多発した。谷あいの狭小な試験水田では、周辺の自然生態系から害虫が侵入しやすく、農薬不使用では害虫密度を被害許容水準以下に管理できず、収量低下の要因となった。

キーワード：耕地生態系，雑草，カメムシ類，水稲収量

1. 緒言

農業試験場（現農林水産研究所）は、1983年に松山市道後から現在地（松山市上難波）に研究拠点を移転し、それと同時に耕地生態系農法確立試験を開始した。耕地生態系とは、自然生態系と同様に空気、水、土壌などの無機的要素や、各種の動植物、微生物やそれらの遺体およびこれに由来する土壌有機物などの有機的要素によって構成され、それぞれの要素がお互いに関係し合いながら耕地という一つの生活圏内で物質循環を行う生態系のことである。耕地生態系の特徴は、自然生態系と異なり人為的に成り立っていることである。すなわち、収穫物や収穫残渣が耕地生態系外に持ち出されるため、物質循環を完成させるためには、持ち出された栄養元素に相当する成分を人為的に土壌に還元しなければならない。また、優占種は通常1種類の作物が栽培され、人為的に管理されるため、生物多様性に乏しいとされている（愛媛県シンクタンク1977）。

1976年度の愛媛県シンクタンク自然技術開発部会では「農業生産における自然生態系

利用に関する総合的研究」が実施された。1970年代は最初の有機農業ブーム（山本2003）とされ、このブームは旧農業基本法のもと選択的拡大や生産性向上の方向で進められた農業の近代化が、化学肥料の多施用や農薬の多投入、単一作物の連作等となり、土壌の地力低下や自然環境の悪化を招くことが懸念されたことがきっかけで始まったとされる（魚住2008）。しかし、有機農業や自然農法は生態系を安定化させる面では評価できるものの、投下労働力が多くなるのに加え、病害虫・雑草対策が難しく、品質・収量が安定しないなどの課題があり、これら課題解決のために耕地生態系農法確立試験が開始された。

1980年代後半からの有機農業ブームによって、有機農産物を供給する専門流通業者等が出現し、消費者は有機農産物を容易に入手できるようになった。一方で、いろいろな表示の有機農産物やその類似品が流通し、消費者の不信や混乱を助長した（山本2003）。現在は、有機農業推進法が2006年に成立し、さしずめ第3次有機農業ブームと言える。1999年に施行された新農業基本法で農業の持続的

発展がうたわれ環境保全型農業や有機農業が推進されており、当研究所では耕地生態系農法確立試験に引き続き、2009年から愛媛県有機農業推進計画に基づいて有機栽培技術確立実証試験を実施した。これら試験は、同一ほ場で無農薬栽培を28年間継続実施したもので、この間に多くの担当者が関わり、その時々最新の技術を実証してきた。本稿は、この間の水稻収量、病害虫・雑草の発生状況および地力の変化について検証を行い、今後の有機農業推進の基礎資料とするものである。

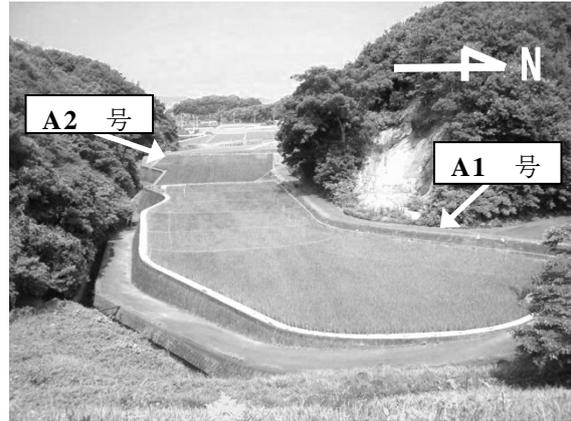


写真1 試験ほ場の外観

表1 試験期間ごとの耕種概要

期間	年	品種	処理区	施肥	備考
I期	1983～ 1986	日本晴	無除草	化学肥料(基肥6kgN/10a, 中間追肥0～2kgN/10a, 穂肥0～5kgN/10a)	稲-麦栽培, 麦作前に堆肥2t/10a施用, 害虫注油駆除
			手取り除草 慣行		
II期	1987～ 1991	日本晴	無除草	化学肥料(基肥6～9kgN/10a, 穂肥4～6kgN/10a)	水稻収穫後にバーク堆肥2t/10a, 害虫注油駆除. 機械除草は歩行型除草機
		コシヒカリ	機械除草 慣行	化学肥料(基肥4kgN/10a, 中間追肥3kgN/10a, 穂肥2kgN/10a)	
III期	1992～ 1996	ひめのまい コガネマサリ	寒冷紗 アイガモ	化学肥料(基肥のみ6～7kgN/10a)	アイガモ区は網ハウスで被覆. 機械除草は歩行型除草機. 紙マルチは乗用6条紙マルチ用田植機(三菱農機株式会社)を使用
			機械除草	化学肥料(基肥6kgN/10a, 穂肥4kgN/10a)	
			紙マルチ アブラ	無肥料	
IV期	1997～ 2001	ヒノヒカリ こいごころ あきたこまち コシヒカリ	アイガモ アブラ	無肥料	深水区では, 冬作(ヘアリーベッチ)すき込みで, 水深は10cm以上
			紙マルチ	有機化成(基肥5kgN/10a, 穂肥4kgN/10a)	
			深水	有機化成(基肥のみ4kgN/10a)	
V期	2002～ 2008	愛のゆめ あきたこまち コシヒカリ	紙マルチ	有機化成(基肥4kgN/10a, 穂肥4kgN/10a)	紙マルチ区には減農薬区と無農薬区, 深水区には減農薬区のみを設け, クロチアニジン粒剤(2006年), ジノテフラン粒剤(2007年)を出穂前散布
			深水	無施肥	
VI期	2009～ 2010	コシヒカリ	無除草 布マルチ 機械除草 冬期湛水 慣行	油かす(基肥3kgN/10a, 穂肥3kgN/10a)	機械除草はタイン式6条ミッドマウント3輪乗用除草機(みのる産業株式会社). 冬期湛水は前年12月から中干しまで.

2. 材料および方法

2.1 耕種概要

試験場所は、農林水産研究所 A1 号水田および A2 号水田で、南北側を山林斜面、東側をかんがい用ため池の土手で囲まれたほ場である（写真 1）。1983 年 3 月に造成が完了し、その年から試験を開始し、2010 年まで実施した。この間を、供試品種や導入した技術の特徴によって次の 6 期に分類した（表 1）。

I 期（1983 年～1986 年）

供試品種には‘日本晴’を用いた。処理区には無除草区および慣行区を設け、1985 年から手取り除草区（毎作 2 回）を加えた。いずれの区も化学肥料を用い、施肥窒素量は毎年基肥に 6kg/10a 施用し、1984～1986 年には中間追肥 2kg/10a、穂肥 2～5kg/10a とした。また、裏作には裸麦を栽培し、麦作前に堆肥 2t/10a を施用した。堆肥には 1983 年には豚糞堆肥、1984～1986 年はオガクズ牛ふん堆肥を使用した。1986 年には 7 月下旬にサラダ油を 2L/10a 用いてウンカ・ヨコバイ類の注油駆除を行った。

II 期（1987 年～1991 年）

1987～1990 年には供試品種に‘日本晴’を用いた。処理区には無除草区、慣行区、および歩行型機械除草機で出穂までに 2 回除草する機械除草区を設置した。いずれの区も、施肥には化学肥料を用い、施肥窒素量で、1987 年に基肥 7kg/10a、穂肥 4 kg/10a、1988 年に基肥 6kg/10a、穂肥 5 kg/10a、1989 年に基肥 8kg/10a、穂肥 6 kg/10a、1990 年に基肥 9kg/10a、穂肥 6 kg/10a とした。1991 年には供試品種に‘コシヒカリ’を用い、いずれの区も、基肥 4kg/10a、中間追肥 3kg/10a、穂肥 2 kg/10a とした。堆肥は毎年秋にパーク堆肥 2t/10a を施用した。毎年出穂後にヒエが多発したので手取り除草を実施した。また、毎年 7 月下旬にサラダ油でウンカ・ヨコバイ類の注油駆除を行った。

III 期（1992 年～1996 年）

供試品種には、1992～1994 年に‘ひめのまい’、1995～1996 年に‘コガネマサリ’を用いた。処理区には、寒冷紗で被覆し虫害を防

ぐ寒冷紗区、虫害と雑草害の両方を防ぐため網ハウス内でアイガモを放飼するアイガモ区、歩行型除草機を 7 月に 2 回使用する機械除草区、乗用 6 条紙マルチ専用田植機（三菱農機株式会社）を使用し紙マルチを敷設した紙マルチ区を設置した。1996 年にはアカウキクサ科のアゾラ（*Azolla*）を田面に繁茂させ抑草させるアゾラ区を設置した。施肥はアゾラ区では無肥料とし、他の区では化学肥料を用い、寒冷紗区およびアイガモ区の施肥窒素量は基肥のみ 6～7kg/10a、機械除草区と紙マルチ区では基肥 6kg/10a、穂肥 4 kg/10a とした。

IV 期（1997 年～2001 年）

供試品種には、1997 年には‘ヒノヒカリ’、1998～1999 年には‘こいごころ’、2000 年には‘あきたこまち’、2001 年には‘あきたこまち’と‘コシヒカリ’を用いた。処理区には、アイガモ区（1997 年のみ）、アゾラ区（1997～1999 年）、紙マルチ区（1997～2001 年）を III 期と同様に設置し、1999 年からは、前作でヘアーベッチを栽培しすき込み、田植から 8 月末までの間の水深を 10 cm とする深水区を設けた。施肥は、アイガモ区とアゾラ区では無肥料とし、深水区では施肥窒素量が基肥のみ 4 kg/10a、紙マルチ区では基肥 5kg/10a、穂肥 4 kg/10a を、それぞれ有機化成を用いて施肥した。

V 期（2002 年～2008 年）

供試品種には、2002 年と 2007～2008 年には‘あきたこまち’、2003 年には‘あきたこまち’と‘愛のゆめ’、2004～2005 年には‘愛のゆめ’、2006 年には‘コシヒカリ’と‘ヒノヒカリ’を用いた。処理区には、紙マルチ区と深水区を IV 期と同様に設置した。施肥は、深水区では無施肥とし、紙マルチ区では有機化成を用いて施肥窒素量で基肥 4kg/10a、穂肥 4 kg/10a とした。

また、雑草はある程度抑制できているにも関わらず収量が低いことから、害虫被害が深刻であると判断されたので、2006 年と 2007 年は出穂前にクロチアニジン粒剤（2006 年）またはジノテフラン粒剤（2007 年）を散布する減農薬栽培とした。深水区では減農薬栽培（減農薬区）のみとしたが、紙マルチ区では減農薬区と無農薬区を設けた。

VI期（2009年～2010年）

供試品種には‘コシヒカリ’を用いた。処理区には、布マルチ水稲直播栽培（津野 2004）を有機栽培で行う布マルチ区、タイン式6条ミッドマウント3輪乗用除草機（みのる産業株式会社）を用い田植14日後から中干しまで毎週1回作業する機械除草区、および無除草区を設けた。また、慣行区を設置した。2010年にはこれらに加え、前年12月から中干し期まで湛水を継続する冬期湛水区を設置した。施肥は、慣行区およびいずれの処理区にも油かすを用いて、施肥窒素量として基肥3kg/10a、穂肥3kg/10a施用した。

2.2 収量性

いずれの区も、成熟期に60株を刈取り、定法によって収量調査を行った。

なお、慣行区はI、IIおよびVI期には設定したが、他の期には設定していない。このため、III～V期の慣行区の収量は、所内の奨励品種決定基本調査データあるいは作況調査データで補完した。

2.3 雑草発生数

雑草の種類別発生本数は、I～III期およびVI期には全区で、V期には処理区のみ調査した。一定面積内の雑草を全て採取し、雑草種ごとに本数を調査し、単位面積あたりに換算した。III期では50cm四方について、VI期では35cm×22cmのプラスチック製枠を用いたコドラート法で調査した。なお、IV期には雑草調査は実施していない。

2.4 土壌分析

水稲栽培跡地の作土を採取し、風乾、調製後、定法により、全炭素（TC）、全窒素（TN）および可給態窒素（AvN）を分析した。なお、TC、TNは、処理区では全期で、慣行区ではI、IIおよびVI期で分析した。AvNは、IおよびVI期で分析した。

2.5 害虫およびクモ類発生数

ウンカ・ヨコバイ類は20cm×20cmの粘着シートを用いて、10株払い落とし法により調査した。クモ類および斑点米カメムシ類は径42

cmの補虫網の20回振りすくい取り法により調査した。イネクロカメムシは50株または試験区内全株について成虫および幼虫を全て数え、その合計を100株当たり換算し発生数とした。同一ほ場に慣行区を設置していない年次は、所内で同じ品種を慣行栽培する別のほ場で調査した。

2.6 気象概況

試験期間中の松山アメダスデータについて、7、8、9月の月別日平均気温と日照時間を、I～VI期ごとに集計した。

3. 結果

3.1 各処理区の収量

期別の慣行区の平均収量と、無除草区を除く全処理区の平均収量を図1に示した。処理区平均収量はIII期に増加したが、IV期以降再び減少した。処理区平均/慣行比は、I期では0.80であったが、徐々に低下し、V期に最低となり0.51であった。

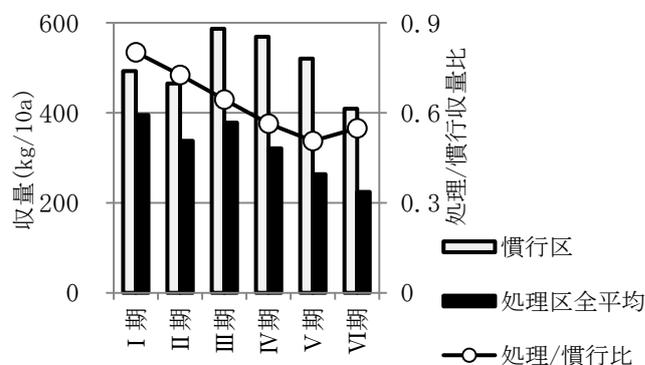


図1 処理区の平均収量と慣行区の収量およびその比
注) 処理区平均収量には、無除草区収量は含まない。

各処理区の収量について、年次間の変動幅を箱ひげ図で示した（図2）。図中の高低線の上端及び下端は処理区の期間中の最高収量と最低収量を示し、陰陽線の上辺および下辺は処理区の期間平均収量から標準誤差分離れた値を示す。

平均収量は、慣行区が最も高く519kg/10aであった。次いで、寒冷紗区455kg/10a、アイガモ区419kg/10a、アゾラ区388kg/10a、手取り除草区382kg/10aで、慣行区の75～88%

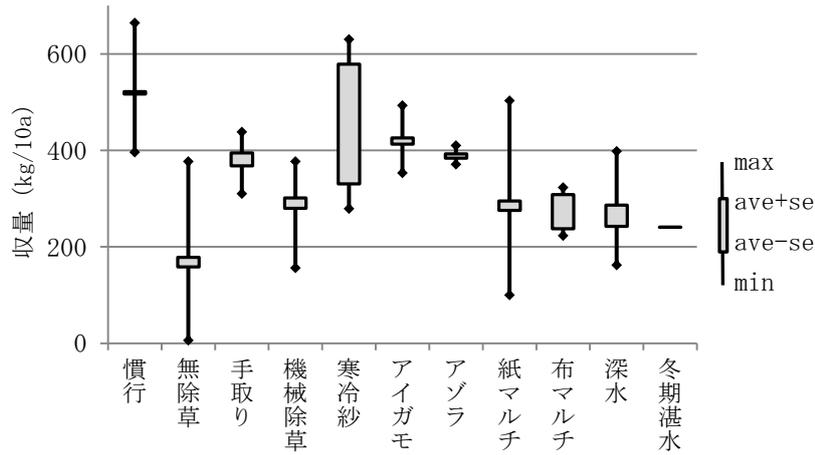


図2 各処理区の収量性

の収量であった。機械除草区、紙マルチ区、布マルチ区、深水区および冬期湛水区はこれらより少なく、それぞれ 291kg/10a, 285kg/10a, 273kg/10a, 265kg/10a, 241kg/10a で、慣行区の 46~57%であった。無除草区は 168kg/10a で慣行区の 32%であり、処理区の中で最も低かった。無除草区、紙マルチ区および寒冷紗区では最高収量と最低収量の差が他の処理区より大きかった。また、寒冷紗区と布マルチ区では収量の年次間のばらつきが大きかった。

3.2 雑草発生数

発生した雑草の種類と本数を表 2 に示した。発生した雑草の種類は、ヒエ科、コナギ、ホタルイおよびカヤツリグサ科であり、永年性雑草は期間を通して発生がなかった。無除草区の発生本数の合計は、I 期で 20 本/m²であったが、II 期ではコナギが急増し 451 本/m²（発生雑草のうちの 92%、以下同じ）であった。III 期ではコナギがさらに増加し 1357 本/m²（61%）であったが、ヒエ科やカヤツリグサ科も各 400 本/m²前後（16~19%）あり、合計本数は 2217 本/m²であった。VI 期ではヒエ科およびカヤツリグサ科が減少し、代わりにホタルイが増加した。VI 期の合計本数は 1728 本/m²で、内訳はコナギ 59%、ホタルイ 38%であった。無除草区を除く全処理区の平均発生本数は、I 期では 27 本/m²で無除草区対比 136%であり、II 期では 162 本/m²で同 36%であった。III 期は 239 本/m²、VI 期は 150 本/m²で、無除草区対比はいずれも 10%程度であった。

雑草の発生本数が多いと収量は減少する傾向を示し、特に I~III 期では雑草発生本数と収量との間には有意な負の相関 ($R^2=0.438$) が見られた(図 3)。IV~VI 期では、雑草発生本数と収量の間には負の関係性は認められたが有意ではないことから、雑草以外にも収量を低下させる要因があると考えられた。なお、雑草発生本数が多いにもかかわらず、水稻収量が 297kg/10a ある区(図中の○)は、8 月中旬の雑草調査直後に区内の雑草を全て除去したものであった。

3.3 土壌分析

全炭素 (TC) は、慣行区では期間を通じて約 1%であったが、処理区では I 期が 1.3%、V~VI 期が約 2%に増加した。全窒素 (TN) は、慣行区では期間を通じて約 0.1%であったが、処理区では TC と同様 I 期の 0.05%が、V~VI 期には約 0.2%に増加した。C/N 比は、慣行区では I 期が 18、VI 期が 8 であり、処理区では I 期が 26 と高かったが、IV 期以後は 9~10 で慣行区と同程度であった。可給態窒素 (AvN) は、慣行区では I、VI 期とも 4~5mg/100g であり、処理区では I 期が 4mg/100g であったが、VI 期は 10mg/100g に増加した(表 3)。

3.4 害虫およびクモ類発生数

害虫およびクモ類の発生状況を表 4 に示した。ツマグロヨコバイは、10 株あたり慣行区では 0~4 頭で、処理区では 5~29 頭であった。トビイロウンカは、VI 期では慣行区で 1 頭、

表2 試験期間ごとの雑草発生本数 (本/m²)

	ヒエ科	コナギ	ホタルイ	カヤツリグサ科	合計	
処理区 平均	I期	2	20	3	3	27 (136)
	II期	0	146	12	4	162 (36)
	III期	42	135	41	21	239 (11)
	V期	0	41	14	0	55 (-)
	VI期	0	111	26	13	150 (-9)
	無除草区	I期	0 (2)	3 (13)	3 (13)	14 (72)
II期		0 (0)	416 (92)	13 (3)	23 (5)	451 (100)
III期		414 (19)	1357 (61)	85 (4)	361 (16)	2217 (100)
VI期		5 (0)	1022 (59)	665 (38)	37 (2)	1728 (100)

処理区平均には、無除草区は含まない。V期には無除草区を設置していない。

() 内は無処理区の発生本数を 100 とした時の処理区発生本数の割合。〈 〉 内は無除草区の雑草種ごとの割合(%)。

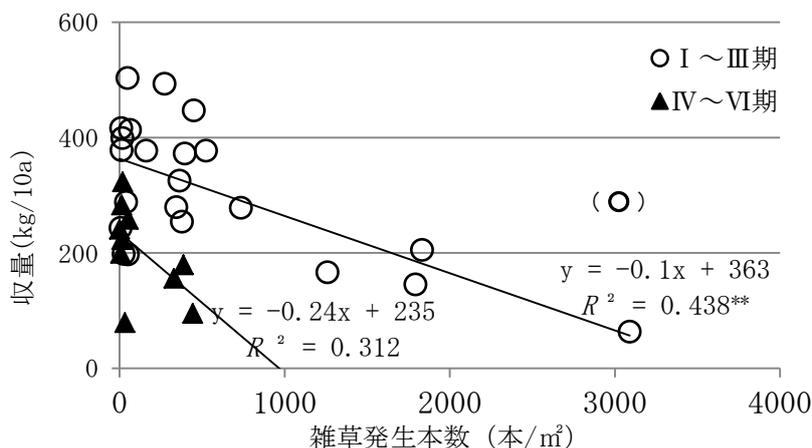


図3 雑草発生量と水稲収量との関係

注) 重相関係数 (R^2) の**は、F検定で1%で有意であることを示す。

(○) は雑草調査後、除草した区で回帰式に含めない。

処理区で2頭であったが、I、IIおよびIV期では慣行区で0~22頭、処理区で153~254頭と、処理区で著しく高かった。

カメムシ類の調査はIV期から開始した。斑点米カメムシ類は20回振りあたり、IV期に慣行区では0頭、処理区では2頭で、VI期には慣行区で16頭、処理区で31頭であった。イネクロカメムシは慣行区では発生を見ていないが、処理区では100株あたりIV期に116頭、V期に186頭、VI期に199頭の発生が確認された。なお、イネクロカメムシの初発生を確認したのはII期であった。

クモ類は、20回振りあたり慣行区で5~17頭、処理区で9~17頭とほぼ同等であった。

3.5 V期に設定した減農薬区の収量

紙マルチ区における期ごとの平均収量は、III期が362kg/10a、IV期が279kg/10a、V期が234kg/10aと、徐々に低下した。しかし、V期のうち2006~2007年に設定した減農薬区において、出穂期に殺虫剤を散布した結果、その平均収量は474kg/10aと高かった(表5)。

また、深水栽培による無農薬区の平均収量は2002~2005年が240kg/10a、2008年が128kg/10aであったのに対し、2006~2007年の減農薬栽培における平均収量は386kg/10aと減農薬栽培を実施した前後の年次より明らかに高かった(表6)。

表3 試験期間ごとの土壌の化学性の変化

	全炭素 (%)		全窒素 (%)		可給態窒素 (mg/100g)	
	慣行	処理	慣行	処理	慣行	処理
I期	1.2	1.3	0.06	0.05	4.7	3.9
II期	1.0	1.3	0.07	0.09	-	-
III期	-	1.5	-	0.12	-	-
IV期	-	1.4	-	0.16	-	-
V期	-	2.2	-	0.22	-	-
VI期	0.9	1.8	0.11	0.19	4.3	10.2

-は未調査. 処理区には, 無除草区は含まない.

表4 試験期間ごとの害虫等の発生数

	ツマグロ ヨコバイ (頭/10株)		トビイロ ウンカ (頭/10株)		斑点米 カメムシ類 (頭/20振り)		イネ クロカメムシ (頭/100株)		クモ類 (頭/20振り)	
	慣行	処理	慣行	処理	慣行	処理	慣行	処理	慣行	処理
	I期	4	15	22	180	-	-	-	-	17
II期	2	6	10	153	-	-	-	*	7	9
III期	0	5	6	18	-	-	-	-	-	-
IV期	0	29	0	254	0	2	0	116	-	-
V期	-	-	-	-	-	-	-	186	-	-
VI期	3	20	1	2	16	31	0	199	5	12

-は未調査, *は初観察

表5 紙マルチ区における殺虫剤使用の効果

期	殺虫剤 の有無	平均収量 (kg/10a)	(指数)
III期	無	362	(155)
IV期	無	279	(119)
V期	無	234	(100)
V期 (減農薬区)	有	474	(203)

() 内はV期を100とした時の指数

表6 深水区における殺虫剤使用の効果

年次	殺虫剤 の有無	年平均収量 (kg/10a)	(指数)
2002~2005	無	240	b (100)
2006~2007	有	386	a (161)
2008	無	128	b (53)

収量の欄の異なるアルファベットはTukeyの多重検定(5%)で有意差あり.

() 内は2002~2005年を100とした時の指数.

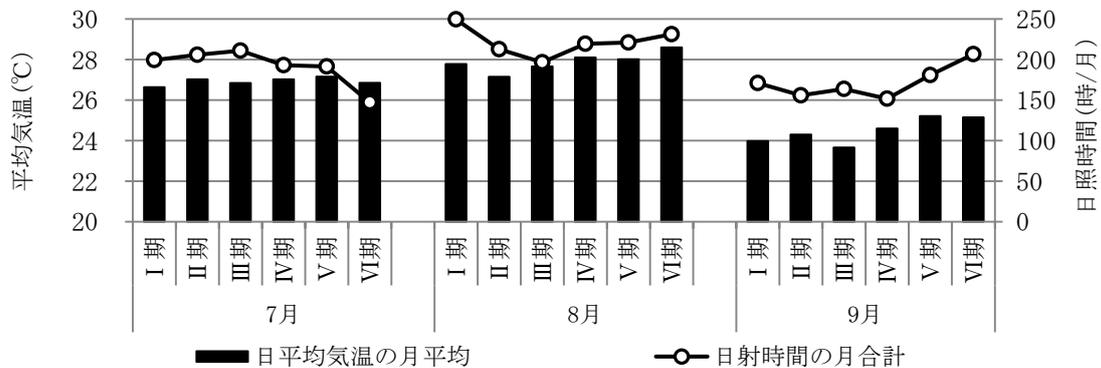


図4 試験期間ごとの平均気温と日照時間

3.6 気象概況

7, 8, 9 月の日平均気温と日照時間を, 期ごとに比較した (図 4).

7 月の日平均気温は, I 期が 26.6°C で II ~ VI 期は 0.2~0.6°C 高かった. 8 月では, I 期に比べ II 期はやや低く, III ~ V 期は -0.1 ~ +0.3°C とほぼ同等で, VI 期は 0.8°C 高かった. 9 月では, I 期と比べ II, III 期はほぼ同等で, IV 期は 0.6°C, V ~ VI 期は 1.2°C 高かった. 日照時間では, 9 月が I 期と比べ V ~ VI 期で 6 ~ 21% 長かった.

4. 考察

4.1 各処理区の収量変動要因

処理区の平均収量と慣行区の平均収量の比は, I 期では 0.80 で処理区と慣行区の収量はほぼ同等であったが, 期が進むにつれて比率が低下し, V 期では 0.51 と処理区の収量は慣行の半分になった.

無除草区を除き, 機械除草区, 紙マルチ区, 布マルチ区, 深水区および冬期湛水区の平均収量は低かった. これらに比べ, I ~ II 期に設置した処理区の平均収量はほぼ慣行区並みと高い. このことから, 無農薬栽培を開始した直後は雑草種子や害虫密度が低いため, 粗放的な管理であっても比較的高い収量が得られるものと思われた.

また, 処理区の中でも寒冷紗区, アイガモ区およびアゾラ区の平均収量は約 400kg/10a で高かった. これらはいずれも III ~ IV 期に試験されたものである. III ~ IV 期の主な供試品種は 'ひめのまい', 'コガネマサリ', 'こいごころ' で, この時の慣行区の平均収量は約 590kg/10a と他の期より高く, このことが処理区の平均収量を高めた要因の一つと考えられた.

これらのことから, 処理法の違いによって収量差が生じるのではなく, 農薬不使用の水稲栽培を長期継続することで, 雑草や害虫などの生産性阻害要因が増大した可能性が考えられた.

4.2 処理区収量に及ぼす雑草害の影響

I 期中は雑草の発生量は少なく, 無除草区と処理区で雑草発生本数は同等であった. しかしその後, 無除草区では雑草本数が増加し, III 期で I 期の約 100 倍, VI 期で約 86 倍と, その増加は甚大であった. 処理区の雑草本数も I 期の 6~9 倍に増加しており, 雑草発生本数の増加が収量低下の要因と考えられた. そこで図 3 の関係を見ると, 雑草発生本数が多い場合に収量は低下する傾向にあり, 特に I ~ III 期には雑草発生本数と収量は有意な負の相関が認められた. 一般に, 雑草の存在による作物収量への影響は,

作物収量 $Y = a - b \sqrt{W}$, (ここで a は無雑草下での収量, W は雑草密度, b は係数)

の関係を示す場合が多く, 減収率は雑草密度の増加とともに漸増する (伊藤 2009). 本試験においても同様な傾向であり, II ~ III 期に雑草が著しく増加したことから, この時期の収量低下の主な要因は雑草害で, 特に雑草の優占種であるコナギに起因していると考えられた. コナギの雑草害は水稲の穂数減によって減収をもたらすことが報告されている (千坂 1966). また, 有機栽培における雑草管理と収量の関係について齊藤らは, ヒエ除去を十分に行った有機栽培田においても, 10 年間の有機栽培の継続でコナギが雑草の優占種となり穂数減による収量の不足から低収となったと報告している (齊藤ら 2001). 有機栽培ではコナギが繁茂し, その防除が困難であるが, 冬期湛水や早期湛水によるトロトロ層の形成や, ダイズとの輪作で抑草できる (稲葉 2008). また, 機械除草では株間の残草が後年の発生量の増加となり問題とされるので, 除草ロータ駆動式中耕除草機のみでは発生の増加を抑えられないものの, 代かき 2 日後の米ぬか表面散布との併用が有効であるとの報告もなされている (中井ら 2011). 本試験では, コナギが繁茂する水田で機械除草による抑草効果は十分ではなかったが, 冬期湛水区や布マルチ区ではコナギの発生を抑えることが実証され, これらはコナギ繁茂田における有機農業の有効な栽培法の一つであると考えられた. 乗用管理機による機械除草は, 有機水稲

の大規模経営には不可欠と考えられることから、効果的な抑草法について今後さらなる検討が必要である。次に、IV～VI期では雑草量と収量の間に関連が認められなかったことから雑草害以外の収量低下要因が存在すると考えられた。

4.3 処理区収量に及ぼす地力の影響

齊藤らの10年間の有機栽培の継続試験では、施肥には牛糞堆肥、発酵鶏糞および菜種油かすを用い、基肥と追肥を施肥窒素量として、それぞれ5kg/10a, 6kg/10a施用した結果、土壌のTCやTNが増加した(齊藤ら2001)。本試験では、I期の土壌の化学性は慣行区と処理区ではほぼ同等であり、慣行区ではTC、TNおよびAvNはVI期もほぼ同等であった。しかし、処理区ではI期からVI期でTNが約4倍、AvNが2.5倍に増加し、慣行区より窒素肥沃度が増加した。C/N比は、慣行区、処理区ともVI期は8～9と同じであることから、処理区の水田の方が慣行区より肥沃であるといえる。本試験では造成後から9年間は堆肥を連用しており、水稻の無農薬栽培を継続することで地力が向上する傾向にあった。当研究所の別のほ場においても、造成後の肥沃度の低い水田では、稲麦栽培を繰り返すことで、その切り株残渣や残根によって地力が高まり収量が向上することが確認されている(大森2003)。しかし、処理区のAvNは10mg/100gで標準的な肥沃度であり、過繁茂で低収となることは考えられない。これらのことから、本試験で確認された程度の地力の変化は収量低下の要因とはならないと考えられた。

4.4 処理区収量に及ぼす害虫発生の影響

ツマグロヨコバイやトビイロウンカの発生は、期間を通じて慣行区より処理区で多かった。処理区では殺虫剤を使用していないことから、本田飛来後の増殖が旺盛で発生数が多くなったものと考えられた。ツマグロヨコバイ、トビイロウンカともI期からVI期の間で発生数の増加傾向は見られず、これらが収量が低下し続けた要因とは考えられなかった。

一方、カメムシ類はIV期から調査項目に追加したことから、IからIII期間に増加した

ものと推察される。特にイネクロカメムシはII期に初観察されており、IV期に116頭/20株と多量に生息していた。

前節(4.2)では、IV～VI期には雑草害以外の要因で収量が低下した可能性について述べたが、IV～VI期はイネクロカメムシの発生密度が極めて高い時期である。イネクロカメムシは、水稻の生育期間を通じて葉鞘部を吸汁し、心枯れ(写真2)や出すくみ穂などの被害を発生させる(田村1987)。イネクロカメムシは、殺虫剤を使用しない時代では被害が大きい害虫であり、最近では全国的にも無農薬栽培に取り組む地域では再び被害が見られている。筆者らは既報(大森ら2011)で、処理区水田では周囲の森林や土手の草からイネクロカメムシが断続的に本田へ飛び込み、水稻の生育に被害を及ぼすこと、および暖かい場所ほど活動が活発になることを報告した。これらのことから、IV～VI期の減収要因としてはイネクロカメムシの被害である可能性が高いと考えられた。



写真2 布マルチ直播栽培の水稻苗で観察されたイネクロカメムシと心枯れ被害

さらに2006年と2007年に、出穂前にクロチアニジン粒剤(2006年)またはジノテフラン粒剤(2007年)を散布した減農薬区では、紙マルチ区の無農薬区に比べ収量は約2倍高まった。深水区については無農薬区を設けて

いないため、同じ深水区における農薬散布年の前後の収量と比較した結果、2006～2007年の平均収量は1.6～3倍高かった。これらのことから、IV～VI期の収量低下要因は虫害によるもので、特にイネクロカメムシの被害によるものと考えられた。試験期間別に見た9月の日平均気温が近年は1.2℃高くなっている。斑点米カメムシでは有効積算温度や8月または9月の平均気温が高いと斑点米が多発生する(杉浦ら 2002)。イネクロカメムシにおいても、近年の温暖化傾向によって多発生や加害活動が助長され、被害が増加したものと思われた。

4.5 まとめ

以上のことから、耕地生態系農法の確立をめざし、無農薬栽培を継続実施したところ、試験開始初期は雑草害や病虫害の発生がほとんどなく、粗放的管理でも慣行区の8割の収量が得られた。しかし、試験開始6年目から雑草害が顕著となり、収量が低下したことから、その対策試験が必要となった。雑草の発生を抑えるためには、機械除草栽培、紙マルチや布マルチ栽培、アイガモやアゾラの導入、ならびに深水栽培や冬期湛水栽培等種々の雑草対策処理が効果的であった。

しかし、雑草害に引き続き、一般のほ場では見かけないイネクロカメムシが多発し、水稲収量は著しく低下した。試験ほ場は谷あいの狭小な水田で、イネクロカメムシが周辺の森林や草むらから飛来し、本田内で増殖し水稲に被害を与え、再び周辺の生息環境に戻る行動が観察されている(大森ら 2011)。この対策として化学合成農薬を使用することで、害虫の侵入量を人為的に管理でき、慣行と同等以上の収量が得られた。

これらのことから、外部からの影響を受けやすい耕地生態系においても、雑草の発生量を人為的に抑制することで、水稲収量を慣行並みとすることは可能と考えられた。しかし、耕地生態系の機能を活用しつつ害虫被害を避けるためには、大規模連担団地で外部からの影響を受けにくくする等の対策が同時に必要であると思われた。

謝辞

耕地生態系農法確立試験の遂行に御苦労された各担当者の皆様に深謝いたします。また、有機栽培技術確立実証試験で協力いただいた環境安全室横田仁子主任研究員(現農業大学校)、病理昆虫室武智和彦主任研究員(現東予地方局今治支局)に心よりお礼申し上げます。

引用文献

- 千坂英雄(1966):水稲と雑草との競争. 雑草研究, **5**, 16-22.
- 愛媛県シンクタンク(1977):耕地生態系の特色, 農業生産における自然生態系の利用に関する総合的研究. 自然技術開発部会レポート, **4**, 45-71.
- 稲葉光國(2008):水田生物の多様性を活かした抑草技術. 無農薬有機のイネづくり 多様な水田生物を活かした抑草法と安定多収のポイント, 37-75. 農文協, 東京都.
- 伊藤操子(2009):I 総論, 6作物に対する害作用. 植物防疫講座—雑草編一, 34-38. 社団法人日本植物防疫協会.
- 中井譲, 鳥塚智, 河村政彦(2011):米ぬか土壌表面処理と機械除草の組み合わせによる無除草剤水稲栽培技術. 雑草研究, **56**, 242-247.
- 大森誉紀(2003):造成水田における稲麦の栽培や有機物の連年施用が土壌の化学性と水稲収量に及ぼす影響. 愛媛県農業試験場研究報告, **37**, 1-6.
- 大森誉紀, 武智和彦, 横田仁子(2011):無農薬栽培を長期実施した谷津田におけるイネクロカメムシ(*Scotinophora lurida*)の発生実態. 愛媛県農林水産研究所(企画環境部・農業研究部)研究報告, **3**, 7-12.
- 齊藤邦行, 黒田俊郎, 熊野誠一(2001):水稲の有機栽培に関する継続試験—10年間の生育収量—. 日作紀, **70**, 530-540.
- 杉浦直幸, 古賀成司, 鈴木芳人(2002):熊本県におけるカメムシ類による斑点米発生と気象要因との関係. 九病虫研会報, **48**, 54-59.
- 田村市太郎(1987):カメムシ類 1.イネクロカメムシ, 原色作物病虫害百科, 社団法人農山漁村文化協会, 311-317.

- 津野幸人 (2004) : 布マルチ水稻直播栽培, 農業技術体系 作物編, **2-②**, 技 522 の 26-28.
- 魚住道郎 (2008) : 有機農業研究の古典, 基礎講座 有機農業の技術－土づくり・施肥・育種・病害虫対策, 社団法人農山漁村文化協会, 157-164.
- 山本晃郎 (2003) : 岡山県における有機無農薬農業への 15 年間の取り組み評価と今後の推進課題, 岡山県農業総合センター農業試験場研究報告, **21**, 39-48.