

気象要因が堆肥連用水田の水稲収量に及ぼす影響

望月 証*・青山喜典*・津高壽和*

要 約

1989年～1999年までの11年間の6月から9月の気温、日照時間について調査し、オガクズ入り牛ふん堆肥 1 t/10a 連用, 2 t/10a 連用, 2 t/10a 連用+1/2減肥(化学肥料), 1 t/10a +ケイ酸苦土石灰0.2t/10a 連用処理が水稲収量に及ぼす影響を検討した。

- 1 水稲収量は各試験区とも7-8月の平均気温、8-9月の日照時間と強い正の相関があった。
- 2 調査した11年間の7-8月の平均気温または8-9月の日照時間により、高(多)、平年並、低(少)に分類した。日照時間が平年並または少の場合、堆肥連用により減収傾向を示した。また、平均気温が低または高の場合も同様に堆肥連用により減収傾向を示した。
- 3 堆肥連用による減収傾向の主な原因は、窒素過多による過繁茂と考えられ、高温の場合は減肥により減収が軽減された。また、堆肥施用による減収は、ケイ酸資材の施用により軽減された。

Meteorological Factors affecting Rice Yield under Continuous Manure Application

Akashi Mochizuki, Yoshinori Aoyama and Toshikazu Tsutaka

Summary

The influence of the average temperature, the daylight hours in the period during June and September from 1989 to 1999 on the rice yield was examined. Plots of rice cultivation are as follows; ① no application, ② 1t/10a continuous application of the sawdust cattle manure, ③ the same application of 2t/10a, ④ 2t/10a continuous application of the manure with 1/2 decreased fertilizer, and ⑤ 1t/10a continuous application of the manure and 0.2t/10a of calcium silicate.

- (1) Equilateral correlation with the yield of rice in every treatments was high in the average temperature of July-August and the daylight hours among August and September.
- (2) The 11 years investigated was classified into low(few), the same level as an average year and high(much) according to the average temperature of July-August or the daylight hours of August-September. In the average or few daylight hours, the continuous manure application showed the tendency to reduced the rice yield. And in low or high average temperature, it showed the same tendency.
- (3) It was thought that the tendency to decrease in the yield by a continuous manure application was caused by over-luxuriant growth by excessive nitrogen in soil. All of decreases were held in check by calcium silicate application.

キーワード：水稲収量、堆肥連用、気象要因、施肥量、ケイ酸資材

緒 言

近年、米の高品質化、差別化を図るため、土づくりとして堆肥等の施用が強調されている。有機物の施用によ

る効果として土壌養分の維持・増強、物理性の改善等が報告され²⁾、生産性の維持のためには欠かせない。筆者らは先に堆肥連用水田における土壌の化学性・物理性への影響、初期の増収効果や適正な堆肥の施用量について報告した¹⁾。一方、県下では年間170万tもの家畜ふん尿が排出されており、県下の農地面積の90%以上を占める

2005年8月31日受理

*兵庫県立農林水産技術総合センター部長(農林水産環境担当)

水田での適正な利用が求められている⁶⁾。

近年は温暖化が進み日本の大都市では直近90年間に約2℃気温が上昇しており、今後の気温上昇により水稻の収量減少が懸念されている^{7,16)}。他方、冷害対策が重要な課題である東北地域では冷害に対する堆肥の施用効果が報告され、堆肥の施用が推進されているが^{14,22)}、西日本における報告は少ない。

これらのことから、本県、特に北播磨地域における堆肥連用水田における水稻の収量に気象要因がどのような影響を及ぼしているかを検討したので報告する。

材料及び方法

試験は農林水産技術総合センター（兵庫県加西市）内の水稻単作は場で1987～1999年の13年間行ったが、堆肥連用水田として連用開始から3年目の1989年から1999年の11年間について調査した。土壌型は細粒黄色土造成相で表土20cmは灰色の埴壤土（沖積水田表土）、下層土は黄褐色の埴土である。

気象要因は近隣の福崎気象観測所（兵庫県福崎町）のアメダスデータの平均気温（℃）、日照時間（時間）を用いた。試験に用いた11年間の気象データの偏りを考慮して、平年値はその平均値を用いず、気象庁が福崎観測所で平年値として用いている期間の6月から9月のデータを用いて平年値を算出した。すなわち、平均気温は1979～2000年（資料年数22年）の6月から9月のデータを、日照時間は1987～2000年（資料年数14年）の6月から9月のデータを用いた。また、気象要因の高低（多少）の程度は22年間、または14年間のデータを気象庁で用いている図1の階級区分値に従って分類した⁸⁾。

表1に示したように、①堆肥0t・標肥区、②堆肥1t・標肥区、③堆肥2t・標肥区、④堆肥2t・1/2減肥区、⑤堆肥1t・標肥・ケイカル区の5試験区を設定した。なお、④堆肥2t・1/2減肥区を、1992年から③2t・標肥区を分割して設定した。試験区の規模は1区50㎡または25㎡、1連制であり、試験区の施肥量、使用した堆肥（オガクズ入り牛ふん堆肥）及びケイカル（ケイ酸苦土石灰）の施肥量、堆肥の分析成分値は表1に示した。また図2に各試験区作付跡土壌の全窒素を示した。

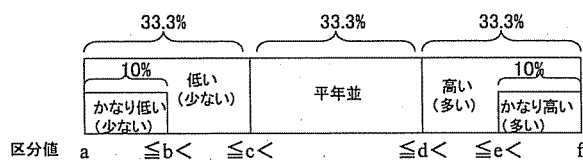


図1 階級区分値 a,b,c,d,e,fについて

栽培品種は「日本晴」(1991年のみ「あじまる」)である。堆肥及びケイ酸苦土石灰施用は5月中旬、播種は5月下旬、代かき、移植は6月中旬に行った。栽植密度は30cm×16cm、基肥は移植直後表層施肥とし、中干しは7月下旬～8月上旬、穂肥は8月上旬、収穫は10月上旬に行い、収穫後年内に稲わらを全量すき込んだ。生育調査は8月上旬に実施し、収量調査は4㎡刈を試験区内の中庸なところで各区1点ずつ行った。生育・収量の指標として、8月上旬の茎数/㎡（以下、茎数と呼ぶ）、穂数/㎡（以下、穂数と呼ぶ）、モミ/ワラ比、1穂あたりのモミ重及び玄米千粒重を求めた。なお、モミ重は唐箕選による精モミ重を用いた。

結果

1 平均気温、日照時間 (1989年～1999年)

主な作付け期間である6月から9月の平均気温、日照時間及びその程度を表2に示した。なお、気象の高低（多少）の程度については図1に従って計算した表3の階級区分値から設定した。1993年は著しく低温寡照、1994年は著しく高温多照であった。

表1 試験区の内容

試験区名	オガクズ入り牛ふん堆肥 施肥量 (t/10a)	堆肥の投入量 素量 (kg/10a)	肥料の三要素施用 量 kg/10a		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
①堆肥0t・標肥区	0	0	9.6(3.2)	6.4	9.6(3.2)
②堆肥1t・標肥区	1	5.1	9.6(3.2)	6.4	9.6(3.2)
③堆肥2t・標肥区	2	10.2	9.6(3.2)	6.4	9.6(3.2)
④堆肥2t・1/2減肥区	2	10.2	4.8(1.6)	3.2	4.8(1.6)
⑤堆肥1t・標肥・ケイカル区	1	5.1	9.6(3.2)	6.4	9.6(3.2)

- 備考：（）内は穂肥量 稲わらは全量ほ場還元
 1 堆肥の成分（平均値）：水分61.8%，T-C：42.0%，T-N：1.34%，T-P₂O₅：1.45%，T-K₂O：2.09%（水分以外は乾物当たり）
 2 基肥：塩加リン安（14-14-14）
 3 穂肥：尿素入りNK化成（16-0-16）
 4 ケイカル：ケイ酸苦土石灰 200kg/10a

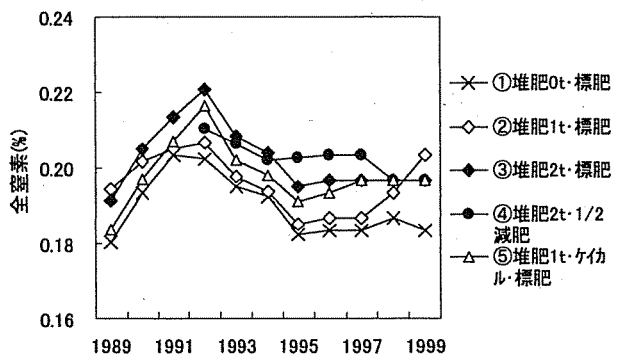


図2 各試験区の作付跡土壌の全窒素（3年の移動平均）

表2 6月から9月の年次別平均気温・日照時間とその高低(多少)の程度^{a)}

気象要因(月)	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	平均
平均気温(6)	20.8	22.8	22.7	20.6	21.1	22.3	20.6	22.3	22.5	22.2	22.2	21.8
〃(7)	低	甚高	高	低	低	高	低	高	高	並	並	25.8
〃(8)	並	高	並	並	甚低	甚高	並	高	並	高	並	26.9
〃(9)	25.1	26.3	25.9	25.2	23.8	28.7	25.8	26.1	25.3	26.3	25.6	23.0
〃(7-8)	25.7	27.6	26.4	26.3	24.7	28.6	28.1	27.0	26.9	27.5	27.3	26.4
〃(6-9)	低	高	並	低	甚低	甚高	甚高	並	並	高	高	24.4
日照時間(6)	22.5	23.5	23.8	22.3	21.2	23.9	21.7	21.6	22.8	24.2	25.3	97.27
〃(7)	低	並	並	低	低	並	低	低	低	並	並	122.7
〃(8)	25.4	27.0	26.2	25.8	24.3	28.7	27.0	26.6	26.1	26.9	26.5	163.9
〃(9)	低	高	並	並	甚低	甚高	高	高	並	高	高	126.6
〃(7-8)	23.5	25.1	24.7	23.6	22.7	25.9	24.1	24.3	24.4	25.1	25.1	290.4
〃(6-9)	低	並	並	低	甚低	高	並	並	並	並	少	510.4
日照時間(6)	123	126	48	77	66	130	74	64	138	111	115	97.27
〃(7)	並	多	甚少	少	少	多	少	少	甚多	並	並	122.7
〃(8)	145	122	76	76	52	201	100	187	147	132	112	163.9
〃(9)	少	並	少	少	甚少	甚多	並	甚多	多	並	並	126.6
〃(7-8)	158	203	136	107	89	237	213	187	186	140	147	290.4
〃(6-9)	並	多	少	少	甚少	甚多	多	多	並	少	並	510.4
日照時間(6)	105	114	132	150	82	157	127	138	145	120	121	97.27
〃(7)	少	少	並	多	甚少	甚多	並	並	並	少	低	122.7
〃(8)	263	317	268	257	171	394	340	325	331	260	269	163.9
〃(9)	少	並	並	少	甚少	甚多	多	多	多	少	並	126.6
〃(7-8)	531	565	392	409	288	725	515	576	615	503	496	290.4
〃(6-9)	並	並	少	少	甚少	甚多	並	多	多	並	少	510.4

a) 甚低(少): かなり低い(少ない) 低(少): 低い(少ない) 並: 平年並 高(多): 高い(多い) 甚高(多): かなり高い(多い)

表3 福崎観測所の気象要因(6月~9月)の平年値と階級区分値

	平年値	b	c	d	e
平均気温(6月)	21.7	20.6	21.2	22.2	22.7
〃(7月)	25.5	23.9	25.0	25.9	26.5
〃(8月)	26.7	25.0	26.4	27.2	28.1
〃(9月)	24.7	21.1	22.8	26.8	27.7
〃(7~8月)	26.1	24.3	25.7	26.5	27.1
〃(6~9月)	24.7	23.2	24.0	25.4	26.0
日照時間(6月)	106.7	60.0	78.5	124.2	137.9
〃(7月)	122.0	70.2	99.8	139.6	182.1
〃(8月)	166.3	102.5	146.1	186.3	213.3
〃(9月)	133.1	99.8	121.4	147.7	156.3
〃(8~9月)	299.4	236.8	267.5	321.7	373.7
〃(6~9月)	528.1	367.7	502.2	571.2	645.6

2 各試験区の収量及び作物体の全重と生育・収量の指標

表4に各試験区の収量及び作物体の全重と、堆肥0t・標肥区を100とした場合の各区の収量比を示した。1993年は堆肥投入区の収量が大きく下がった。11年間における平均収量は各区に有意な差はみられなかった。また、表5に生育・収量の指標の平均を示した。各区に有意な差はみられないが、穂数、モミ/ワラ比、1穂あたりのモミ重において堆肥1t・標肥・ケイカル区と堆肥1t・標肥区及び堆肥2t・標肥区とは差がある傾向が認められた。

表4 各試験区の収量と全重(kg/10a)

試験区	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	平均	CV(%)
①堆肥0t 収量	448(100)	517(100)	499(100)	504(100)	466(100)	635(100)	580(100)	595(100)	618(100)	542(100)	561(100)	542(100)	11.3
・標肥 全重※				1301(100)	1366(100)	1595(100)	1757(100)	1878(100)	1788(100)	1504(100)	1614(100)	1600(100)	12.7
②堆肥1t 収量	430(96)	498(96)	495(99)	560(111)	414(89)	601(95)	584(101)	580(97)	611(99)	515(95)	510(91)	527(97)	12.6
・標肥 全重※				1474(113)	1356(99)	1583(99)	1742(99)	1957(104)	1736(97)	1506(100)	1593(99)	1618(101)	11.6
③堆肥2t 収量	474(106)	511(99)	466(93)	503(100)	364(78)	550(87)	617(106)	589(99)	650(105)	516(95)	532(95)	525(97)	15.0
・標肥 全重※				1351(104)	1341(98)	1470(92)	1764(100)	1877(100)	1820(102)	1667(111)	1545(96)	1604(100)	13.0
④堆肥2t 収量				505(100)	359(77)	668(105)	557(96)	606(102)	557(90)	582(107)	532(95)	546(97)	16.5
・1/2減肥 全重※				1369(105)	1266(93)	1695(106)	1583(90)	1852(99)	1580(88)	1658(110)	1458(90)	1558(98)	12.1
⑤堆肥1t 収量	517(115)	515(100)	496(99)	548(109)	417(89)	585(92)	604(104)	608(102)	583(94)	595(110)	542(97)	546(101)	10.6
・標肥・ケイカル 全重※				1396(107)	1296(95)	1608(101)	1808(103)	1759(94)	1743(97)	1597(106)	1598(99)	1601(100)	11.2

()は①堆肥0t・標肥を100とした比 ※1989~1991の全重データは欠損

表5 各試験区の生育・収量の指標の平均

試験区	莖数		穂数		モミ/ワラ比		1穂あたりのモミ重		千粒重	
	(本/m ²)	CV(%)	(本/m ²)	CV(%)	CV(%)	(g)	CV(%)	(g)	CV(%)	
①堆肥0t・標肥	451.6	14.4	398.9	10.7	0.86	10.5	1.75	11.4	22.9	1.6
②堆肥1t・標肥	464.9	16.6	406.2	10.6	0.82	12.8	1.69	12.4	22.7	2.4
③堆肥2t・標肥	467.1	17.2	405.4	15.2	0.83	10.9	1.69	15.2	22.7	2.5
④堆肥2t・1/2減肥	446.5	10.8	385.5	9.4	0.86	9.0	1.83	15.7	22.9	2.1
⑤堆肥1t・標肥・ケイカル	458.0	17.3	376.0	11.5	0.88	7.9	1.85	11.5	22.9	2.0

3 各気象要因と収量の相関

表6に処理ごとの時期別各気象要因と収量との相関係数を示した。収量は平均気温及び日照時間と正の強い相関を示した。平均気温の中では、8月の相関が非常に強かったが、堆肥2t・1/2減肥区では標準区と比べて、7月の相関も非常に強かった。日照時間は、各処理とも特に8月あるいは9月の相関が強く、堆肥2t・1/2減肥区では7月も強い相関が得られた。

6月から9月の3ヶ月間から前半(6月から7月:以下、6-7月と呼ぶ)、中盤(7-8月)、後半(8-9月)を抽出したとき、8-9月の日照時間、7-8月の平均気温が各処理とも収量との相関が高い傾向が認められた。ただし、7-8月の平均気温は、堆肥0t区では強い相関があるが、堆肥1,2t区では堆肥施用量の増加に伴って相関係数が小さくなった。これは、図3のとおり堆肥

表6 各気象要因と収量の相関係数

気象要因(月)	①堆肥0t・標準肥	②堆肥1t・標準肥	③堆肥2t・標準肥	④堆肥2t・1/2減肥※	⑤堆肥1t・ケイカル・標準肥
平均気温(6)	0.408	0.211	0.212	0.534	0.131
〃(7)	0.641*	0.561	0.409	0.901**	0.574
〃(8)	0.772**	0.717*	0.697*	0.905**	0.766**
〃(9)	0.194	0.045	0.071	0.419	0.141
〃(6-7)	0.632*	0.481	0.379	0.888**	0.451
〃(7-8)	0.734**	0.663*	0.571	0.936***	0.695*
〃(8-9)	0.543	0.419	0.425	0.736*	0.506
〃(6-9)	0.618*	0.474	0.427	0.856**	0.508
日照時間(6)	0.305	0.162	0.335	0.481	0.261
〃(7)	0.653*	0.515	0.577	0.893**	0.670*
〃(8)	0.711*	0.617*	0.708*	0.827**	0.634*
〃(9)	0.706*	0.885***	0.677*	0.791*	0.706*
〃(6-7)	0.581	0.422	0.544	0.857**	0.572
〃(7-8)	0.730**	0.606*	0.687*	0.911**	0.698*
〃(8-9)	0.808**	0.801**	0.795**	0.894**	0.749**
〃(6-9)	0.745**	0.649*	0.717*	0.927***	0.710*

*5%水準有意 **1%水準有意 ***0.1%水準有意
 ※④区は8年間(1992~1999)の相関係数

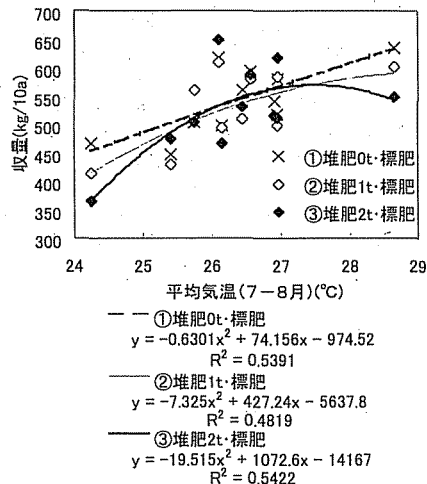


図3 平均気温(7-8)と堆肥施用区の収量

の施用量が増加すると高温時の収量の増加割合が減ったためであった。

4 収量と8-9月の日照時間、7-8月の平均気温との関係

各処理の収量の平均と、堆肥0t・標準区(以下、標準区と呼ぶ)を100とした収量比とから、気象要因の高低(多少)の程度各処理への影響について検討した(図4, 5)。甚高(多)、甚低(少)はそれぞれ高(多)、低(少)に含めた。なお、調査した11年間は7-8月の平均気温(以下、気温(7-8)と呼ぶ)は平年より高い傾向を、8-9月の日照時間(以下、日照(8-9)と呼ぶ)は平年と比べ、11年間の前半少なく、後半多い傾向を示した(表2)。

概して日照の多少の程度による収量比の差は5%以内と少なかった。特に日照(8-9)が多い場合、標準区と各区との収量比の差は1-2%と少なかった。日照(8-9)が平年並又は少ない場合は、堆肥1t・標準区及び堆肥2t・標準区(以下、合わせて堆肥区と呼ぶ)、堆肥2t・1/2減肥区(以下、減肥区と呼ぶ)の収量比は標準区より2-5%低下した。しかし、堆肥1t・ケイカル・標準区(以下、ケイカル区と呼ぶ)の収量比は同等か上昇した。

気温(7-8)が低い場合の収量比は、堆肥区は8%低下し、減肥区は23%低下した。気温(7-8)が高い場合、収量比は、堆肥区は3-4%低下し、減肥区及びケイカル区では低下はみられなかった。

次に、日照時間と平均気温について、他の気象要因の影響を除いた収量との偏相関係数を表7に示した。日照時間は全ての期間で各処理とも収量と正の相関があるが、特に8-9月で相関が強く、平均気温は7-8月の減肥区

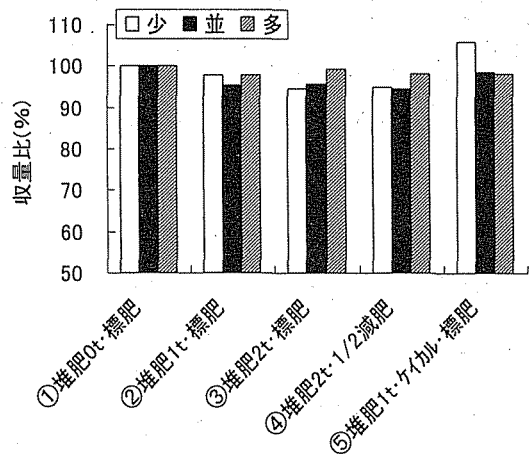


図4 日照時間(8-9)と各区の収量比 少、並、多は日照時間の程度を示す

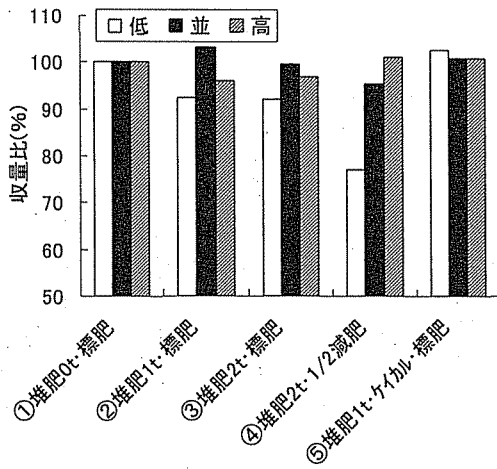


図5 平均気温（7-8月）と各区の収量比
低、並、高は平均気温の程度を示す

で比較的強い正の相関を示し、ケイカル区で弱い正の相関を示したが、他の区では弱い負の相関を示す傾向が認められた。

5 生育・収量の指標と気象要因について

生育・収量の指標における標準区と各区との比較を、堆肥区が標準区に比べて収量が減少した日照（8-9）の低と並の場合並びに気温（7-8）の低と高の場合について、図6-9に示した。

日照（8-9）が少ない場合、堆肥区及び減肥区は、標準区に比べて茎数は2-5%増加したが、モミ/ワラ比は7-12%、1穂あたりのモミ重は2-3%、千粒重は1-2%低下した。日照（8-9）が平年並の場合、堆肥区及び減肥区は標準区と比べて、堆肥1t区でモミ/ワラ比が7%、減肥区で穂数が8%低下した以外、い

表7 生育期間別の各気象要因と収量の偏相関

気象要因	制御変数	①堆肥0t・標肥	②堆肥1t・標肥	③堆肥2t・標肥	④堆肥2t・1/2減肥	⑤堆肥1t・ケイカル・標肥
日照時間 (6-7)	平均気温 (6-7)	0.669	0.504	0.632	0.098	0.232
〃 (7-8)	〃 (7-8)	0.884**	0.505	0.558	0.589	0.316
〃 (8-9)	〃 (8-9)	0.921**	0.898**	0.764*	0.858*	0.707
〃 (6-9)	〃 (6-9)	0.951**	0.838*	0.722	0.757*	0.544
平均気温 (6-7)	日照時間 (6-7)	-0.270	-0.296	-0.495	0.460	0.026
〃 (7-8)	〃 (7-8)	-0.170	0.056	-0.153	0.728	0.322
〃 (8-9)	〃 (8-9)	0.267	-0.266	-0.033	0.628	0.281
〃 (6-9)	〃 (6-9)	-0.471	-0.544	-0.388	0.429	0.026

** 1% 水準有意 * 5% 水準有意

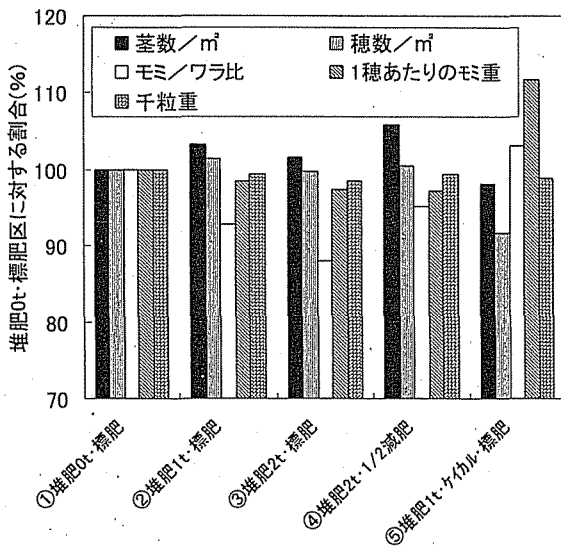


図6 日照時間（8-9）が少ない場合の生育・収量の指標

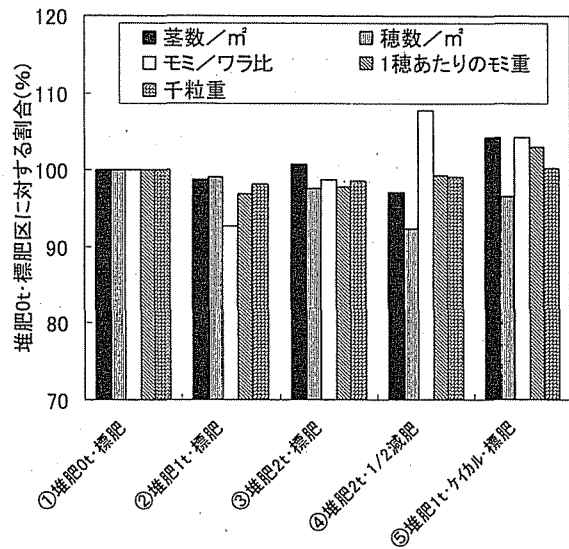


図7 日照時間（8-9）が平年並の場合の生育・収量の指標

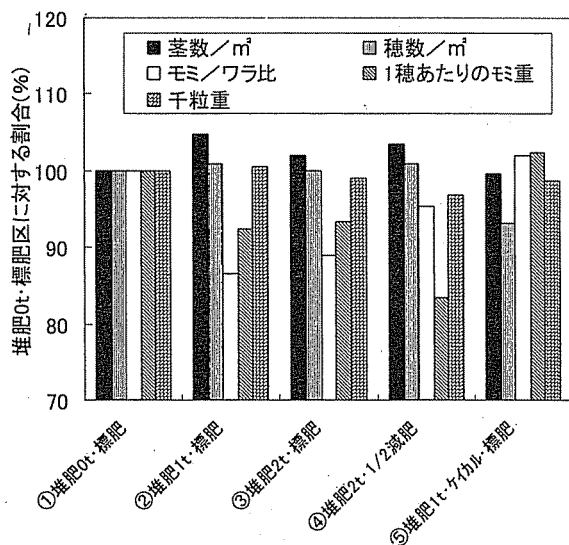


図8 平均気温(7-8)が低い場合の生育・収量の指標

ずれも差は少なかった。気温(7-8)が低い場合、堆肥区及び減肥区は標準区に比べて、茎数が2~5%上昇し、モミ/ワラ比が5~13%、1穂あたりのモミ重が8~18%低下した。減肥区では千粒重も3%低下した。気温(7-8)が高い場合には、堆肥区では、モミ/ワラ比が3~5%、1穂あたりのモミ重が5~7%低下したが、茎数は4~7%、穂数は3~6%増加した。しかし減肥区では1穂あたりのモミ重が8%増加し、穂数が7%低下した。

考 察

1 気象要因と収量について

気象と水稻の生育については数多くの研究がなされている。水稻では、栄養生長期に高温が成長を促進し、葉への物質配分の増加を通じて個体群の乾物増加に強い影響を及ぼす³⁾。8月下旬から生殖生長期に入ってもしばらくの間高温は葉の生育を促進するが、稔実期に入ると高温により老化が顕著になり、呼吸による消費が多くなるので、適温は栄養生長期より低温側に移行する。また、幼穂形成期以降の高温、特に夜温の高温は登熟を阻害する^{9,10,15)}。そのため、登熟が順調に進む場合、乾物生産の大きくなる7、8月の平均気温と収量との正の相関が強くなると考えられる。また、8、9月の平均気温は登熟への影響により、むしろ負の相関を示すと考えられる¹²⁾。このため、表6の8-9月の平均気温は正の相関を示したが、表7の日照時間の影響を除いた偏相関係数では8-9月の平均気温と収量との相関が明確ではない結果となったと考えられ、表6は日照時間の影響が強く表れ

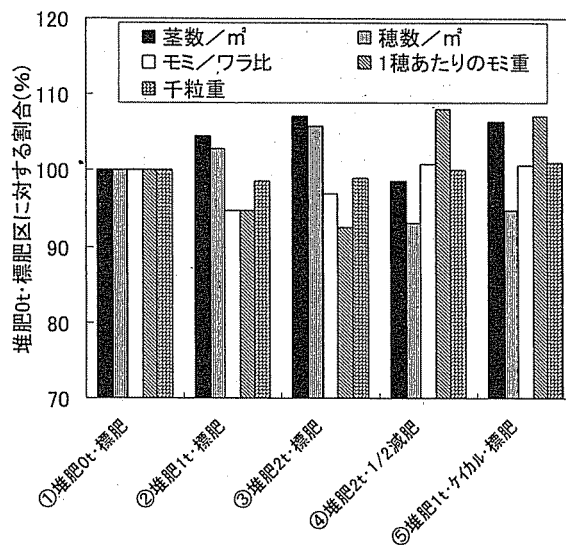


図9 平均気温(7-8)が高い場合の生育・収量の指標

た結果であると推察された。なお、減肥区では7-8月の平均気温と収量との正の偏相関係数が大きくなったが、減肥により堆肥からの窒素供給の影響が大きいため、温度と正の相関が強くなったと考えられた。

また、栄養生長期の生育には高温と窒素が影響する。堆肥連用区での高温は堆肥からの窒素供給過多により、根の発達や受光態勢を悪化させる³⁾。このため光合成の低下が起こり、図3のとおり高温時の収量低下に結びついたと考えられた。堆肥及び土壌からの肥効が7月下旬もしくは8月上旬までは大きいので^{18,23)}、減肥区では堆肥の肥効の影響が大きく7月の平均気温と日照時間との相関も非常に高くなったと推察された。

日照時間は光合成に、ひいては生育全般に強い影響を及ぼす。しかし、水稻の子実に蓄積された物質のかなりの部分は稔実期の光合成により生産されたものである³⁾。このため、収量と日照時間との相関は8、9月が最も高い結果となった。

2 堆肥連用水田における冷夏の影響について

堆肥の施用により、冷害の収量低下が抑えられる報告^{5,21)}があり、堆肥施用田は収量が安定していると一般にいられているが、本試験では平均気温が低い場合、堆肥区及び減肥区の収量低下が著しい。気温(7-8)が低い場合、生育・収量の指標から、標準区と比較すると茎数の増加、モミ/ワラ比と1穂あたりのモミ重の著しい低下がみられる。また、穂数、千粒重は変わらないため、精モミ数の低下が収量低下の要因として考えられた。堆肥区は標準区と比べて茎数が増加しており、窒素過多による過繁茂であると考えられ、倒伏もみられた。本試

験では障害型冷害の発生温度である17℃よりかなり高い温度で推移しているため、渡部らの報告²⁰⁾にあるような窒素過多→葉面積の増加→水温の低下→不稔増加という不稔発生機構が働いていると考えにくい。むしろ、施肥窒素が多いほど葯長、葯幅が短くなり充実花粉数も減少するという報告のとおり¹⁹⁾、堆肥施用によって、窒素過多となり充実花粉数の低下が精モミ数の低下を引き起こした可能性が示唆された。また減肥区においても茎数の増加及びモミ/ワラ比、1穂あたりのモミ重の低下を示した。茎数、モミ/ワラ比から過繁茂と考えられ、低温年である1993年は倒伏もみられたが、減肥のため堆肥区より利用できる窒素は少ないと考えられる。また、1993年は前年より幼穂形成期が5日遅くなり、収穫も2週間ほど遅れ、倒伏の影響で成熟期はさらに遅れた。低温年は生殖生長への移行が遅れ、かつ低温のため堆肥からの肥効が遅い時期まで続くので、減肥区でも過繁茂となり、結果としてモミ重の大きな減少につながったと推測された。さらに、成熟期の遅れからも分かるように、生殖生長の遅れがそのまま登熟の遅れにつながり、千粒重も標準区に比べて大きく低下したと考えられた。

冷夏の場合、寡照である場合が多いが、日照(8-9)が少ない場合も生育・収量の指標は同様の傾向が認められた。

さらに、堆肥区の減収要因として本試験に用いた水田が半湿田であることが挙げられる。湿田型土壌における堆肥の施用は冷害に対して逆効果である報告もある¹⁾。水稲作付跡の堆肥2t区では鍬床にグライ層が現れている状態で還元化が進んでいる¹⁾。還元状態は水稲根の呼吸を阻害し、光合成の低下を起こすという報告があるように²¹⁾、堆肥の春施用により土壌の還元化が進み、根の生育不良による光合成能の低下が収量に影響を及ぼしている可能性が示唆された。日照(8-9)が平年並の場合、堆肥区は過繁茂もなく順調に生育、稔実していると推察されるが、標準区に比べて僅かの収量低下がみられた。この場合も同様の原因であると推察され、今後、気象と根の活性等との関係について調査する必要がある。

いずれの場合もケイカル区では収量の低下がみられず、1穂あたりのモミ重及びモミ/ワラ比の増加がみとめられた。これはケイ酸の施用により受光態勢が改善され光合成能が向上し、さらに転流率が向上した¹⁷⁾ため、1穂あたりのモミ重及びモミ/ワラ比の増加につながったと考えられた。

3 堆肥連用水田における高温、多照の影響について

近年、高温により米の品質低下、収量低下が報告されている²⁰⁾ので、堆肥連用水田における高温、多照の影響

を検討した。高温の場合は、茎数、穂数の増加及び1穂あたりのモミ重の低下がみられた。これらから高温により土壌中の窒素肥効の発現が顕著になり、過繁茂となって登熟が悪化し、減収したと考えられた。それに対し、減肥区では窒素過多による茎数、穂数の増加はなく、低温の場合に比べ有機物が分解されやすく、堆肥の肥効が早い時期に低下するためと考えられた。また、ケイカル区にも茎数の増加がみられるが、1穂あたりのモミ重が増加し、収量の低下はみられなかった。これは前述したように光合成能の向上によるものと推察される。

日照時間が多い場合はどの区も高収量であるため、高温多照であれば収量の低下はみられないが、高温寡照の場合、減肥、ケイ酸資材施用等の対策が有効であると考えられた。

4 気候要因に対する堆肥連用水田の対策について

上記の通り、堆肥連用による水稲の収量に及ぼす影響は、主に窒素供給が関与していると考えられる。堆肥の窒素供給能力は温度に左右されるため、連用が進めば、高温に推移している年は減肥を行う必要がある。2000年以降も2003年を除き、7-8月の高温傾向は続いており(データ掲載なし)、今後も減肥の必要性は高い。しかし、気温の推移は事前に判断できないため、堆肥2t施用した場合、基肥は減肥し、追肥により調節することが適当であると考えられる。理論的には、表3の階級区分値より7-8月の平均気温が26.5℃を下回る場合は追肥を標準施肥する必要があると考えられる。しかし、現実には追肥を8月上旬に施用するとすると、7月の気温で判断する必要がある。試験を実施した11年の中で7月の気温が高い場合、7-8月の平均気温は必ず高くなっているため、7月の平均気温が25.9℃より低い場合は、減肥せずに標準量追肥を行うのが良いと考えられた。

本試験の結果は必ずしも堆肥の施用により増収する結果となっていない。これは、稲わらを還元した水稲単作の事例であるためと考えられる。毎作の稲わら還元では、化学肥料のみでも、稲わらからオガクズ入り牛ふん堆肥より多い窒素が供給され¹¹⁾、腐植も維持される¹⁾。よって、稲わら還元の上に堆肥を投入することは窒素過多になりやすいと考えられる。しかし、転換畑では堆肥投入による地力の維持は必要であるという報告¹²⁾があり、増加している輪作体系における堆肥の施用の意義について、今後検討する必要がある。

引用文献

- (1) 青山喜典・大塩哲視・松浦克彦・津高寿和(2002)：有機質資材の11年間連用による水田土壌の変化と水

- 稲の収量：兵庫農技研報（農業）50, 33-36
- (2) 青山喜典・津高寿和(2003)：稲わら還元した水田における，堆肥と肥料の適正施用量：近畿中国四国農研 2, 7-12
- (3) 後藤寛治・川原治之助・玖村敦彦・丹下宗俊・佐藤庚 共著(1974)：作物学(朝倉書店) 128-135
- (4) 浜崎忠雄・加藤好武・小原 洋・加藤邦彦(2000)：土壌類型等土壌条件と標高差が水稲冷害に及ぼす影響：ペドロジスト 44(1), 2-8
- (5) 韓 京龍・李 宗鉄・江頭和彦・金 福順(1998)：冷害多発地域での水稲安定生産のための有機物施用効果：土肥誌 69(3), 256-264
- (6) 兵庫県農林水産部農政企画局課長(総合農政担当)(2004)：ひょうごみどり白書2004(兵庫県) 51-57
- (7) 岩切 敏(1997)：わが国における気温と降水量の長期変動の実態：農業気象 53(1), 41-45
- (8) 気象庁(2005)：気象観測統計の解説(気象庁) 95-104
- (9) 松島省三・真中多喜夫(1957)：水稲収量の成立と予察に関する作物学的研究 第39報 水稲の登熟機構の研究(5)．生育各期の気温の高低・日射の強弱並びにその複合条件が水稲の登熟に及ぼす影響：日作紀 25(4), 203-204
- (10) 松島省三・角田公正(1957)：水稲収量の成立と予察に関する作物学的研究 第40報 水稲の登熟機構の研究(6)．生育各期の気温較差が水稲の登熟に及ぼす影響：日作紀 25(4), 205-206
- (11) 松山 稔・牛尾昭浩・桑名健夫・吉倉淳一郎(2003)：施用有機物由来窒素の5年間にわたる水稲への吸収利用と施肥窒素の削減：土肥誌 74(4), 533-537
- (12) 村田吉男(1964)：わが国の水稲収量の地域性に及ぼす日射と温度の影響について：日作紀 33, 59-63
- (13) 大塩哲視・三好昭宏・松浦克彦・齋藤教子・津高寿和(2000)：兵庫農技研報(農業) 48, 22-27
- (14) 大山信雄：地力増強・施肥改善による水稲冷害軽減効果 [1] 昭和50年代の東北地方における試験結果から(1985)：農乃園 60, 1269-1274
- (15) 佐藤 庚・稲葉健吾・戸沢正隆(1973)：高温による水稲の稔実障害に関する研究 第1報幼穂形成期以降の生育時期別高温処理が稔実に及ぼす影響：日作紀42(2), 207-213
- (16) 清野 裕(1995)：気候温暖化が我が国の穀物生産に及ぼす影響：農業気象 51(2), 131-138
- (17) 高橋英一著：ケイ酸植物と石灰植物(農山漁村文化協会) 66-97
- (18) 高橋 茂・山室成一(1992)：堆肥連用水田における土壌無機化窒素発現量と土壌および灌漑水由来窒素の水稲吸収量の推移：土肥誌 63(5), 505-510
- (19) 立田久善(1999)：水稲の耐冷性関連形質としての葯長，葯幅および充実花粉数に及ぼす施肥窒素の影響：日作紀 68(2), 187-193
- (20) 寺島一男・斎藤裕幸・酒井長雄・渡部富男・尾形武文・秋田重誠(2001)：1999年の夏期高温が水稲の登熟と米品質に及ぼした影響：日作紀 70(3), 449-458
- (21) 津野幸人・鳥生誠二(1987)：水稲根の呼吸障害が光合成作用に及ぼす影響：日作紀 56(4), 512-520
- (22) 上野正夫・斉藤昭四郎・小南 力・斉藤正志・渡辺和夫・鈴木 正(1978)：水稲に対する有機物および土壌改良資材の施用効果：山形県立農業試験場研究報告 第12号, 57-86
- (23) 上之園 茂・長友 誠・高橋 茂・國枝栄二・山室成一(2004)：重窒素標識法による鶏ふん堆肥およびオガクズ牛ふん堆肥の水稲に対する窒素供給能の評価：土肥誌 75(3), 313-319
- (24) 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(9), 393-397
- (25) 渡部富男・武市義雄(1991)：水稲の障害型冷害に関する研究 第1報 受光態勢と不稔歩合：日作紀 60, 225-233