

## 三要素、有機物及び土壌改良資材の長期施用が 水稲収量や水田土壌化学性に及ぼす影響

三浦吉則・松本靖<sup>1</sup>・笹川正樹<sup>2</sup>

### Effects of long-term application of NPK elements, organic matters, and soil amendments on rice yield and paddy soil chemistry

Yoshinori MIURA, Yasushi MATSUMOTO<sup>1</sup>, Masaki SASAGAWA<sup>2</sup>

#### Abstract

We investigated the yield of paddy rice and the soil chemistry of paddy fields by long-term continuous application of NPK elements, organic matters, and soil amendments at three experiment sites of the Fukushima Agricultural Experiment Station. The locations of the three fields are: Central Station: Koriyama City, Aizu Region Research Branch: Aizubange Town, Cool Weather Damage Branch: Inawashiro Town. The results are as follows.

#### (1) Rice yield

We used refined brown rice weight for 10 years from 1996 to 2005.

The effect of the NPK-element elimination is that the non-NPK plot has the lowest yield, the yield is reduced by 40 to 50% compared to the NPK plot, and the non-nitrogen plot is 30 to 40% lower than the NPK plot. In the non-phosphorus plot, the yield was 20% lower at Cool Weather Damage Branch than in the NPK plot. It was considered that the low temperature in the cold region had an effect. The non-potassium plot showed a slight decrease in yield compared to the NPK plot. The application of organic matters and soil amendments generally increased the yield.

#### (2) Uptake of nutrients in rice

We investigated at the paddy rice maturing stage in the year when the experiment was completed (2005).

As for the phosphoric acid and potassium concentrations, the concentrations of the leaf and stem of the non-phosphorus and non-potassium plots tended to be low in Aizu Region Research Branch and Cool Weather Damage Branch, which have long years of continuous application, respectively. However, the concentrations of panicle did not tend to be low.

#### (3) Chemical properties of soil

The soil after harvesting the paddy rice in the year when the experiment was completed (2005) was investigated.

Exchangeable potassium content tended to be low in non-NPK and non-potassium plots without potassium fertilization,

---

受付日 2021年10月29日、受理日 2022年3月4日

\*本研究の一部は、2006年9月、日本土壌肥料学会（秋田大会）で発表した。

1 現会津農林事務所農業振興普及部

2 現農業総合センター会津地域研究所

and high in plots with organic matters. There was no clear tendency for the total potassium content to be low in the non-NPK and non-potassium plots.

Truog and BrayII phosphoric acid contents tended to be low in the non-NPK and non-phosphorus plots that were not fertilized phosphoric acid, and high in the plots that were treated with organic matters and soil amendments. In addition, the difference between treatments was large in the order of Cool Weather Damage Branch > Aizu Region Research Branch > Central Station. Total phosphoric acid content tended to be low in non-NPK and non-phosphorus plots, especially in the Aizu Region Research Branch and Cool Weather Damage Branch, which had long experiment years.

#### (4) Example of utilization of results (Contribution to measures to suppress the uptake of radiocesium)

After the accident at the Tokyo Electric Power Company's Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant in March 2011, we have been promoting the reduction of rice straw together with the addition of potassium fertilization in order to suppress the uptake of radiocesium in brown rice. The soil data of this experiment was used for technical information to convey to farmers. It will show the importance of this experiment.

(Received October 29, 2021; Accepted March 4, 2022)

Key words : NPK elements, Organic matter, Soil amendments, Rice, Paddy soil

キーワード : 三要素、有機物、土壌改良資材、水稻、水田土壌

## 1 緒言

水稻の三要素試験は三要素である窒素、リン酸、カリについて、施肥の際にそれぞれの要素欠除処理の継続により水稻の生産性や土壌肥沃度への要素の影響をみるものである。また、水稻の有機物連用試験は堆肥や稲わらなどの有機物の連用が水稻の生産性や土壌肥沃度に与える影響をみるものである。この2つの試験は農業における土壌肥料分野の基本研究として全国的にも実施されてきており、本県では以下の3地域で、三要素試験と有機物連用試験を併せて（以下、「三要素等試験」と表記）試験が実施された。本県の米どころである会津盆地の現河沼郡会津坂下町に1918年（大正7年）に設置された農事試験場特別試験地（後の農業試験場会津支場）において、三要素等試験は1920年に開始された。高冷地の農業研究の拠点として猪苗代町に1935年（昭和10年）に設置された農業試験場冷害試験地において、同試験は1954年に開始された。郡山市に1961年（昭和36年）に設置、改組された農業試験場（本場）において、同試験は1962年に開始され、後に試験ほ場を移転し1985年に再び開始された。以降、試験の成果は各地域での水稻栽培技術の確立に貢献し、成果

の一部は報文として報告された<sup>23)、12)</sup>。2006年（平成18年）の福島県農業総合センターの発足に伴う試験研究機関の統廃合により、3試験箇所の同試験は2005年に終了した。

本試験の終了にあたり、終了年の稲体と跡地土壌の採取を行い、3試験箇所で共通となる水稻養分吸収と土壌化学性の調査を実施し、水稻収量は1996年から試験終了年までの10年間の結果で本報をとりまとめた。本来、三要素等試験では土壌、かんがい水、雨水などを由来とする三要素の天然供給量や有機物の成分等も把握したうえで、要素欠除の処理や有機物の施用が水稻の収量や土壌肥沃度に与える影響を長期に評価することが必要であるが、天然供給量や施用有機物の成分等の調査は実施していないことから、三要素等試験の結果としては限定的な内容である。しかし、本試験のデータは水稻の生産性に影響する異なる気候を有する本県3地域で実施した長期試験から得られたものであり、その期間は通算86年に渡る長期の試験箇所も含むなど、貴重なデータであることから、本報による報告は意義があると思われる。また、2011年3月に発生した東日本大震

災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故によりもたらされた環境中への放射性物質の拡散による汚染が深刻さを増す中、玄米の放射性セシウム吸収抑制のために土壌中の交換性カリが大きく影響することが推察され、生産現場へ稲わら還元の重要性を伝えるために本試験の稲わら連用のデータが吸収抑制対策の技術情報に活用された。本報のデータは必要に応じてさまざまな形で活用される可能性があり、データを残すということも本報公表の意義と考えると共に、原発事故による放射性セシウム吸収抑制対策への活用についても、後節に結果の活用事例として言及したところである。

## 2 試験方法

### (1) 試験条件

実施した試験条件の内容を表1に示した。

本試験は旧福島県農業試験場本場（郡山市富田町字若宮前、以下、「本場」と表記）、同試験場会津

支場（河沼郡会津坂下町大字見明字南原、以下、「会津支場」と表記）、同試験場冷害試験地（耶麻郡猪苗代町字坂下、以下、「冷害試験地」と表記）の3試験箇所で開催された。標高について本場は270m、会津支場は200m、冷害試験地は526mであり、年平均気温は本場11.9℃、会津支場11.6℃、冷害試験地9.5℃で、冷害試験地は平均気温で他2試験箇所より年間を通し2～2.5℃ほど低く、冬積雪が多く夏は冷涼な高冷地の気候である。土壌は3試験箇所とも細粒灰色低地土の土壌型に分類された。

試験履歴は本場では21年間連用。会津支場では旧会津支場で69年間連用後、同旧支場の移転に伴い旧試験ほ場の作土を現試験ほ場に20cm深に充填し17年間連用した。通算で86年間の連用となる。冷害試験地では三要素試験は50年間連用、有機物や土壌改良資材試験は30年間連用した。これら3試験箇所での試験はともに2005年に終了した。

表1 試験条件

項目	農業試験場本場 (本場)	農業試験場会津支場 (会津支場)	農業試験場冷害試験地 (冷害試験地)
試験場所	郡山市富田町字若宮前	河沼郡会津坂下町大字見明字南原	耶麻郡猪苗代町字坂下
標高	270m	200m	526m
土壌型	細粒灰色低地土	細粒灰色低地土	細粒灰色低地土
試験規模	54㎡/区、1区制	25.2㎡/区、1区制	16.5㎡/区、1区制
試験履歴	1985～2005年の21年間連用。	1920～1988年旧会津支場(会津坂下町羽林)で69年間実施。 1989年に移転し、現試験ほ場(会津坂下町明見)に旧試験ほ場の作土を20cm深に充填し、2005年まで17年間連用。通算86年間連用。	三要素試験は1954～2005年の50年間連用。 有機物、土壌改良資材施用試験は1976～2005年の30年間連用。
栽植様式	移植:5月中旬 4本/株 手植え 栽植密度:30×15cm(22.2株/㎡)	移植:5月中旬 4本/株 手植え 栽植密度:30×16cm(20.8株/㎡)	移植:5月下旬 4本/株 手植え 栽植密度:30×15cm(22.2株/㎡)
水稲品種 (会津支場及び冷害試験地は、ここ約30年間の状況)	コシヒカリ	1972～1999年:ササニシキ 2000～2005年:ひとめぼれ	1976～1988年:ハツニシキ 1989～1991年:はなの舞 1992～1997年:初星 1998～2002年:はたじるし 2003～2005年:あきたこまち
地上部処理	水稲地上部持ち出し	水稲地上部持ち出し	水稲地上部持ち出し

供試品種は本場ではコシヒカリの供試を継続しているが、他2試験箇所では主要品種の変遷と共に供試品種も変えている。

稲わら等の水稻地上部は、土壌へ還元せず全量持ち出した。

かんがい水は、本場は場内でくみ上げた地下水を、会津支場は阿賀川水系の宮川用水を、冷害試験地は裏磐梯からの土田堰用水を利用した。3試験箇所ともかんがい水の水質の分析は実施していない。本場での地下水、冷害試験地での裏磐梯からの用水については、一般的に水稻栽培に利用している河川水に比較すると養分濃度は低いと考えられる。会津支場での阿賀川水系の水質については、小沢の1986年から1988年に採取した福島県の河川の水質分析<sup>16)</sup>から、会津支場に近しい阿賀川の水質をみると窒素、リン酸、カリ濃度は低い状況であるが、使用した同河川の水系である宮川用水が同様の状況であるかは不明である。

## (2) 区の構成

区の構成を表2に示した。

三要素区は三要素である窒素、リン酸、カリを施肥した区であり、無肥料区は三要素を全て施肥しなかった区である。無窒素区、無リン酸区、無カリ区はそれぞれ窒素、リン酸、カリを欠除した区である。稲わら区や堆肥区は三要素の施肥に上乗せで、それぞれ稲わらや堆肥を施用した区である。土改区は三要素の施肥に上乗せで、ケイカルやようりんの土壌改良資材を施用した区である。

窒素は硫安、リン酸は過リン酸石灰、カリは塩化加里を用いた。稲わらは前年場内で収穫した稲わらをその年の秋に規定量を施用、堆肥は場内で収穫した稲わらに家畜ふんなどの腐熟促進剤を加えず試験施設内で作成した稲わら堆肥を施用した。施用量は表2に示したとおりである。

表2 区の構成

区名	肥料(kg/a)			有機物(kg/a)		土壌改良資材(kg/a)	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	稲わら	堆肥	ケイカル	ようりん
<b>本 場</b>							
無肥料	-	-	-	-	-	-	-
無窒素	-	1.0	1.0	-	-	-	-
無リン酸	0.6	-	1.0	-	-	-	-
無カリ	0.6	1.0	-	-	-	-	-
三要素	0.6	1.0	1.0	-	-	-	-
稲わら	0.6	1.0	1.0	60	-	-	-
堆肥	0.6	1.0	1.0	-	120	-	-
土改	0.6	1.0	1.0	-	-	16	4
<b>会津支場</b>							
無肥料	-	-	-	-	-	-	-
無窒素	-	0.9	0.9	-	-	-	-
無リン酸	0.7	-	0.9	-	-	-	-
無カリ	0.7	0.9	-	-	-	-	-
三要素	0.7	0.9	0.9	-	-	-	-
稲わら+土改	0.7	0.9	0.9	60	-	15	4
堆肥	0.7	0.9	0.9	-	120	-	-
堆肥+土改	0.7	0.9	0.9	-	120	15	4
<b>冷害試験地</b>							
無肥料	-	-	-	-	-	-	-
無窒素	-	1.2	1.2	-	-	-	-
無リン酸	0.7	-	1.2	-	-	-	-
無カリ	0.7	1.2	-	-	-	-	-
三要素	0.7	1.2	1.2	-	-	-	-
稲わら+土改	0.7	1.2	1.2	50	-	12	8
堆肥+土改	0.7	1.2	1.2	-	150	12	8
土改	0.7	1.2	1.2	-	-	12	8

備考) Nは硫安、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は過リン酸石灰、  
K<sub>2</sub>Oは塩化加里で施肥  
稲わらは前年秋施用  
土改は土壌改良資材

## (3) 調査方法および分析法

三要素等試験による水稲の生産性や土壌への影響を明らかにするために、水稲の収量調査、水稲の養分吸収調査、土壌の化学性調査を実施した。

水稲の収量調査は、水稲の成熟期に区あたり 100 株を採取し、わら重、籾重、粗玄米重、精玄米重の測定を行った。本報で使用したデータは、精玄米重のみで、1996 年から試験終了年である 2005 年までの 10 年間である。

水稲の養分吸収調査は、試験終了年である 2005 年に実施し、分析のための水稲体は、成熟期に生育調査 20 株 (10 株×2 反復) の穂数の平均値を基に 3 株を採取し、葉、茎、穂に分割・秤量・混合したものを乾燥・裁断・粉碎し、分析に供した。

水稲の植物体分析は、まず湿式分解法により分解<sup>2)</sup>し、窒素をインドフェノール法<sup>21)</sup>、リン酸をバナドモリブデン法、カリを原子吸光法により測定した<sup>2)</sup>。ケイ酸は重量法により測定した<sup>2)</sup>。

土壌の化学性調査については、まず、試験終了年である 2005 年の水稲収穫後に深さ 30cm (会津支場は 20cm) の土壌断面から作土層 (層位 1 : 深さ 0 ~ 12cm)、鋤床層 (層位 2 : 深さ 12 ~ 約 22cm)、下層 (層位 3 : 深さ約 22 ~ 30cm) の層位ごとに土壌を採取 (会津支場は層位 1 : 深さ 0 ~ 12cm、層位 2 : 深さ 12 ~ 20cm) した。作土層の厚さは共通して 12cm であったが、鋤床層の厚さは 10cm 程度でばらつきがみられた。区ごとに 2 箇所採取し、層位ごとに土壌を混合し、風乾・砕土・篩別 (2mm) して分析に供した。

土壌の化学性分析について、CEC はホルモール法<sup>24)</sup>で測定した。可給態リン酸はトルオーグ法とフッ化アンモニウム-塩酸抽出によるブレイ 2 準法 (以下、「ブレイ II 法」と表記) で測定<sup>2)</sup>した。全カリ及びリン酸は、土壌試料を過塩素酸分解法により分解し、カリを原子吸光法、リン酸をバナドモリブデン法により測定した<sup>2)</sup>。

## 3 試験結果

## (1) 水稲の収量

1996 年から試験終了年である 2005 年までの 10

年間の精玄米重の平均値と変動係数を表 3 に示した。また、同様に 10 年間の各年の精玄米重の三要素区に対する各要素欠除区との関係について図 1 に示した。

表 3 10 年間 (1996 年~2005 年) の水稲精玄米重の平均値及び変動係数

区名	精玄米重		指数	
	(kg/a)	(変動係数)		(変動係数)
<b>本場</b>				
無肥料	33.4	(15.2)	64	(9)
無窒素	36.9	(15.3)	71	(13)
無リン酸	50.7	(13.1)	98	(10)
無カリ	49.5	(12.5)	96	(7)
三要素	52.0	(12.1)	100	-
稲わら	54.7	(13.9)	106	(14)
堆肥	55.7	(8.5)	108	(6)
土改	53.3	(12.9)	103	(7)
<b>会津支場</b>				
無肥料	30.5	(19.0)	49	(16)
無窒素	43.5	(13.9)	70	(13)
無リン酸	63.2	(7.6)	102	(10)
無カリ	57.8	(13.2)	93	(9)
三要素	62.2	(9.5)	100	-
稲わら+土改	71.6	(6.7)	116	(9)
堆肥	74.4	(6.0)	120	(6)
堆肥+土改	77.0	(7.3)	125	(13)
<b>冷害試験地</b>				
無肥料	28.3	(14.1)	47	(14)
無窒素	36.7	(8.5)	61	(10)
無リン酸	46.5	(22.9)	77	(22)
無カリ	53.8	(9.7)	90	(9)
三要素	60.4	(12.3)	100	-
稲わら+土改	58.8	(15.0)	97	(8)
堆肥+土改	64.3	(12.2)	107	(6)
土改	61.0	(11.0)	102	(12)

備考) 指数は同試験箇所の三要素区の精玄米重を 100 とした比

3 試験箇所の三要素区の精玄米重の平均値は、会津支場で 62.2kg/a と最も高く、次いで冷害試験地で 60.4kg/a、本場では 52.0kg/a との結果であった。

三要素の欠除の影響をみると、3 試験箇所とも無肥料区が最も減収となり、三要素区 (指数 100) に比し指数 47~64 となり、次いで、無窒素区が指数 61~71 となった。無リン酸区については、本場

や会津支場では三要素区と概ね同等の収量であったが、冷害試験地については三要素区に比し指数77であった。無カリ区は三要素区に比べ、指数で本場では96、会津支場では93、冷害試験地では90と若干の減収となった。図1の水稻の三要素区に対する要素欠除した区との収量比較した年ごとの関係を見ると、無リン酸区では冷害試験地において三要素区と同等の収量を確保した年がある反面、5割減収の年があるなど収量への無リン酸の影響にバラツキが大きいことが明らかになった。

有機物や土壌改良資材施用の効果をみると、三要素に稲わらや堆肥、土壌改良資材をプラス施用することにより三要素区に比べ概ね増収した。増収傾向が大きかったのは堆肥+土改区であった。試験箇所別にみると特に会津支場では安定した増収効果がみられた。一方、高冷地である冷害試験地では増収効果が小さく、稲わら+土改区では三要素区に比し指数97と若干の減収となった。

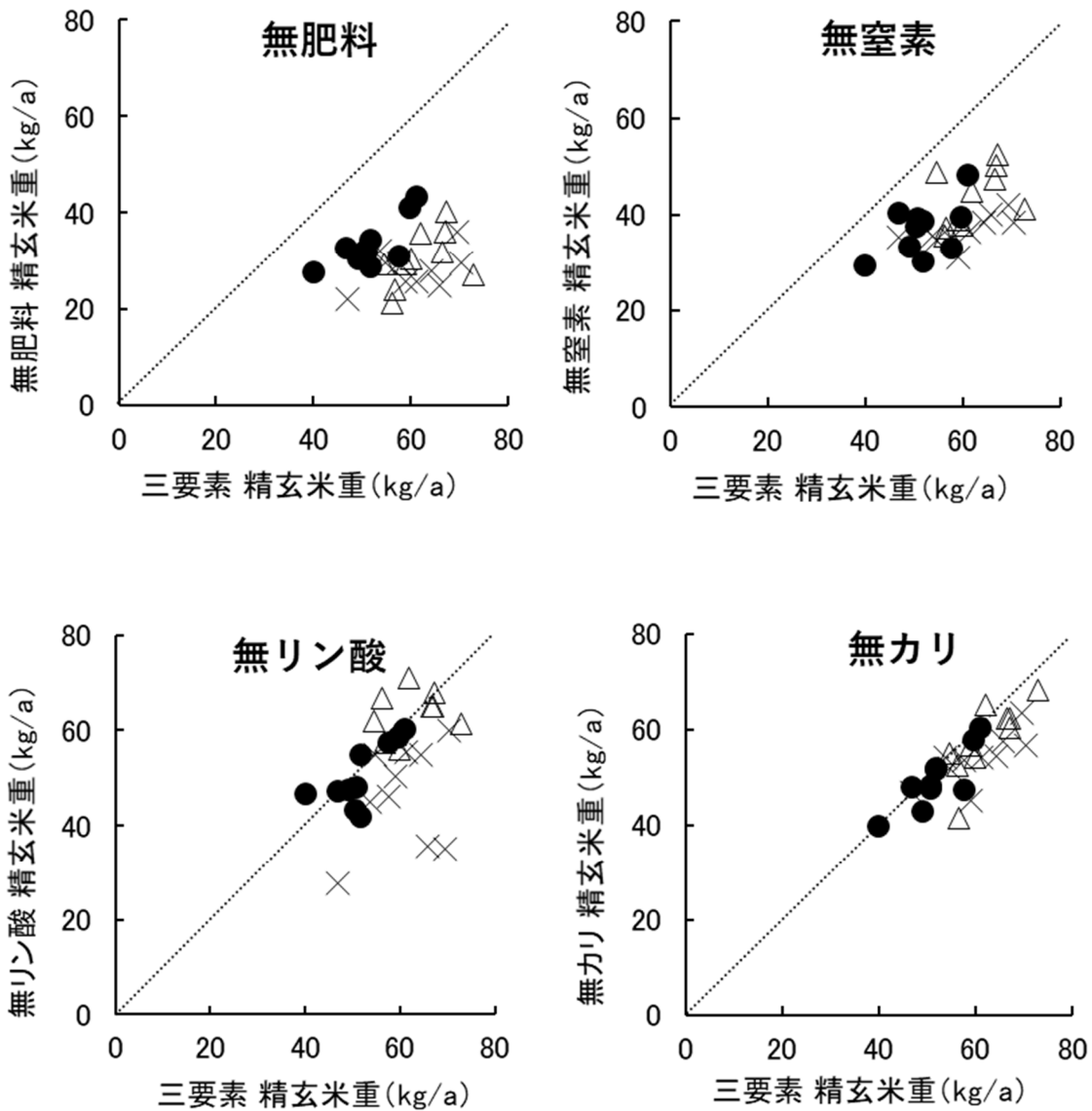


図1 10年間（1996年～2005年）の水稻収量の三要素区に対する要素欠除区との比較  
 凡例 ●：本場、△：会津支場、×：冷害試験地

## (2) 水稲の養分吸収

試験終了年である2005年の成熟期水稲の乾物重と、窒素、リン酸、カリ、ケイ酸の濃度を表4に、同水稲の同養分の吸収量を表5に示した。

乾物重については、無肥料区や無窒素区で低く、有機物や土壌改良資材の施用区で高くなる傾向がみられ、収量である精玄米重との関連が概ね高い結果であった。

窒素については、葉、茎、穂の濃度が区による差が小さかったことから、窒素吸収量は乾物重に左右され、収量の高い区で多い傾向であった。

リン酸については、調査した養分のなかで最も低い濃度であった。無リン酸区の葉や茎の濃度は、連用年数の長い会津支場、冷害試験地、特に冷害試験地において低い傾向がみられたが、穂の濃度に区による差はみられなかった。リン酸吸収量については、他の養分に比較し吸収量も少なく、合計量として区による大きな差はみられなかった。

カリについては、無カリ区の葉や茎の濃度が他区に比べ低い傾向がみられ、会津支場において特にその傾向が大きかった。カリ吸収量については、無肥料区や無カリ区で少なく、有機物や土壌改良資材の施用区で多かった。

ケイ酸については、調査した養分の中で最も高い濃度であった。葉、茎、穂の濃度は区による差がみられず、ケイ酸吸収量は乾物重に左右され、収量との関連が高い有機物や土壌改良資材の施用区で多い傾向であった。

## (3) 跡地土壌の化学性

跡地土壌の化学性については表6に示した。

CECについては、連用年数が長い会津支場、冷害試験地において、無リン酸区で他区より低く、有機物や土壌改良資材の施用区で高くなる傾向がみられた。

交換性石灰や苦土については、有機物や土壌改良資材の施用区で高くなる傾向がみられた。

交換性カリについては、カリを施用していない無肥料区や無カリ区で低く、稲わらや堆肥など有機物を施用している区で高い傾向がみられた。

可給態リン酸は、トルオーグ法による可給態リ

ン酸（以下、「トルオーグリン酸」と表記）とブレイⅡ法による可給態リン酸（以下、「ブレイⅡリン酸」と表記）について調査を行った。リン酸を施肥していない無肥料区や無リン酸区の1、2層のトルオーグリン酸及びブレイⅡリン酸は、他区に比較し低く、有機物や土壌改良資材を施用している区で高い傾向がみられた。この傾向は、冷害試験地や会津支場で明確であった。

全カリ、全リン酸については、データを表6に示すとともに、三要素に関わる試験区について図2に示した。全カリについては、カリを施肥していない無肥料区や無カリ区的全カリ含量が他区と比較して低い傾向が明確にはみられなかった。全リン酸については、リン酸を施肥していない無肥料区や無リン酸区の1、2層の全リン酸含量が3試験箇所では他区に比較し低い傾向がみられた。とくに連用年数の長い会津支場や冷害試験地においてその傾向が大きかった。

表4 2005年成熟期水稻の乾物重及び窒素、リン酸、カリ、ケイ酸濃度

区名	精玄米重 (kg/a)	乾物重(g/m <sup>2</sup> )			N濃度(%)			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 濃度(%)			K <sub>2</sub> O濃度(%)			SiO <sub>2</sub> 濃度(%)		
		葉	茎	穂	葉	茎	穂	葉	茎	穂	葉	茎	穂	葉	茎	穂
<b>本場</b>																
無肥料	30.5	94	306	316	0.70	0.38	0.76	0.21	0.21	0.50	0.91	1.07	0.32	15.78	9.92	5.12
無窒素	33.4	130	400	413	0.67	0.44	1.03	0.20	0.22	0.47	0.90	1.14	0.31	16.92	9.62	4.70
無リン酸	47.6	198	527	578	0.66	0.40	0.83	0.17	0.24	0.34	0.64	1.25	0.22	16.80	10.60	3.88
無カリ	42.8	139	436	469	0.60	0.41	0.72	0.21	0.24	0.46	0.63	0.82	0.31	16.36	10.24	5.00
三要素	49.2	183	553	508	0.64	0.41	1.04	0.18	0.25	0.56	0.71	1.15	0.36	15.72	9.40	4.54
稲わら	51.1	173	485	531	0.65	0.37	0.99	0.15	0.24	0.67	0.64	1.49	0.59	20.06	11.70	7.40
堆肥	54.5	190	552	586	0.68	0.54	1.20	0.20	0.27	0.72	0.70	1.44	0.40	18.14	11.18	3.80
土改	55.6	203	585	566	0.65	0.41	0.95	0.12	0.21	0.38	0.60	1.34	0.28	18.84	10.08	3.04
<b>会津支場</b>																
無肥料	23.9	59	252	261	1.42	0.61	1.15	0.39	0.29	0.62	1.45	1.33	0.39	14.12	9.70	5.14
無窒素	37.2	91	335	395	1.01	0.56	1.21	0.32	0.32	0.56	1.66	1.75	0.44	13.18	9.16	3.96
無リン酸	57.5	130	454	641	1.29	0.69	1.27	0.24	0.21	0.55	1.73	2.00	0.36	11.74	8.16	4.12
無カリ	41.6	115	367	490	1.29	0.73	1.25	0.35	0.41	0.52	0.49	0.79	0.33	9.68	6.86	3.10
三要素	56.7	171	573	639	1.59	0.58	1.20	0.34	0.35	0.57	1.70	1.53	0.40	9.78	6.06	3.48
稲わら+土改	67.3	190	508	742	1.06	0.59	1.23	0.20	0.25	0.58	1.34	2.35	0.40	15.26	10.38	4.92
堆肥	71.8	195	545	752	1.43	0.67	1.52	0.31	0.34	0.56	1.73	2.68	0.47	10.68	6.94	3.40
堆肥+土改	73.9	223	590	904	1.35	0.62	1.12	0.21	0.26	0.58	1.50	2.70	0.43	14.60	10.20	4.12
<b>冷害試験地</b>																
無肥料	29.5	91	337	376	0.78	0.47	1.07	0.22	0.20	0.50	1.31	1.53	0.36	19.68	11.14	4.58
無窒素	34.8	98	384	390	0.76	0.51	1.23	0.25	0.27	0.68	1.41	1.63	0.42	18.60	10.36	5.36
無リン酸	55.0	131	421	693	0.90	0.54	1.55	0.07	0.05	0.44	1.12	2.57	0.36	19.52	12.30	3.84
無カリ	52.0	139	500	582	0.92	0.45	1.34	0.25	0.24	0.67	0.96	1.09	0.43	17.24	10.54	4.30
三要素	54.7	149	511	552	0.83	0.55	1.27	0.22	0.27	0.57	1.23	1.77	0.36	19.16	10.24	3.74
稲わら+土改	50.8	134	493	543	0.72	0.39	1.22	0.19	0.20	0.62	1.25	1.86	0.41	19.48	10.48	5.24
堆肥+土改	58.5	181	598	652	0.83	0.45	1.19	0.17	0.21	0.41	1.27	2.00	0.29	19.08	10.38	3.58
土改	53.0	170	571	650	0.64	0.42	1.26	0.15	0.22	0.75	1.00	1.80	0.50	19.16	9.48	5.74

備考) 精玄米重は参考値として2005年のデータを掲載

表5 2005年成熟期水稻の窒素、リン酸、カリ及びケイ酸の吸収量

区名	N吸収量(g/m <sup>2</sup> )				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 吸収量(g/m <sup>2</sup> )				K <sub>2</sub> O吸収量(g/m <sup>2</sup> )				SiO <sub>2</sub> 吸収量(g/m <sup>2</sup> )			
	葉	茎	穂	合計	葉	茎	穂	合計	葉	茎	穂	合計	葉	茎	穂	合計
<b>本場</b>																
無肥料	0.7	1.2	2.4	4.3	0.2	0.6	1.6	2.4	0.9	3.3	1.0	5.2	14.8	30.4	16.2	61.4
無窒素	0.9	1.8	4.2	6.9	0.3	0.9	1.9	3.1	1.2	4.6	1.3	7.1	22.0	38.5	19.4	79.9
無リン酸	1.3	2.1	4.8	8.2	0.3	1.2	1.9	3.4	1.3	6.6	1.3	9.2	33.3	55.9	22.4	111.6
無カリ	0.8	1.8	3.4	6.0	0.3	1.1	2.2	3.6	0.9	3.6	1.5	6.0	22.7	44.6	23.5	90.8
三要素	1.2	2.3	5.3	8.8	0.3	1.4	2.9	4.6	1.3	6.3	1.8	9.4	28.8	52.0	23.1	103.9
稲わら	1.1	1.8	5.3	8.2	0.3	1.2	3.6	5.1	1.1	7.2	3.1	11.4	34.7	56.7	39.3	130.7
堆肥	1.3	3.0	7.0	11.3	0.4	1.5	4.2	6.1	1.3	8.0	2.3	11.6	34.5	61.7	22.3	118.5
土改	1.3	2.4	5.4	9.1	0.2	1.2	2.2	3.6	1.2	7.9	1.6	10.7	38.2	59.0	17.2	114.4
<b>会津支場</b>																
無肥料	0.8	1.5	3.0	5.3	0.2	0.7	1.6	2.5	0.9	3.4	1.0	5.3	8.3	24.4	13.4	46.1
無窒素	0.9	1.9	4.8	7.6	0.3	1.1	2.2	3.6	1.5	5.9	1.7	9.1	12.0	30.7	15.6	58.3
無リン酸	1.7	3.1	8.1	12.9	0.3	1.0	3.5	4.8	2.3	9.1	2.3	13.7	15.3	37.0	26.4	78.7
無カリ	1.5	2.7	6.1	10.3	0.4	1.5	2.6	4.5	0.6	2.9	1.6	5.1	11.1	25.2	15.2	51.5
三要素	2.7	3.3	7.7	13.7	0.6	2.0	3.7	6.3	2.9	8.8	2.5	14.2	16.7	34.7	22.2	73.6
稲わら+土改	2.0	3.0	9.1	14.1	0.4	1.3	4.3	6.0	2.5	12.0	3.0	17.5	29.0	52.7	36.5	118.2
堆肥	2.8	3.7	11.4	17.9	0.6	1.9	4.2	6.7	3.4	14.6	3.5	21.5	20.8	37.8	25.6	84.2
堆肥+土改	3.0	3.7	10.1	16.8	0.5	1.6	5.2	7.3	3.4	15.9	3.9	23.2	32.6	60.2	37.2	130.0
<b>冷害試験地</b>																
無肥料	0.7	1.6	4.0	6.3	0.2	0.7	1.9	2.8	1.2	5.2	1.4	7.8	17.8	37.6	17.2	72.6
無窒素	0.7	2.0	4.8	7.5	0.2	1.0	2.7	3.9	1.4	6.2	1.6	9.2	18.2	39.2	20.9	78.3
無リン酸	1.2	2.3	10.7	14.2	0.1	0.2	3.1	3.4	1.5	10.8	2.5	14.8	25.6	51.8	26.6	104.0
無カリ	1.3	2.3	7.8	11.4	0.3	1.2	3.9	5.4	1.3	5.4	2.5	9.2	24.0	52.7	25.0	101.7
三要素	1.2	2.8	7.0	11.0	0.3	1.4	3.1	4.8	1.8	9.1	2.0	12.9	28.5	52.4	20.6	101.5
稲わら+土改	1.0	1.9	6.6	9.5	0.3	1.0	3.4	4.7	1.7	9.2	2.3	13.2	26.1	51.7	28.5	106.3
堆肥+土改	1.5	2.7	7.8	12.0	0.3	1.3	2.7	4.3	2.3	12.0	1.9	16.2	34.5	62.1	23.4	120.0
土改	1.1	2.4	8.2	11.7	0.3	1.2	4.9	6.4	1.7	10.3	3.3	15.3	32.5	54.1	37.3	123.9



## 三要素、有機物及び土壌改良資材の長期施用が水稻収量や水田土壌化学性に及ぼす影響

表6 跡地土壌の化学性

区名	層位	pH		EC (ms/cm)	CEC (me/100g)	交換性塩基(mg/100g)			塩基飽和度 (%)	可給態P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)		全K <sub>2</sub> O (%)	全P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
		(H <sub>2</sub> O)	(K <sub>2</sub> O)			CaO	MgO	K <sub>2</sub> O		Truog	Bray II		
<b>本場</b>													
無肥料	1	7.1	4.7	0.05	15.0	269	42	8	79	4.1	21.2	0.57	0.51
	2	7.2	5.0	0.06	15.7	295	51	8	85	5.4	18.0	0.58	0.49
	3	7.8	5.5	0.08	16.7	330	76	7	94	3.9	3.3	0.82	0.14
無窒素	1	6.8	4.9	0.09	15.0	267	30	17	76	9.6	54.4	0.51	0.75
	2	6.9	5.1	0.08	15.5	290	37	17	81	11.4	44.8	0.47	0.73
	3	7.7	5.6	0.10	17.1	386	64	11	101	2.8	4.3	0.63	0.20
無リン酸	1	6.4	4.5	0.08	15.3	223	29	10	63	4.9	25.8	0.44	0.47
	2	6.8	4.9	0.07	15.7	266	36	11	73	5.7	25.8	0.53	0.48
	3	7.7	5.6	0.12	14.9	299	44	8	87	3.4	5.5	0.27	0.15
無カリ	1	6.9	4.8	0.08	15.0	268	28	5	74	8.8	53.2	0.40	0.72
	2	6.9	5.0	0.08	15.3	304	36	5	83	12.4	44.2	0.42	0.67
	3	7.5	5.8	0.17	21.1	421	70	6	88	2.4	3.6	0.48	0.41
三要素	1	6.4	4.8	0.10	15.5	251	26	9	67	9.0	55.2	0.40	0.77
	2	6.9	5.2	1.11	15.1	297	35	9	83	11.1	42.0	0.44	0.67
	3	7.5	5.8	0.16	22.0	423	68	9	85	3.8	4.8	0.57	0.24
稲わら	1	6.4	4.7	0.13	15.5	254	28	21	71	9.6	61.4	0.50	0.74
	2	6.7	5.1	0.12	15.0	283	33	21	81	12.9	54.0	0.42	0.80
	3	7.6	5.6	0.10	16.2	368	48	15	98	4.6	7.2	0.60	0.24
堆肥	1	6.0	4.6	0.12	15.5	239	26	15	65	9.1	61.6	0.44	0.82
	2	6.8	5.2	0.12	16.3	314	38	17	82	12.0	49.2	0.50	0.77
	3	7.5	5.6	0.12	17.7	376	55	14	93	2.5	4.9	0.59	0.24
土改	1	7.1	5.4	0.13	16.0	335	42	14	90	18.4	78.2	0.46	0.98
	2	7.1	5.7	0.12	15.7	333	41	14	90	19.3	76.4	0.43	0.91
	3	7.8	6.0	0.12	16.2	387	55	8	103	2.7	5.6	0.72	0.20
<b>会津支場</b>													
無肥料	1	6.2	4.5	0.03	12.3	147	19	4	51	3.0	7.3	0.31	0.20
	2	6.2	4.6	0.03	12.1	168	23	5	60	3.7	9.9	0.31	0.23
無窒素	1	5.7	4.4	0.04	13.0	139	12	16	46	12.0	67.2	0.40	0.70
	2	6.0	4.5	0.04	11.5	142	14	15	53	12.1	51.4	0.34	0.59
無リン酸	1	5.7	4.2	0.06	10.9	102	13	7	41	2.2	6.4	0.29	0.19
	2	5.8	4.3	0.06	11.0	138	18	6	54	3.5	6.9	0.29	0.20
無カリ	1	5.4	4.3	0.08	13.3	149	11	4	45	12.0	61.2	0.33	0.65
	2	5.6	4.4	0.09	12.9	164	15	4	52	11.5	50.7	0.38	0.53
三要素	1	5.6	4.5	0.11	13.3	177	14	6	53	11.9	59.8	0.34	0.67
	2	6.0	4.7	0.11	13.1	194	18	6	60	16.6	49.4	0.39	0.58
稲わら+土改	1	6.1	5.2	0.10	14.3	241	29	19	73	27.6	117.2	0.37	1.08
	2	6.4	5.3	0.13	14.9	283	36	28	84	27.9	116.8	0.40	1.04
堆肥	1	5.9	4.6	0.11	15.9	204	18	23	55	16.0	90.9	0.47	0.95
	2	5.7	4.8	0.12	14.1	210	21	26	64	17.4	74.4	0.37	0.82
堆肥+土改	1	6.3	5.2	0.08	15.7	274	32	18	75	21.9	103.1	0.43	1.08
	2	6.6	5.4	0.10	15.3	294	38	23	84	23.4	109.2	0.43	1.15

(次ページにつづく)

(表6つづき)

区名	層位	pH		EC (ms/cm)	CEC (me/100g)	交換性塩基(mg/100g)			塩基飽和度 (%)	可給態P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)		全K <sub>2</sub> O (%)	全P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
		(H <sub>2</sub> O)	(K <sub>2</sub> O)			CaO	MgO	K <sub>2</sub> O		Truog	Bray II		
<b>冷害試験地</b>													
無肥料	1	6.2	4.9	0.08	19.1	307	71	8	76	2.9	7.9	0.20	0.39
	2	6.4	5.0	0.60	18.3	300	68	7	78	3.3	8.4	0.30	0.34
	3	5.9	4.5	0.07	23.1	360	113	10	81	6.0	8.1	0.32	0.27
無窒素	1	6.0	4.7	0.10	19.4	278	37	19	62	20.2	107.8	0.26	1.21
	2	6.1	4.9	0.10	18.1	270	35	18	65	16.8	90.9	0.31	1.05
	3	6.2	4.8	0.09	20.6	349	57	14	76	8.3	25.4	0.20	0.58
無リン酸	1	5.6	4.6	0.11	17.4	237	50	10	64	3.7	8.7	0.22	0.44
	2	6.0	4.8	0.11	17.7	302	59	12	78	3.2	9.8	0.30	0.46
	3	6.0	4.8	0.11	21.3	342	72	13	75	2.4	9.9	0.23	0.59
無カリ	1	5.7	4.4	0.14	21.1	318	47	6	65	12.0	60.1	0.22	1.09
	2	6.0	4.8	0.13	20.3	364	51	5	77	10.5	49.2	0.19	0.95
	3	5.9	4.8	0.13	22.5	424	85	7	87	3.4	13.5	0.15	0.47
三要素	1	5.7	4.6	0.15	19.7	273	30	8	58	19.5	106.3	0.24	1.28
	2	5.8	4.7	0.12	18.6	299	33	7	67	18.7	102.3	0.25	1.29
	3	6.5	5.1	0.07	20.1	388	61	7	85	7.5	23.9	0.19	0.66
稲わら+土改	1	6.4	5.5	0.21	23.3	484	83	23	94	42.3	170.1	0.24	2.33
	2	6.7	5.7	0.20	22.4	497	93	23	102	38.0	137.7	0.25	2.12
	3	6.8	5.7	0.21	20.7	432	90	17	97	10.7	36.5	0.18	1.96
堆肥+土改	1	6.5	5.6	0.20	23.0	485	85	18	95	45.4	169.5	0.31	2.08
	2	6.9	5.8	0.20	23.0	507	95	20	101	38.8	145.1	0.28	1.57
	3	7.2	5.9	0.13	23.4	534	111	16	106	7.7	23.0	0.25	0.61
土改	1	6.7	5.7	0.16	21.7	459	78	8	94	43.0	161.3	0.24	2.10
	2	6.9	5.8	0.15	21.1	465	82	6	99	47.6	137.1	0.23	1.73
	3	7.1	6.0	0.13	21.1	472	95	6	103	15.2	48.0	0.25	1.03

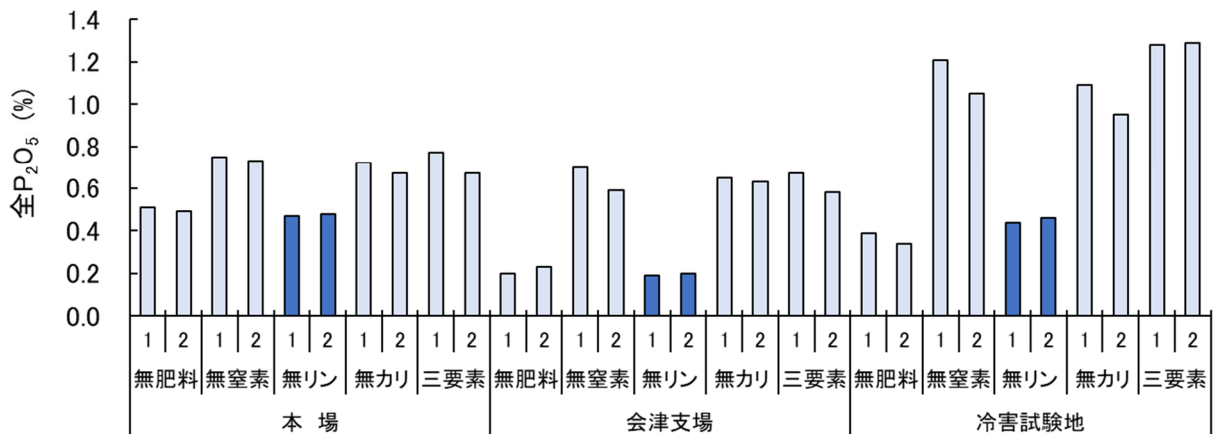
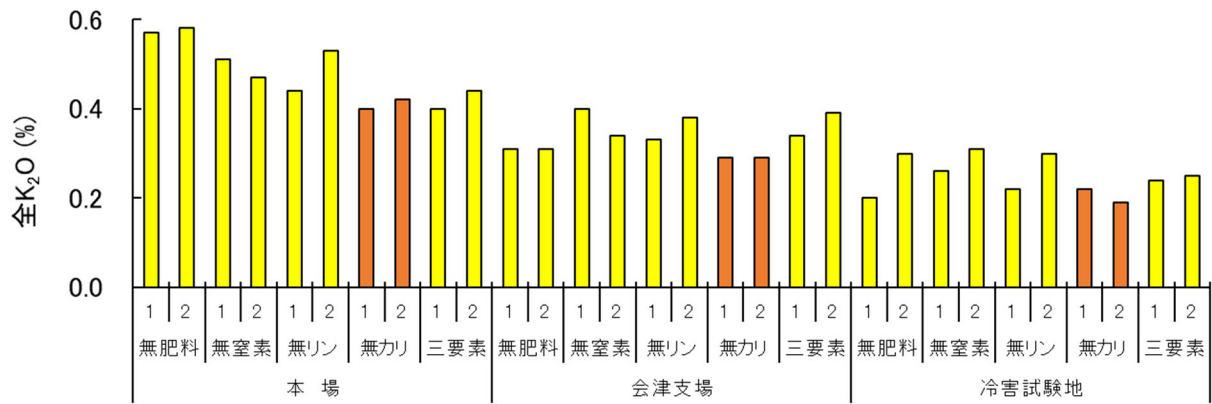


図2 跡地土壌中の全カリ、全リン酸含量 (備考) 区内の1、2は層位

## 4 考察

### (1) 無肥料、窒素欠除の影響

1996年から試験終了年である2005年までの10年間の水稻収量について、最も減収したのは3試験箇所とも無肥料区であり、次いで無窒素区であった。三要素の中では窒素が最も作物の生育に影響することは、他の試験例でも明らかであり、志賀による北海道農業試験場が実施した北海道札幌市<sup>19)</sup>、住田らによる東北農業試験場が実施した秋田県大曲市<sup>22)</sup>、さらに愛知県農業総合試験場が実施した愛知県安城市<sup>13)</sup>、<sup>20)</sup>、<sup>11)</sup>での3つの三要素等試験の報告においても減収のレベルは異なるものの減収の程度は無肥料区>無窒素区の傾向であった。

### (2) リン酸欠除の影響

リン酸欠除による水稻収量への影響として無リン酸区は、本場や会津支場では三要素区と同等であったが、冷害試験地については三要素区に比べ2割ほど減収した。図1の無リン酸区の三要素区と比較した年ごとの関係を見ると、冷害試験地では三要素区と同等の収量を確保した年がある反面、5割近く減収した年があるなど、減収とはいつでも各年次で一定の比率で減収しているのではなく、減収がみられる年とみられない年とが分けられるような傾向がみられた。この要因を探る手がかりとして、石塚は寒冷地におけるリン酸施肥が、収量減少を最小に止めるために重要な役割を果たしていると指摘している<sup>5)</sup>。また、北海道農業試験場での三要素試験で、低温年において無リン酸区の収量が低下すること<sup>19)</sup>、青森県農林総合研究センター（青森県黒石市）では70年の連用により無リン酸区で三要素区の2割の減収となること<sup>17)</sup>、東北農業試験場大曲市での試験でも低温年に無リン酸区の収量が低下する<sup>22)</sup>などの報告がある。そこで、1996年から2005年までの10年間の冷害試験地の無リン酸区で収量が低下した3つの年について、水稻栽培期間中の気温について確認したところ、水稻生育初期に低温の時期が確認された。したがって、冷害試験地の無リン酸区でみられた減収は、同試験地の高冷地の気候要因が影響したものと考えられた。一方、リン酸欠除が収量に及ぼす影響に

ついては、本場や会津支場での結果のように減収しないとした報告も多い<sup>7)</sup>、<sup>15)</sup>、<sup>22)</sup>。これは、リン酸が水稻中の養分濃度として、窒素やカリの1/3~1/5と低濃度（表4）で、吸収量も少ない（表5）ことから、土壌からのリン酸収奪量も少なく土壌中のリン酸濃度が低くても欠乏が起こりにくいのではないかと考えられた。また、施肥などにより供給されたリン酸は土壌に蓄積されやすく、蓄積されたリン酸は水稻栽培時の湛水による土壌還元により可給化し、水稻の吸収する分を供給するといった効率的な動態を示す。さらに、水稻へのリン酸吸収の状況をみると、試験年数の長い会津支場と冷害試験地での無リン酸区で他区より葉や茎において濃度が低い傾向がみられ、リン酸欠除の影響が成熟期の水稻への栄養状態に現れていると考えられた。一方、穂において葉や茎ほど大きく低下していないのは、おそらく葉や茎のリン酸を穂に補給した結果であり、実である米に対してリン酸不足により登熟不良や品質低下などが発生しないよう水稻が安定した種子生産を優先させた働きによるものと考えられる。このような傾向は住田ら<sup>22)</sup>や近藤ら<sup>9)</sup>によっても報告されている。これらのことが、無リン酸区の水稻収量が三要素区に比較して減収しにくい要因と考えられた。

リン酸に関する土壌の化学性への影響についてみる（表6）。項目はトルオーグリン酸やブレイⅡリン酸などの可給態リン酸と全リン酸である。まず、トルオーグリン酸やブレイⅡリン酸などの可給態リン酸については、リン酸を欠除した無リン酸区や無肥料区で低い傾向がみられた。特に試験年数が長い会津支場と冷害試験地でその傾向が大きく通常の水田ほ場ではみられないほどの低いレベルであった。リン酸欠除による収量低下が確実に発生している試験例での無リン酸区の土壌中の可給態リン酸は、塩田ら<sup>20)</sup>による愛知県農業総合試験場ではトルオーグリン酸で3.5mg/100g、住田ら<sup>22)</sup>による東北農業試験場ではブレイⅡリン酸で5.5mg/100gであった。トルオーグリン酸については、会津支場で2.2mg/100g、冷害試験地で3.7mg/100gであり、愛知県農業総合試験場での値

3.5mg/100g と同等か低いレベルであった。ブレイ II リン酸については、会津支場で 6.4mg/100g、冷害試験地で 8.7mg/100g であり、東北農業試験場での値 5.5mg/100g に迫る低いレベルであった。会津支場と冷害試験地での可給態リン酸のデータから、水稻収量に対して恒常的な減収を引き起こす可能性があるレベルにまで低下していることが確認された。次に、土壤中の全リン酸については、可給態リン酸と同様に会津支場と冷害試験地の無肥料区や無リン酸区的全リン酸が他区より明らかに低い値となっており、リン酸欠除の影響が明確に現れたと考えられた(表6、図2)。

### (3) カリ欠除の影響

カリ欠除について1996年から試験終了年である2005年までの10年間の水稻収量への影響をみると、三要素区(指数100とする)に比べた無カリ区の収量の指数は、本場では96、会津支場では93、冷害試験地では90と、三要素区と同レベルか若干の減収となっている。他県等の試験例では、三要素区と比較した無カリ区の収量レベルがほぼ100と、低下がみられなかった青森県農林総合研究センター(青森県黒石市)の77年間試験<sup>17)</sup>の例や、北海道農業試験場での41年間試験<sup>19)</sup>での指数93、秋田農業試験場での31年間試験<sup>7)</sup>での指数92、愛知県農業総合試験場での77年間試験<sup>11)</sup>での指数90などの若干減収した例、東北農業試験場での20年間試験<sup>22)</sup>した開始6年目以降の指数約80と2割ほどの減収が確認された例がある。この2割ほど減収した東北農業試験場での試験では、用いたほ場は均平化のために作土の一部が剥がされ、養分が極度に希薄な下層土が混入したシビアな条件で試験を行ったためと報告している。これら特殊な例を除き、通常は指数90~95レベルの結果が多数であり、本県3試験箇所での結果もその範囲内であった。以上、3試験箇所でのカリ欠除による水稻収量への影響をみると、試験年数が長い会津支場や冷害試験地が本場に比べ減収の傾向が大きかった。また、会津支場や冷害試験地の水稻のカリ濃度や吸収量が本場に比較して明らかに低い傾向がみられたことから、カリ欠除による水稻収量低下

の要因は水稻へのカリ吸収の低下と考えられた。

カリ欠除による土壤への影響については、交換性カリについてみると本場では無カリ区5mg/100g(三要素区9mg/100g)、会津支場で無カリ区4mg/100g(三要素区6mg/100g)、冷害試験地で無カリ区6mg/100g(三要素区8mg/100g)であり、無カリ区の交換性カリは三要素区に比較し低い傾向はみられたものの、カリ施肥の有無を長期に継続した影響としてはわずかな数値の低下であった。他県等での試験例でも、青森県農林総合研究センター<sup>17)</sup>で無カリ区4mg/100g(三要素区9mg/100g)、東北農業試験場<sup>22)</sup>で無カリ区6mg/100g(三要素区8mg/100g)、愛知県農業総合試験場<sup>20)</sup>で5mg/100g(三要素区8mg/100g)で、本県と同様の傾向を示す結果であった。東北農業試験場では無カリ区の三要素区に比する収量指数が約80に対し、青森県農林総合研究センターの収量指数が100であることや、本県での試験結果からも、水稻のカリ欠除により減収となる土壤中の交換性カリの数値を明確に求めることは難しいと判断された。また、土壤の全カリについては、全リン酸にみられた無肥料区や無リン酸区のような明瞭な低下傾向は確認できなかった(表6、図2)。阿江<sup>1)</sup>は無カリ区の水稲は土壤の一次鉱物を崩壊、風化して、カリを吸収している可能性について述べている。カリは窒素と同量レベルの比較的多い量を吸収することから、無カリで栽培する場合、かんがい水などからの天然供給では明らかに足りず、不足分は土壤の一次鉱物から吸収していないと説明できないという考えである。阿江<sup>1)</sup>は本試験の結果にも注目し、試験年数の長い会津支場や冷害試験地で無カリ区のCECが一次鉱物の風化を示す高まりがみられると指摘している。ただ、土壤中でのカリの動態と作物吸収との関連については、不明な部分も多く今後の研究に期待する。

## (4) 有機物や土壌改良資材施用の影響

有機物や土壌改良資材施用による水稲収量への影響をみると、三要素に稲わらや堆肥、土壌改良資材をプラス施用することにより三要素区に比べ概ね増収した。試験箇所別にみると、最も高い増収効果がみられたのは会津支場で、三要素区に比した収量指数で稲わら+土改区が 116、堆肥区が 120、堆肥+土改区が 125 であった。次いで本場で、稲わら区が 106、堆肥区が 108 であった。冷害試験地は 3 試験箇所では最も効果が小さく、稲わら+土改区が 97、堆肥+土改区が 107 であった。他県等での試験例をみると、愛知県農業総合試験場<sup>11)</sup>では堆肥 75kg/a 区が 113、堆肥 225kg/a 区が 127 であった。滋賀県農業試験場<sup>18)</sup>では 3 試験箇所での試験結果で、稲わら区が 105~114、堆肥 100kg/a 区が 105~109 であった。秋田県農業試験場<sup>6)</sup>では仁井田試験地で堆肥 100kg/a 区が 107、大潟試験地で堆肥 120kg/a 区が 102 であった。会津支場での有機物や土壌改良資材施用の効果は他県等での試験結果よりも高いレベルであった。86 年間という長期連用も要因の一つと考えられるが、水稲生産に良好な気候を有する収量性の高い地域で、土づくりの励行によってさらに高い増収が期待できることを示している。冷害試験地の稲わら+土改区での指数 97 は減収となった例であるが、高冷地であることが主な要因と考えられることから、堆肥を施用する場合には腐熟度に注意が必要であり、完熟堆肥の施用が原則となる。

有機物や土壌改良資材の施用が土壌に与える影響については、表 6 に示したように、水稲の生産性向上に結びつく CEC や石灰、苦土、カリ等の交換性塩基類、可給態リン酸の増加がみられ、増加傾向は試験年数が大きく影響することが表 6 に示された。また、窒素については、稲わらや堆肥の長期連用が土壌の可給態窒素を高め、本試験と同様に水稲の生産性をさせていることを、本試験での本場の試験ほ場の近傍に設置された有機物連用試験の結果により報告している<sup>10)</sup>。以上のように有機物や土壌改良資材の長期連用では土壌肥沃度を高め、水稲収量の向上につながることを塩田ら<sup>20)</sup>や柴原

ら<sup>18)</sup>も報告している。

## 5 結果の活用事例

2011 年 3 月に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故後、玄米の放射性セシウム吸収抑制のため、本県では水稲作付け前の土壌の交換性カリ含量 25mg/100g を目標に、カリ肥料の上乗せ施肥（増肥）を進めてきた。カリウムはセシウムと化学的に似た性質を有しており、作物が吸収する際に競合してセシウム吸収を抑える働きがあることが知られていたが、この土壌の目標値は、Kato ら<sup>8)</sup>によって事故年に実施した複数のほ場試験の結果が解析され提案されたものであり、事故後 1 年が目前となった 2012 年 2 月に独立行政法人農研機構から公表された。これを受け、本県ではカリ肥料の増肥が 2012 年産米から県内水稲作付け全域で徹底して実施された。2012 年産米から開始された米の全量全袋検査においては、1,000 万袋を超える検査を行った結果、71 袋で基準値超過が確認された。この 2012 年産米での 100Bq/kg を超える検体の割合をカリ肥料の増肥を実施していない事故当年である 2011 年産米の超過割合（2012 年からの全量全袋検査とは異なり、リスクの高い地域を中心とした抽出検査での限定的な結果である）と比較してみると、1.468%から 0.002%に大幅に低下したことが明らかになっている<sup>4)</sup>。さらに、2012 年産米で基準を超過した米の栽培上の要因を解析したところ、超過米が生産されたほぼ全てのほ場で稲わらを還元せず持ち出していることが明らかとなった。本試験での稲わら施用に関する土壌の交換性カリの結果は、本場が稲わら区 21mg/100g（三要素区 9mg/100g）、会津支場が稲わら+土改区 19mg/100g（三要素区 6mg/100g）、冷害試験地が稲わら+土改区 23mg/100g（三要素区 8mg/100g）となっており、稲わらを還元することで土壌の交換性カリをより高く維持することが明らかであったことから、放射性セシウム吸収抑制対策の技術情報に当該試験の一部のデータを活用した<sup>3)、4)</sup>。今後、放射性セシウム吸収抑制対策のために土壌の交換性カリの目標値である 25mg/100g を維持していくことを前提とすると、本試験での 3

試験箇所での結果からは、慣行施肥と稲わらの還元では土壤の交換性カリの目標値に届かず不十分といえる。さらに、堆肥（家畜ふんが入っていない稲わら堆肥）を連用しても目標値に届かないことは明らかである。他県等での試験例をみると、土壤の交換性カリの状況については、東北農業試験場<sup>22)</sup>の三要素区が8mg/100g、青森県農林総合研究センター<sup>17)</sup>の三要素区が9mg/100g、愛知県農業総合試験場<sup>20)</sup>が三要素区8mg/100g、2.3t堆肥区11mg/100g、滋賀県農業試験場<sup>18)</sup>での3試験箇所での結果は、三要素区9~11mg/100g、稲わら区14~16mg/100g、1t堆肥区11~14mg/100g、2t堆肥区16~17mg/100gであり、三要素区では8~11mgで、稲わらや堆肥（1~2t施用）併用による連用施用によっても25mgを下回る状況であった。このことは、水稻作付け前の土壤の交換性カリ含量を25mg/100g以上に維持するには、三要素による慣行施肥のみでは難しいことは明白であり、稲わら還元や堆肥の施用を併用し、場合によってはカリ肥料の上乗せ施肥が必要となることを示している。中山は<sup>14)</sup>福島県内水田土壤の実態調査で、交換性カリ含量が2011年から2017年までにそれまでの含量の1.5~3.4倍に急激に増加しており、カリ肥料の上乗せ施肥量が大きく影響していると報告している。こうしたカリ肥料の上乗せ施肥の励行の効果もあり、2015年以降、米の全量全袋検査において基準値である100Bq/kgを超える玄米は検出されていない。一方で、多くの市町村で基準値超えが発生しないことに伴い、カリ肥料の上乗せ施肥の助成を終了している。このことは、土壤の交換性カリ含量の低下につながると考えられるので、県内土壤の交換性カリ等の継続的なモニタリングや交換性カリ含量の維持に重要な稲わらや堆肥連用による放射性セシウム吸収抑制への持続効果、放射性セシウム吸収につながる土壤のリスク要因の解明など、引き続き放射性物質対策に注意を払っていく必要があると考えている。

## 6 摘要

旧福島県農業試験場の3試験箇所(本場:郡山市、会津支場:会津坂下町、冷害試験地:猪苗代町)三

要素及び有機物、土壤改良資材の長期連用による水稻収量や水田土壤化学性などについて検討した。その結果は次のとおりである。

### (1) 水稻の収量

1996年から2005年までの10年間の精玄米重のデータを用いた。

無肥料区が最も減収となり、三要素区に比べ4~5割ほどの減収となり、次いで、無窒素区が三要素区に比べ3~4割ほどの減収となった。無リン酸区は、冷害試験地で三要素区に比べ2割ほど減収し、高冷地である低温が影響していると推察された。無カリ区は三要素区に比し若干の減収であった。

有機物や土壤改良資材施用により、三要素区に比べ概ね増収した。

### (2) 水稻の養分吸収

試験終了年(2005年)の水稻成熟期の状況を調査した。

乾物重及び窒素吸収量については、収量と関連が高かった。

リン酸及びカリ濃度については、連作年数の長い会津支場、冷害試験地において、それぞれ無リン酸及び無カリ区の葉や茎の濃度が低い傾向がみられたが、穂の濃度に大きな差はみられなかった。

カリ吸収量については、無肥料区や無カリ区で少なく、有機物や土壤改良資材の施用区で多かった。

### (3) 跡地土壤の化学性

試験終了年(2005年)の跡地土壤について調査した。

CECは、会津支場、冷害試験地において、有機物や土壤改良資材の施用区で高くなる傾向がみられた。

交換性カリは、カリを施用していない無肥料区や無カリ区で低く、有機物を施用している区で高い傾向がみられた。全カリは、カリを施肥していない無肥料区や無カリ区で低い傾向は明確にはみられなかった。

トルオーグリン酸とブレイⅡリン酸は、リン酸を施肥していない無肥料区や無リン酸区で低く、

有機物や土壌改良資材を施用している区で高い傾向がみられた。また、冷害試験地>会津支場>本場の順に区間差が大きかった。全リン酸は、リン酸を施肥していない無肥料区や無リン酸区で低い傾向がみられ、特に連作年数の長い会津支場や冷害試験地においてその傾向が大きかった。

(4) 結果の活用例(放射性セシウム吸収抑制対策への貢献)

2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故後、玄米の放射性セシウム吸収抑制のため、カリ肥料の上乗せ施肥と併せて稲わら還元を進める根拠として、本試験の稲わら区の土壌データを県内生産者への技術情報に掲載し、本試験の重要性を示すことができた。

### 謝 辞

この試験は開始以来、多くの職員が担当されてきた。調査を担当された旧福島県農業試験場本場、会津支場、冷害試験地の研究職員、農場管理員の皆様に深く敬意を表す。また、膨大な量の土壌や稲体の分析を担っていただいた当時主任技能員の鈴木とき子さんにお礼申し上げる。

### 引用文献

- 1) 阿江教治・松本真悟. 2012. 作物はなぜ有機物・難溶解成分を吸収できるのか. 農文協
- 2) 土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法. 2001. 日本土壌協会
- 3) 福島県農林水産部. 2012. 水稲次年度放射性セシウム吸収抑制対策(カリ). 「ふくしまからはじめよう。」農業技術情報(第34号)
- 4) 福島県・農林水産省. 2013. 放射性セシウム濃度の高い米が発生する要因とその対策について.
- 5) 石塚喜明・田中明. 1967. 水稲の栄養生理. 養賢堂
- 6) 伊藤千春・渋谷岳・小林ひとみ. 2009. 八郎潟干拓地水田における長期要素欠除及び有機物施用の影響. 第1報 水稲の収量変動と収量構成の特徴. 東北農業研究 62: 41~42
- 7) 金田吉弘・進藤勇人・佐藤福男・加納英子. 2000.

灰色低地土における長期要素欠除及び有機物施用の影響. 第1報 水稲の収量及び養分吸収と水田土壌の物理性. 東北農業研究 53: 59~60

- 8) Kato Naoto, Kihou N., Fujimura S., Ikeba M., Miyazaki N., Saito Y., Eguchi T., Itoh S. 2015. Potassium fertilizer and other materials as countermeasures to reduce radiocesium levels in rice: Results of urgent experiments in 2011 responding to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Soil Sci. Plant Nutr.* 61(2): 179-190
- 9) 近藤始彦・安田道夫・野副卓人. 1998. 三要素の欠除が米の食味関連成分と食味評価に及ぼす影響. 一大曲での三要素試験より一. 東北農試研究資料 22: 105~113
- 10) 三浦吉則. 2007. 稲わら堆肥、稲わら長期連用水田における蓄積地力窒素による水稲の増収効果. 農業および園芸 82(11): 1198~1202
- 11) 初井隆志・井澤敏彦. 2007. 77年間継続した四要素無施用区と堆肥施用区にみられる水稲玄米収量の経年推移と各要素の施用効果. 日作紀 76(2): 288~294
- 12) 中島秀治・川島寛. 1993. 水田三要素試験区の土壌および米中成分分析—福島県農業試験場会津支場における実証を中心に—. 農業および園芸 68(4): 497~505
- 13) 中西秋四郎・沖村逸夫・加藤虎治・有沢道雄・河合伸二. 1970. 水稲に対する継続40年間の要素試験成績について. (第1報) 水稲の生育収量、養分吸収、土壌変化. 愛知県農業試験場彙報 24: 46~60
- 14) 中山秀貴. 2020. 福島県における水田土壌の養分、化学性の実態に関する研究. 福島農総セ研報 11: 1~29
- 15) 小野信一・雄川洋子・高橋茂・大野智史. 1999. 水稲栽培による水田土壌からのリン酸とカリの収奪量と水稲の適正施肥. 土肥誌 70(3): 320~323
- 16) 小沢一夫. 1991. 農耕地の水質保全と有効利用に関する研究. 第1報 福島県内における農業用水の水質実態. 福島農試研報 30: 37~46

- 17) 清藤文仁・境谷栄二・岩谷香緒里・藤澤春樹. 2009.  
77年間に及ぶ寒冷地水稻の無リン酸栽培、無カリ栽培の生育と収量経過. 平成20年度研究成果情報 農研機構
- 18) 柴原藤善・武久邦彦・小松茂雄・渡部恒昭. 1999.  
水稻に対する有機物および土づくり肥料の連用効果. (第1報) 水稻の生育収量、養分吸収および土壌の化学性の変化. 滋賀農試研報 40: 54~77
- 19) 志賀一一. 1971. 41年間の水稻三要素試験. 農業技術 26(11): 523~525
- 20) 塩田悠賀里・稲垣明・長谷川徹・沖村逸夫. 1980.  
四要素及び堆肥の長期施用による水田土壌の理化学性の変化と水稻の生育について. 愛知農総試研報 12: 52~60
- 21) 植物栄養実験法. 植物栄養実験法編集委員会編.  
1990. 日本土壌肥料学会監修. 博友社 p. 174~177
- 22) 住田弘一・大山信雄・野副卓人・佐藤智男. 1990.  
要素欠除処理にみられる水稻の生育、収量及び養分吸収特性と土壌養分の動態. 東北農試研報 82: 19~45
- 23) 立谷寿雄・宇佐見昭宣・渡辺征一. 1966. 水稻の乾田直播栽培における土壌肥料的管理について.  
第1報 三要素試験の乾田直播栽培と移植栽培における水稻生育の相違. 福島農試研報 2: 33~43
- 24) 山田裕. 1984. 精密分析. 農業技術体系土壌施肥編 4: 基本 250~258