

## 乾物生産からみた減農薬減化学肥料栽培水稻の成長と収量

加藤盛夫<sup>1\*</sup>・菅原慶子<sup>2</sup>・軽部 潔<sup>2</sup>・林 久喜<sup>1</sup>

<sup>1</sup>筑波大学生命環境系

305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

<sup>2</sup>筑波大学農林技術センター

305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1

### 要 旨

農林技術センターでは2005年から水田の一部で化学合成農薬および化学合成由来の窒素を減量する特別栽培を実施している。一般に慣行栽培からの転換に伴う化学肥料低減により収量低下が問題になる。本報告では2009年の成長および収量調査から乾物生産の面から特別栽培の収量特性を検討した。地上部乾物重は穂揃期で慣行栽培1005  $\text{gm}^{-2}$ から特別栽培575  $\text{gm}^{-2}$ まで大きな差があり、成熟期で最大1413  $\text{gm}^{-2}$ 、最小888  $\text{gm}^{-2}$ であった。地上部乾物重と玄米収量との間には高い正の相関があり、特別栽培の低収量は低い乾物生産量によるものであることが明らかであった。穂の窒素含有率は特別栽培に対して慣行栽培がやや高く、成熟期の窒素蓄積量は特別栽培5.2  $\text{gm}^{-2}$ 、慣行栽培9.6  $\text{gm}^{-2}$ であり、玄米収量との間に高い正の相関がみられた。本センターにおける特別栽培の収量向上には穂の窒素含有率に配慮しながら生育初期からの乾物収量の確保が重要であることがわかった。

キーワード：イネ、乾物生産、減化学肥料、収量、窒素

### 緒 言

食の安全および環境負荷低減の観点から日本各地で化学合成農薬および化学合成肥料の使用量を節減する取組みが行われている（「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」（平成11年7月28日法律第110号））。茨城県でも農薬と化学肥料を低減する特別栽培農産物認証制度（「茨城県エコ農業茨城推進に関する農産物認証制度」）が実施されている。農林技術センターでも環境負荷を低減しつつ良質米の生産を目指して2005年から水田の一部で化学合成農薬および化学合成由来の窒素を減量する特別栽培を実施し、茨城県から「特別栽培農産物」の認証を受けている。窒素はイネの成長を支配する最も重要な要素であり、水稻における窒素吸収と収量形成に関する研究はすでに多く報告されている（上地・堀江1989, 高橋ら1976, Mae 1997）。特別栽培では化学肥料を低減することから慣行栽培からの転換に伴って収量の低下や

---

\* Corresponding Author: kato.morio.fe@u.tsukuba.ac.jp

不安定性が問題になっており、各地域で安定栽培のための研究が行われている（在原ら1995, 金田ら2007, 佐藤ら2007, 前田2001）。本センターでも特別栽培圃場の玄米収量は慣行栽培圃場よりも低い傾向が続いている（筑波大学農林技術センター活動報告書（自己点検資料）第10号, 平成22年12月）。

水田におけるイネの成長と収量の形成に関わる研究は古くから行われており、水稻栽培における化学肥料と有機質肥料の役割についても多くの報告がある（松島ら1963, 松島1979, 山下1978, 上沢1991）。作物の物質生産的な考えでは、作物の収量は作物の全乾物重と収穫指数の積として定義され、経済学的収量は光合成を通じての乾物生産の収穫部位への分配の結果であるが、乾物生産の面から減化学肥料と収量との関係を検討した研究は少ない。そこで本報告では2009年に特別栽培を実施したコシヒカリ圃場における出穂以降の乾物生産および窒素吸収を解析することによって、乾物生産の面から特別栽培における収量特性を検討した。

### 材料および方法

農林技術センターには1号圃（19.6a）から9号圃（34.3a）の均一栽培圃場があり、2009年は1号圃から4号圃までが特別栽培、5号圃から8号圃までは慣行栽培でコシヒカリを移植栽培し、1号圃から6号圃を調査対象とした。それぞれの圃場の栽培概要を表1に示すが、特別栽培では窒素施肥量10a当たり6.3kgのうち化学肥料由来の量を0または3.15kgとし、慣行栽培では窒素施肥量10a当たり8.0kgのうち化学肥料由来の量を5.6kgとした。肥料として1号圃には「ブリケット（粒状）有機100% 味好1号」（N-P-K =6-8-4%, 片倉チッカリン（株）、農林水産省有機農産物等ガイドライン適合肥料）、2～4号圃には「どきどき有機一発（有機69%）」（N-P-K =12-7-5%, コープケミカル、茨城県認証制度適合肥料）、5および6号圃には「ゆうた君一発（有機入りコシヒカリ専用基肥）」（N-P-K =6-8-4%, コープケミカル）を使用した。農薬の使用は特別栽培、慣行栽培ともに播種時の殺菌剤（ダコニール1000, TPN剤）、移植前の苗箱施用殺虫殺菌剤（オリゼメートプリンス粒剤；フィピロニル, プロペナゾール）および移植後の除草剤（テロスフロアブル乳剤；カフェンストロール, ベンゾピシクロン）の使用成分回数5回とした。1号圃から4号圃は「茨城県特別栽培認証制度対象農産物並びに農薬及び化学肥料の使用基準」（米の化学合成農薬の使用基準8回, 化学肥料の使用基

表1 農林技術センター 2009年水田栽培概要。

（品種：コシヒカリ）

圃場	面積 a	栽培	播種日	移植日	出穂日	収穫日	窒素施肥 # kg/10a	施肥法	玄米収量 kg/10a	特栽実績
1	19.6	特栽	4/17	5/7	7/30	9/7	6.3(0)	全層	330	1年目
2	19.6	特栽	4/17	5/7	7/28	9/4	6.3(3.15)	全層	435	1年目
3	19.6	特栽	4/3	4/27	7/27	9/2	6.3(3.15)	全層	440	2年目
4	19.6	特栽	3/31	4/20	7/22	8/31	6.3(3.15)	全層	511	5年目
5	21.1	慣行	4/21	5/15	7/31	9/11	8(5.6)	側条	520	
6	22.2	慣行	4/21	5/15	7/31	9/11	8(5.6)	側条	576	

注) 特栽（特別栽培）、慣行（慣行栽培）とも化学農薬の使用は苗箱施用として殺虫殺菌剤、移植後に除草剤を散布し使用成分回数5回とした。

#：（ ）内の数値は窒素施肥量のうち化学肥料由来の成分量

準（窒素成分量3.2kg/10a）以内で栽培を実施し、2009年度茨城県特別栽培農産物の認証を受けた。本センターでは学生実習の水稲移植および収穫実習に合わせて作付時期を計画しており、特に特別栽培米の移植を学生実習にあわせて4月中に実施している。そのため表1に示すように圃場により移植および収穫時期、施肥方法が異なるが、本研究では化学肥料由来の窒素施肥量に基づいて圃場を「特別栽培」と「慣行栽培」に分けて成長および収量を比較検討した。

各調査圃場内には対角線上に計3箇所の収量調査区を設定して各箇所から100株を収穫して代表株法により玄米収量を調査した。1, 2, 5, 6号圃の収量調査区の一つで連続する20株について移植後3週ごとに生育調査として茎数、草丈および最上位完全展開葉のSPAD値（葉緑素計SPAD-502, コニカミノルタ）を測定した。乾物重調査では1～6号圃の収量調査区3箇所周辺の株を測定対象とした。すなわち、穂揃期に収量調査区周辺から連続する13株の穂数を計測して穂数を基準にして中庸3株を掘り取り、草丈、稈長を測定した。さらに根を除去して、葉身、枯葉、稈+葉鞘および穂に分別して80℃で4日間通風乾燥して重量を測定した。穂揃期調査後20日および30日（成熟期）にも同様に調査を行った。乾物試料は粉碎後（サイクロンサンプルミルSFC-F1, UDY）、CNコーダ（MT-600, ヤナコ）により全炭素および全窒素含有率を測定した。成熟期の各部位乾物重に窒素含有率を乗じ積算して窒素蓄積量を計算した。登熟期には特別栽培（1・2号圃）と慣行栽培（5・6号圃）において連続5株からの10本の茎について止葉および第2葉の光合成速度、気孔コンダクタンスおよび蒸散速度を携帯型光合成蒸散測定装置（LI-6400, Li-Cor）により測定するとともに、測定葉のSPAD値および葉幅を測定した。また、参考として各圃場から収穫した玄米について米粒食味計（RCTA11A, サタケ）により玄米食味値および関連形質を調査した。

## 結 果

特別栽培（1・2号圃）および慣行栽培（5・6号圃）の栄養成長期間における生育経過を図1に示す。株当たり茎数は特別栽培の2号圃と慣行栽培圃場ではほぼ同じように推移したが、化学肥料窒素を0kgとした1号圃では少なく推移して、結果として穂数も少なかった（図1a）。草丈は特別栽培（1・2号圃）が慣行栽培（5・6号圃）に比べて常に低く推移した（図1b）。最上位完全展開葉のSPAD値には圃場間に大きな差はなかった（図1c）。

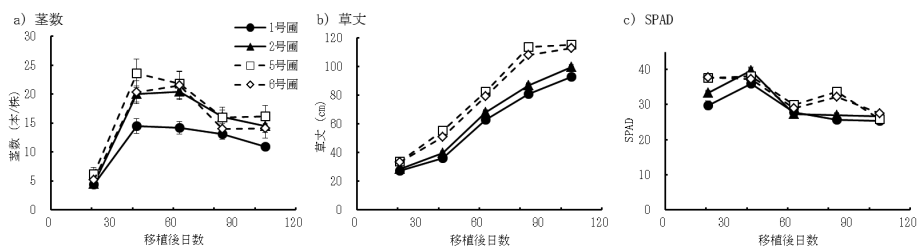


図1 特別栽培圃場（1・2号圃）および慣行栽培圃場（5・6号圃）における移植後の株当たり茎数（a）、草丈（b）および最上位完全展開葉のSPAD値（c）の推移。垂線は標準誤差（n=20）を示す。

穂揃期から成熟期までの地上部乾物重の比較を図2に示す。地上部乾物重は穂揃期においてすでに1005  $\text{gm}^{-2}$ （6号圃）から575  $\text{gm}^{-2}$ （1号圃）まで大きな差があった（図2 a）。登熟とともに茎重は減少し、穂重が増加して成熟期では全乾物重は最大1413  $\text{gm}^{-2}$ （6号圃）、最小888  $\text{gm}^{-2}$ （1号圃）であった（図2 c）。

玄米収量は329  $\text{gm}^{-2}$ （1号圃）から596  $\text{gm}^{-2}$ （6号圃）まで大きな差があり、化学肥料窒素を0とした1号圃で最小となった（表2）。特別栽培でも移植時期のもっとも早い4号圃では507  $\text{gm}^{-2}$ と慣行栽培の5号圃と同じ水準であった。

各圃場で3箇所ある測定地点ごとの地上部乾物重と玄米収量との関係を測定時期ごとにみると、いずれの時期においても地上部乾物重と玄米収量との間には高い正の相関がみられた（図3）。

部位別の窒素含有率を圃場間で比較すると、葉身と稈+葉鞘では明瞭な差はみられないが、穂では特別栽培（0.82～0.94%）に対して慣行栽培（0.99～1.03%）がやや高かった（図4）。部位別乾物重に窒素含有率を乗じて窒素蓄積量を計算すると、成熟期では1号圃5.21  $\text{gm}^{-2}$ 、6号圃9.58  $\text{gm}^{-2}$ と2倍近い差異があった（図5）。地上部窒素蓄積量と玄米収量との

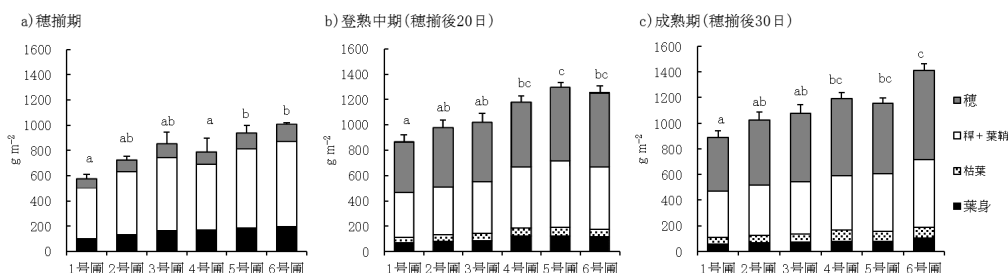


図2 出穂期以降における地上部乾物重の比較。  
 垂線は地上部乾物重の標準誤差（ $n = 3$ ）  
 同一の英小文字を付した地上部乾物重間には Tukey の多重検定による 5%水準での有意差がない。

表2 特別栽培および慣行栽培圃場の玄米収量および収穫指数。

栽培	圃場	玄米収量 #1 ( $\text{g/m}^2$ )	収穫指数 #2 (%)
特別栽培	1号圃	329 a	47.0 a
	2号圃	433 ab	49.8 ab
	3号圃	476 bc	49.5 ab
	4号圃	507 bc	50.3 b
慣行栽培	5号圃	510 bc	47.9 ab
	6号圃	596 c	49.4 ab

# 1：収量調査区のうち乾物重調査対象3箇所での平均値

# 2：穂乾物重 / 地上部乾物重 (%)

注) 同一の英小文字を付した平均値間には Tukey の多重検定による 5%水準での有意差がない。

間にも高い正の相関がみられた (図6)。

登熟期における上位2葉の光合成速度は特別栽培の1号圃で慣行栽培圃場に比べて低かったが、2号圃では明確な低下はみられなかった (表3)。ただし、葉身の形質として葉幅は慣行栽培に比べて特別栽培で小さくなっていた。

### 考 察

各圃場の地上部乾物生産量および窒素蓄積量と玄米収量との関係から特別栽培における玄米収量および品質について考察した。2009年コシヒカリの特別栽培圃場では慣行栽培圃場に比べて最大で4割近く減収した。最低収量の1号圃では生育初期から茎数および草丈が少なく、株の成長が初期から劣っていた (図1)。特別栽培の中で最も収量の高い4号圃は移植時期が最

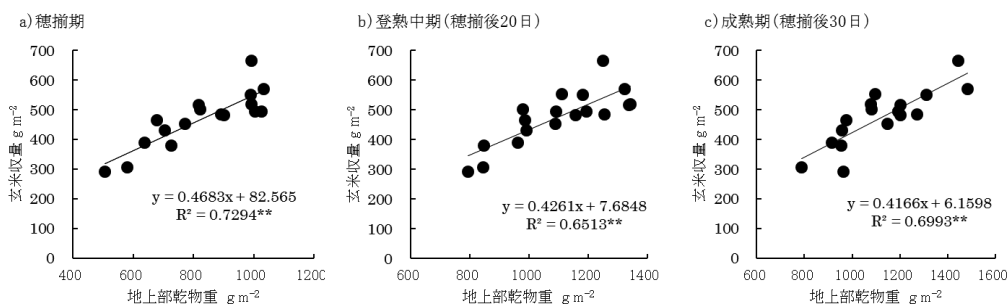


図3 穂揃期 (a)、登熟中期 (b) および成熟期 (c) における地上部乾物重と玄米収量の関係。  
\*\* : 1%水準で有意な関係がある。

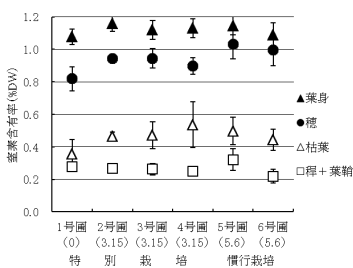


図4 成熟期における部位別窒素含有率の比較。垂線は標準偏差 (n = 3) 圃場番号下の ( ) 内数値は化学肥料由来の窒素成分量 (kg/10a)

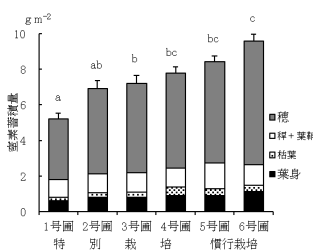


図5 成熟期における地上部窒素蓄積量の比較。垂線は地上部蓄積量合計の標準誤差 (n = 3) 同一の英小文字を付した圃場間には地上部窒素蓄積量で Tukey の多重検定による5%水準での有意差がない。

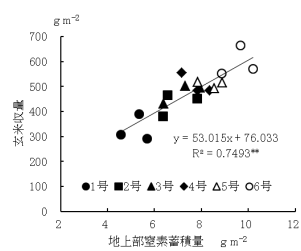


図6 成熟期における地上部窒素蓄積量と玄米収量の関係。  
\*\* : 1%水準で有意な関係がある。

表3 登熟期における光合成速度および関連形質の比較.

栽培	圃場	光合成速度 ( $\mu\text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )		気孔コンダクタンス ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )		蒸散速度 ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )		SPAD		葉幅 (cm)	
		止葉	第2葉	止葉	第2葉	止葉	第2葉	止葉	第2葉	止葉	第2葉
特別栽培	1号圃	16.0 a	9.6 a	0.168 a	0.103 a	3.31 a	2.14 a	24.3 a	19.0 a	0.94 a	0.91 a
	2号圃	20.3 b	15.8 b	0.211 ab	0.142 ab	4.13 ab	2.94 ab	29.1 b	27.4 b	0.98 a	0.93 ab
慣行栽培	5号圃	20.1 b	13.8 b	0.222 b	0.152 ab	4.55 b	3.39 b	32.7 c	31.6 c	1.09 b	1.01 bc
	6号圃	22.5 b	16.8 b	0.237 b	0.169 b	5.12 b	3.97 b	33.4 c	30.2 c	1.07 b	1.04 c

注1) 測定日: 2009年8月18日

注2) 光合成有効光子密度:  $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 

注3) 各圃場10点の平均値. 同一の英小文字を付した平均値間には Tukey の多重検定による 5%水準での有意差がない.

も早く、栄養成長期間の長さが茎数の増加に寄与し穂数の確保につながったものと考えられる。各調査箇所における地上部乾物重と玄米収量との関係をみると、穂揃期から成熟期までいずれも高い正の相関がみられた。収穫指数（穂重/地上部乾物重）は47~50%で栽培法間の差はみられないことから（表2）、特別栽培における低収量は低い乾物生産量によるものであることが明らかであった。化学肥料窒素を0とした1号圃では穂揃期においてすでに乾物生産量の低下が顕著であった。登熟期の個葉光合成速度は特に1号圃で低かったが、出穂日の違いにもかかわらず測定は同一日に行ったため、葉身の老化が進んでいた1号圃でSPAD値も含めて低い値となった。ただし、特別栽培では葉幅が小さくなっており（表3）、葉身長も短かったことから特別栽培では葉身が小さく、結果として葉面積指数も小さくなり、全体の光合成量、そして乾物生産の少ないことに関係していることも推定されるので、生育初期からの葉面積の推移についても今後の研究で明らかにする必要がある。

本実験の特別栽培と慣行栽培では窒素施肥の総量が異なるが、化学肥料由来の窒素を減らした特別栽培では植物体による最終的な窒素吸収量が少なく、特に1号圃では最大の6号圃の54%しかなかった。玄米収量と窒素吸収量との間には高い正の相関があり、収量の確保のためにはある程度の窒素吸収が必要である。窒素の供給形態としては化学肥料だけで十分であるとの報告もあるが（松島1963, 1979）、近年では有機質肥料の重要性が認識され、土壌により効果は異なるが全国平均で有機物施用区の化学肥料単用区に対する収量指数は103との調査もある（上沢1991）。特別栽培において十分な玄米収量を得るためには、生育初期から有機質由来の窒素の肥効を高めて十分な乾物生産量を確保していくことが必要である。また、本実験では特別栽培圃場では全層施肥、慣行栽培圃場では側条施肥で栽培したが、施肥法により窒素利用率の異なることも考慮しなければならない（鎌田1992）。

慣行栽培圃場における穂の窒素含有率は特別栽培に比べて高く、参考として米粒食味計で分析した玄米タンパク質含有率も特別栽培に対して慣行栽培が高く、穂の窒素含有率の結果と一致した。食味計による食味値は特別栽培の1・2号圃が87と最も高く、ついで4号圃86、3号圃85、慣行栽培の5・6号圃は83となり、特別栽培がより良食味と判定された。しかし、炊飯米の食味と玄米タンパク質含有率との間には負の相関があることが知られているが、植物体の窒素レベルを下げ過ぎた場合のマイナス面も指摘されている（近藤2007）。

以上の結果から、化学肥料による窒素を減量する特別栽培において玄米収量を確保するためには、生育初期からの有機質由来の窒素の肥料効率を高めて十分な乾物生産量を確保すること

が重要である。特に本センター水田は1977年に開田された有効リン酸に乏しい黒ボク土であるため、毎年土壌改良材として収穫後に熔リンを施用しているが、主に穂数不足により収量水準は地域平均収量に比べて低い。生育初期からの分けつ発生を促進して茎数を確保し、穂数を高める栽培上の工夫がなお必要である。特別栽培では全層施肥としているので今後は側条施肥での実施、リン酸肥料の追加、堆肥施用も検討する必要がある。また、窒素の穂への集積は食味を低下させることになるので、穂への過剰な窒素の集積を防ぎつつ、穂数および籾数を確保する必要がある。また、本研究では特別栽培開始1, 2, 5年目の圃場における乾物生産と収量の関係を解析したが、これらの圃場では同じ施肥条件で特別栽培を継続しているので、今後、有機質肥料の継続使用が収量および収量構成要素の経年変化に及ぼす影響を解析する。

## 謝 辞

乾物重測定のためのサンプリングでは生命環境科学等支援室技術室専門技術職員の白井靖子氏、山崎順子氏および牛谷敦子氏にご協力をいただいた。ここに感謝の意を表します。

## 引用文献

- 在原克之・斎藤幸一・深山政治 1995. 水稻の減化学肥料栽培の研究 第1報 品種の違いが生育・収量、窒素吸収に及ぼす影響. 日作紀 64巻(別号2):7-8.
- 鎌田健造 1992. 水稻の緩効性肥料利用による肥培管理. 東北農業研究別号 5:21-33.
- 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.
- 上地由朗・堀江 武 1989. 水稻における土壌-作物体系の窒素の動態と収量形成過程の関係—施肥法の違いに基づく窒素吸収パターンの差異が生育・収量に及ぼす影響—. 農学集報 33:171-179.
- 金田吉弘・西方一明・池田正樹・佐藤 孝 2007. 寒冷地における有機栽培および減化学肥料栽培水稻の生育栄養診断基準. 日本作物学会東北支部報 No.50:85-87.
- 近藤始彦 2007. コメの品質, 食味向上のための窒素管理技術(1) 水稻の高温登熟障害軽減のための栽培技術開発の現状と課題. 農業および園芸 82:31-34.
- Mae, T. 1997. Physiological nitrogen efficiency in rice: Nitrogen utilization, photosynthesis, and yield potential. Plant and Soil 196: 201-210.
- 前田忠信 2001. 堆肥連年施用水田と化学肥料連年施用水田における低農薬栽培した水稻収量の年次変動とその要因. 日作紀 70:525-529.
- 松島省三・和田源七・田中孝幸・星野孝文 1963. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 第65報 高収量成立上に及ぼす有機質施用の意義. 日作紀 32:39-43.
- 松島省三 1979. 理想稲(V字理論)稲作と地力3. 農業および園芸 54:1215-1221.
- 佐藤大和・荒木雅登・川村富輝・石塚明子・福島裕助・井上拓治 2007. 水稻の減農薬・減化学肥料栽培における安定栽培法-窒素施肥法と栽植密度の違いが収量および病害虫発生程度に及ぼす影響-福岡県農業総合試験場研究報告 26:79-84.
- 高橋重郎・和田源七・庄子貞雄 1976. 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について 第7報 窒素吸収パターンと水稻の生育・収量構成要素. 日作紀 45:220-225.
- 山下鏡一 1978. 水田における有機物の効果と問題点(肥料の現状と展望). 土肥誌 49(特集号):52-60.

## Dry-matter Production and Grain Yield of Rice in Reduced Pesticide and Chemical Fertilizer Cultivation

Morio KATO<sup>1\*</sup>, Keiko SUGAWARA<sup>2</sup>, Kiyoshi KARUBE<sup>2</sup>  
and Hisayoshi HAYASHI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba,  
Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan

<sup>2</sup> Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba,  
Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577, Japan

### Abstract

Rice, variety Koshihikari, has been cultivated in a part of paddy fields of the Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba with the condition of reduced amount of chemical fertilizer and agricultural chemicals since 2005. Rice cultivation with reduced chemicals is called 'special cultivation' in contrast to the conventional cultivation. In such a special cultivation grain yield of rice tends to decrease because of the insufficient nitrogen supply from chemical fertilizer. In this report rice growth and grain yield are analyzed from the view point of the dry-matter production and nitrogen absorption in reduced chemical fertilizer cultivation of rice in 2009. The aboveground dry-weights at full heading time were  $575 \text{ g m}^{-2}$  (special cultivation) and  $1005 \text{ g m}^{-2}$  (conventional cultivation) and those at harvest time are  $888 \text{ g m}^{-2}$  (special cultivation) and  $1413 \text{ g m}^{-2}$  (conventional cultivation). There are positive close correlations between total dry-weights and grain yields after heading time. It is clear that the lower grain yield in special cultivation is caused from the lower dry matter production in early growth stage. Nitrogen contents of panicles were lower in special cultivation than in conventional cultivation. Nitrogen accumulations are  $5.2 \text{ g m}^{-2}$  in special cultivation and  $9.6 \text{ g m}^{-2}$  in conventional cultivation. There is also positive close correlation between nitrogen accumulation and grain yield at harvest time. Increasing dry-matter production without surplus nitrogen absorption in panicles is necessary for improving grain yield in special cultivation in the paddy fields of this center.

**Key words:** Dry-matter production, Nitrogen, Reduced chemical fertilizer cultivation, Rice, Yield

---

\* Corresponding Author: kato.morio.fe@u.tsukuba.ac.jp