

不耕起ダイズ作における基肥省略が 土壤養分に及ぼす影響

松山宏美*1・渡邊和洋*1・松尾和之*2

目次

| | | | |
|-----------|---|---------|---|
| I はしがき | 1 | 2. 現地試験 | 5 |
| II 材料と方法 | 1 | 3. まとめ | 6 |
| 1. 場内圃場 | 1 | IV 摘要 | 6 |
| 2. 現地試験 | 2 | 引用文献 | 7 |
| III 結果と考察 | 3 | Summary | 8 |
| 1. 場内試験 | 3 | | |

I はしがき

水田タイズ作では子実収量に対する基肥の効果を疑問視する声も多く、一部には基肥施用を全くせずにダイズ栽培を行う地域もあるが、土壤肥沃度の維持を理由に基肥施用を行っている場合が一般的である。不耕起ダイズ作では、基肥施用によって枯死株の発生が増加し減収することが報告されており、関東以西の温暖地では無施肥栽培が推奨されている⁽¹⁾。しかしその一方で、施肥の省略による土壤肥沃度低下が懸念される。また水田営農の現場では、畜産農家が水稲や麦類のわらを敷料として持ち出す例が多く見られ、土壤肥沃度への影響が懸念される。

そこで本報告では、不耕起ダイズ作における基肥省略が土壤養分に及ぼす影響を検討した。場内試験では、不耕起ダイズ作での基肥省略に加え、稲わら及び麦わらの持ち出しが土壤養分に及ぼす影響も検討した。さらに、大規模な転換畑ダイズ作が行われている現地（茨城県筑西市）圃場において、基肥省略が特に窒素肥沃度に及ぼす影響について解析を行った。すなわち、土壌中には様々な形態の窒素が存在することから、土壌中の窒素を逐次抽出法によって分画し、窒素構成を明らかにすることで、窒素施肥の影響の把握を試みた。

II 材料と方法

1. 場内圃場

1) 栽培管理及び土壌サンプルの採取

中央農業総合研究センター谷和原水田圃場において、2008年秋から2011年に、コムギ-ダイズ-水稲-コムギ-ダイズの3年5作の輪作を行い、ダイズ栽培時の基肥の有無、および水稲とコムギ作後のわらの還元/持ち出しを組み合わせた4処理区（3

反復）を設定し、栽培試験を実施した。

コムギは農林61号を供試し、2008年と2010年の11月にロータリーシーダーを用いて播種を行い、翌6月に収穫を行った。基肥は全ての処理区で化成肥料N-P₂O₅-K₂O:8-8-8 kg/10aとし、追肥は茎立ち期と出穂期に硫酸で窒素を2 kg/10aずつを施用した。わら還元区では、わらのコンバインによる裁断

を行い土壌表面に残置し、持ち出し区では全量を圃場外へ搬出した。

ダイズはタチナガハを供試し、2009年と2011年の6月にコムギ収穫後、汎用型不耕起播種機を用いて播種を行った。基肥施用区では $N-P_2O_5-K_2O : 3-12-12 \text{ kg}/10a$ を施用し、基肥省略区では肥料を全く施用しなかった。

水稻は「コシヒカリ」を供試し、ロングマット乳苗を2010年5月に移植した。化成肥料 $N-P_2O_5-K_2O : 4.2-4.2-4.2 \text{ kg}/10a$ を全量基肥で施用した。

各作物とも坪刈りにより収量を求め、コムギ播種前の2008年10月17日、コムギ収穫後の2009年6月16日、ダイズ収穫後の2009年10月28日、水稻収穫後の2010年11月12日、コムギ収穫後の2011年6月21日、及びダイズ収穫後の2011年11月2日、各坪刈り区内の2か所から地表から深さ15 cmまで（幅約15cm、厚さ約4cm）の土壌をスコップで採取し混和した。

2) 土壌養分の分析

全窒素、可給態窒素、可給態リン酸、および交換性カリを定量した。なお分析法は、全窒素は乾式燃焼法、可給態窒素は熱水抽出法、可給態リン酸はトルオーグ法、交換性カリは1M酢安抽出法とした。

2. 現地試験

1) 栽培管理及び土壌サンプルの採取

水稻-水稻-コムギ-ダイズの3年4作体系でのブロックローテーションを10年以上続けている茨城県筑西市の現地農家圃場において、2008年に試験を実施した。単一の生産組織が耕作するダイズ作付け圃場（品種：納豆小粒）のうち、隣接しかつ同日に播種を行った基肥施用圃場および基肥省略圃場2筆の圃場を1組とし、地区内に6組を設置した（図1）。同組織のダイズ栽培は全て不耕起播種栽培であるが、基肥施用圃場では播種前にプロードキャストで化成肥料 $N-P_2O_5-K_2O : 2.4-8-8 \text{ kg}/10a$ を施用し、基肥省略圃場では肥料を全く施用しなかった。土壌サンプルの採取は、基肥施用とダイズ播種前の2008年7月1日、ダイズ収穫後の休閑期間である2009年3月30日の2回行った。土壌サンプリングは、直径3 cmの採土管を用いて圃場内9カ所から表土（0-15 cm）を採取した後、混ぜ合わせて圃場のサンプルとした。

2) 土壌養分の分析

窒素については、小田島らの逐次抽出手順⁽²⁾を一部改編した図2に示す手順で抽出を行い、土壌中窒素を画分Aから画分Eの抽出液および画分Fの残渣



図1 茨城県筑西市の現地ダイズ栽培圃場の配置。

南北約3.2km、東西約3.4kmの範囲。

土壌の種類は、図中の1、4、5及び6の圃場は細粒灰色低地土、2の圃場は腐植質黒ボクグライ土、3の圃場は黒泥土であった。

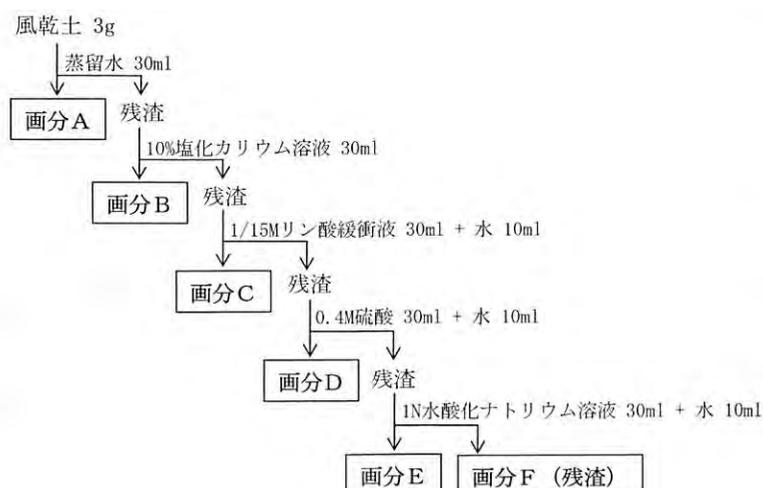


図2 現地試験にてサンプリングした土壤の窒素の逐次抽出手順。

に分画した。画分Aから画分Dの窒素量の測定には微量全窒素分析装置（TN-100 三菱化学アナリテック製）を、画分F及び風乾土中の窒素量の測定にはNCアナライザー（SUMIGRAPH NC-22F 住化分析センター製）を用いた。なお、1N水酸化ナトリウム水溶液で抽出した画分Eは、微量全窒素分析装置

での分析が困難であることから、全窒素量からの差し引きにより窒素量を求めた。

可給態リン酸はトルオーグ法で分析した。また現地試験においては、交換性カリの測定は行わなかった。

Ⅲ 結果と考察

1. 場内試験

1) 各作目の収量への影響

表1に示すように、ダイズ栽培時の基肥の省略、稲わら及び麦わらの持ち出しは、コムギ、ダイズおよび水稲の収量に対して有意な影響を及ぼさなかった。ダイズにおいては、基肥の有無に関わらず同等の収量が得られたことは、短期的には無施肥栽培が可能なことを示唆するものであり、生産現場での無施肥栽培を追認するものであった。

2) 土壤養分への影響

図3に土壤の全窒素、可給態窒素、可給態リン酸および交換性カリウムの変化を示した。全窒素と可給態窒素については、ダイズ作時の基肥の有無、およびわらの持ち出しの有無の影響は、いずれの作物の栽培後においても認められなかった。基肥施用区の窒素施肥量は3 kg/10aと小さかったため、施用の有無の影響がほとんど現れなかったものと考えられる。また、全窒素、可給態窒素ともに多少の増減は

表1 場内試験におけるダイズ栽培時の基肥の有無と稲わら、麦わらの持ち出しの有無が小麦、ダイズ、水稲の収量に及ぼす影響。

| 処理 | | 2008 | 2009 | 2010 | 2010 | 2011 |
|--------------|-------|------|------|------|------|------|
| わら | 基肥の有無 | コムギ | ダイズ | 水稲 | コムギ | ダイズ |
| 還元 | 基肥施用 | 281 | 242 | 383 | 233 | 269 |
| | 基肥省略 | | 243 | | 234 | 257 |
| 持ち出し | 基肥施用 | 329 | 284 | 353 | 268 | 258 |
| | 基肥省略 | | 270 | | 237 | 258 |
| t検定/ 分散分析 | わら | ns | ns | ns | ns | ns |
| | 基肥の有無 | - | ns | - | ns | ns |
| | 交互作用 | - | ns | - | ns | ns |

単位はいずれも kg/10a である。

nsはt検定または2元配置の分散分析により処理の効果が5%水準で有意でないことを示す。

あるものの、3年間でほぼ一定であった。

可給態リン酸についても、基肥の省略は有意な効果を示さなかった。しかしながら、1巡目のダイズ跡に比べて、2巡目のダイズ跡では基肥省略区で可給態リン酸の値が低くなる傾向があった。一方、2巡目のコムギ跡では、わらの持ち出しにより可給態リン酸量の有意な低下が見られた。

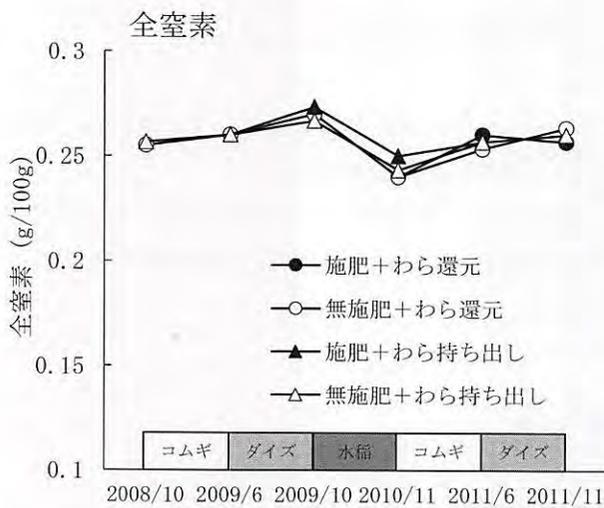
交換性カリウム量については、ダイズの基肥省略区跡で10%水準ではあるものの有意に低くなった。また、2巡目のコムギ跡においても、わらの持ち出し

しにより有意に低い値を示した。ただし、わら持ち出し区では、試験開始時点での交換性カリウムが低い値であったことから、必ずしも処理の効果とは言えない。

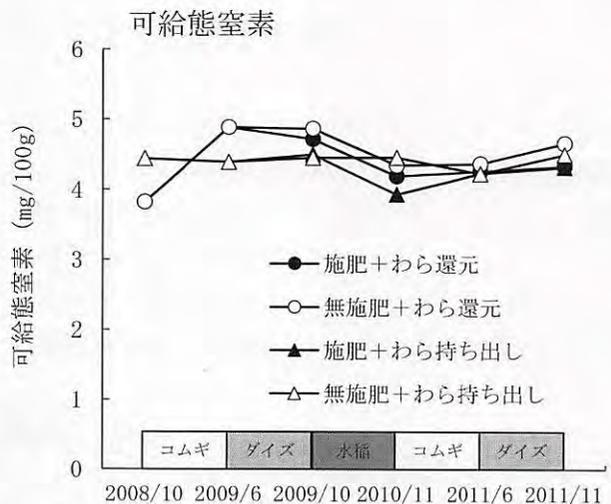
2. 現地試験

1) 土壤中窒素の構成

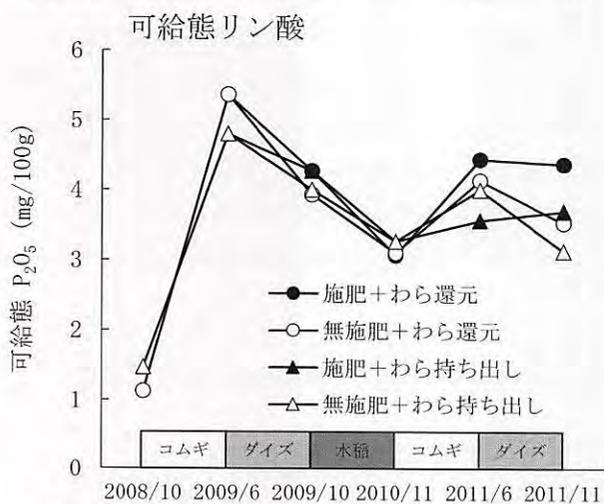
土壌サンプル中の窒素を逐次抽出法により分画し、各画分の窒素量を測定した。全窒素に対するその他の画分の窒素量の割合を概観すると、12圃場



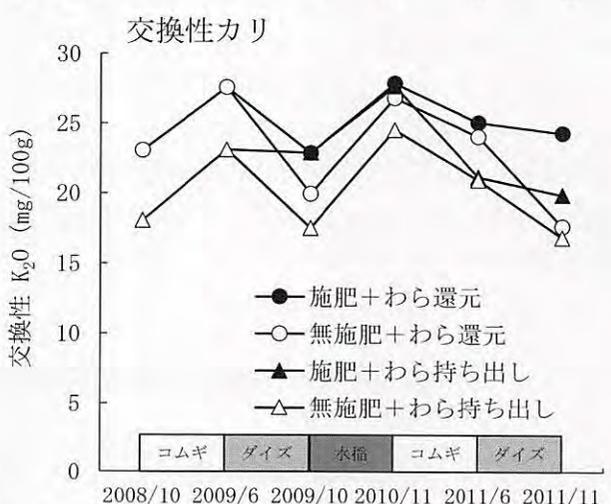
| | | | | | | |
|------|----|----|----|----|----|----|
| 施肥 | - | - | ns | ns | ns | ns |
| わら | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| 交互作用 | - | - | ns | ns | ns | ns |



| | | | | | | |
|------|----|----|----|----|----|----|
| 施肥 | - | - | ns | ns | ns | ns |
| わら | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| 交互作用 | - | - | ns | ns | ns | ns |



| | | | | | | |
|------|----|----|----|----|----|----|
| 施肥 | - | - | ns | ns | ns | ns |
| わら | ns | ns | ns | ns | * | ns |
| 交互作用 | - | - | ns | ns | ns | ns |



| | | | | | | |
|------|---|----|----|----|----|----|
| 施肥 | - | - | + | ns | ns | + |
| わら | * | ns | ns | ns | * | ns |
| 交互作用 | - | - | ns | ns | ns | ns |

図3 場内試験におけるダイズ栽培時の基肥の有無と稲わら、麦わらの持ち出しの有無が土壌の化学性の推移に及ぼす影響。

横軸下は、2元配置の分散分析により、基肥の有無、わら持ち出しの有無および交互作用について、*は5%水準で、+は10%水準で有意であることを示し、nsは有意でないことをそれぞれ示す。

の平均値で、画分A及び画分Bが約1%，画分Cが3.4～3.6%，画分Dが約4.5%で、画分Eが約70%，画分Fが約20%であった（図4）。

水抽出で得られる画分Aに含まれる窒素はほぼ全てが硝酸態窒素で、10%塩化カリウム溶液による抽出で得られる画分Bは硝酸態窒素とアンモニア態窒素を多く含み、有機態窒素もわずかながら含むと報告されている⁽²⁾。また、1/15リン酸緩衝液による抽出で得られる画分Cと0.4 M硫酸溶液による抽出で得られる画分Dに含まれる窒素はほぼすべてが易分解性有機態窒素であり、1N水酸化ナトリウム溶液による抽出によって得られた画分Eと残渣として得られた画分Fは難分解性有機態窒素であるとされている⁽²⁾。供試土壌は、全窒素の約90%が難溶性有機態であり（図4）、作物にただちに、あるいは徐々に吸収されると考えられる無機態窒素や易分解性窒素からなる画分A～Dの合計の割合は10%程度であった。

2) 各画分の窒素量及び可給態リン酸量への影響

表2にダイズ栽培の前後における各画分の窒素量を示した。分散分析の結果、画分Bは栽培に伴って有意に減少し、その程度には基肥省略による有意な影響は見られなかった（表2）。画分Cは栽培に伴って増加し、その程度にも基肥省略による有意な影響は見られなかった。しかしながら、画分Cの窒素量は栽培前後共に基肥施用圃場で有意に低かった（表2）。その他の画分については、基肥の有無による差も、栽培に伴う変化も観察されなかった。

画分Cは、PEONと呼ばれる有機物を含むと考えられる。PEON（phosphate buffer extractable organic nitrogen）はもともと、リン酸緩衝液抽出によって

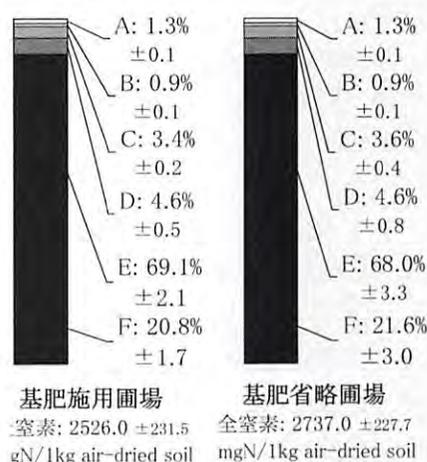


図4 現地試験におけるダイズ栽培後の土壌の窒素構成比。

値は6圃場の平均値と標準偏差を示す。

得られる画分の総称であり、土壌の種類によらず分子量的にも化学的にも均一な物質であるとする報告や^(3,4)、腐植物質である可能性を示す報告^(5,6,7,8)などがあり、その実態には未だ議論の余地がある。いずれにせよ、リン酸緩衝液による抽出窒素量は可給態窒素の簡易推定法に用いられ^(9,10)、短時間で無機化が可能な有機態窒素を含む。この画分や、難溶性有機態窒素を含む画分E及び画分Fも含めて全ての画分の変化に基肥の省略による影響が見られなかったことから、ダイズ作による土壌中窒素量とその構成に対する基肥省略の影響は極めて小さいものと考えられた。栽培前の画分Cの窒素量が基肥施用圃場で有意に低かったことについては、ダイズ栽培前の土壌サンプリングは基肥施用前に実施しており、試験区の割り当てで偶然生じたものと考えられる。しかしながら、栽培後の画分Cの窒素量は栽培前と比較して基肥有無による差が大きくなっていった。浜口ら（2009）は本試験のダイズ子実収量は基肥省略圃

表2 現地試験におけるダイズ栽培時の基肥の有無が窒素量と可給態リン酸量に及ぼす影響。

| 基肥の有無 | 栽培の前後 | 窒素量 (mg / 100g air-dried soil) | | | | | | 可給態リン酸量 (mg / 100g air-dried soil) | |
|--------|-------|--------------------------------|------|------|------|-----|------|------------------------------------|------|
| | | 画分A | 画分B | 画分C | 画分D | 画分E | 画分F | 全窒素 | |
| 基肥施用圃場 | 栽培前 | 3.12 | 2.83 | 8.04 | 12.1 | 178 | 52.4 | 256 | 15.1 |
| | 栽培後 | 3.29 | 2.16 | 8.59 | 11.6 | 175 | 52.4 | 253 | 15.3 |
| 基肥省略圃場 | 栽培前 | 3.34 | 2.83 | 8.80 | 13.2 | 185 | 59.3 | 272 | 13.7 |
| | 栽培後 | 3.54 | 2.37 | 9.78 | 12.7 | 186 | 59.1 | 274 | 12.8 |
| 分散分析 | 基肥の有無 | ns | ns | * | ns | ns | ns | ns | ns |
| | 栽培の前後 | ns | ** | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| | 交互作用 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |

6圃場を反復として分散分析を行い、表中の**は1%水準で、*は5%水準で有意差があることを示し、nsは有意差が無いことを示す。

場の方が高かったと報告している⁽¹⁾。基肥省略圃場では苗立ち率が高かった結果、単位面積当たりのダイズの生育量が旺盛であったと推測され、作物根や微生物の活動に由来してPEONが増加した可能性が否定できない。

また、アンモニウム態窒素を多く含むと考えられる画分Bが基肥施用の有無にかかわらず栽培に伴って減少したことについては、硝化作用、作物による吸収が関与すると推測されるが、本試験結果からは不明であり、今後検討する必要がある。

可給態リン酸量には、基肥の有無による差も、栽培に伴う変化も有意では無かった(表2)。しかしながら、作付後の可給態リン酸量の基肥施用圃場と基肥省略圃場の差は作付け前に比べ拡大する傾向にあった。可給態リン酸量が基肥省略圃場で栽培後に大きく低下したことには、リン酸施用を行っていないことばかりでなく、前述したとおり基肥を省略すると単位面積当たりのダイズの生育量が大きく⁽¹⁾、リン酸吸収量も大きくなったことが影響したと考えられる。

3. まとめ

水田輪作体系の不耕起播種ダイズにおいて無施肥栽培を行った結果、土壌の全窒素、及び各土壌窒素

画分の栽培に伴う変化には、基肥の有無の影響がわらの持ち出しの影響と共に認められなかったことから、窒素については無施肥栽培を行っても問題がないことが確認された。一方で、基肥省略の継続により土壌の可給態リン酸と交換性カリウムが低下する傾向が認められた。すでに、ダイズを無施肥栽培で6連作した場合、土壌の交換性カリと全リン酸が低下したことが報告されている⁽¹¹⁾。本試験の結果から、不耕起播種ダイズ栽培においてもリン酸とカリの施肥省略については注意が必要であると示唆された。農林水産省による地力増進基本指針⁽¹²⁾によると、可給態リン酸の改善目標は一般的な水田では乾土100 gあたり10 mg以上、黒ボク土や多湿黒ボク土でない畑では10 mgから75 mgとされている。基肥省略を行った現地試験圃場の可給態リン量は、12.8 mg/100gと改善目標値の下限に近い値であることから、本現地圃場ではリン酸については分析値を参考にしながら施肥を行う必要がある。

今後は、基肥省略の長期的な影響を検討するとともに、土壌診断に基づいたリン酸、カリウムの適切な補給や、ダイズ栽培時に収奪される養分を前作コムギ栽培時に追加施用するような総合的な施肥体系⁽¹³⁾を導入する必要がある。

IV 摘要

中央農業総合研究センターの水田圃場においてわらの還元の有無と基肥省略の影響について、茨城県筑西市の単一の生産組織が耕作する現地農家圃場にて基肥省略が土壌養分に及ぼす影響を、不耕起ダイズ作条件下で検討した。場内試験の結果から、わらの持ち出し及びダイズ作付時の基肥省略による土壌中の全窒素量と可給態窒素量への有意な影響は見られず、また現地試験においても、全窒素量と逐次抽出で得られた窒素構成への影響は認められなかった。一方、場内試験では基肥の省略によって土壌の交換性カリウムが低くなり、可給態リン酸量もやや

低くなる傾向が認められ、現地試験でも有意では無いものの可給態リン酸量の低下が見られた。現地試験のダイズ子実収量は基肥省略圃場の方が基肥施用圃場より多収であったため、基肥省略圃場ではリン酸施用を行っていないことばかりでなく、大豆の生育量が大きくリン酸吸収量も大きくなったことにより可給態リン酸量が低下したと考えられた。

以上のことから、不耕起ダイズ作では基肥省略が窒素肥沃度に及ぼす影響は小さいと考えられた。一方、交換性カリウムは低下することが示され、可給態リン酸量についても低下の可能性が示唆された。

引用文献

1. 浜口秀生・松尾和之・加藤雅康・松山宏美・渡邊和洋・島田信二・渡邊好昭 (2009) 不耕起播種大豆に対する化成肥料の基肥施用による株数の減少と減収. 関東東海北陸農業研究成果情報
2. 小田島ルミ子・阿江教治・吉光寺徳子・松本真悟 (2005) 土壤中に蓄積している窒素の形態分別法の検討. 土肥誌. 76, 833-841.
3. Matsumoto, S., Ae, N., and Yamagata, M. (2000) The status and origin of available nitrogen in soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46, 139-149.
4. Matsumoto, S., Ae, N., and Yamagata, M. (2000) Extraction of mineralizable organic nitrogen from soils by a neutral phosphate buffer solution. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1293-1299.
5. Aoyama, M. (2006) Properties of neutral phosphate buffer extractable organic matter in soils revealed using size exclusion chromatography and fractionation with polyvinylpyrrolidone. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52, 378-386.
6. Watanabe, S., and Yoshikawa, H. (2007) Characterization of neutral phosphate buffer extractable soil organic matter by electrophoresis and fractionation using ultrafiltration. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53, 650-656.
7. 宮沢佳恵・村山徹 (2009) 植物は土壤中の高分子有機態窒素を直接吸収し、養分として利用できるか? 土肥誌. 80, 263-267.
8. 宮沢佳恵・武田容枝・村山徹 (2010) チンゲンサイは無菌状態では高分子有機態窒素を窒素源として利用しない. 土肥誌. 81, 36-38.
9. 小川吉雄・加藤弘道・石川実 (1989) リン酸緩衝液による可給態窒素の簡易測定法. 土肥誌. 60, 160-163.
10. 柳井政史・上沢正志・金野隆光・清水義昭 (1998) リン酸緩衝液土壌抽出液の吸光度測定による湛水培養可給態窒素量の簡易推定. 土肥誌. 69, 371-378.
11. 坂東哲・藤山英保 (2010) 水田転換畑におけるダイズ不耕起無培土栽培の継続が土壤の理化学性に及ぼす影響. 土肥誌. 81, 472-480.
12. 農林水産省 (2008) 地力増進基本指針.
13. 渡邊和洋・松崎守夫・松尾和之・渡邊好昭 (2015) 不耕起播種を基軸とする水田輪作における減肥体系が収量性および土壤の化学性に及ぼす影響. 日作紀. 84, 162-175.

The effect of omission of basal dressing for no-tillage soybean on the soil nutrient status in rice based cropping system

Hiromi Matsuyama^{*1}, Kazuhiro Watanabe^{*1} and Kazuyuki Matsuo^{*2}

Summary

Because of the poor yield response of soybean to chemical fertilizer, many farmers cultivate soybean without this treatment, although there is a concern about soil degradation. Field experiment was conducted when the cropping sequence was as follows: rice, wheat and soybean, in order to examine the effects of fertilizer omission and removal of rice and wheat residues on subsequent soybean yield and the nutrient content of the soil. In addition, the nitrogen composition of soybean field soil with and without basal fertilizer was studied in the farmer's fields in staple soybean cropping area.

The omission of basal fertilizer for soybean did not cause yield reduction. The results of soil chemical analysis after soybean cropping indicated a significant difference in exchangeable potassium, but not in total nitrogen and inorganic nitrogen, between the conditions with and without basal fertilizer. A slight decline in available phosphorus levels was also observed with basal fertilizer omission. The restoration of rice and wheat straw did not influence the yield of following soybean, or the total nitrogen and inorganic nitrogen content of the soil, but it reduced available phosphorus content of the soil.

Nitrogen composition of the no-tillage soybean field soil with and without basal fertilizer was determined by the sequential extraction method. No significant difference was observed in the amount of total nitrogen and the composition of nitrogen between the conditions with and without basal fertilizer. Although a slight decline in available phosphorus levels was also observed in the fields without fertilizer, this decline could not be ascribed to fertilizer omission because of the higher crop yield and phosphorus uptake observed in these fields.

According to our results, the omission of basal fertilizer for no-tillage soybean does not have any detrimental effects on soybean yield and nitrogen status; however, it is necessary to monitor the levels of exchangeable potassium and available phosphorus by soil diagnosis.

*1 NARO Agricultural Research Center

*2 Japan International Research Center for Agricultural Sciences