

田畑輪換圃場における大豆の 安定多収のための適正土壌管理

福岡県農業総合試験場 土壌・環境部

部 長 小田原 孝 治

1. はじめに

福岡県ではダイズは水田における土地利用型作物の基幹品目に位置づけられている。本県のダイズ主産地である筑後川流域では、米の生産調整により水田面積に対する水稲の実作付け割合が70%程度でダイズは3年に1回の頻度で栽培されてきたが、2009年には60%以下まで低下し、水稲とダイズが隔年で栽培される圃場が多くなっている。そのため水稲-麦-水稲-麦-ダイズ-麦の3年輪作体系から水稲-麦-ダイズ-麦の2年輪作体系に移行しつつある。

ダイズの作付け頻度が高まるにつれて、生産現場からダイズの収量低下が懸念されてきたが、土壌の理化学性がどのように変化し収量低迷の原因となっているのか、実態は必ずしも明らかにされていない。福岡県農業総合試験場では、筑後川流域の水田地帯において土壌肥沃度とダイズ収量性の関係について実態調査（小田原ら、2012）を行うとともに、ダイズの生産性向上のための適正な土壌管理対策について検討したので、その結果を

紹介する。

2. 田畑輪換による土壌肥沃度の変化とダイズ収量

1) 調査対象地域の概要と調査方法

福岡県久留米市H地区を対象に調査した。当地区は有明海の河口から約30km上流の筑後川中流域に位置し、水稲、麦類およびダイズの土地利用型農業が主体の水田農業地帯である。土壌は細粒灰色低地土で、土壌肥沃度は県内では中庸から比較的高いところに位置づけられる。調査地点として対象地域（約123ha）の中から圃場29カ所を選定した。これらの圃場の土壌理化学性とダイズの収量性を2005年～2008年の4カ年にわたり調査し、各地点の1999年～2008年の作付履歴と対比して解析した。

当地域におけるダイズの栽培概要は以下のとおりで、作業受託組合により同じ肥培管理がなされている。品種はフクユタカで、播種は7月中旬～下旬に条間70cm、株間20～25cm、1株2粒播きとし、ダイズの本葉3～5葉期に中耕・培土が

本 号 の 内 容

§ 田畑輪換圃場における大豆の安定多収のための適正土壌管理 1

福岡県農業総合試験場 土壌・環境部

部 長 小田原 孝 治

§ 実エンドウ栽培での微生物分解性肥効調節型肥料 を用いた太陽熱土壌消毒前全量基肥施用 7

和歌山県農業試験場 環境部

副主査研究員 橋 本 真 穂

行われた。調査圃場のダイズ栽培では、窒素、リン酸、カリの施肥や堆肥等の有機物施用は行われていないが、土壌改良資材としてダイズまたは前作の麦栽培前にケイ酸カルシウム 200g m^{-2} または生石灰 100g m^{-2} が施用されていた。

2) ダイズ作付回数と土壌理化学性

表1に2005年～2008年に採取した土壌の理化学性の分析結果を示す。ダイズ栽培の有無に関わらず29地点すべての調査結果の平均値を示した。交換性カリウムが調査期間を通して次第に減少したほかは、年次による差はほとんどなかった。土

に水稻、麦、ダイズの輪作体系において有機物無施用でダイズ作を継続すると着実に地力が減耗していくことが示唆された。

同一圃場でダイズ作を導入した輪換田で土壌有機物の減耗による窒素肥沃度の低下が北田ら(1993)、住田ら(2005)によって明らかにされているが、西南暖地の二毛作地帯のように有機物の分解がより進みやすいと考えられる地域での実態が明らかとなった。

土壌の物理性については、ダイズ作付回数と固相率および容積重の間に正の相関関係、気相率

表1. 調査圃場の年次別土壌理化学性

| 年 | 全窒素 g kg^{-1} | 全炭素 g kg^{-1} | 可給態 窒素 mg kg^{-1} | 三相分布 (pF1.5) | | | 容積重 $\text{g}/100\text{ml}$ | pH(H ₂ O) | 交換性陽イオン含量 | | | 可給態 リン酸 $\text{mg}/100\text{g}$ |
|------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------|---------------------------------|------|--------------------------------|----------------------|-----------|-------------------------------|----|---------------------------------------|
| | | | | 固相 | 液相 m^3m^{-3} | 気相 | | | Ca | Mg $\text{mg}/100\text{g}$ | K | |
| 2005 | 1.78 | 18.6 | 117 | 0.38 | 0.46 | 0.16 | 99.4 | 6.1 | 305 | 23 | 48 | 16.2 |
| 2006 | 1.78 | 19.0 | 123 | 0.36 | 0.44 | 0.20 | 92.5 | 6.1 | 354 | 25 | 39 | 20.1 |
| 2007 | 1.69 | 19.3 | 119 | 0.35 | 0.42 | 0.24 | 89.7 | 6.1 | 340 | 29 | 38 | 20.1 |
| 2008 | 1.73 | 19.2 | 117 | 0.35 | 0.42 | 0.22 | 91.9 | 6.2 | 280 | 22 | 34 | 19.6 |

土壌採取時期は各年とも5月下旬、29地点の平均値。可給態窒素は畑状態で4週間培養。

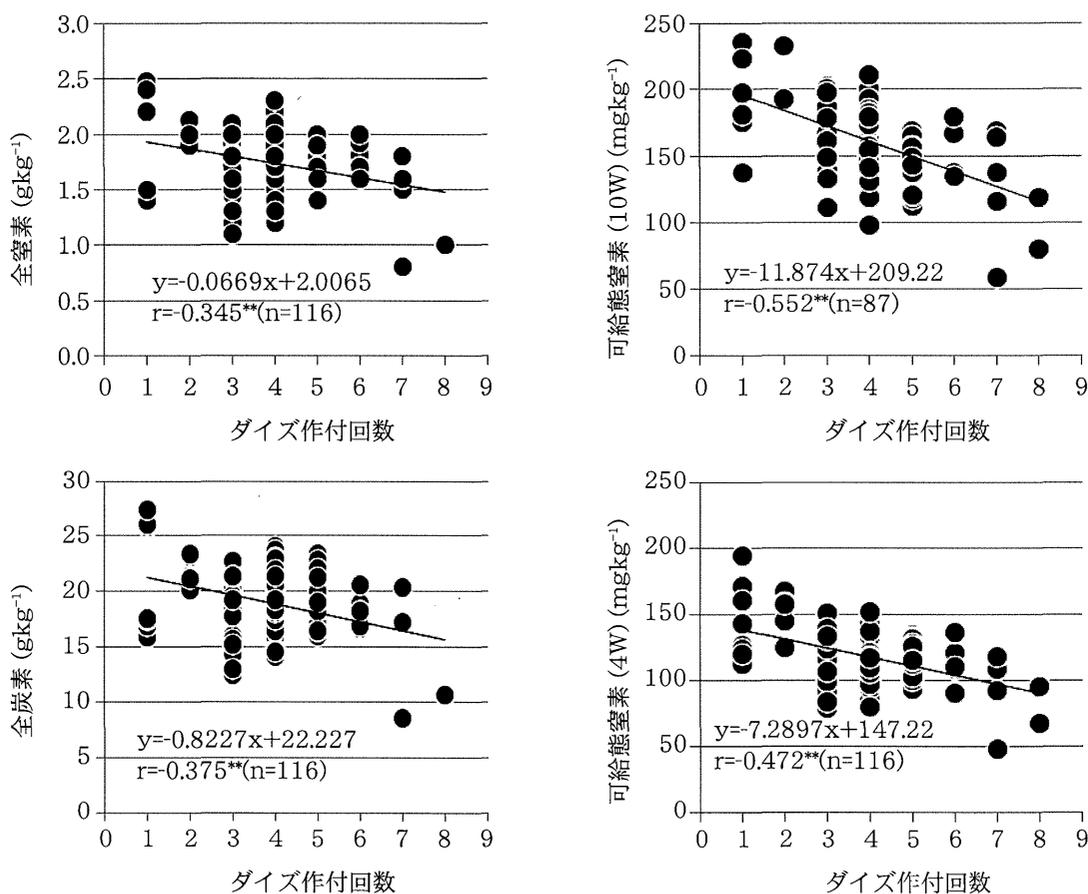
壤の物理性は2005年の値を除いて各年次ともほぼ同等の値を示した。以上のデータをもとにダイズ作付回数が土壌理化学性にどのような影響を及ぼしているのかという点に注目して解析を行った。

表2にダイズ作付回数と土壌理化学性の間の相関係数を示す。ダイズ作付回数とダイズ収穫期の土壌の全窒素、全炭素および可給態窒素の間には負の相関関係が認められた。これらの関係を水稻後の土壌のデータと合わせて図示すると図1のようになる。水稻および麦栽培に伴う肥沃度の変化がなかったものと仮定し、ダイズ1回の作付に伴う変化を試算した。ダイズ1作当たり、全窒素含量は 0.067g kg^{-1} 減少し表1の全窒素の4ヶ年の平均値に対して3.8%減少した。全炭素含量は 0.82g kg^{-1} 減少し平均減少率は4.3%であった。同様に可給態窒素の4週間培養では 7.3mg kg^{-1} 減少、10週間培養では 11.9mg kg^{-1} 減少し、それぞれ平均減少率は6.1%、7.4%であった。このよう

表2. ダイズ作付回数と土壌理化学性の相関関係

| 項 目 | 相関係数 |
|----------------------|----------|
| 全窒素 | -0.43 ** |
| 全炭素 | -0.39 ** |
| 可給態窒素(4W) | -0.47 ** |
| 可給態窒素(10W) | -0.47 ** |
| 固相率 | 0.35 * |
| 液相率 | 0.11 |
| 気相率(粗孔隙率) | -0.35 * |
| 容積重 | 0.41 ** |
| pH(H ₂ O) | 0.53 ** |
| 交換性Ca | 0.15 |
| 交換性Mg | -0.07 |
| 交換性K | -0.51 ** |
| 可給態リン酸 | 0.08 |

2005～2008年採取土壌の測定データから作成
 **: 1%水準, *: 5%水準で有意性あり (n=50)
 可給態窒素の4W, 10Wは培養期間(週)



2005～2008年採取土壤のデータから作図

図1. ダイズ作付回数と土壤の全炭素、全窒素および可給態窒素の関係

(粗孔隙率)に負の相関関係が認められた。つまり土が固く締まりやすく、ダイズの根や根粒の着生、活性にとって重要な土壤の孔隙が減少しており、これは土壤の全炭素が減耗していることに起因すると考えられる。

3) ダイズ子実収量と土壤の理化学性との関係

これまで述べたように、ダイズ作付回数が多いほど土壤の窒素肥沃度や物理性の面でダイズの生育に不利となっていることが示唆された。実際にダイズ作付回数と収量性の関係をみると、m²当り粒数、百粒重いずれも負の相関関係があり(データ略)、ダイズ作付回数の増加とともに子実収量は低下した(図2)。

そこでダイズ収量性と土壤理化学性との関係に注目して解析した結果を表3に示す。子実収量は全窒素、全炭素および可給態窒素と正の相関関係にあった。子実収量と土壤の物理性との関係では、

固相率、容積重および液相率とは強い負の相関関係、気相率(粗孔隙率)とは強い正の相関関係が認められた。子実収量と土壤pHとは負の相関関係

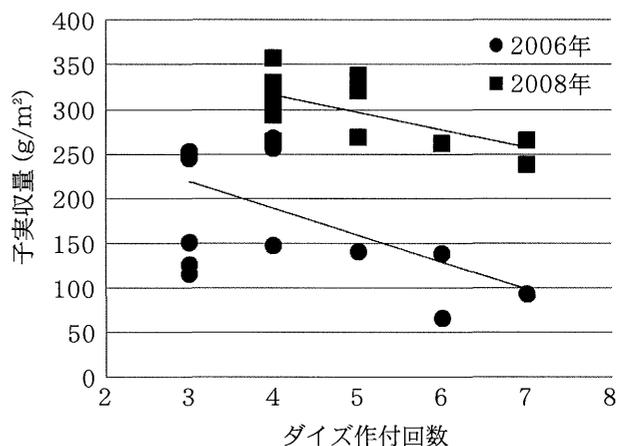


図2. ダイズ作付回数と収量との関係

表3. ダイズ収量性と土壌理化学性の相関関係

| 項 目 | 子実収量 | m ² 当粒数 | 百粒重 |
|-----------------------|----------|--------------------|----------|
| 全窒素 | 0.35 * | 0.30 * | 0.27 |
| 全炭素 | 0.42 ** | 0.40 ** | 0.27 |
| 可給態窒素 | 0.32 * | 0.27 | 0.29 * |
| 固相率 | -0.78 ** | -0.77 ** | -0.58 ** |
| 液相率 | -0.61 ** | -0.62 ** | -0.47 ** |
| 気相率(粗孔隙率) | 0.78 ** | 0.77 ** | 0.58 ** |
| 容積重 | -0.65 ** | -0.63 ** | -0.47 ** |
| pH (H ₂ O) | -0.46 ** | -0.38 ** | -0.51 ** |
| 交換性Ca | -0.25 | -0.26 | -0.15 |
| 交換性Mg | 0.02 | -0.06 | 0.29 * |
| 交換性K | 0.19 | 0.09 | 0.36 ** |
| 可給態リン酸 | -0.10 | -0.04 | -0.23 |

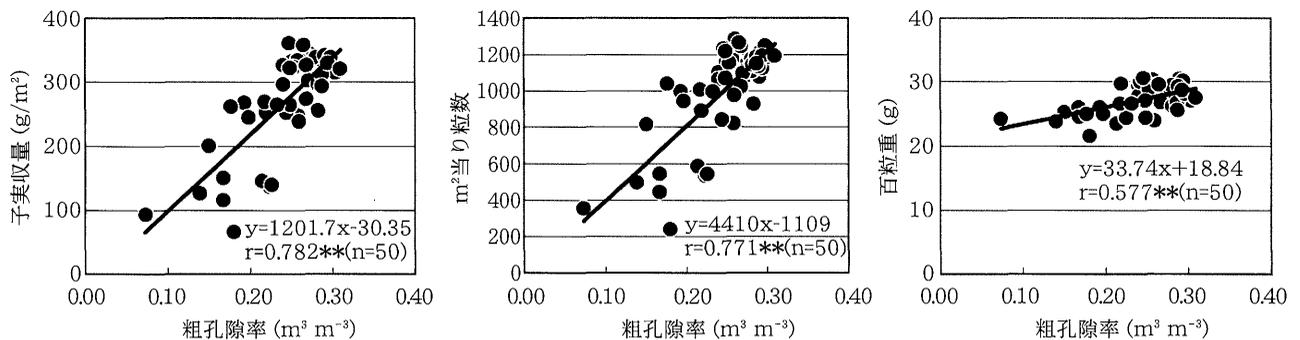
2005～2008年採取土壌の測定データから作成

**：1%水準，*：5%水準で有意性あり (n=50)

可給態窒素は4週間培養による窒素

と関係の深い粗孔隙率とダイズ収量性の関係を図3に示す。土壌の粗孔隙率の改善目標値は非火山灰土壌の普通畑では0.15m³ m⁻³以上が設定されているが、0.30m³ m⁻³まで子実収量が増加していることから、産地によっては制限要因となっていることが考えられる。

以上のほか、ダイズ作付回数が増加とともに土壌pHが高まる傾向は、ダイズまたは麦作前に石灰質資材施用の機会が増すことによるものと考えられる。百粒重と土壌の交換性K、Mgの関係から、土壌診断に基づき適正域に維持する肥培管理も念頭に置く必要がある。



2005～2008年の調査データから作図

図3. 土壌の粗孔隙率とダイズ収量性の関係

係にあった。以上の傾向は、m²当り粒数および百粒重についてもおおむね同様であった。このほか百粒重では交換性KおよびMgと正の相関関係が認められている。

各項目間の相関係数の大小から、当地域のダイズの収量性は土壌の物理性の影響を強く受けていると判断された。化学性では物理性に大きく寄与する全炭素が収量に対して影響を及ぼし、次に全窒素および可給態窒素の収量への影響も認められた。土壌の物理性のなかでもダイズの生育に重要な土壌の通気性(島田, 1985; 久津那, 1986)

4) ダイズ+麦栽培におけるリン酸、カリの収支

土壌の窒素肥沃度および土壌物理性とダイズ収量性の関係を中心にみてきたが、ダイズにとって重要な養分であるリン酸とカリについてダイズ+麦の2毛作体系で考えてみたい。ダイズ子実によるリン酸、カリの持出し量は、五訂日本食品標準成分表(2001)のデータをもとに子実収量を250g m⁻²として試算すると、リン酸3.0g m⁻²、カリ5.7g m⁻²である。これに対してダイズ栽培でリン酸、カリなどの化学肥料が施肥されているのは県全体の30%に満たないのが実態である。一方、

麦栽培では表4に示すように、リン酸は基準施肥量 5g m^{-2} に対して、ほぼ同量が麦の子実によって持ち出されるため、ダイズ+麦の2毛作での持ち出しによりマイナスとなる。カリの収支は基準施肥量 13g m^{-2} に対して麦わらを鋤込むか持ち出すかによって大きく変わってくる。麦わらを鋤込むと収支は 10g m^{-2} 程度のプラスとなり、

ダイズによる持出しや肥料の利用率を考慮するとおおむね維持されているが、麦わらを持ち出すと大幅なマイナスとなる。これらの状況は堆肥を投入すると大幅に改善される。

3. 有機物施用によるダイズ収量性改善

これまで述べてきたことから、調査対象地域でのダイズの収量向上のためには、物理性の改善と化学性のなかでも窒素肥沃度の向上が必要であることが示唆された。これらの改善対策として堆肥等の有機物施用が最も効果的(吉田, 1979)と考えられた。本調査ではカリ、リン酸は収量への制限要因となっていないものの、ダイズ子実中に多く含まれ要求性は高い(有原, 2000)ことから、堆肥等の有機物施用はこれらの給源となることも大きなメリットと考えられた。

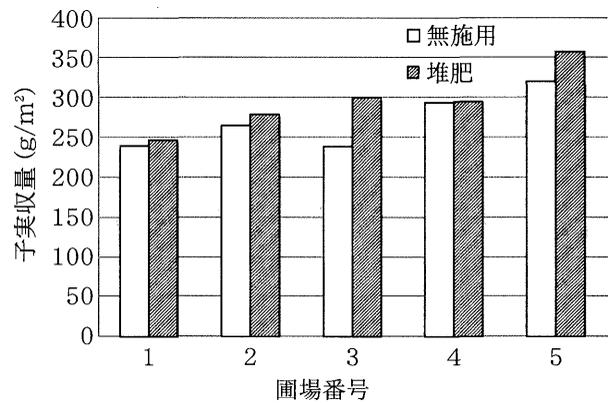
実態調査と並行して現地圃場(5カ所)で牛ふん堆肥の施用効果について検討した結果を図4に示す。牛ふん堆肥の施用により子実収量の増加量は $0\sim 60\text{g m}^{-2}$ で平均9%程度の増収となった。

表4. 小麦栽培におけるリン酸、カリ成分の収支

(福岡農総試筑後分場 2010年)

| 有機物の施用 | 投入量 | | | 持出し量 | | | 収支 | |
|--------|-------|------|------|------|-----|--------|------|------|
| | 施肥 | 堆肥 | 計 | 子実 | わら | 計 | | |
| リン酸 | 堆肥+わら | 5.0 | 11.5 | 16.5 | 6.8 | (1.7) | 6.8 | 9.7 |
| | わら | 5.0 | 0 | 5.0 | 4.5 | (0.3) | 4.5 | 0.5 |
| | 無施用 | 5.0 | 0 | 5.0 | 4.5 | 0.3 | 4.8 | 0.2 |
| カリ | 堆肥+わら | 13.0 | 25.0 | 38.0 | 3.2 | (19.9) | 3.2 | 34.8 |
| | わら | 13.0 | 0 | 13.0 | 2.4 | (14.7) | 2.4 | 10.6 |
| | 無施用 | 13.0 | 0 | 13.0 | 1.9 | 15.3 | 17.2 | -4.2 |

リン酸は基肥で施用、カリ及び窒素施肥量(基肥+1追+2追)は $5+6+2\text{g/m}^2$ 堆肥はおがくず牛ふん堆肥で麦播種前に 2kg/m^2 施用
()の数値は圃場に還元されるため、右の計から除外した



牛ふん堆肥施用量は 1.5kgm^{-2}

図4. 現地圃場における牛ふん堆肥施用効果

表5. 異なる輪作体系での有機物施用の効果

(福岡農総試筑後分場 2008年)

| 輪作体系 | 有機物の施用 | 土壌理化学性 | | | ダイズ子実収量 | 同左指数 |
|--------------------------|--------|---------|------|------|---------|------|
| | | 容積重 | 全炭素 | 全窒素 | | |
| | | g/100ml | g/kg | g/kg | g/m² | |
| ダイズ・水稻輪作 (ダイズ+麦+水稻+麦) | 堆肥+わら | 79 | 28 | 2.5 | 409 | 111 |
| | わら | 85 | 17 | 1.7 | 368 | 100 |
| | 無施用 | 91 | 14 | 1.5 | 361 | 98 |
| ダイズ連作 (ダイズ+麦+ダイズ+麦) | 堆肥+わら | 90 | 22 | 2.5 | 421 | 114 |
| | わら | 96 | 14 | 1.7 | 374 | 102 |
| | 無施用 | 97 | 15 | 1.6 | 329 | 89 |

2004年から試験開始
堆肥はおがくず牛ふん堆肥で麦播種前に 2kg/m^2 施用
わらは稲わら、麦わら施用

表5は試験場内で輪作体系別に稲、麦わらに加えて牛ふん堆肥を施用しダイズを栽培した結果を示す。ダイズ連作圃場の有機物無施用区ではダイズ+水稻の輪作のわら施用区に比べて全炭素がやや少なく、土壌容積重は大きく、収量指数も89と最も低くなっている。これに対して堆肥を加えるとわらのみの施用に比べていずれの体系でも10%程度の増収となっている。2008年以降も牛ふん堆肥施用による土づくりの効果は安定して続いている(データ略)。

4. おわりに

ダイズの安定多収のためにはそれぞれの産地で何が制限要因となっているのかを把握することが重要である。それは播種時期、土壌条件、雑草の問題など多岐にわたり、土壌条件だけとってみても多くのチェックすべき項目がある。そのため、以下に示すように優先順位を決めて対策を実行することが大切である。

- ① 暗渠排水や明渠の設置による圃場の排水性の確保
 - ② 心土破碎や深耕による根群域の拡大
 - ③ 有機物施用による土壌物理性改善と窒素肥沃度の向上
 - ④ 土壌診断に基づいた土壌養分管理
- 本稿では上記③の具体的な事例を紹介したが、

①や②をクリアした上で③や④の改善に取り組むことで安定多収を実現できると考えられる。

引用文献

- 有原文二. 2000. ダイズ安定多収の革新技術. 農文協, 東京
- 科学技術庁資源調査会. 2001. 五訂日本食品標準成分表. 第一出版, 東京
- 北田敬宇, 下田英雄, 亀川健一, 秋山 豊. 1993. 灰色低地土水田における田畑輪換による土壌養分動態と最適な水田・畑期間. 土肥誌, 64: 154-160
- 久津那浩三. 1986. 転換畑の通気性と作物の生育. 土壌の物理性, 53: 8-12
- 小田原孝治, 福島裕助, 荒木雅登, 兼子 明, 荒巻幸一郎. 2012. 筑後川流域の田畑輪換圃場における土壌肥沃度とダイズ子実収量性の実態. 土肥誌, 83: 405-411
- 島田信二. 1985. 転換畑作大豆における中耕培土の効果. 農及園, 60: 427-430
- 住田弘一, 加藤直人, 西田瑞彦. 2005. 田畑輪換の繰り返しや長期畑転換に伴う転作大豆の生産力低下と土壌肥沃度の変化. 東北農研研報, 103: 39-52
- 吉田重方. 1979. ダイズの窒素栄養におよぼす堆肥施用の影響. 日作紀, 48: 17-24