

第IV章 ダイコンにおける土壌残存窒素を考慮した窒素肥料低減化技術

1. 緒言

千葉県の秋まき年内どりダイコンの前作には、スイカ、ニンジン等が作付けされ、収穫後の土壌残存無機態窒素(以下、残存窒素とする)が多いことが指摘されている⁵⁹⁾。したがって、これら残存窒素を利用した施肥は、ダイコンの収量を維持しつつ窒素施肥量を削減する方法として有効と考えられる。また、本作型は9月上旬から下旬に播種し、11月上旬から12月上中旬にかけて収穫されるため、播種期の違いが窒素施肥量に強く影響する。すなわち、9月上旬播種では、根部肥大期が適温であるため、施肥基準相当量でよいが、9月下旬播種では、根部肥大期が低温期に当たるため、施肥基準量以上の窒素が必要であることが現地事例を基に報告されている⁷⁰⁾。

以上のような背景から、本研究は、残存窒素を考慮した秋まき年内どりダイコンの播種期別の好適窒素施肥量について検討した。

2. 材料および方法

(1) 残存窒素を考慮した好適窒素施肥量の決定 (場内試験)

1) 試験場所および土壌

試験は、千葉市緑区大膳野町にある千葉県農業総合研究センター生産環境部環境機能研究室ほ場で実施した。供試ほ場の土壌は、表層腐植質黒ボク土である。

2) 試験区の構成

試験区は、2000年9月中旬および下旬播種では、残存窒素と施肥窒素の合計量で30kg ha⁻¹区、60kg ha⁻¹区、90kg ha⁻¹区、120kg ha⁻¹区および150kg ha⁻¹区の5区を設定した。同様に、2001年9月上旬播種では、残存窒素のみ区、30kg ha⁻¹区、60kg ha⁻¹区、90kg ha⁻¹区および120kg ha⁻¹区の5区を設定した(第24表)。なお、試験区の窒素量の設定にあたっては、千葉県施肥基準⁹⁾から秋播秋冬どりダイコンの窒素施肥基準量90kg ha⁻¹を参考にした。さらに、各区にそれぞれマルチ処理の有無を設け、合計10処理区とした。試験は、供試面積を1区30m²で2反復とした。

残存窒素は、土壌の仮比重を0.67とし、0~15cm層の土壌中無機態窒素量(mg kg⁻¹)を施肥窒素相当量(kg ha⁻¹)として換算した。供試肥料は、CDU化成(N-P₂O₅-K₂O=15-15-15)とし、リン酸および加里は、それぞれBM熔リンおよび硫酸加里で各区150kg ha⁻¹となるように調整した。

3) 供試品種および耕種概要

品種は、「秋いち」(タキイ種苗)を用いた。播種期は、9月上旬播種が2001年9月5日、9月中旬播種が2000年9月14日、9月下旬播種が2000年9月25日とした。栽植密度は、無マルチ区では、条間60cm 1条、株間30cm(55,556株ha⁻¹)、マルチ区では、ベッド幅70cm 2条、株間30cm(51,280株ha⁻¹)とした。マルチ資材は、厚さ0.2mmの透明ポリフィルム(9230透明;みかど加工、東京)を使用した。間引きは、各播種期とも播種後約14日目に行った。収穫は、2001年9月上旬播種が11月8日、2000年9月中旬播種が11月14日、2000年9月下旬播種が12月8日に行った。

4) 収穫物調査および土壌分析

ダイコンは、各収穫日毎に1区20本ずつ抜きとり、洗浄後、葉部と根部に切断し生体重を測定した。調査は、千葉県調査基準¹⁰⁾に準じた。

施肥7日前に深さ0~15cmの土壌を1区3ヵ所から採取し、1つにまとめて分析試料とした。土壌中無機態窒素は、生土20gに100mLの蒸留水を加えて30分間振とうし、ろ過後、オートアナライザー(トラックス800;ブランルーベ社製)法により分析した。

(2) 残存窒素を考慮した好適窒素施肥量の現地実証 (現地試験)

1) 試験場所

現地実証試験は、山武郡山武町の農家3戸(U、S、T)のほ場(表層腐植質黒ボク土)で2000年~2001年に行った。各農家の残存窒素量は前作の違いで異なり、U農家は、前作が2000年はサツマイモ、2001年はソルゴーで、残存窒素量15~17mg kg⁻¹で‘少’、S農家は、ニンジンとズッキーニで、残存窒素量57~72mg kg⁻¹で‘中’、T農家は、スイカ連作で、残存窒素量162~198mg kg⁻¹で‘多’であった。

2) 試験区の構成

試験区は、各農家に以下の3区を設定した(第25表)。
①農総研基準区:残存窒素と施肥窒素の合計量120kg ha⁻¹施用。
②農家慣行区:残存窒素と各農家慣行施肥窒素の合計量を施用。
③無施肥区:施肥窒素なしで残存窒素のみ。なお、T農家は2年間とも、残存窒素量が農総研基準区の設定量を上回ったので、②、③の2区で試験を実施した。残存窒素は、試験1の場内試験と同様に算出した。作型は、9月下旬播種の年内どりとした。

第24表 場内ほ場における各試験区の残存窒素と施肥窒素

試験区 合計窒素	2000年		2001年	
	残存窒素	施肥窒素	残存窒素	施肥窒素
150	27	123	—	—
120	27	93	25	95
90	27	63	25	65
60	27	33	25	35
30	27	3	25	5
残存窒素のみ	—	—	25	0

- 注1) 合計窒素は、残存窒素 (kg ha⁻¹) と施肥窒素 (kg ha⁻¹) を加えた。
 2) 残存窒素は、施肥前の0～15cm層の土壤中無機態窒素量 (mg kg⁻¹) を施肥窒素相当量 (kg ha⁻¹) に換算。
 3) 2000年は9月中旬および下旬播種、2001年は9月上旬播種における試験区である。
 4) 2000年は残存窒素のみ区を設定せず、2001年は150区を設定せず。

第25表 農家ほ場における前作と各試験区の窒素施肥設計

試験区		U農家	S農家	T農家
2000年	農総研基準	120 (105)	120 (63)	—
	農家慣行	65 (50)	147 (90)	202 (40)
	無施肥	15 (0)	57 (0)	162 (0)
	(前作)	(サツマイモ)	(ニンジン)	(スイカ)
2001年	農総研基準	120 (103)	120 (48)	—
	農家慣行	77 (60)	132 (60)	238 (40)
	無施肥	17 (0)	72 (0)	198 (0)
	(前作)	(ソルゴー)	(ズッキーニ)	(スイカ)

- 注1) 無施肥区の窒素量は、施肥前の0～15cm層の土壤中無機態窒素量 (mg kg⁻¹) を施肥窒素相当量 (kg ha⁻¹) に換算。
 2) () 内の数値は、施肥窒素量 (kg ha⁻¹)。
 3) 供試肥料は、U農家では‘味好1号’ (N-P₂O₅-K₂O=6-8-4)、S農家およびT農家では‘ガンマ有機’ (N-P₂O₅-K₂O=5-6-1)。

3) 供試品種および耕種概要

品種は「秋いち」(タキイ種苗)を用いた。肥料は、U農家では‘味好1号’ (N-P₂O₅-K₂O=6-8-4)、S農家およびT農家では‘ガンマ有機’ (N-P₂O₅-K₂O=5-6-1)の各配合有機質資材を施用した。播種期は、2000年および2001年とも9月27～30日で、いずれもマルチ栽培とした。マルチの規格は、試験1の場内試験に準じた。

4) 収穫物調査および土壌分析

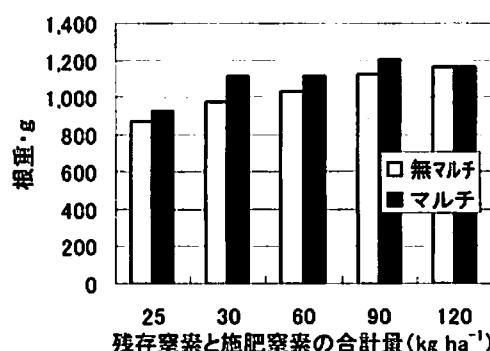
収穫物調査は、農家の出荷時期にあわせて、2000年播種ではML級 (900g) を基準として2000年12月13日に、2001年播種ではL級 (1,000g) を基準として2002年1月13日に行った。調査個体数、調査項目および土壌分析方法は、試験1の場内試験に準じた。

3. 結果

(1) 残存窒素を考慮した好適窒素施肥量の決定 (場内試験)

9月上旬播種におけるダイコンの根重は、残存窒素と施肥窒素の合計量が30kg ha⁻¹以上のマルチ区、60kg ha⁻¹

以上の無マルチ区およびマルチ区で、L級に区分される1,000g以上となった (第25図)。

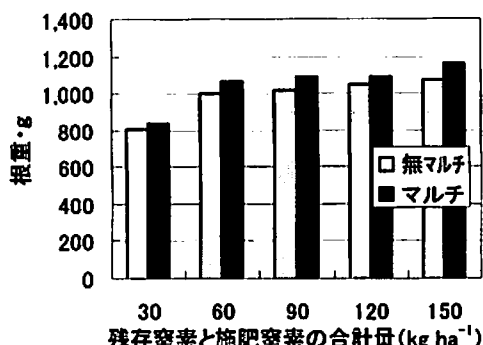


第25図 9月上旬播種におけるダイコンの平均根重 (播種：2001年9月5日 収穫：11月8日)
 注) 1区当たり20本調査。

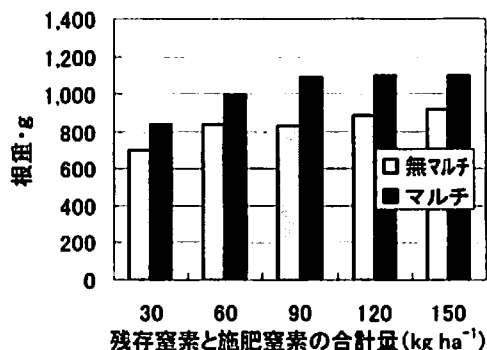
9月中旬播種におけるダイコンの根重は、残存窒素と施肥窒素の合計量が60kg ha⁻¹以上のマルチ区および無マルチ区で1,000g以上となった (第26図)。

9月下旬播種におけるダイコンの根重は、残存窒素と

施肥窒素の合計量が90kg ha⁻¹以上のマルチ区で1,000g以上となったが、無マルチ区では残存窒素と施肥窒素の合計量の多少に関わらず1,000gの根重を得られなかった(第27図)。



第26図 9月中旬播種におけるダイコンの平均根重
(播種: 2000年9月14日 収穫: 11月16日)
注) 1区当たり20本調査。



第27図 9月下旬播種におけるダイコンの平均根重
(播種: 2000年9月15日 収穫: 12月8日)
注) 1区当たり20本調査。

(2) 残存窒素を考慮した好適窒素施肥量の現地実証 (現地試験)

2000年におけるU農家の根重は、農総研基準区では950g、農家慣行区では910gで、ML級である900g以上のダイコンが得られたが、無施肥区では745gであった(第26表)。葉重は、農総研基準区228g、農家慣行区248g、無施肥区192gであった。S農家の根重は、農総研基準区では913g、農家慣行区では918gであり、ML級のダイコンが得られたが、無施肥区では802gであった。葉重は、241~260gで区間差は小さかった。T農家の根重は、農家慣行区では887g、無施肥区では879gと両区ともML級に達しなかった。葉重は259~274gで区間差は小さかった。

2001年におけるU農家の根重は、農総研基準区では1,127gでL級になったが、農家慣行区では944g、無施肥区では767gとL級に達しなかった(第27表)。葉重は、農総研基準区138g、農家慣行区114g、無施肥区84gであ

り、残存窒素と施肥窒素の合計量が少ない区ほど軽くなった。S農家の根重は、農総研基準区では1,053g、農家慣行区では1,041gでL級に達したが、無施肥区では908gであった。葉重は、133~149gで区間差は小さかった。T農家の根重は、農家慣行区では946g、無施肥区では931gとなり、両区ともL級に達しなかった。葉重は170~196gで、U農家およびS農家の農総研基準区の葉重133~138gに対して、明らかに重かった。

2000年の現地ほ場における残存窒素と施肥窒素の合計量と9月下旬播種ダイコンの根重との関係を見ると、U農家とS農家の農総研基準区および農家慣行区は、残存窒素と施肥窒素の合計量が65~147kg ha⁻¹でML級である900g以上の根重が得られた(第28図)。しかし、U農家とS農家の無施肥区は、残存窒素と施肥窒素の合計量が15~57kg ha⁻¹で、根重が900g以下であった。T農家の農家慣行区および無施肥区は、残存窒素と施肥窒素の合計量が162~202kg ha⁻¹で、根重が900gに達しなかった。

2001年の現地ほ場における残存窒素と施肥窒素の合計量と9月下旬播種ダイコンの根重との関係では、U農家の農総研基準区とS農家の農家慣行区および農総研基準区は、残存窒素と施肥窒素の合計量が120~132kg ha⁻¹で、1,000g以上の根重が得られた(第29図)。一方、U農家の無施肥区、農家慣行区およびS農家無施肥区は、残存窒素と施肥窒素の合計量が17~77kg ha⁻¹で、根重が1,000g以下であった。T農家の農家慣行区および無施肥区は、残存窒素と施肥窒素の合計量が198~239kg ha⁻¹で、根重が1,000g以下であった。

4. 考察

1) 播種期別年内どりダイコンの残存窒素を考慮した適正窒素施肥量

窒素吸収量に見合った施肥量を検討した報告⁶⁾によれば、1994年に設定された施肥基準以下の施肥量でも収量が確保できる品目のひとつにダイコンがある。特にダイコンの秋まき年内どり栽培では、試験期間の4年とも無窒素区と標準施肥区(施肥窒素90kg ha⁻¹)との生育に差がなく、いずれも1,000g以上の根重が得られている。その要因として、0~30cm層の残存窒素量が40mg kg⁻¹以上と高かったことが指摘されている。また、ダイコンの窒素吸収量は、無窒素区で135kg ha⁻¹、窒素90kg ha⁻¹の標準施肥区で、150kg ha⁻¹であり、施肥窒素利用率は17%であった。このことから、ダイコンは、施肥窒素より地力窒素を吸収する品目であるとしている。一方、著者が行った1997年の現地調査⁴⁾では、根重1,000gのダイコンが得られたときの窒素吸収量は、94~174kg ha⁻¹(平均136kg ha⁻¹)であった。

第26表 現地ほ場におけるダイコンの生育(2000年)

農家	試験区	葉数 (枚)	葉長 (cm)	根長 (cm)	根径 (mm)	葉重 (g)	根重 (g)	葉色
U	農総研基準	24.6	41.7	33.7	71.1	228	950	31.8
	農家慣行	25.3	41.9	32.5	70.8	248	910	33.8
	無施肥	24.8	39.7	30.7	65.8	192	745	29.4
S	農総研基準	26.4	40.9	33.5	70.4	255	913	32.8
	農家慣行	25.3	40.1	31.8	71.8	241	918	34.3
	無施肥	26.6	41.0	31.4	69.0	260	802	31.6
T	農家慣行	27.1	42.9	33.9	70.3	274	887	30.9
	無施肥	26.4	41.2	34.3	69.8	259	879	31.5

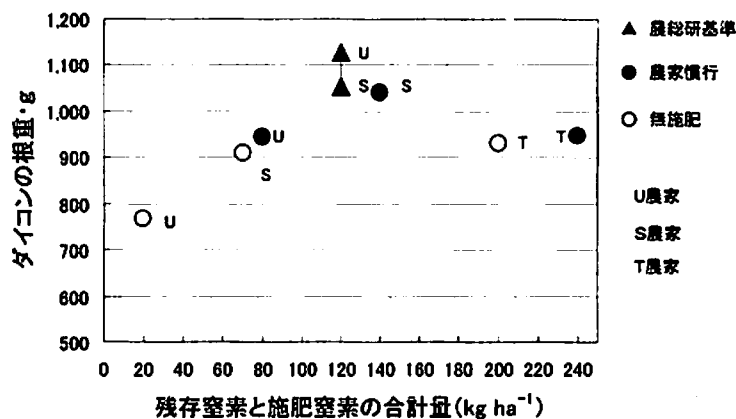
注1) ダイコンの調査は20本で行い、表中数値は1本当たりの平均値。

2) 葉色は葉緑素計 (SPAD-502、ミノルタ製)による測定値。

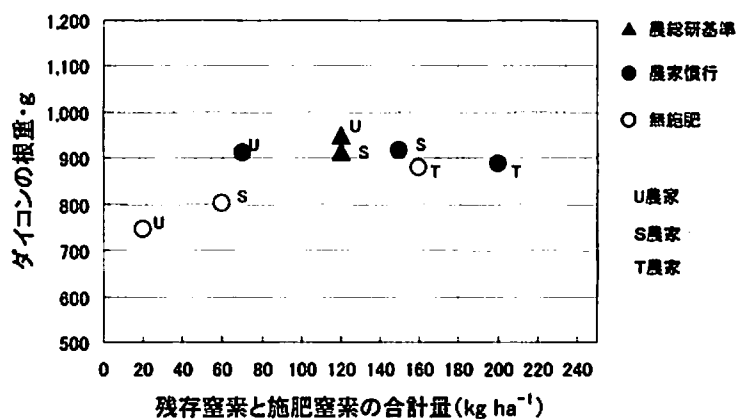
第27表 現地ほ場におけるダイコンの生育(2001年)

農家	試験区	葉数 (枚)	葉長 (cm)	根長 (cm)	根径 (mm)	葉重 (g)	根重 (g)	葉色
U	農総研基準	16.1	33.7	35.7	73.1	138	1127	24.0
	農家慣行	15.6	31.0	33.3	70.2	114	944	21.5
	無施肥	13.0	29.4	30.3	66.1	84	767	22.1
S	農総研基準	15.9	33.5	34.8	71.7	133	1053	23.7
	農家慣行	15.5	34.1	34.5	69.9	137	1041	24.3
	無施肥	15.6	35.8	32.7	69.4	149	908	25.0
T	農家慣行	15.4	38.4	34.5	71.7	170	946	26.9
	無施肥	17.5	38.0	34.0	71.0	196	931	30.1

注) 第26表と同じ



第28図 現地ほ場における残存窒素と施肥窒素の合計量と9月下旬播種ダイコンの根重との関係 (2000年)



第29図 現地ほ場における残存窒素と施肥窒素の合計量と9月下旬播種ダイコンの根重との関係 (2001年)

上記の知見に基づいて、場内試験において残存窒素を考慮したダイコンの好適窒素施肥量を検討したところ、以下の結果が得られた。すなわち、ダイコンの目標収量を得るためには、9月上旬播種の場合、残存窒素と施肥窒素の合計量がマルチ栽培では、 30kg ha^{-1} 以上、無マルチ栽培では 60kg ha^{-1} 以上必要であった。同様に、9月中旬播種の場合は、マルチの有無に関わらず残存窒素と施肥窒素の合計量は 60kg ha^{-1} 以上、9月下旬播種の場合は、マルチ処理が必須で、残存窒素と施肥窒素の合計量は 90kg ha^{-1} 以上必要であった。

次に、現地試験において9月下旬播種時の残存窒素を考慮した好適窒素施肥量を 120kg ha^{-1} で実施したところ、残存窒素と施肥窒素の合計量が $77\sim 147\text{kg ha}^{-1}$ の範囲でML級またはL級の根重のダイコンが得られた。このことは場内試験における適正量の $90\sim 120\text{kg ha}^{-1}$ を実証したことになる。一方、残存窒素と施肥窒素の合計量が 162kg ha^{-1} 以上で根重が低下したことから、この窒素量は、秋まき年内どりダイコンにおいては過剰域であると考えられた。

2) ダイコンの窒素吸収根域と残存窒素との関係

ダイコンの窒素吸収根域に関する報告では、三木ら^{70,71)}は、根長は $100\sim 120\text{cm}$ 程度で作物の中では最も深い部類に属するとしている。町田⁶⁴⁾は、根系の広がり、主根で $180\sim 200\text{cm}$ 、側根で $60\sim 100\text{cm}$ に達すると報告している。また、長谷川ら²²⁾は、主要作物の中で根長が 100cm 以上あるダイコン、秋まきコムギおよびテンサイを深根性作物として位置づけ、土壌に集積した塩類の回収作物として適していると述べている。すなわち、ダイコンは、深い位置まで根を張り地力窒素を利用するタイプであると言える。八槇・安西¹²⁴⁾によれば、黒ボク土の野菜畑においては 4m の常総粘土が出現する下層まで硝酸態窒素が多く存在するので、深層部分の窒素供給も考慮する必要があるとしている。そこで、本試験でも深層部分の影響を考え、ダイコンの地力窒素吸収根域を $0\sim 120\text{cm}$ 層までと仮定し、その土層中の全硝酸態窒素量を試算した。

場内における施肥前残存窒素量は、2000年の $0\sim 15\text{cm}$ 層で 27kg ha^{-1} であることから、 $0\sim 120\text{cm}$ 層では、 27kg ha^{-1} が8層と仮定して、 216kg ha^{-1} と推定した。同様に、2001年では、 25kg ha^{-1} であり、 200kg ha^{-1} と推定した。この深い土層まで考慮した推定残存窒素量は、根重 $1,000\text{g}$ のダイコン得るのに必要な窒素吸収量が約 130kg ha^{-1} としても、十分な供給量である。

3) ダイコンの生育適温と施肥窒素量との関係

深い土層からの窒素供給が考えられる本試験において、9月上旬播種(2001年)のマルチ栽培では少量の施肥窒素(5kg ha^{-1})で根重 $1,000\text{g}$ のダイコンが得られた

(第24表と第25図)。しかし、播種期が約20日間遅い9月下旬播種(2000年)のマルチ栽培では比較的多量の施肥窒素($63\sim 93\text{kg ha}^{-1}$)が必要であった(第24表と第27図)。このようにダイコンの施肥窒素量は播種時期によって著しく異なった。以下に、この理由を生育期間中の気温との関係から考察した。

ダイコンの生育適温については、川城・武田⁶⁷⁾、松本⁶⁸⁾、平石ら²⁰⁾による詳細な報告がある。これらによれば、ダイコンの生育適温は、地上部が肥大する前期が $21\sim 23^\circ\text{C}$ 程度、根部が肥大する後期が $16\sim 20^\circ\text{C}$ 程度である。また、根部が肥料を吸収する地温は、 $15\sim 19^\circ\text{C}$ 程度と考えられ、根部の肥大は、地温が 2°C 以下では停止する。一方、町田⁶⁴⁾は、ダイコン根部の肥大が地温に強く影響されるとして、マルチ処理により地温が無マルチと比べて 2°C 程度高くなり、その結果、肥大が促進したことを報告している。

また、試験を実施した2000年と2001年の千葉地区の根部肥大期の平均気温は、千葉県農林水産部業務支援サイト⁶⁾を利用すると、2001年9月上旬播種で 17.0°C 、2000年9月中旬播種で 15.4°C 、2000年9月下旬播種で 11.8°C であった。

そこで、この気温データおよび前述のマルチ栽培時の温度上昇を播種期別に目標収量が得られた下限の施肥窒素量を併記すると、気温の高い9月上旬播種では無マルチ栽培(根部肥大期平均温度 17.0°C)で施肥窒素が 35kg ha^{-1} 、マルチ栽培(同 19.0°C)で施肥窒素が 5kg ha^{-1} 必要であった(第24表と第25図)。同様に、9月中旬播種では、無マルチ栽培(同 15.4°C)およびマルチ栽培(同 17.4°C)は、それぞれ施肥窒素が 33kg ha^{-1} であった(第24表と第26図)。一方、低温期の9月下旬播種では、無マルチ栽培(同 11.8°C)で窒素施肥量に関わらずダイコンは肥大せず、マルチ栽培(同 13.8°C)で必要な施肥窒素量が $63\sim 93\text{kg ha}^{-1}$ であった(第24表と第27図)。

このように、ダイコンは、気温が低い場合、根部の窒素吸収力が低下するので施肥窒素量を増加する必要があると考えられた。これに関して、川城⁶⁶⁾は、春どりダイコンにおいて播種期が遅いほど窒素施肥量を減少できることを報告し、春どりダイコンは、12月播種で施肥窒素 150kg ha^{-1} 、1月播種で同 80kg ha^{-1} 、3月播種で同 50kg ha^{-1} としている。この報告内容も根部肥大期の気温がより高くなることで窒素施肥量が減少したと考察すれば、本研究の結果と一致する。

以上、これまで述べてきた場内試験および現地実証試験の残存窒素を考慮した窒素施肥量は、窒素吸収根域および根部肥大期の気温を考えると合理的なもの判断した。