

新潟県における水田転換畑ダイズの収量低下要因

服部誠^{1,2)}・南雲芳文¹⁾・佐藤徹¹⁾・藤田与一¹⁾・樋口泰浩^{1,2)}・大山卓爾²⁾・高橋能彦²⁾

(¹⁾ 新潟県農業総合研究所作物研究センター, (²⁾ 新潟大学大学院自然科学研究科)

要旨：新潟県では近年、ダイズ収量の変動が大きく、従来よりも収量や品質が低下しているという指摘がある。そこで、本研究は新潟県におけるダイズ収量の変動要因、特に収量と作付履歴との関係、地力窒素の変化や気象要因が収量に与える影響について検討を行った。現地調査では、4年以上の連作圃場の比率が高まると収量低下が顕著となった。また、作況試験においては、有効莢数を主要因とした粒数の低下が収量低下の原因であった。長期田畑輪換圃場では水田圃場に比べてダイズ生育期間の可給態窒素量が少なく、特に開花期以降に少ないことから、着莢数や子実の肥大に影響しているものと考えられた。さらに、近年の気象傾向として、開花始～着莢始 (R1～3) にあたる8月上旬の高い日射量は、莢数の増加に作用しているものの、着莢盛～粒肥大始 (R4～5) にあたる8月中旬の多雨が一時的に湿害を招き、窒素固定の低下や落莢を引き起こしている可能性が示唆された。

キーワード：可給態窒素、莢数、収量、収量構成要素、ダイズ、田畑輪換、連作。

新潟県は全国一の水稲産地であるが、1970年代中頃から水田の転作作物としてダイズの栽培面積が多くなってきた。1980年頃までは圃場の区画が小さく、排水も悪く、ダイズ栽培は排水の良好な地域に偏っていた。その後、水田の基盤整備や暗渠施工等により圃場の排水性が改善され、県内ほとんどの地域でダイズの作付けが可能となった。1980年代に入ると新潟県のダイズ栽培面積は全国第10位以内で推移する主要なダイズ産地となり、1980年代中頃からは営農排水や適期防除など、基本技術が励行され、収穫、乾燥、調製技術の向上も図られた。1990年代には地下水位の低下を目的としてダイズ圃場の団地化が奨励され、湿害の回避とともに大規模機械化経営が進み、全県的に収量の向上が図られた。しかし、2000年代には、圃場の排水性や栽培技術の向上が図られているにもかかわらず、収量の変動が大きく、地域によって1990年代以前より収量や品質が低下しているという指摘がある。

ダイズは土地利用型作物の基幹作物として重要な位置づけがなされており、食糧自給率を高めるためには、収量のみならず品質についても高位安定化を図る必要がある。田淵 (2007) は北陸産ダイズの3等格落ち理由の大部分がしわ粒の混入によること、他地域に比べ非常に高率であることを示し、ダイズの作付け回数増加とともに、収量水準の低下や年次変動の増大、かつ小粒化を指摘し、品質向上と安定生産が課題としている。住田ら (2005) は田畑輪換の繰り返しの土壌の可給態窒素が大きく減耗することを示している。また、表野ら (2008) は、近年「エンレイ」は富山県を含む北陸地域で平均単収が低下していることを指摘している。本県においても、水稲の生産調整面積の増加により、圃場ローテーションの関係からダイズの連作や作付履歴の多い圃場も増えており、地力窒素の低下が収量

を低下させている可能性がある。また、近年の温暖化に伴い、夏季の干ばつや集中豪雨に遭遇する機会も多く、高温乾燥条件や多雨過湿条件が、生育や着莢の良否、子実の肥大など収量構成要素に関わっている可能性もある。そこで、本研究では、新潟県におけるダイズ収量の年次変動を確認するとともに、収量と作付履歴との関係、地力窒素の変化が収量に与える影響について検討を行い、また、近年の収量構成要素と気象との関係の解明を合わせて行った。

材料と方法

1. 新潟県におけるダイズの収量と品質の推移

新潟県におけるダイズの平均収量は、農林水産省の統計資料より、1948年以降の調査データを用いた。また、地域別の収量の推移を調査するため、1993年以降は市町村別データを用いて、2009年現在の市町村別に収穫量と作付面積から10a当たり収量を求めた。合併以前の旧市町村名データは合併後の市町村名として再集計を行った。調査対象とした市町村は、県内30市町村のうち2009年産として100ha以上のダイズ作付面積のある12市町である (独立行政法人統計センター 2007a, 独立行政法人統計センター 2007b)。その中で、ダイズの栽培面積がもっとも多い新潟市について、ダイズの連作年数と収量との関係について検討した。なお、各市町の収量は気象等による年次変動が大きいため、住田ら (2005) の手法を参考に、新潟県の平均収量を生産性の基準として、各市町の収量推移を新潟県平均収量対比で示し、気象変動に伴う作柄の変動を消去して解析した。

2. 試験圃場におけるダイズの栽培管理と生育・収量の推移 長期田畑輪換がダイズの生育と収量に与える影響を調査

するため、新潟県農業総合研究所作物研究センター（新潟県長岡市、以下所内）の水田転換畑（作土土性 LiC、細粒灰色低地土）で実施している作況試験成績を解析した。試験圃場は、1977 年以前は水稻、1978 年から 1984 年の 7 年間のうち 5 年を転換畑として畑作物を作付け、1985 年以降毎年、水稻とダイズで田畑輪換を繰り返している隣接した 2 圃場（D-1, E-1）である。有機物の施用は、前作秋の水稻収穫時に稲わら約 500 kg/10 a が投入され、翌春のダイズ播種時に鋤き込んだ。ダイズの品種は「エンレイ」を用い、播種日の平均は標準播が 5 月 29 日、晩播が 6 月 20 日である。栽植密度は標準播が 8.9 本/m²（条間 75 cm, 株間 15 cm）、晩播が 13.3 本/m²（条間 75 cm, 株間 10 cm）である。施肥は全量基肥で各成分 10 a 当たり窒素(N) 1.6 kg, リン酸(P₂O₅) 6 kg, カリ(K₂O) 8 kg を施用し、中耕培土は標準播では適宜 1~2 回、晩播では適宜 1 回実施した。生育時期別に主茎長、主茎節数、総節数、分枝数、茎太を調査し、成熟期には収量構成要素等（総莢数、有効莢数、節当莢数、1 莢粒数、粒数、百粒重、収量）を調査した。

調査年次は標準播が 1984 年~2008 年、晩播が 1991 年~2008 年であるが、調査項目によってデータ数が異なる（n=17~23）。

3. 試験圃場における土壤窒素肥沃度

所内の 2 圃場（D-1, E-1）から、ダイズの作付け前に土壤を地表から約 0~15 cm の作土と約 15~25 cm の下層土に分けて採取した。採取年次は、田畑輪換が繰り返されて 25~26 年経過した 2010 年である。同様に比較として隣接する畑転換履歴の無い水稻作付圃場（F-1）の土壤を 2011 年春に採取した。

これらの土壤について、土塊を砕いて風乾し、風乾土を粉碎して 2 mm のふるいを通した。畑状態ビーカー培養法により、100 ml の広口びんに 10 g の風乾細土を軽く詰め、水分を最大容水量の 60% になるように調節したあと、軽くふたを閉め、適宜水分の損失分を補給しながら、30℃ の定温器内で 4 週間及び 10 週間静置培養した。培養後の土壤は 10% 塩化カリウム溶液で 30 分振とうし、ろ液を抽出液とした。この抽出液のアンモニア態窒素をインドフェノール法、硝酸態窒素をカタルド法で比色定量し、アンモニア態窒素と硝酸態窒素の合計を可給態窒素とした（財団法人日本土壤協会 2001）。

この圃場での土壤窒素無機化パターンを示すため、所内の日平均気温の平年値（1971~2000 年平均）を用いてダイズ圃場の株元深さ 5 cm の地温を推定した（データ略）。吉野・出井（1977）の土壤窒素供給力の有効積算温度による推定法を用いて、15℃ 以上の積算地温から有効積算温度を求め、可給態窒素の発現量と生育時期の関係を調査した。

4. 作況試験から求めた多収型生育指標と近年の生育

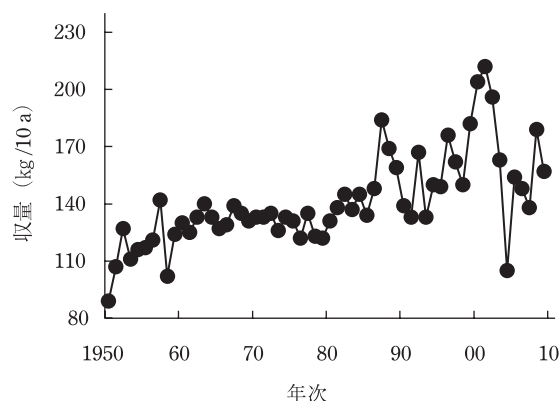
新潟県における標準的な播種時期である 5 月末播種の作況試験から、多収型の生育指標を求めた。全国的に単収 300 kg/10 a、品質では 1, 2 等級を目指した栽培技術の取り組みがなされており、本研究では全刈り収量 300 kg/10a を多収の目標値とした。坪刈収量では、周囲明渠や枕地等の不作付け圃場面積を 15%, コンバイン収穫ロスを 10% に設定し、400 kg/10a を多収の目標値とした。作況試験で多収年次から順に平均し、その平均収量が 400 kg/10a に最も近くなった収量上位の年次（n = 14 : 1985, 1988, 1990~92, 1994~95, 1997, 1999, 2001~02, 2003, 2005, 2007 年）の成績を多収型生育指標のデータとした。なお、1999 年~2008 年の最近 10 年間の作況試験成績を近年のダイズの生育及び収量構成要素として比較検討した。収量構成要素の有効莢数と百粒重については、気象との関係を検討するため、新潟県農業総合研究所の気象観測データの平均気温、降水量、日射量を用いて、単相関係数を調査した。田村ら（1993）の手法に準じ、気象観測データに 7 日間の移動平均（当日と前後 3 日）を用い、ダイズの生育期間である 6 月~10 月について、相関係数の経時変化を調査した。

結 果

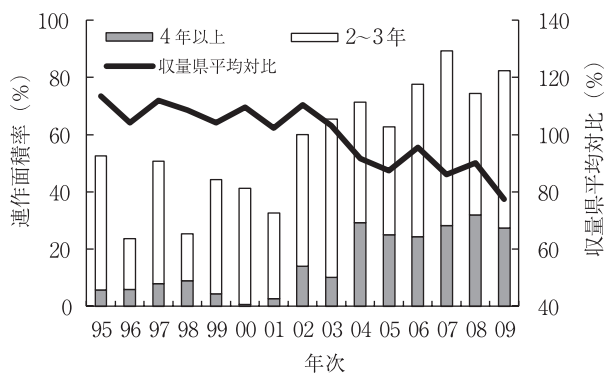
1. ダイズ収量の推移と連作年数

第 1 図に 1948 年~2009 年までの、新潟県におけるダイズの 10 a 当たり収量の推移を示した。1960 年代~70 年代は 122~140 kg/10a の範囲で収量は低く推移しており、1980 年代に入ると 131~184 kg/10a まで徐々に増加した。1990 年代~2000 年代初めにかけて飛躍的に向上し、2001 年には過去最高となる 212 kg/10a まで向上した。しかし、近年の収量は年次変動が大きく、高収量も得られず、1980 年代のレベルまで低下しつつある。

第 2 図に 1995 年~2009 年までの新潟市におけるダイズの連作面積率と収量の県平均対比を示した。新潟市では 2001 年までの連作面積率は、20~60% の範囲で収量は県平均を超えていた。しかし、連作面積率が 60% を超える頃から収量の県平均対比が低下し、2003 年以降、4 年以上の



第 1 図 新潟県におけるダイズ収量の推移。



第2図 ダイズ連作面積率と収量県平均対比の推移（新潟市）。

連作圃場面積率が30%前後になると明らかな収量低下が認められた。なお、全刈り収量についても低下する傾向が見られたが、年次変動が大きく、連作年数との関係を考察することはできなかった（データ略）。

2. 長期田畑輪換圃場における収量の推移と土壌窒素肥沃度

所内作況試験の長期田畑輪換圃場における収量の年次推移を第3図に示した。標準播、晩播とも年次変動は大きいものの、回帰式より標準播では過去25年間で10a当たり約63kg低下する傾向が見られた。晩播では大きな収量の変化は認められなかった。

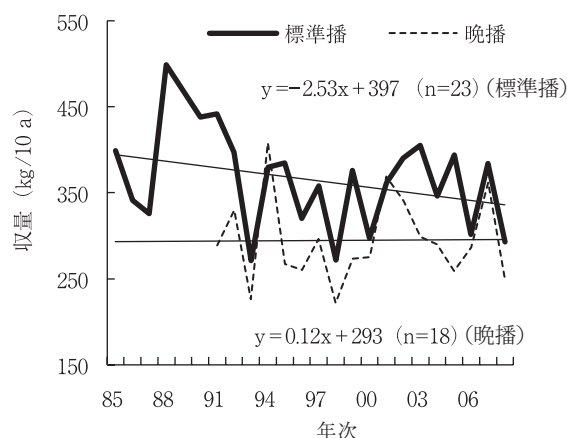
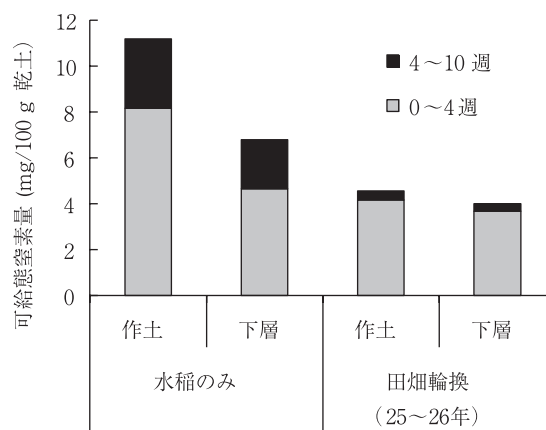
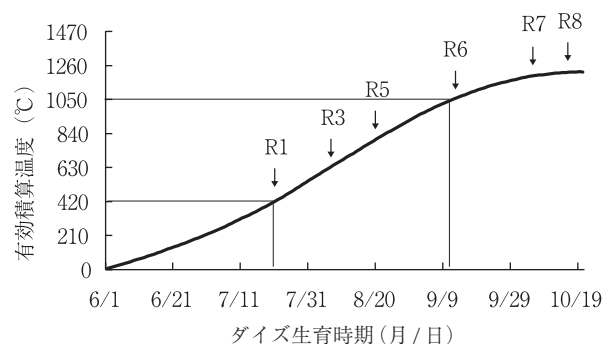
ダイズの作付け履歴が土壌の可給態窒素量に与える影響について第4図に示した。田畑輪換圃場では畑転換履歴の無い水田土壌に比べて可給態窒素量が少なく、作土における両者の差は下層土よりも大きかった。いずれの場合も、培養4週目および培養10週目の土壌の可給態窒素量からみて、培養4週目以降に無機化される窒素量は培養4週目の可給態窒素量に比べて少なく、特に田畑輪換圃場では培養開始4週目以降の窒素供給はほとんどなかった。

この実験の培養開始4週目および10週目は、有効積算気温がそれぞれ420℃および1050℃であった。これらの有効積算気温の時期が、所内試験圃場で栽培したダイズにおいていかなる生育ステージにあたるかについて、所内試験圃場の温度条件から推定した（第5図）。その結果、培養4週目はR1（開花始）頃にあたり、培養10週目はR6（粒肥大盛期）頃にあたった。

3. 作況試験から求めた多収型生育指標と近年の生育

標準播において、最近10年間の主茎長、主茎節数、総節数、着莢節数、分枝数および茎太は、各項目とも多収型目標生育比で96~100の範囲であり、ほぼ目標とする生育量が満たされていた（第1表）。一方、収量構成要素では成熟期の莢数（総莢数、有効莢数、節当莢数）と粒数が多収型目標生育比で93~94と少なく、次いで百粒重が目標比96となり、結果として収量は多収型目標比89で目標値には及ばなかった（第2表）。

各気象観測データと収量構成要素等との相関関係につい

第3図 ダイズ収量の年次推移。
新潟農総研圃場、収量は坪刈収量。第4図 ダイズの作付履歴と可給態窒素量。
作土0~15cm, 下層15~25cm。

第5図 ダイズ生育時期別の有効積算温度。

株元-5cmの地温を用いて15℃以上の積算地温を有効積算温度とした。R1：開花始，R3：着莢始，R5：粒肥大始，R6：粒肥大盛，R7：成熟始，R8：成熟。

て、日平均気温と百粒重では、7月中旬~8月末に負の相関関係が認められ、日平均気温と有効莢数では、8月始~8月末まで正の相関関係が認められた（第6図）。降水量と百粒重では8月中旬に正の相関関係、9月中旬に負の相

第1表 ダイズ多収型目標生育と比較した最近10年の成熟期における生育(標準播).

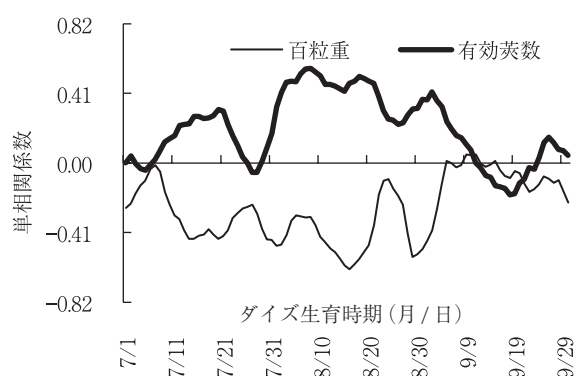
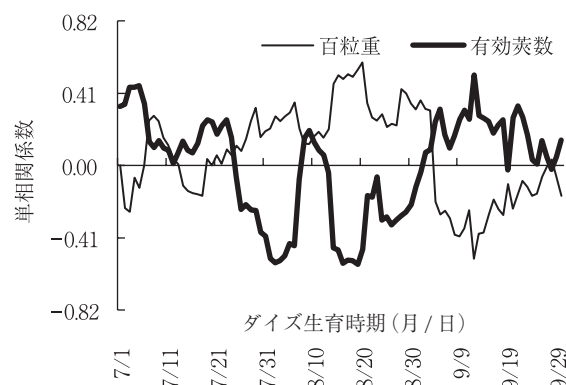
	主茎長 (cm)	主茎節数 (節)	総節数 (節 m ²)	着莢節数 (節 m ²)	分枝数 (本 m ²)	茎太 (mm)
多収型目標生育	61	14.5	379	287	45	9.4
上記標準偏差	11	1.4	61	35	6	1.1
最近10年平均	59	14.4	380	284	45	9.0
上記多収型目標生育対比	96	99	100	99	99	96
p 値	0.584	0.888	0.973	0.853	0.892	0.464

最近10年平均は1999~2008年の平均値.

第2表 ダイズ多収型目標生育と比較した最近10年の収量及び収量構成(標準播).

	総莢数 (莢 m ²)	有効莢数 (莢 m ²)	節当莢数 (莢 節 ⁻¹)	1 莢粒数 (粒)	粒数 (粒 m ²)	百粒重 (g)	10a 収量 (kg)
多収型目標生育	689	647	1.73	1.88	1219	33.3	401
上記標準偏差	78	57	0.24	0.11	134	3.3	37
最近10年平均	642	606	1.63	1.86	1132	31.9	355
上記多収型目標生育対比	93	94	94	99	93	96	89
p 値	0.199	0.121	0.285	0.521	0.135	0.385	0.011

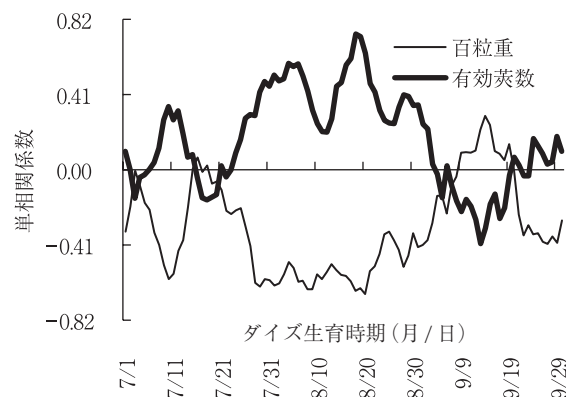
最近10年平均は1999~2008年の平均値.

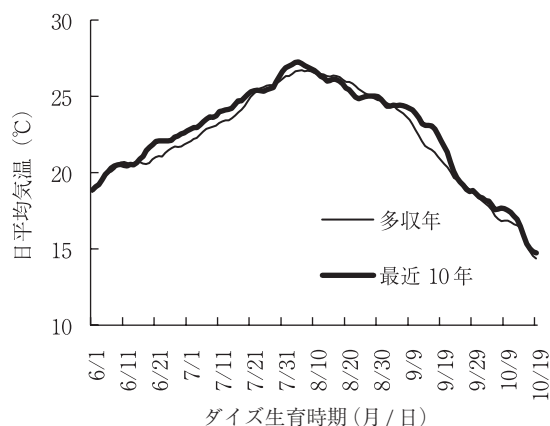
第6図 平均気温と百粒重・有効莢数との単相関係数の経時変化.
±0.41は有意水準5%.第7図 降水量と百粒重・有効莢数との単相関係数の経時変化.
±0.41は有意水準5%.

関関係が認められた. 降水量と有効莢数では7月末~8月中旬に負の相関関係が認められ, 9月中旬には正の相関関係が認められた(第7図). 日射量と百粒重では, 7月下旬から8月末まで連続的に負の相関関係が認められた. 日射量と有効莢数では, 7月下旬から8月末まで断続的に正の相関関係が認められた(第8図).

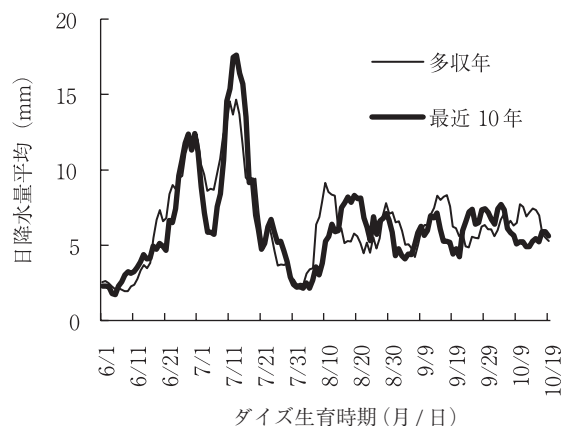
最近10年の各気象観測データについて, 多収年と比較すると, 日平均気温では6月下旬~8月上旬, 9月上~中旬が高い傾向が見られた(第9図). 降水量では7月中旬, 8月中旬, 9月下旬に多い傾向が見られた(第10図). 日射量では7月上旬, 8月上旬, 9月上旬から10月中旬まで高い傾向が見られた(第11図).

有効莢数や百粒重が各気象要因との相関係数が高い時期と最近10年の気象が多収年に比べて差の大きい時期が重なったのは, 8月第4半旬頃の降水量と8月上旬の日射量

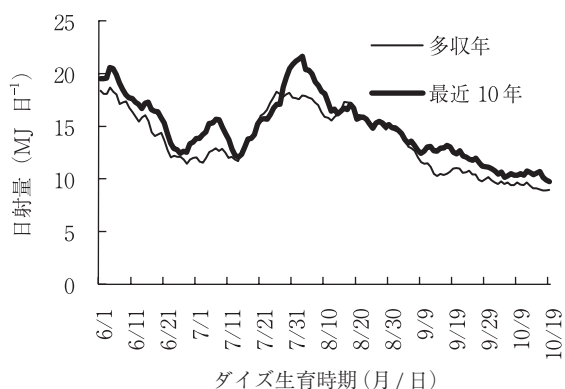
第8図 日射量と百粒重・有効莢数との単相関係数の経時変化.
±0.41は有意水準5%.



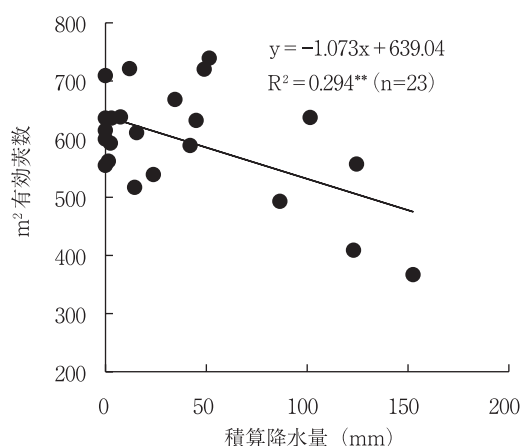
第9図 ダイズ多収年と最近10年の日平均気温.



第10図 ダイズ多収年と最近10年の降水量.



第11図 ダイズ多収年と最近10年の日射量.



第12図 8月第4半旬の降水量と有効莢数との関係.

** : 1%水準で有意.

の多さであり、8月第4半旬の降水量が多いと有効莢数が低下する有意な相関関係が認められた(第12図)。

考 察

1. 連作年数と収量低下

ダイズの収量は、新潟県に限らずダイズ栽培の歴史の中で優良品種の開発や機械化、栽培管理技術の向上とともに高まってきた(農林水産省農業研究センター1987)。全国的には1960年代には粒大の大きい良質品種が育成され、徐々に普及され始めた。1970年代には畑から水田転換畑への作付けに切り替わり、転作作物として推奨された。1980年代以降は大規模機械化経営が進み、排水対策の徹底、播種や防除、収穫などがそれぞれ適期に行われるようになり、栽培に関する基本技術が励行されるようになった。本県では1990年代から収量が急激に増加してきたものの、2000年代に入ると収量及び品質の低下が顕著となり、収量が向上してきた2000年以前とは異なる経過を示した。

新潟県内でダイズの栽培面積が最も大きい新潟市について、大豆連作年数と収量の推移を第2図に示した。新潟市はダイズの連作面積率が2001年以降60%を超えており、2009年の連作面積率は82%で、その内27%が4年以上となっている。同年の県平均の連作面積率は57%で、その

内4年以上は21%であり、新潟市では連作面積率が県平均より高い。特に4年以上の連作圃場の増加に伴って収量低下が顕著となっていることから、連作年数が収量低下要因の一つと考えられた。2009年現在、新潟市は県全体のダイズ作付面積の約23%を占め、作付面積は1630haを超える。本研究は県や市町村レベルの広域的な統計資料を用いて解析しており、その結果、連作年数がダイズの収量低下に影響を及ぼしていることが示唆された。

固定圃場の結果として、住田ら(2005)は田畑輪換の繰り返しの伴い、畑期間が過半を占める体系を10年以上繰り返すと土壌の可給態窒素が減耗し、収量も低下することを示している。しかし、新潟県の水田転換畑では重粘土地帯が多く、地力も比較的高い。ダイズの連作によって土壌の排水性や碎土率の向上が図られ、短期的には減収を伴わないことから、新潟県の場合、連作が長期化するケースも少なくない。

長期にわたる田畑輪換によって、標準播では20年前に比べて10a当たり約60kg収量が低下した。一方、晩播では収量の低下はほとんど認められなかった(第3図)。ダ

イブ子実 100 kg の収穫物に対して、7~9 kg の窒素集積が必要と言われる (高橋 2001)。晩播の場合には、播種後の気温が高いため、生育速度が速く生育期間も短縮される。また、生育量や収量レベルが標準播より小さく、収量は標準播に比べて約 100 kg/10 a 低かった。本試験の標準播のように 400 kg/10 a の収量レベルで多くの窒素集積を必要とする栽培条件においては、長期田畑輪換による収量低下の影響が現れやすくなると考えられた。

2. 試験圃場における土壌窒素肥沃度

田畑輪換圃場の土壌では、30℃ 条件下で培養 4 週目 (有効積算温度 420℃) および 10 週目 (有効積算温度 1050℃) の可給態窒素が隣接する水稻連作圃場と比較して少なく、特に、培養開始から 4 週目まで (有効積算温度 420℃) に比べて 4 週目から 10 週目の間 (有効積算温度 1050℃) に供給される可給態窒素が著しく少なくなると考えられた (第 4 図)。吉野・出井 (1977) の土壌窒素供給力の有効積算温度による推定法と所内気象観測値の平均気温を用いて、これら培養 4 週目および 10 週目の生育時期を推定すると、標準播種の場合、有効積算温度 420℃ は 7 月 21 日で概ね開花期頃に相当し、有効積算温度 1050℃ は 9 月 12 日で子実肥大盛期頃に相当した (第 5 図)。すなわち、開花始から子実肥大盛期に可給態になる窒素量が少ないことが考えられた。このような土壌窒素の無機化の減少がダイズの窒素固定活性が低下する時期と重なった場合、ダイズへの窒素集積に影響する可能性がある。しかし、ダイズの窒素吸収量の多くは根粒による窒素固定でまかなわれており、高橋ら (2003) はダイズの窒素固定は開花期 (R1) 頃から窒素固定依存率が 60% を超え、最繁期 (R3) 頃にピークとなって徐々に低下することを確認している。また、平井 (1961) は開花後の急激な窒素蓄積を認めている。このように開花始から子実肥大盛期までの時期は根粒による窒素固定の盛んな時期と考えられるが、この時期の無機化する土壌窒素量の低下は着莢や子実肥大に影響し、特に低下の大きい田畑輪換圃場 (第 4 図) では影響が大きくなることも考えられた。高橋 (2001) はシグモイド型被覆尿素肥料の施肥により最繁期 (R3) 以降の窒素溶出により、窒素固定を阻害することなく 10~21% の増収を得ている。この増収要因は、収量構成要素では主に莢数の増加によるもので、拮抗した百粒重の低下はみられていない。つまり、最繁期 (R3) 以降の根粒以外からの窒素供給は莢数にも影響し、ダイズの長期田畑輪換によって生じる生殖生長期間の土壌窒素供給力の低下は、着莢数を低下させる要因の一つと考えられた。

3. 作況試験から求めた多収型生育指標と近年の生育

高収量を得るためには生育量に加えて、各収量構成要素を確保する必要がある。ここでは全刈り収量 300 kg (坪刈収量 400 kg) の現実的な多収の草姿と収量構成要素を多収

型目標生育として設定し、栄養生長期間に主に形成される分枝数や総節数などの生育量、生殖生長期間に形成される開花着莢と生育後半の粒肥大など、最近の低収要因の解析を試みた。最近 10 年の作況試験では、主茎長や分枝数、節数等の生育は多収型の目標生育と同等の生育量を示した。有意差はないものの、収量構成要素では有効莢数の減少による粒数の低下が見られ、加えて百粒重が軽くなり収量が低下しているものと考えられた (第 1 表、第 2 表)。近年は異常高温や集中豪雨等が頻繁に発生しており、気象的な要因も莢数や百粒重に影響しているものと考えられる。田村ら (1993) はダイズの収量と日射量及び気温との相関係数の経時変化を解析しており、日射量と気温が収量に影響する時期を示している。本研究では有効莢数や百粒重に影響が大きい 8 月上旬~下旬頃に、日平均気温は多収年と最近 10 年との間に明らかな違いは見られなかった (第 9 図)。また、降水量では、8 月中旬に多収年と比べて最近 10 年は降水量が多く (第 10 図)、特に 8 月第 4 半月の多雨は有効莢数の低下と百粒重の増加に影響する時期であった (第 7 図)。さらに、日射量では 8 月上旬に多収年と比べて最近 10 年は日射量が多く (第 11 図)、この期間の多照は有効莢数の増加と百粒重の低下に影響する時期であった (第 8 図)。一般に莢数と百粒重は拮抗しており、莢数の低下を百粒重が補償して収量を保つように作用する。これらの傾向は有効莢数と百粒重の相関係数の関係からも示された (第 6 図、第 7 図、第 8 図)。本試験圃場は重粘土転換畑であり、耕起前に周囲明渠と弾丸暗渠の施工により排水対策が施されているが排水性は時間とともに低下する。阿江ら (1983) はダイズ根系の酸素消費量は開花期以降急激に多くなり、着莢期~登熟初期にかけて最大となることを示している。また、降雨後に土壌酸素濃度が 1% 低下すると、根粒による窒素固定能が 10% 阻害を受けるとしている (阿江 1985)。さらに古畑ら (2011) は、排水不良転換畑は排水良好転換畑に比べてダイズの花蕾数や稔実莢数の低下を認めており、本研究においても、開花始~着莢始 (R1~3) にあたる 8 月上旬の高い日射量は無効莢の増加に作用しているものの、着莢始~粒肥大始 (R4~5) にあたる 8 月中旬の多雨が一時的に湿害を招き、根粒活性の低下や落莢を引き起こしている可能性が考えられた。短期間に有効莢数が低下した場合、百粒重は増大するが、連作や田畑輪換の繰り返しにより土壌窒素供給力が乏しい場合には百粒重の低下を招く可能性がある。最近 10 年において、有効莢数が少ないにもかかわらず、百粒重が小さいのは、8 月中旬以降徐々に低下するダイズの窒素固定能に加え、多雨や湿害による根粒活性の低下、さらに、子実肥大期以降の土壌からの窒素供給量の低下が影響していると考えられた。

新潟県のダイズ栽培は連作面積率が年々高まっており、今後も品質や収量が不安定な条件が続くと見込まれる。各産地では圃場の計画的なローテーションを勧め、長期連作

を回避する必要がある。また、緑肥作物等を積極的に導入し、低下した土壤窒素供給力を高め、応急的にはシグモイド型被覆尿素肥料の施用など、生育後半の窒素供給を補うことも有効である。排水対策を徹底するとともに、干ばつ時には、灌水や暗渠栓の開閉操作等を実施し、土壤水分ストレスを低減するなど気象変動に対応した栽培管理技術が今後は重要となる。

謝辞：本研究は長期にわたり作況試験に携わった多くの方々の試験成績の積み重ねによるものである。現地の実態調査では新潟県経営普及課岩津雅和副参事にご助言とご協力をいただいた。ここに記して深謝する。

引用文献

- 阿江教治・仁紫宏保 1983. ダイズ根系の酸素要求特性および水田転換畑における意義. 土肥誌 54 : 453-459.
- 阿江教治 1985. 大豆根系の生理特性と増収問題. 土肥誌 60 : 679-683.
- 独立行政法人統計センター 2007a. 政府統計の総合窓口 作物統計 市町村データ 長期累年 豆類 新潟県. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001075460> (2011/1/23 閲覧).
- 独立行政法人統計センター 2007b. 政府統計の総合窓口 作物統計 収量累年統計. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001061500> (2011/1/23 閲覧).
- 古畑昌巳・足立一日出・大野智史 2011. 圃場排水性の良否が北陸地域

- のダイズの乾物と子実生産に及ぼす影響. 日作紀 80 : 65-72.
- 平井義孝 1961. 大豆無機栄養に関する調査 第1報. 生育に伴う吸収移動経過について. 北海道立農試集報 7 : 47-57.
- 表野元保・福田真紀子・宝田研・舟根政治 2008. 大豆品種「エンレイ」における富山県原種と産地別種子の特性比較. 富山県農技セ研報 25 : 19-26.
- 農林水産省農業研究センター 1987. 総合農業研究叢書 第10号 わが国におけるマメ類の育種. 小島睦男編. 農林水産省農業研究センター, 茨城. 10-26.
- 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壤肥沃度の変化. 東北農研研報 103 : 39-52.
- 田淵公清 2007. 北陸地域におけるダイズのしわ粒などの品質低下要因の解明と対策. 北陸作報 42 : 140-143.
- 高橋能彦 2001. 水田転作ダイズに対する被覆尿素の深層施肥技術の開発. 土肥誌 72 : 323-326.
- 高橋能彦・土田徹・大竹憲邦・大山卓爾 2003. シグモイド型被覆尿素側条施肥によるダイズの増収効果. 土肥誌 74 : 55-60.
- 田村有希博・上沢正志・高屋武彦・竹内誠 1993. ダイズ収量を最大とする乾物生産パターンの解析. 土肥誌 64 : 281-288.
- 吉野喬・出井嘉光 1977. 土壤窒素供給力の有効積算温度による推定法について. 農事試験報 25 : 1-62.
- 財団法人日本土壤協会 2001. 土壤機能モニタリング調査のための土壤, 水質及び植物体分析法. 財団法人日本土壤協会, 東京. 66-73.

Effect of Continuous Cropping and Long-Term Paddy-Upland Rotation on Yield Reduction of Soybean in Niigata Prefecture, Japan : Makoto HATTORI^{1,2)}, Yoshifumi NAGUMO¹⁾, Toru SATO¹⁾, Yoichi FUJITA¹⁾, Yasuhiro HIGUCHI^{1,2)}, Takuji OHYAMA²⁾ and Yoshihiko TAKAHASHI²⁾ (¹⁾*Crop Res. Cent., Niigata Agr. Res. Inst., Nagaoka 940-0826, Japan;* ²⁾*Grad. Sch. of Sci. & Tech., Niigata Univ.*)

Abstract : Recently, soybean yields in Niigata Prefecture have been subjected to wide annual fluctuation, and both the seed yield and quality have decreased in the last decade. This trend was confirmed based on the soybean yield statistics in Niigata Prefecture. We investigated the relationship between soybean seed yield and cropping system, and the effects of nitrogen fertility in soil and climatic factors on the yield. The yield decreased dramatically in the fields where soybean cropping continued for over four years. The recent decline in soybean yield was attributed to the decrease in pod number and seed weight. Compared with a continuous paddy field, a long-term paddy-upland rotation field had less available soil nitrogen during the soybean-growing period, especially from the beginning of the bloom (R1) stage onward. The low level of available nitrogen in the soil of long-term rotated fields was suggested to reduce pod number and seed growth. It was also suggested that on increasing amount of solar irradiation increased the pod number in early August, from the beginning-bloom to beginning-pod (R1-3) stages, and that, the heavy rains in mid-August, during the full-pod to beginning-seed filling (R4-5) stages, caused a short-term wet damage, which triggered a decline in nodule activity along with premature pod fall.

Key words : Available soil nitrogen, Continuous cropping, Paddy-upland rotation, Pod numbers, Soybean, Yield, Yield component.