

食用二条大麦「もち絹香」の窒素施肥方法の最適化

塚原俊明・沖山毅・仲田聡・大山亮¹⁾・石原島由依・関和孝博²⁾・加藤常夫

摘要: 2017 年に品種登録出願された食用二条大麦「もち絹香」は、炊飯麦の褐変を抑えるプロアントシアニジンフリー (*ant28-494*) と、麦臭を抑えるリポキシゲナーゼ-1 欠失 (*lox1-2005*) を兼ね備えた先駆的なアミロースフリー (*wax-b*) のもち性品種であり、今後の普及拡大が見込まれている。そこで、「もち絹香」の高品質多収のための窒素施肥方法を確立するため、施肥体系や追肥時期・量が収量性および品質に及ぼす効果を試験した。その結果、「もち絹香」は、基肥窒素の増肥によって穂数増加に依存して収量が 80~100kg/a まで直線的に増加し、多肥栽培に適していると考えられた。また、分施体系は、基肥施肥のみよりも増収効果が高く、生育量が少ない場合、茎立期 30 日前または茎立期 30 日前と茎立期の両方に追肥することにより、生育および収量を大幅に改善できることが明らかになった。茎立期 30 日前追肥の場合で窒素 0.1kg/a 当たり 4.0~4.7kg/a の直線的な増収効果が収量 80kg/a まで認められた。さらに、追肥の可否を茎立期 30 日前の NDVI 値×SPAD 値により診断できる可能性が示唆された。窒素増肥による精麦品質への影響は総じて少なかった。

キーワード: NDVI×SPAD, 大麦, 収量予測, 精麦品質, 追肥窒素量

Establishing Appropriate Nitrogen Application for Great Yield and High Quality of a Two-Rowed Barley 'Mochikinuka'

Toshiaki TSUKAHARA, Takeshi OKIYAMA, Satoshi NAKATA, Makoto OYAMA, Yui ISHIHARAJIMA
Takahiro SEKIWA, Tsuneo KATO

Summary: A two-rowed barley 'Mochikinuka' used for boiled barley and rice so-called mugi-gohan, a pioneer amylose-free (*wax-b*) waxy cultivar, was applied for cultivar registration in 2017. The cultivar had two advantages over conventional waxy cultivars for mugi-gohan; proanthocyanidin-free (*ant28-494*) and lipoxygenase-1 null (*lox1-2005*) reduced the discoloration of pearled grains, and the distinct smell of barley after boiling, respectively. To establish the cultivation method of the cultivar, we mainly investigated the effect of fertilization on the yield and peeling quality. The number of ears increased with an increase in nitrogen (N) amount as basal application, subsequently an increase in the yield; it linearly increased up to 100 kg/a due to the large amount of N applied. The supplemental N application prevented from low yields even in the case where the crop showed a low growth level; the effect of the application at 30 days before stem elongation beginning (SEB) was nearly equivalent to that of the separate application at 30 days before SEB and initial stem elongation stage. The increase in application of 0.1 kg N/a provided the increase in 4.0- 4.7 kg/a of yield; it linearly increased up to 80 kg/a in the case of the application at 30 days before SEB. The NDVI value×SPAD value potentially predicted the yield. The effect of increasing nitrogen amount on the peeling quality was quite small.

Key words: Barley, NDVI×SPAD, Peeling quality, Supplemental nitrogen application, Yield prediction

I 緒言

栃木県における麦類の作付面積は、2018 年産において 12900ha であり、その内訳を見ると、小麦 2250ha、六条大麦 1560ha、二条大麦 9020ha、裸麦 21ha となっている(農林水産省, 2019)。それぞれの麦種で各種用途に適した品種が需要に応じて作付けされているが、需要の大半はビール醸造用(二条大麦)、食用(六条大麦および二条大麦)、製粉用(小麦)など比較的子実粗蛋白質含有率が低い方が適する麦種および品種であり、高蛋白質含有率が望まれる醤油醸造用、パン用、中華麺用(いずれも小麦)、麦茶用(六条大麦)の麦種および品種は少ない。一方、栃木県は農地面積の半分以上を黒ボク土が占めている(亀和田, 2004)。黒ボク土で栽培すると一般的に子実粗蛋白質含有率が高くなりやすいので、黒ボク土地域でビール醸造用、食用、製粉用の品種を栽培するには子実粗蛋白質含有率が高くないように施肥量を抑えて栽培するなどの制限があり、麦作振興上の課題となっている。もち性など大麦種子胚乳に蓄積される澱粉が変異した品種は、高蛋白質しやすい土壌の種類でも品質低下を起こさないことが知られている(塔野岡ら, 2010)。適地適作を推進し、実需の求める高品質麦を安定して供給するためには、もち性大麦などの新規需要麦の開発・普及が期待される。

近年、大麦の健康効果が注目され(青江, 2015)、食用大麦の需要は 2016 年以降増加傾向にある。特にもち性大麦は、種子胚乳の中に健康効果の高い β -グルカンが豊富に含まれ、食感も優れることから飛躍的に需要が伸びている(吉田, 2017)。しかし、国内生産量だけではもち性大麦の需要を満たすことが出来ず、多くを輸入に依存しているのが現状である。そのような中、本県では実需者からの要望に応えるべく、温暖地向けの早生でオオムギ縮萎縮ウイルスに抵抗性で、精麦品質が優れる二条皮性のもち性品種「もち絹香」を育成し、2017 年 11 月に品種登録出願した(出願番号 32572, 出願公表 2018 年 2 月)。

「もち絹香」は、炊飯麦の褐変を抑えるプロアントシアニジンフリー(*ant28-494*)と、麦臭を抑えるリポキシゲナーゼ-1 欠失(*lox1-2005*)を兼ね備えた先駆的なアミロースフリー(*wax-b*)の品種であるが、収量性はビール醸造用の「サチホゴールデン」よりもやや低い(山口ら, 2019)。しかし、「もち絹香」は短稈で倒伏しにくい特性があるため、多肥栽培を実践できる可能性がある(大山ら, 2018 ; 山口ら, 2019)。最近では、「キラリモチ」(Yanagisawa *et al.*, 2011)、「ホワイトファイバー」(上原ら, 2016)、「はねうまもち」(関ら, 2018)など、もち性大麦品種が相次いで品種登録され、作付けを急速に伸ばしている(柳澤, 2019)。産地間競争に勝つ残るためには、「もち絹香」に適した栽培技術を早期に確立させ、高品質安定生産に努めること

が重要である。そこで本研究では、「もち絹香」の収量および品質を高位に安定させる栽培法を確立するため、施肥時期および施肥量を検討し、窒素施肥方法を最適化した栽培マニュアルを作成したので報告する。

II 材料および試験方法

1. 年度別の試験区構成

1) 試験圃場

試験は 2016~2018 年度にわたり、栃木県農業試験場(宇都宮市瓦谷町)内の A-1 圃場(黒ボク土 ; 以下 A 圃場)と洪積-9 圃場(黒ボク土 ; 以下 B 圃場)で実施した。

2) 2016 年度の試験区

処理内容を第1表に示した。基肥窒素量の効果を解析するため、硫酸を用いて窒素成分で a 当たり 0.0, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6kg の 7 水準を設定した。また、茎立期追肥の効果解析のために、硫酸を用いて窒素量を a 当たり 0.0, 0.2kg (基肥窒素 0.4~1.0kg 区のみ追肥を実施)の 2 水準を設定した。試験は 2 反復で実施した。各試験区の P_2O_5 は過磷酸石灰を用いて a 当たり 2.25kg, K_2O は塩化加里を用いて a 当たり 2.0kg に合わせた。追肥時期は、A 圃場が 3 月 28 日、B 圃場が 3 月 17 日とした。

第1表 2016年度の試験区構成

要因	水準
基肥	0, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6
追肥	0, 0.2 [※]

1) 数値は窒素施肥量kg/aを表示。

2) ※ 0.2kg/a追肥は、基肥が0.4~1.0kg/a区のみ実施。

3) 追肥時期は茎立期とした。

その他の耕種方法は以下の通りとした。A 圃場では試験前に堆肥を a 当たり 250kg 散布後、水稻を栽培し、青刈りすき込みした。その後プラソイラーを施工し、BB 土づくり 937 号(OM-37 ; P_2O_5 :12%, Mg:7%, アルカリ分:37%)を a 当たり 12kg 施用した。B 圃場では試験前に堆肥を a 当たり 250kg 散布後、緑肥作物を栽培し、青刈りすき込み後に湛水した。その後プラソイラーを施工し、BB 土づくり 937 号を a 当たり 8kg 施用した。播種は A 圃場、B 圃場ともに、播種間隔の調整が可能なプロットシーダー(HEGE-95B, HEGE 社製)を用い、畦長 5.4m, 条間 20cm の 6 条ドリル播きで行った。播種日は 11 月 7 日、播種量は m^2 当たり 192 粒に設定した。

3) 2017 年度の試験区

処理内容を第2表に示した。追肥時期の効果を解析するため前年度の結果を基に、総窒素施肥量、追肥時期、追肥窒素量を再検討し、A圃場、B圃場それぞれで異なる施肥水準を設定した。つまり、総窒素施肥量は、2016年度の収量水準が低かったA圃場ではa当たり0.0, 1.0, 1.5, 2.0kg, 同年度の収

量水準が高かったB圃場ではa当たり0.0, 0.8, 1.2, 1.6kgに設定し、茎立期30日前、茎立期、出穂期10日後の追肥を組合せて分肥を行った。試験は2反復で実施した。各試験区の P_2O_5 はa当たり2.25kg, K_2O はa当たり2.0kgに合わせた。茎立期30日前追肥は2月20日、茎立期追肥は3月30日、出穂期10日後追肥は4月27日に行った。

第2表 2017年度の試験区構成

圃場	総窒素	試験区			
		基肥	茎立期 30日前	茎立期	出穂期 10日後
A	1.0	0	0	0	0
		1.0	—	—	—
		0.25	0.38	0.38	—
		1.5	—	—	—
		0.25	1.25	—	—
		0.25	0.63	0.63	—
	1.5	0.25	—	1.25	—
		0.25	0.75	—	0.5
		0.25	0.38	0.38	0.5
		0.25	—	0.75	0.5
		2.0	—	—	—
		0.25	0.63	0.63	0.5
B	0.8	0	0	0	0
		0.8	—	—	—
		0.2	0.3	0.3	—
		1.2	—	—	—
		0.2	1.0	—	—
		0.2	0.5	0.5	—
	1.2	0.2	—	1.0	—
		0.2	—	0.6	0.4
		0.2	0.3	0.3	0.4
		0.2	—	0.6	0.4
		1.60	1.6	—	—
		0.2	0.5	0.5	0.4

数値は窒素施肥量kg/aを表示。

その他の耕種方法は以下の通りとした。A圃場では試験前に堆肥をa当たり150kg散布後、水稻を栽培し、青刈りすき込みした。その後プラソイラーを施工し、BB土づくり937号をa当たり12kg施用した。B圃場では試験前に湛水し(堆肥無し、前作無し)、その後プラソイラーを施工し、BB土づくり937号をa当たり8kg施用した。播種日はA圃場が11月13日、B圃場が11月9日とした。播種方法、試験区面積、肥料種類はすべて2016年度と同一とした。

4) 2018年度の試験区

処理内容を第3表に示した。追肥時期別の追肥量効果を解析するため、A圃場、B圃場を同じ施肥水準に設定した。施肥量は基肥として窒素成分でa当たり0.0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5kgの6水準、基肥0.3kg区においては茎立期30日前追肥をa当たり0.0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2kgの5水準、基肥0.3kgプラス茎立期30日前0.3kg区においては茎立期追肥をa当たり0.0, 0.3, 0.6, 0.9の4水準、基肥0.3kgプラス茎立期30日前0.6kg区においては茎立期追肥をa当たり0.0, 0.3, 0.6の3水準設定した。試験は2反復で実施した。各試験区の P_2O_5 はa当たり2.25kg, K_2O はa当たり2.0kgに合わせた。茎立期30日前追肥は2月15日、茎立期の追肥は3月8日に行った。播種は、A圃場、B圃場ともに播種間隔を調整可能なプロットシーダー(Monoseed

TC, Wintersteiger社製)を用い、畦長5.4m, 条間22cmの6条ドリル播きで行った。播種日はA圃場が11月3日、B圃場が11月2日とし、播種量は m^2 当たり226粒に設定した。試験前の圃場管理、肥料種類は2017年度と同一とした。

第3表 2018年度の試験区構成

試験区		
基肥	茎立期30日前	茎立期
0	0	0
0.3	—	—
0.3	0.3	—
0.3	0.6	—
0.3	0.9	—
0.3	1.2	—
0.3	0.3	0.3
0.3	0.3	0.6
0.3	0.3	0.9
0.3	0.6	0.3
0.3	0.6	0.6
0.3	0.9	0.3
0.6	—	—
0.9	—	—
1.2	—	—
1.5	—	—

数値は窒素施肥量kg/aを表示。

2. 調査項目および調査方法

1) 土壌分析

A圃場、B圃場ともに毎年度作付け前に土壌を採取し、常法(日本土壌協会, 2001)に基づき、可給態窒素および無機態窒素(硝酸態窒素, アンモニア態窒素)の含有量を測定した。可給態窒素は、30℃・4週間保温静置培養による測定値から無機態窒素を差し引いた値とした。

2) 茎立期 30 日前および茎立期の生育量

2016年度、2018年度の無肥料区および基肥のみの試験区について、茎立期30日前と茎立期に草丈、茎数、NDVI値(正規化差植生指数)、SPAD値を測定した。NDVI値はハンドヘルド作物センサー(GreenSeeker, ニコントリンブル社製)を用い、次式により求めた。NDVI = $(NIR780nm - RED670nm) / (NIR780nm + RED670nm)$ 。SPAD値は葉緑素計(SPAD-502Plus, コニカミノルタ社製)で測定した。

3) 出穂期以降の生育特性および収量性

3か年のすべての試験区について、出穂期、成熟期、稈長、穂長、穂数、1穂粒数、倒伏程度を調査後、プロットコンバイン(2016年度:HEGE-125C型, HEGE社製, 2017~2018年度:Classic, Wintersteiger社製)で収穫し、子実重、整粒歩合、整粒重、容積重、千粒重を測定した。

4) 原麦品質および精麦品質

収量調査後の2.5mm縦目篩上の整粒について品質分析を行った。子実粗蛋白質含有率は近赤外分光計(Inframatic IM7500, Perten Instruments社製)により、 β -グルカン含有率は酵素法(β -Glucan Assay Kit, Megazyme社製)により測定した。硝子率は粒断面の硝子質および粉状質の面積比を画像解析装置(RN-840, Kett社製, もち性基準)により測定した。

搗精は、原麦180gを試験用搗精機(TM-05, サタケ社製)にてロール粒度#36, ロール回転数1,150rpmの条件で55%歩留一定まで行い、55%搗精時間および砕粒率を測定した。なお、砕粒率は2016年度では65%歩留時の搗精麦30g中の1.8mm縦目篩下および欠損粒の重量比で、2017年度では搗精麦10g中の欠損粒の重量比で求めた。また、55%搗精粒の白度は光電白度計(C-300, Kett社製)により測定し、明るさ(L*), 赤み(a*), 黄色み(b*)は色差計(2016年度:300A, 日本電飾工業社製, 2017年度:CR-5, ユニカミノルタ社製)により測定した。

Ⅲ 結果

1. 気象概況および生育概況

試験期間の気象経過および生育の概要は次の通りであった。気象は宇都宮市のアメダス観測データ、生育は生育診断圃場(宇都宮市)の平年対比・対差を記した。

2016年度は、生育期間中の平均気温は平年より0.7℃高く、降水量は平年比 83%とやや少雨であった。出穂期は平年より 2 日遅く、成熟期は平年並みであった。登熟期間の天候に恵まれたため整粒重は平年比 112%と重くなった。

2017年度は、生育期間中の平均気温は平年より0.7℃高く、降水量は平年比 86%とやや少雨であった。出穂期は平年より 4 日遅く、成熟期は平年より 1 日遅かった。3 月までは低温で生育が遅れていたが、登熟期間は高温で推移し、整粒重は平年比 104%とやや重くなった。

2018年度は、生育期間中の平均気温は平年より1.1℃高く、降水量は平年比 77%と少雨であった。出穂期は平年より 4 日早く、成熟期は平年より 1 日遅かった。2 月までは乾燥で生育

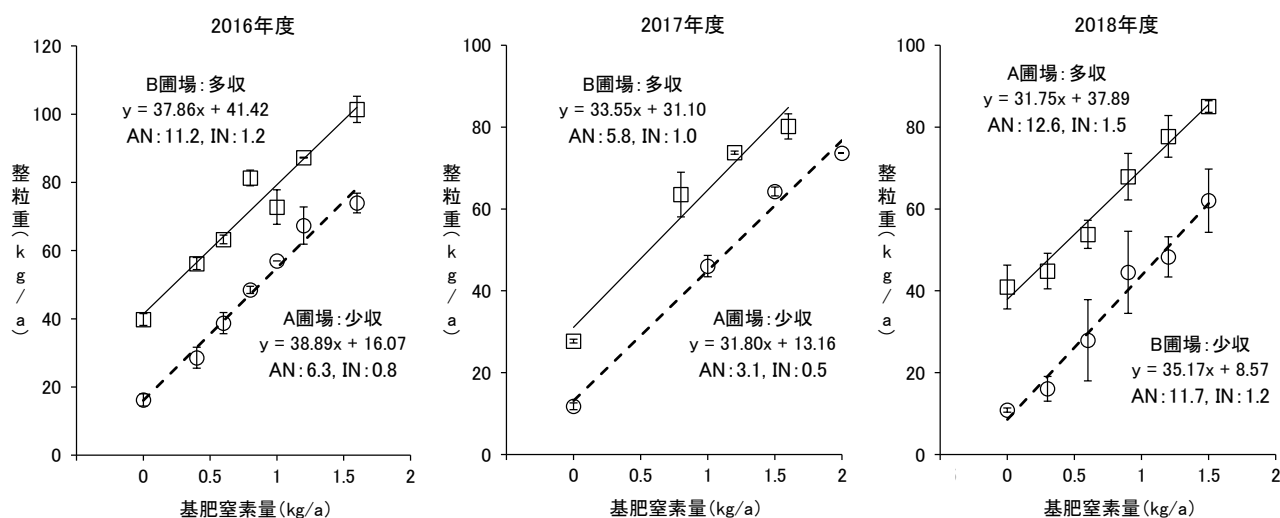
が遅れていたが、3 月には回復した。登熟期間は高温で推移し、整粒重は平年比 147%と重くなった。

2. 試験圃場の窒素含有量および収量水準

年度・圃場毎の可給態窒素および無機態窒素含有量の合計値と収量水準との間には、2018 年度の B 圃場を除いて強い関連性が認められ、土壌中の窒素含有量が多い圃場ほど高収量となった(第1図)。以下、年度毎の収量水準の比較に基づき、多収圃場、少収圃場と表記した。なお、2018 年度の B 圃場が比較的窒素含有量が多いにも関わらず少収となったのは、初期生育は旺盛であったが 12 月から 1 月にかけて乾燥害に遭ったためか、葉色が淡くなるなど 2 月以降の生育が不良となったためであった。

3. 基肥窒素に対する反応

基肥窒素量が生育、収量に及ぼす影響を第4表に示した。基肥窒素量を増肥すると、いずれの年度、圃場においても稈長は高くなり、穂数および一穂粒数が増加し、子実重および整粒重が増加した。容積重も差が小さいが、基肥窒素量の増肥に伴い増加する傾向が見られた。整粒歩合および千粒重には差が認められなかった。成熟期は 2016, 2017 年度の多収圃場で基肥窒素量を増肥すると 1~2 日遅くなる傾向が見られた。倒伏はすべての年度、試験区で見られなかった。基肥窒素量と収量との関係を見ると、整粒重 100kg/a までは窒素量の増肥につれて直線的な増収が認められ、基肥窒素量 0.1kg/a 増加当たりの増収程度は 3.2~3.9kg/a であった(第1図)。



第1図 基肥窒素量と整粒重の関係

- 1) 各年度ともに基肥窒素のみの試験区をプロットした。エラーバーは標準誤差を表示。
- 2) 凡例は、上段: 圃場名, 中段: 一次回帰式, 下段: 可給態窒素mg/100g(AN), 無機態窒素mg/100g(IN)を表示。

第4表 基肥窒素量が生育、収量、原麦品質に及ぼす影響

年度	圃場	基肥 窒素	出穂 期	成熟 期	稈長	穂長	穂数	1穂 粒数	子実 重	整粒 重	整粒 歩合	千粒 重	容積 重	子実 粗蛋 白質	硝子 率	β- グル カン
		kg/a	月/日	月/日	cm	cm	本/m ²		kg/a	kg/a	%	g	g/L	dm%	%	dm%
2016	A 少収	0.0	4/16 b	6/01	53 c	5.6	320 d	21.6 b	16.6 f	16.2 f	97.4	47.7	694	9.7	21.1	4.4
		0.4	4/18 ab	6/01	61 bc	6.1	438 cd	22.9 ab	29.6 ef	28.6 ef	96.5	46.0	686	9.0	22.9	4.3
		0.6	4/18 ab	6/01	61 bc	5.7	475 cd	23.8 ab	40.1 de	38.7 de	96.7	46.7	696	9.0	19.6	4.2
		0.8	4/17 ab	5/31	71 ab	6.1	584 bc	24.4 ab	50.3 cd	48.5 cd	96.4	46.2	694	9.3	16.2	4.3
		1.0	4/19 a	6/01	77 a	6.1	768 ab	25.2 a	59.0 bc	57.0 bc	96.6	45.7	698	8.5	9.8	3.9
		1.2	4/18 ab	5/31	80 a	5.8	839 a	25.1 a	69.9 ab	67.3 ab	96.4	45.8	707	9.2	13.2	4.4
		1.6	4/19 a	6/01	83 a	5.9	901 a	24.9 ab	76.4 a	73.9 a	96.8	46.7	717	9.4	9.4	4.8
	ANOVA	*	n.s.	**	n.s.	**	*	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	B 多収	0.0	4/16 b	5/28 c	64 e	5.5 c	551 c	21.4 b	41.1 e	39.8 e	96.9	46.4	684 c	8.2 c	18.4	3.8
		0.4	4/17 b	5/29 bc	74 d	5.8 bc	801 b	23.0 ab	58.2 d	56.2 d	96.5	45.4	698 bc	8.2 c	20.4	4.0
		0.6	4/17 b	5/30 bc	77 cd	6.3 a	811 b	24.2 ab	65.4 cd	63.3 cd	96.8	45.9	699 bc	9.0 bc	18.6	3.7
		0.8	4/18 ab	5/31 ab	85 abc	6.1 ab	1085 a	24.6 ab	85.0 bc	81.3 b	95.6	44.5	714 ab	9.2 bc	22.6	3.9
		1.0	4/18 ab	5/31 ab	81 bcd	6.2 ab	886 b	26.2 a	75.9 bc	72.7 bc	95.9	45.1	710 ab	9.2 bc	10.8	3.7
		1.2	4/19 ab	6/02 a	87 ab	6.0 abc	1128 a	25.5 ab	90.3 ab	87.3 ab	96.7	45.3	721 a	10.1 ab	21.7	4.0
		1.6	4/22 a	6/02 a	90 a	6.0 abc	1286 a	24.0 ab	105.9 a	101.4 a	95.7	45.8	716 ab	11.1 a	32.0	4.2
	ANOVA	*	**	**	**	**	*	**	**	**	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	n.s.
2017	A 少収	0.0	4/19	5/30	39 b	4.9 b	279 c	19.7 b	12.0 d	11.8 d	98.0	52.2	722	11.7	3.6 b	5.1
		1.0	4/20	5/31	67 a	6.2 a	563 b	23.3 ab	46.8 c	46.0 c	98.4	51.9	714	10.3	3.1 b	4.6
		1.5	4/22	6/01	77 a	6.5 a	758 ab	24.5 a	65.9 b	64.3 b	97.6	51.5	721	11.7	8.1 b	5.0
		2.0	4/22	6/03	77 a	6.3 a	832 a	23.3 ab	76.8 a	73.7 a	96.0	53.2	721	12.4	22.1 a	5.2
	ANOVA	n.s.	n.s.	**	*	**	*	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.
	B 多収	0.0	4/16 c	5/27 b	56 c	5.3 c	412 d	19.7 b	28.6 b	27.7 b	96.9	49.5	729	9.1 bc	13.9	4.5
		0.8	4/17 bc	5/28 b	74 b	5.9 bc	736 c	22.1 ab	65.5 a	63.5 a	97.0	49.7	737	8.7 c	8.0	4.5
		1.2	4/18 ab	5/29 ab	84 ab	6.8 a	927 b	23.4 a	75.9 a	73.8 a	97.2	50.6	735	9.7 b	19.3	4.9
		1.6	4/20 a	5/30 a	87 a	6.5 ab	1096 a	24.0 a	81.8 a	80.2 a	98.1	50.8	743	11.0 a	14.3	5.0
	ANOVA	*	*	**	**	**	*	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.
	B 少収	0.0	4/15	5/31	39 b	4.0	339 c	14.0	12.2 b	10.8 b	88.9	42.0	691	10.9	29.0	5.5
		0.3	4/13	5/30	40 b	4.6	413 bc	15.2	18.3 b	16.1 b	87.8	41.5	687	10.3	25.7	5.1
		0.6	4/11	5/31	47 ab	4.6	612 abc	18.7	32.2 ab	27.9 ab	85.9	40.0	688	9.3	23.3	4.5
		0.9	4/12	5/26	61 ab	5.4	784 ab	20.0	49.1 ab	44.5 ab	90.8	41.5	697	8.4	19.1	4.8
		1.2	4/13	5/28	61 ab	5.0	902 a	19.7	53.3 ab	48.3 ab	90.8	42.4	696	8.9	21.5	5.5
		1.5	4/14	5/27	70 a	4.9	926 a	19.0	67.4 a	62.0 a	91.9	43.2	707	8.4	24.3	4.7
	ANOVA	n.s.	n.s.	**	n.s.	**	n.s.	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	A 多収	0.0	4/14 b	5/30	56 d	5.4	704 c	19.3	45.2 c	40.9 d	90.7	43.7	699 ab	8.9	23.5	4.6
		0.3	4/15 b	5/31	59 d	5.4	662 c	21.0	49.8 c	44.8 cd	90.1	43.4	691 ab	8.5	18.1	4.6
		0.6	4/15 b	5/28	63 cd	5.1	775 c	20.1	59.0 bc	53.8 bcd	91.2	43.5	687 b	8.2	14.8	4.4
		0.9	4/16 ab	5/28	70 bc	5.5	901 bc	21.6	74.5 abc	67.9 abc	91.4	43.6	705 ab	8.2	16.6	4.4
		1.2	4/17 ab	5/29	75 ab	5.5	1080 ab	22.0	86.6 ab	77.7 ab	89.9	43.3	706 ab	8.9	22.7	4.8
		1.5	4/18 a	5/31	81 a	5.4	1253 a	21.9	97.6 a	85.0 a	87.2	43.3	711 a	9.9	34.3	4.8
	ANOVA	*	n.s.	**	n.s.	**	n.s.	**	**	**	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.

1) 基肥窒素のみの試験区について解析した。倒伏はすべての試験区で無かった。

2) 子実重、整粒重、千粒重は水分12.5%換算。整粒重、整粒歩合は2.5mm縦目篩上。

3) ANOVA(分散分析)は年度・圃場毎に実施。**, *: 1%, 5%水準で有意。n.s.: 有意差無し。

4) 同一の英文字は、Tukeyの多重比較(P<0.05)で有意差無し。

第5表 基肥窒素量が精麦品質に及ぼす影響

2016年度								2017年度							
圃場	基肥 窒素	55% 搗精 時間	砕粒 率	白度 (W)	明る さ (L*)	赤み (a*)	黄色 み (b*)	圃場	基肥 窒素	55% 搗精 時間	砕粒 率	白度 (W)	明る さ (L*)	赤み (a*)	黄色 み (b*)
	kg/a	秒	%						kg/a	秒	%				
A 少収	0.0	278	3.7	48.1	80.2	-1.13	16.2	A 少収	0.0	360	16.7	54.5 a	83.2 ab	-0.46	13.4
	0.4	315	2.7	48.6	80.7	-1.46	16.3		1.0	345	22.7	52.8 b	84.0 a	-0.70	14.4
	0.6	313	1.8	48.3	80.0	-1.39	16.7		1.5	345	19.3	52.6 b	82.5 ab	-0.38	13.8
	0.8	336	2.4	48.8	80.0	-1.48	15.6		2.0	350	15.6	51.7 b	82.0 b	-0.42	13.3
	1.0	335	2.0	48.6	80.7	-1.34	15.6		ANOVA	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.
	1.2	316	1.8	49.5	80.2	-1.51	15.4	B 多収	0.0	398	6.5	50.1	81.8	-0.37	15.5
	1.6	310	1.7	49.1	80.5	-1.62	15.6		0.8	400	4.9	50.4	82.3	-0.52	15.2
	ANOVA	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		1.2	420	2.3	50.1	81.7	-0.28	14.8
B 多収	0.0	317	3.3	47.7	82.3 a	-0.53	17.0 a		1.6	410	4.7	51.0	81.9	-0.33	13.9
	0.4	337	1.4	48.2	81.3 ab	0.17	16.1 ab		ANOVA	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	0.6	327	2.2	48.3	81.3 ab	-0.36	15.9 ab	B 多収	0.0	398	6.5	50.1	81.8	-0.37	15.5
	0.8	330	1.5	48.5	81.3 ab	0.11	15.5 ab		0.8	400	4.9	50.4	82.3	-0.52	15.2
	1.0	356	1.6	49.0	81.5 ab	0.05	15.3 ab		1.2	420	2.3	50.1	81.7	-0.28	14.8
	1.2	330	1.3	47.5	80.7 ab	0.13	14.9 b		1.6	410	4.7	51.0	81.9	-0.33	13.9
	1.6	311	1.1	46.7	79.7 b	0.46	14.9 b		ANOVA	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	ANOVA	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*								

1) 基肥窒素のみの試験区について解析した。

2) 砕粒率は、2016年度では65%歩留時30g中の1.8mm縦目篩下および欠損粒の重量比。2017年度では搗精10g中の欠損粒の重量比。

3) ANOVA(分散分析)は年度・圃場毎に実施。**, *: 1%, 5%水準で有意。n.s.: 有意差無し。

4) 同一の英文字は、Tukeyの多重比較(P<0.05)で有意差無し。

基肥窒素量が品質に及ぼす影響を第4表および第5表に示した。子実粗蛋白質含有率は2016, 2017年度の多収圃場で基肥窒素量を増肥すると増加する傾向があった。硝子率は2017年度の少収圃場の2.0kg/a区で有意に増加したが、その他の年度・圃場では一定の傾向は見られなかった。β-グルカン含有率については基肥窒素量を増肥しても有意差は無かった。55%搗精時間および砕粒率にも有意差は無かった。白度については2017年度の少収圃場では基肥窒素量が増えた場合に下がる傾向が見られたが、その他の年度・圃場では有意差は見られなかった。明るさ(L*)に関しては、2016年度の多収圃場および2017年度の少収圃場では窒素量増加に伴い下がる傾向が見られたが、それ以外では差が無かった。黄色み(b*)に関しては、有意差が見られない場合もあるが、総じて窒素量が増えると弱まる傾向が見られた。

4. 茎立期 30 日前および茎立期における追肥の影響

2016 年度には、基肥窒素量 0.4, 0.6, 0.8, 1.0kg/a 各々に対する茎立期の窒素 0.2kg/a 追肥が生育、収量、品質に及ぼす影響を調査した。いずれの基肥窒素量に対しても茎立期に 0.2kg/a の追肥を行うと、穂数が増加し、収量も向上したが、有意な差では無かった。原麦品質、精麦品質については、茎立期追肥の有無で有意差は認められなかった。したがって、茎立期の窒素 0.2kg/a の追肥が生育、収量、品質に及ぼす影響は限定的であると判断された(データ略)。

2017 年度には、基肥窒素量を極力抑え、追肥時期を前進させるとともに、追肥量を 1.0kg/a 以上に増やし、追肥効果を解析した。生育、収量に及ぼす影響を第6表に、品質に及ぼす影響を第7表に示した。少収圃場では、基肥窒素を 0.25kg/a と少なくとも茎立期 30 日前の 1.25kg/a の追肥

第6表 茎立期30日前と茎立期の窒素追肥が生育、収量に及ぼす影響(2017年度)

圃場	施肥体系	出穂期 月/日	成熟期 月/日	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	1穂粒数	子実重 kg/a	整粒重 kg/a	整粒歩合 %	千粒重 g	容積重 g/L
A 少収	0 - 0 - 0 (参考)	4/19	5/30	39	4.9	279	19.7	12.0	11.8	98.0	52.2	722
	1.00 - 0 - 0	4/20 ab	5/31 c	67 b	6.2 a	563 b	23.3 a	46.8 c	46.0 b	98.4 a	51.9	714
	1.50 - 0 - 0	4/22 a	6/01 bc	77 a	6.5 a	758 ab	24.5 a	65.9 abc	64.3 ab	97.6 ab	51.5	721
	0.25 - 1.25 - 0	4/22 a	6/02 bc	77 a	6.3 a	874 a	23.1 ab	72.4 ab	70.4 ab	97.2 ab	51.9	717
	0.25 - 0 - 1.25	4/18 b	6/04 a	51 c	5.2 b	961 a	18.5 b	49.4 bc	47.5 b	96.1 b	52.3	701
	0.25 - 0.63 - 0.63	4/20 ab	6/02 b	72 ab	6.1 ab	958 a	22.5 ab	75.9 a	74.1 a	97.6 ab	52.2	721
	ANOVA	*	**	**	*	**	*	*	*	*	n.s.	n.s.
B 多収	0 - 0 - 0 (参考)	4/16	5/27	56	5.3	412	19.7	28.6	27.7	96.9	49.5	729
	0.80 - 0 - 0	4/17	5/28 b	74	5.9	736 b	22.1	65.5	63.5	97.0	49.7	737
	1.20 - 0 - 0	4/18	5/29 b	84	6.8	927 b	23.4	75.9	73.8	97.2	50.6	735
	0.20 - 1.00 - 0	4/17	5/29 b	84	6.3	992 ab	22.7	76.0	73.8	97.1	51.2	740
	0.20 - 0 - 1.00	4/16	6/01 a	72	6.0	1573 a	22.7	98.3	94.4	95.9	49.4	730
	0.20 - 0.50 - 0.50	4/17	5/29 ab	79	6.5	1000 ab	22.8	77.8	74.5	95.9	49.6	735
	ANOVA	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

1) 施肥体系は、「基肥」-「茎立期30日前追肥」-「茎立期追肥」の順に窒素成分量kg/aを表示。

2) 倒伏はすべての試験区で無かった。

3) 子実重、整粒重、千粒重は水分12.5%換算。整粒重、整粒歩合は2.5mm縦目篩上。

4) 分散分析(ANOVA)は圃場毎に実施。**, *: 1%, 5%水準で有意。n.s.: 有意差無し。

5) 同一の英文字は、Tukeyの多重比較(P<0.05)で有意差無し。

第7表 茎立期30日前と茎立期の窒素追肥が品質に及ぼす影響(2017年度)

圃場	施肥体系	子実粗蛋白質 dm%	硝子率 %	β-グルカン dm%	55%搗精時間 秒	砕粒率 %	白度 (W)	明るさ (L*)	赤み (a*)	黄色み (b*)
A 少収	0 - 0 - 0 (参考)	11.7	3.6	5.1	360	16.7	54.5	83.2	-0.46	13.4
	1.00 - 0 - 0	10.3 c	3.1 b	4.6	345 b	22.7 a	52.8 a	84.0 a	-0.70 b	14.4 a
	1.50 - 0 - 0	11.7 b	8.1 b	5.0	345 b	19.3 ab	52.6 ab	82.5 ab	-0.38 ab	13.8 ab
	0.25 - 1.25 - 0	12.3 b	7.1 b	5.0	345 b	20.8 ab	52.7 ab	82.7 ab	-0.47 ab	13.5 ab
	0.25 - 0 - 1.25	14.1 a	22.9 a	5.4	420 a	6.8 b	51.4 b	81.2 b	-0.03 a	12.1 b
	0.25 - 0.63 - 0.63	12.5 b	10.1 b	5.0	355 b	19.3 ab	53.0 a	82.6 ab	-0.37 ab	13.0 ab
	ANOVA	**	**	n.s.	*	*	*	**	*	*
B 多収	0 - 0 - 0 (参考)	9.1	13.9	4.5	415	4.8	50.9	82.4	-0.45	14.1
	0.80 - 0 - 0	8.7 c	8.0	4.5	400	4.9	50.4	82.3	-0.52	15.2
	1.20 - 0 - 0	9.7 b	19.3	4.9	420	2.3	50.1	81.7	-0.28	14.8
	0.20 - 1.00 - 0	9.9 b	13.3	4.2	410	2.6	50.2	82.0	-0.36	14.6
	0.20 - 0 - 1.00	11.1 a	15.1	4.9	415	6.1	51.3	82.0	-0.29	14.0
	0.20 - 0.50 - 0.50	10.6 ab	9.6	4.7	398	6.5	50.1	81.8	-0.37	15.5
	ANOVA	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

1) 施肥体系は、「基肥」-「茎立期30日前追肥」-「茎立期追肥」の順に窒素成分量kg/aを表示。

2) 砕粒率は搗精10g中の欠損粒の重量比。

3) 分散分析(ANOVA)は圃場毎に実施。**, *: 1%, 5%水準で有意。n.s.: 有意差無し。

4) 同一の英文字は、Tukeyの多重比較(P<0.05)で有意差無し。

(0.25-1.25-0 区)や、茎立期 30 日前と茎立期の両方への各々 0.63kg/a の追肥(0.25-0.63-0.63 区)を行うと、総窒素施肥量が等しい全量基肥の 1.5-0-0 区と同程度からやや多い収量が得られた。また、1.0-0-0 区と比較すると、穂数が有意に増加し、それに伴い収量が有意に向上した。一穂粒数および千粒重には差が認められなかった。品質面を見ると、0.25-1.25-0 区および 0.25-0.63-0.63 区では、1.0-0-0 区と比べて子実粗蛋白質含有率が高くなるが、 β -グルカン含有率、硝子率、砕粒率、白度および明るさ(L*)等の色相に有意差は認められなかった。一方、茎立期のみに追肥を行うと(0.25-0-1.25 区)、他の分施体系に比べて収量が低くなる傾向があった。これは穂数が増加したが一穂粒数が大幅に減少したことが原因であり、成熟期も有意に遅くなった。品質については、0.25-0-1.25 区は、砕粒率が低く、黄色み(b*)が弱まるメリットが見られたが、子実粗蛋白質含有率が有意に高くなり、硝子率が高く、搗精時間が長く、白度、明るさ(L*)、赤み(a*)が劣る結果となった。 β -グルカン含有率に有意な差は無かった。

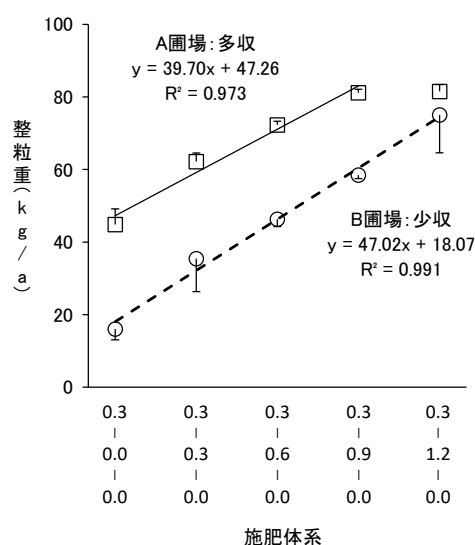
多収圃場でも基肥窒素を 0.2kg/a と少なくした場合、茎立期 30 日前の 1.0kg/a の追肥(0.2-1.0-0 区)や、茎立期 30 日前と茎立期の両方への各々 0.5kg/a の追肥(0.2-0.5-0.5 区)を行うと、総窒素施肥量が等しい全量基肥の 1.2-0-0 区とほぼ同水準の収量が得られた。0.8-0-0 区と比較すると、有意では無いものの、穂数増加により、収量が向上する傾向が見られた。品質については、0.2-1.0-0 区および 0.2-0.5-0.5 区では、0.8-0-0 区と比べて子実粗蛋白質含有率が高くなるが、 β -グルカン含有率、硝子率、砕粒率、白度および明るさ(L*)等の色相に差は見られなかった。一方、茎立期のみに追肥した場

合は(0.2-0-1.0 区)、少収圃場の結果とは異なり高収量となったが、遅れ穂の発生に伴い穂数が著しく多くなり、成熟期が有意に遅くなった。また、子実粗蛋白質含有率も有意に高くなった。

5. 茎立期 30 日前および茎立期の追肥量効果

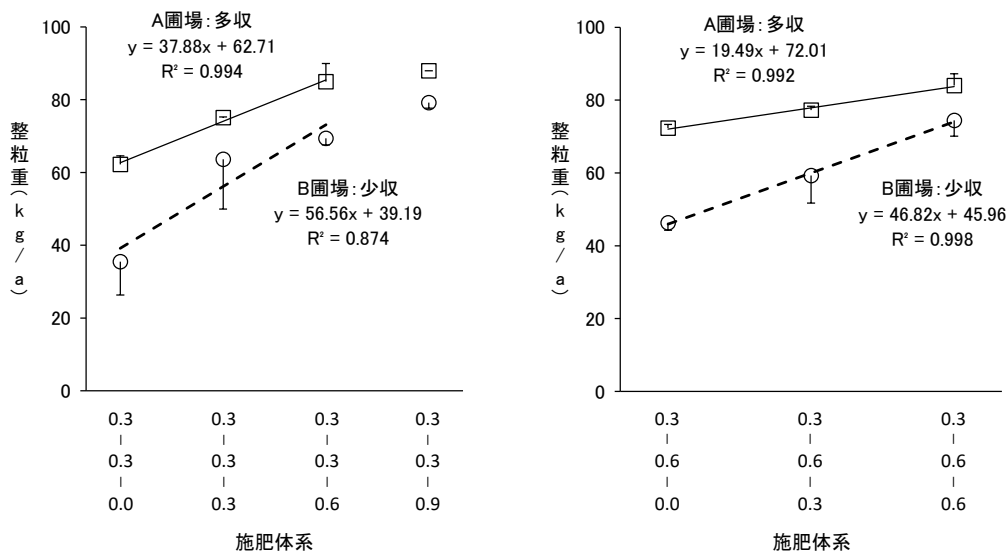
2018 年度には、茎立期 30 日前および茎立期における追肥窒素量と収量との関係を中心に解析した。茎立期 30 日前追肥では、窒素量 0.1kg/a の増肥で 4.0~4.7kg/a の増収が認められ、整粒重 80kg/a までは直線的に増加した。基肥のみの 0.3-0-0 区に比べて、少収圃場の茎立期 30 日前 1.2kg/a 追肥(0.3-1.2-0 区)では収量が 4.7 倍に、多収圃場の茎立期 30 日前 0.9kg/a 追肥(0.3-0.9-0 区)でも 1.8 倍に増加した(第2図)。追肥窒素量の増加に対する生育および品質の反応を見ると、窒素量の増加につれて稈長、穂長、穂数が増加した。子実粗蛋白質含有率、硝子率、 β -グルカン含有率については、追肥窒素量の違いによる有意差は認められず、特に硝子率はすべての試験区で 40%未満であった(第8表、上 2 段)。

茎立期 30 日前に 0.3kg/a 追肥した後の茎立期追肥では、窒素量 0.1kg/a の増肥で少収圃場では 5.7kg/a 増収、多収圃場では 3.8kg/a 増収となり、追肥量効果は多収圃場よりも少収圃場の方が大きかった(第3図、左)。生育および品質の反応も、茎立期 30 日前追肥の反応とほぼ同様であり、追肥窒素量が増加するにつれて稈長、穂数の増加が認められ、子実粗蛋白質含有率、硝子率、 β -グルカン含有率にはほとんど差が見られなかった(第8表、中 2 段)。



第2図 茎立期30日前の追肥窒素量と整粒重の関係(2018年度)

- 1) 施肥体系は、「基肥」-「茎立期30日前追肥」-「茎立期追肥」の順に窒素成分量をkg/aで表示。
- 2) 整粒重80kg/aまでは直線的に増加したが、増収効果が上限値に達した施肥水準は一回帰式から除外した。
- 3) 凡例は、上段:圃場名、中段:一次回帰式、下段:決定係数を表示。エラーバーは標準誤差を表示。



第3図 茎立期の追肥窒素量と整粒重の関係(2018年度)

- 1) 施肥体系は、「基肥」-「茎立期30日前追肥」-「茎立期追肥」の順に窒素成分量をkg/aで表示。
- 2) 整粒重80kg/aまでは直線的に増加したが、増収効果が上限値に達した施肥水準は一回帰式から除外した。
- 3) 凡例は、上段:圃場名、中段:一回帰式、下段:決定係数を表示。エラーバーは標準誤差を表示。

第8表 茎立期30日前と茎立期における追肥窒素量の違いが生育、収量、品質に及ぼす影響(2018年度)

圃場	施肥体系	出穂期	成熟期	稈長	穂長	穂数	一穂粒数	子実重	整粒重	整粒歩合	容積重	千粒重	子実粗蛋白質	硝子率	β-グルカン
		月/日	月/日	cm	cm	本/m ²		kg/a	kg/a	%	g/L	g	dm%	%	dm%
B 少収	0.3-0.0-0.0	4/13	5/30	40 b	4.6 b	413 b	15.2	18.3 c	16.1 c	87.8	687	41.5	10.3	25.7	5.1
	0.3-0.3-0.0	4/11	5/27	52 ab	4.8 b	620 ab	18.2	38.3 bc	35.5 bc	92.5	699	41.8	8.6	21.7	4.7
	0.3-0.6-0.0	4/09	5/28	62 ab	5.2 ab	709 ab	19.3	50.4 abc	46.3 abc	92.0	702	43.6	9.0	23.4	5.3
	0.3-0.9-0.0	4/10	5/31	69 a	5.4 ab	1026 a	19.3	63.2 ab	58.5 ab	92.6	706	44.1	8.9	22.5	4.8
	0.3-1.2-0.0	4/13	6/01	71 a	5.9 a	1134 a	19.8	81.1 a	75.1 a	92.5	714	46.3	9.9	27.9	5.1
ANOVA		n.s.	n.s.	*	*	*	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A 多収	0.3-0.0-0.0	4/15	5/31	59 c	5.4 bc	662 b	21.0	49.8 c	44.8 c	90.1	691	43.4	8.5	18.1	4.6
	0.3-0.3-0.0	4/14	5/31	67 b	5.6 ab	881 ab	20.2	68.5 b	62.2 b	90.9	710	43.4	8.6	21.6	5.0
	0.3-0.6-0.0	4/14	5/31	69 b	5.1 c	973 a	20.9	79.6 ab	72.3 ab	90.9	704	44.3	8.9	20.7	4.8
	0.3-0.9-0.0	4/16	6/01	75 a	5.5 ab	1079 a	21.7	90.2 a	81.2 a	90.0	713	44.4	9.7	30.9	4.5
	0.3-1.2-0.0	4/16	6/02	77 a	5.7 a	1146 a	21.2	91.9 a	81.5 a	88.7	713	45.5	10.5	33.0	5.4
ANOVA		n.s.	n.s.	**	**	**	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
B 少収	0.3-0.3-0.0	4/11	5/27 ※	52 b	4.8 c	620 b	18.2	38.3	35.5	92.5	699	41.8	8.6	21.7	4.7
	0.3-0.3-0.3	4/09	5/27 ※	63 ab	5.5 ab	905 ab	20.9	68.0	63.6	93.4	707	44.0	9.1	27.6	5.0
	0.3-0.3-0.6	4/10	6/01 ※	63 ab	5.2 bc	1051 ab	19.0	74.9	69.4	92.7	709	44.2	9.4	25.6	4.9
	0.3-0.3-0.9	4/11	6/02 ※	71 a	5.9 a	1168 a	20.6	85.9	79.2	92.2	708	44.6	10.3	33.2	5.5
	ANOVA	n.s.	*	**	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A 多収	0.3-0.3-0.0	4/14	5/31	67 c	5.6 ab	881	20.2	68.5 b	62.2 b	90.9	710	43.4	8.6	21.6	5.0
	0.3-0.3-0.3	4/15	5/30	73 b	5.7 ab	1009	21.2	83.2 ab	75.1 ab	90.3	710	44.2	9.2	27.7	5.0
	0.3-0.3-0.6	4/15	6/02	73 b	5.3 b	1138	21.0	93.8 a	84.9 a	90.5	710	45.4	10.1	29.8	5.0
	0.3-0.3-0.9	4/15	6/01	78 a	5.8 a	1178	21.1	99.5 a	87.9 a	88.4	709	44.5	10.6	32.2	5.2
	ANOVA	n.s.	n.s.	**	*	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
B 少収	0.3-0.6-0.0	4/09 b	5/28	62	5.2	709 b	19.3	50.4	46.3	92.0 b	702	43.6	9.0	23.4	5.3
	0.3-0.6-0.3	4/09 b	5/28	64	5.4	887 ab	19.3	64.2	59.3	92.3 ab	705	44.6	9.3	27.1	5.4
	0.3-0.6-0.6	4/10 a	5/31	70	5.8	1085 a	19.8	80.4	74.4	92.6 a	710	45.7	9.8	26.7	5.0
	ANOVA	**	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	ANOVA	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A 多収	0.3-0.6-0.0	4/14	5/31	69	5.1	973	20.9	79.6	72.3	90.9	704	44.3	8.9	20.7	4.8
	0.3-0.6-0.3	4/14	5/29	72	5.6	1084	20.3	83.4	77.3	92.7	709	44.9	9.1	25.1	4.6
	0.3-0.6-0.6	4/15	6/03	77	5.7	1127	20.9	91.8	84.0	91.6	712	45.8	10.0	32.1	5.4
	ANOVA	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	ANOVA	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

- 1) 施肥体系は、「基肥」-「茎立期30日前追肥」-「茎立期追肥」の順に窒素成分量kg/aを表示。
- 2) 倒伏はすべての試験区で無かった。
- 3) 子実重、整粒重、千粒重は水分12.5%換算。整粒重、整粒歩合は2.5mm縦目篩上。
- 4) 分散分析(ANOVA)は圃場毎に実施。**, *:1%, 5%水準で有意。n.s.:有意差無し。
- 5) 同一の英文字は、Tukeyの多重比較(P<0.05)で有意差無し。
- 6) ※は、分散分析の結果が有意であったが、Tukeyの多重比較検定の結果、いずれの水準間も有意差無し。

茎立期 30 日前に 0.6kg/a 追肥した後の茎立期追肥では、多収圃場よりも少収圃場の方で増収効果が大きいのは同様だったが、窒素量 0.1kg/a の増肥で少収圃場では 4.7kg/a 増収、多収圃場では 2.0kg/a 増収と、肥料利用効率は低くなった(第3図, 右)。生育および品質の反応は有意差が見られないことが多かったが、茎立期 30 日前 0.3kg/a 追肥後の茎立期追肥の場合とほぼ同様の傾向であった(第8表, 下 2 段)。

6. 茎立期 30 日前および茎立期の生育量による収量予測

2016, 2018 年度の茎立期 30 日前および茎立期における形質(草丈, 茎数, NDVI 値, SPAD 値)間の相関係数を第9表に示した。2016 年度では茎立期 30 日前, 茎立期ともに

SPAD 値は茎数, NDVI 値との間に強い正の相関を示したが、2018 年度ではほとんど相関関係が認められなかった。NDVI 値は、草丈との間に 2016 年度は強い正の相関が、2018 年度は弱い相関が認められた。最も強い相関は、NDVI 値と茎数との間で認められ、年度、測定時期に関わらず 0.1%水準で有意であった。

第10表には茎立期30日前および茎立期の生育量(草丈, 茎数, NDVI 値, SPAD 値, NDVI 値×SPAD 値)と最終的な収量との間の相関係数を示した。茎立期であれば、草丈や SPAD 値では精度がやや劣るものの、茎数, NDVI 値および NDVI 値×SPAD 値では、高い精度で収量を予測できることがわかった。一方、茎立期 30 日前においては、これらの形質

第9表 茎立期30日前および茎立期における形質間相関係数

年度	形質	茎立期30日前			茎立期		
		草丈	茎数	NDVI値	草丈	茎数	NDVI値
2016	草丈						
	茎数	0.938 ***			0.892 ***		
	NDVI値	0.971 ***	0.968 ***		0.925 ***	0.951 ***	
	SPAD値	0.891 ***	0.834 ***	0.879 ***	0.594 *	0.848 ***	0.791 ***
2018	草丈						
	茎数	0.628 *			0.888 ***		
	NDVI値	0.636 *	0.982 ***		0.779 **	0.926 ***	
	SPAD値	-0.717 **	0.032	0.025	0.197	0.528	0.666 *

1) 2016, 2018年度ともに基肥窒素のみの試験区の少収・多収圃場を併せて計算。2016年度はn=14, 2018年度はn=12。

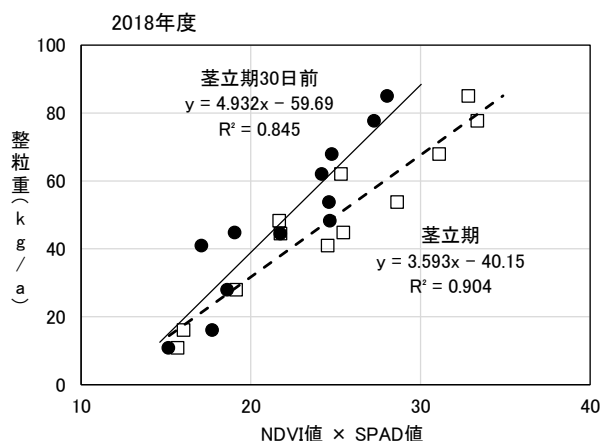
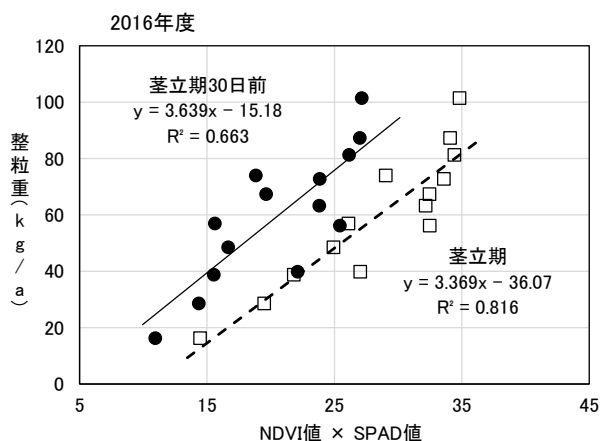
2) ***, **, *: 各々0.1%, 1%, 5%水準で有意。

第10表 茎立期30日前および茎立期の各形質と整粒重との相関係数

年度	茎立期30日前					茎立期				
	草丈	茎数	NDVI値 (A)	SPAD値 (B)	A×B	草丈	茎数	NDVI値 (A)	SPAD値 (B)	A×B
2016	0.769 **	0.765 **	0.791 ***	0.835 ***	0.814 ***	0.819 ***	0.955 ***	0.875 ***	0.823 ***	0.903 ***
2018	0.022	0.736 **	0.718 **	0.639 *	0.919 ***	0.798 **	0.955 ***	0.975 ***	0.713 **	0.951 ***

1) 2016, 2018年度ともに基肥窒素のみの試験区の少収・多収圃場を併せて計算。2016年度はn=14, 2018年度はn=12。

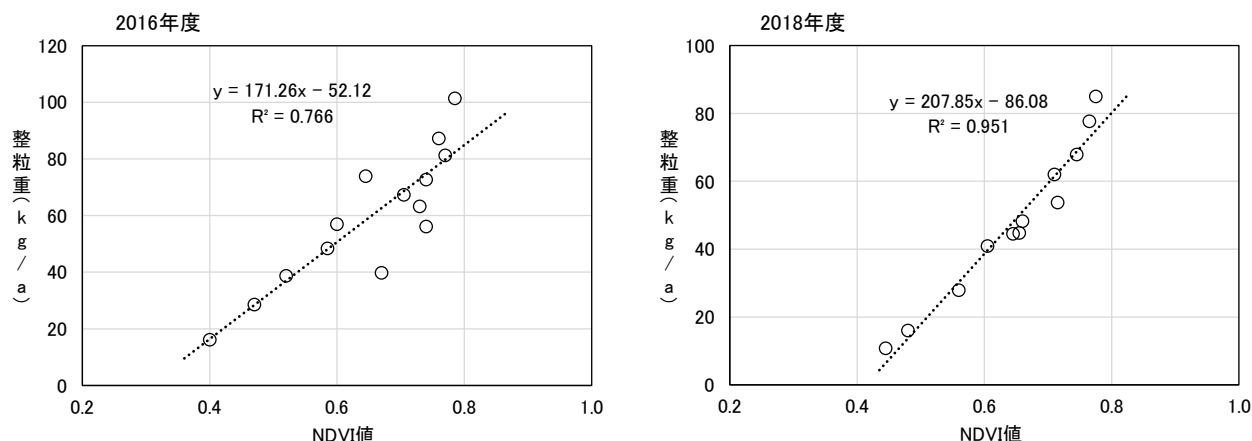
2) ***, **, *: 各々0.1%, 1%, 5%水準で有意。



第4図 NDVI値 × SPAD値による整粒重の予測

1) 2016, 2018年度ともに基肥窒素のみの試験区をプロットした。

2) 凡例は、上段: NDVI×SPADの測定時期, 中段: 一次回帰式, 下段: 決定係数を表示。



第5図 茎立期におけるNDVI値による整粒重の予測

- 1) 2016, 2018年度ともに基肥窒素のみの試験区をプロットした。
- 2) 凡例は、上段：一次回帰式，下段：決定係数を表示。

第11表 出穂期10日後の窒素追肥が生育、収量に及ぼす影響(2017年度)

圃場	施肥体系	出穂期 月/日	成熟期 月/日	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	1穂粒数	子実重 kg/a	整粒重 kg/a	整粒歩合 %	千粒重 g	容積重 g/L
A	1.00 - 0 - 0 - 0	4/20	5/31	67	6.2	563	23.3	46.8	46.0	98.4	51.9	714
少収	0.25 - 0.38 - 0.38 - 0	4/18	6/01	67	6.2	801	21.9	54.9	53.9	98.3	51.2	713
	0.25 - 0.75 - 0 - 0.50	4/21	6/02	70	5.9	724	23.2	50.7	49.9	98.6	53.6	735
	0.25 - 0.38 - 0.38 - 0.50	4/19	6/01	69	5.9	796	23.4	62.9	60.8	96.9	54.0	724
ANOVA		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
B	0.80 - 0 - 0 - 0	4/17	5/28	74	5.9	736	22.1	65.5	63.5	97.0	49.7 b	737
多収	0.20 - 0.30 - 0.30 - 0	4/17	5/29	78	6.4	915	23.2	74.5	71.6	96.1	50.6 b	739
	0.20 - 0.60 - 0 - 0.40	4/17	5/28	75	6.3	679	22.3	70.6	69.2	98.0	53.9 a	749
	0.20 - 0.30 - 0.30 - 0.40	4/17	5/30	79	6.3	920	23.4	76.3	74.1	97.1	52.2 ab	745
ANOVA		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.

- 1) 施肥体系は、「基肥」-「茎立期30日前追肥」-「茎立期追肥」-「出穂期10日後追肥」の順に窒素成分量kg/aを表示。
- 2) 倒伏はすべての試験区で無かった。
- 3) 子実重、整粒重、千粒重は水分12.5%換算。整粒重、整粒歩合は2.5mm縦目篩上。
- 4) 分散分析(ANOVA)は圃場毎に実施。**, *:1%, 5%水準で有意。n.s.:有意差無し。
- 5) 同一の英文字は、Tukeyの多重比較(P<0.05)で有意差無し。

第12表 出穂期10日後の窒素追肥が品質に及ぼす影響(2017年度)

圃場	施肥体系	子実粗蛋白質 dm%	硝子率 %	β-グルカン dm%	55%搗精時間 秒	碎粒率 %	白度 (W)	明るさ (L*)	赤み (a*)	黄色み (b*)
A	1.00 - 0 - 0 - 0	10.3 b	3.1 b	4.6	345	22.7	52.8	84.0	-0.70	14.4 a
少収	0.25 - 0.38 - 0.38 - 0	10.6 b	2.5 b	4.6	340	23.3	53.5	83.3	-0.47	13.7 ab
	0.25 - 0.75 - 0 - 0.50	14.3 a	12.8 a	5.6	340	18.9	52.1	82.3	-0.21	12.4 b
	0.25 - 0.38 - 0.38 - 0.50	14.0 a	14.6 a	6.0	365	15.4	51.7	81.7	-0.11	12.5 b
ANOVA		**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
B	0.80 - 0 - 0 - 0	8.7 b	8.0 b	4.5	400	4.9	50.4	82.3 a	-0.52 b	15.2 a
多収	0.20 - 0.30 - 0.30 - 0	9.5 b	9.8 b	5.0	405	4.1	50.0	81.8 ab	-0.38 b	15.4 a
	0.20 - 0.60 - 0 - 0.40	12.5 a	24.0 ab	5.4	375	2.0	50.5	81.1 bc	0.00 a	13.0 b
	0.20 - 0.30 - 0.30 - 0.40	11.9 a	32.4 a	5.5	395	2.0	50.1	80.4 c	0.14 a	13.6 ab
ANOVA		**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	*

- 1) 施肥体系は、「基肥」-「茎立期30日前追肥」-「茎立期追肥」-「出穂期10日後追肥」の順に窒素成分量kg/aを表示。
- 2) 碎粒率は搗精10g中の欠損粒の重量比。
- 3) 分散分析(ANOVA)は圃場毎に実施。**, *:1%, 5%水準で有意。n.s.:有意差無し。
- 4) 同一の英文字は、Tukeyの多重比較(P<0.05)で有意差無し。

による予測精度は一様に低下したが、NDVI 値×SPAD 値では、比較的高い相関係数を示すことが明らかになった。

仮に整粒重 40kg/a をボーダーとすると、2016 年度では、茎立期 30 日前の NDVI 値×SPAD 値は 15.2、茎立期の NDVI

値×SPAD 値は 22.6 であった。同様に 2018 年度では各々 20.2、22.3 となった(第4図)。また、茎立期 NDVI 値の整粒重 40kg/a の境界線は、2016 年度では 0.54、2018 年度では 0.61 であった(第5図)。

7. 出穂期 10 日後追肥の影響

2017 年度に実施した試験より、出穂期 10 日後の窒素追肥の生育、収量に及ぼす影響を第 11 表に、品質に及ぼす影響を第 12 表に示した。出穂期 10 日後追肥の有無で比較すると、少収圃場、多収圃場ともに生育・収量はあまり変わらなかったが、追肥を行うと千粒重が増加する傾向を示した。品質については、追肥を行うと子実粗蛋白質含有率が有意に増加し、 β -グルカン含有率も増加傾向にあったが、実需が希望する 6%にはほとんどの試験区で到達できなかった。また、硝子率が有意に増加し、砕粒率および白度は変わらなかったが、明るさ(L*)が低下し、赤み(a*)が増加する傾向が見られた。逆に黄色み(b*)は有意に弱まった。

IV 考察

基肥窒素増量で多収と品質維持の両立が可能である

本研究では「もち絹香」の収量と品質を高めることを目的に施肥時期および施肥窒素量を変えた試験を行った。まず基肥窒素に対する反応について考察する。試験した 3 年において多収圃場、少収圃場ともに基肥窒素量を多くするほど収量が向上した(第4表)。収量増加の要因としては、穂数と一穂粒数の増加があげられ、特に穂数増加に依るところが大きかった。一方、千粒重は施肥量の増減による変動がほとんど見られなかった。本研究では極多肥条件でも倒伏が確認されず、基肥窒素量の上限を定めることができなかったが、多収圃場で収量 80~100kg/a までは基肥窒素量増加に直線的な反応を示し、基肥窒素量が 0.1kg/a 増加する毎に収量が 3.2~3.9kg/a 増加した(第1図)。精麦品質については白度、明るさ(L*)が増肥した場合に下がるがあったが、品質ランク区分に影響しない水準の白度 40 以上は十分満たしていた(第5表)。硝子率については、うるち性品種では子実粗蛋白質含有率が高くなるほど高くなってしまい問題となるが(長嶺ら, 2015 ; 大山ら, 2017), もち性品種は黒ボク土の子実粗蛋白質含有率が高まる条件でも上昇しにくいことが報告されている(塔野岡ら, 2010)。本研究においても、「もち絹香」の硝子率は、基肥窒素量の増加に関わらず、総じて低い傾向だった。

これらのことから、もち性の六条大麦「はねうまもち」で多肥栽培が推奨されているように(農研機構, 2019), 「もち絹香」も多肥栽培が適しており、品質を損なわずに多収化が可能であると考えられた。また、多収圃場と少収圃場では同一の基肥窒素量では(例えば 2016 年度の基肥 1.2kg/a や 2018 年度の基肥 1.2kg/a における多収と少収圃場を比較すると), 20~30kg/a の収量差があるため、収量レベルに応じ、圃場毎に施肥量を変えることで少収圃場を効率的に改善することが可能になると考えられた。

茎立期 30 日前および茎立期の追肥で効率的に多収化を実現できる

過剰な窒素施用は大気、水、土壌、生態系にマイナスの影響をもたらす(林ら, 2017)。窒素利用効率(NUE: Nitrogen Use Efficiency)を向上させるためには、窒素施用を最適化させた施肥方法を確立することが重要であり、基肥重視の施肥方法は最も不適切である(Sharma and Bali, 2018)。そこで我々は追肥時期と追肥量を変えた試験を行い、生育、収量、品質への影響を調査した。追肥時期に関しては、茎立期 30 日前や、茎立期 30 日前と茎立期の両方に追肥を行うことにより収量を改善させることが可能であった(第6表, 第8表)。同条件の品質については、子実粗蛋白質含有率が高くなるものの、硝子率、搗精時間、砕粒率、白度および明度(L*)等の精麦品質を低下させることは無かった(第7表)。基肥窒素を最小限に抑えた場合においても、茎立期 30 日前(および茎立期)に十分な追肥をすれば、高レベルの収量を獲得でき、少収圃場では約 5 倍、多収圃場でも約 2 倍に増加することが示された(第8表)。すなわち、生育が劣る場合でもこの時期に十分量の追肥を行えば、生育が回復することを意味する。ただし、本研究は、排水対策としてプラソイラーを施工し、且つ、土づくり資材を十分量散布した上で、基肥窒素の少ない試験区でも豊富なリン酸質肥料を施用した圃場で試験した。黒ボク土でのリン酸は、作物への利用率は低い、作物生産上、重要な働きを持つ(Takahashi and Anwar, 2007 ; 五月女ら, 2010)。一方で、谷ら(2015)は、小麦「農林 61 号」では湿害を受けた場合でも基肥の肥効調節型肥料と追肥の速効性肥料の表層施肥は生育回復を図る治癒的効果があると報告している。我々は、茎立期 30 日前(および茎立期)の増収効果がリン酸寡少条件では見られないことや、排水対策不十分条件でも得られることを証明するデータを持っていない。今後、茎立期 30 日前(および茎立期)の窒素追肥による収量の高位安定化を妨げる栽培条件(例えば、可給態リン酸含有量、土壌 pH など)も明らかにしていく必要があるだろう。

収量に及ぼす追肥窒素の量効果を基肥窒素の量効果と比較すると、基肥窒素のみの施肥では前述のとおり、窒素 0.1kg/a の増肥で 3.2~3.9kg/a の増収であったが、追肥の場合は、窒素 0.1kg/a 増加するにつれて、茎立期 30 日前追肥では 4.0~4.7kg/a 増収、(茎立期 30 日前 0.3kg/a 追肥後の)茎立期追肥では 3.8~5.7kg/a 増収し、いずれにおいても収量 80kg/a 程度までほぼ直線的な反応を示した(第2図, 第3図)。本研究では、総窒素施肥量を同じにした場合、全量基肥で施用した場合と比べ、分施肥の方が多収になるデータは得られなかったが(第6表)、暖冬・多雨年や土壌の種類によっては、浸透、脱窒、土壌への固定等が多くなるので、分施肥の方が窒素利用効率は高い(Sharma and Bali, 2018)。さら

に、「もち絹香」では収量 80kg/a 超を達成した多収圃場の 0.3-1.2-0.0 区, 0.3-0.3-0.6 区, 0.3-0.3-0.9 区などでも倒伏は全く無かった。一方で、同一条件の「ニューサチホゴールド」では「少」程度(「無」～「甚」の 6 段階評価)の倒伏が発生した(データ略)。「もち絹香」は通常施肥では「サチホゴールド」と同程度の耐倒伏性を示すが、稈長が短いので(山口ら, 2019), 追肥による多肥栽培では有利になるようだ。

これまで述べてきたことを踏まえ、我々は「もち絹香」の施肥体系として、基肥窒素量を抑制し、茎立期 30 日前追肥や、茎立期 30 日前と茎立期の両方に十分量の窒素追肥を行う分施を推奨する。留意すべきは、茎立期の追肥は単独で行わずに、茎立期 30 日前追肥と併用することである。なぜならば、茎立期 30 日前の追肥を省き、茎立期に多めの追肥(窒素 0.5kg/a 以上)を行うと、少収圃場では生育量および収量の改善がほとんど見られず、品質の低下ばかりが目立つ。一方、多収圃場では収量は向上するが、遅れ穂発生による穂数過剰を招き、マイナスの影響の方が大きいからである。

茎立期 30 日前および茎立期の生育量で追肥可否を判断できるか？

窒素利用効率を最適化させた施肥方法の確立のためには、追肥可否の診断基準が不可欠であると考え、我々は茎立期 30 日前および茎立期の生育量を指標にした収量予測の可能性を検討した。我々の結果では、茎立期において、茎数と同程度の精度で NDVI 値から収量を予測できることが示された(第 10 表, 第 5 図)。生育期の NDVI 値による収量予測は、小麦(Raun *et al.*, 2001), とうもろこし(Sharma *et al.*, 2016), 水稻(Zhang *et al.*, 2019)など多くの作物で報告されている。市販の GreenSeeker などを用いて簡便に測定できる NDVI 値は、測定時のセンサーの移動速度の影響を受けるが(Shaver *et al.*, 2010), 天候(曇天, 風量)や日変化に制限されない(Sharma and Bali, 2018), 生産現場に受け入れ易いと思われる。しかしながら、生育の改善を図り、収量向上に結びつく追肥を行うためには、茎立期 30 日前の診断基準を確立する必要がある。茎立期 30 日前において、NDVI 値や茎数では収量の予測精度が劣るが、SPAD 値を乗じた NDVI 値×SPAD 値を用いると比較的高精度で予測できることが明らかになった(第 10 表, 第 4 図)。NDVI 値は SPAD 値と同様に赤域と近赤外域の波長を用いる。NDVI 値は反射率を測定し、茎数や草丈などバイオマスとの相関が強い(Moges *et al.*, 2004; Cabrera-Bosquet *et al.*, 2011)のに対して、SPAD 値は透過率からクロロフィル含有率を算出する(Uddling *et al.*, 2007; Shah *et al.*, 2017)。今回の結果では、SPAD 値の単独では NDVI 値よりも収量予測の精度が劣ることが多かった。また、2016 年度では SPAD 値と NDVI 値は比較的高く相関したが、2018 年

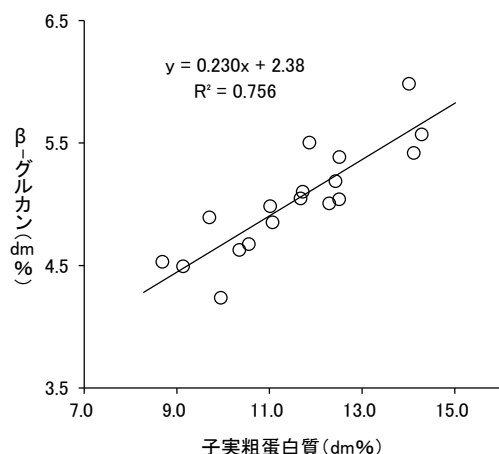
度ではほとんど関連性が見られなかった(第 9 表)。よって、両者の特性は一部で共通するが、多くの部分では異なる特性を反映していると推測され、NDVI 値×SPAD 値の使用は、相乗効果を生み、収量との相関関係が強められたと考えられた。しかしながら、未だ現地での実証試験を行っていないので、当面は消極的な診断方法を採用せざるを得ない。つまり、次のような方法である。茎立期 30 日前に NDVI 値×SPAD 値による診断を行い、少収化が危惧されるボーダー(15～20 が収量 40kg/a の境界線)を下回る場合には、窒素 0.1kg/a 当たりで 4.0～4.7kg/a の増収を見込んで追肥を行う。茎立期に再度、NDVI 値×SPAD 値による診断を行い、やはり少収化が危惧されるボーダー(22～23 が収量 40kg/a の境界線)を下回る場合には、窒素 0.1kg/a 当たりで 3.8～5.7kg/a の増収を見込んで追肥を行う。本研究において、茎立期における収量予測は NDVI 値の単独でも十分な精度を示したが、上記理由から、茎立期であっても NDVI 値×SPAD 値の使用を勧めたい。

茎立期 30 日前に高精度で収量を予測し、目標収量に足りない分を追肥で補うような積極的な診断技術にするには、さらなる予測精度の向上が必要である。Walsh *et al.* (2013)は、NDVI 値に土壌水分の値を計算に組み込むことで小麦での収量予測精度を向上させており、Sharma *et al.* (2017)は、NDVI 値と葉面積指数を使用して、じゃがいもの収量予測を改善している。EC 等に基づく土壌ゾーンの設定(Kitchen *et al.*, 2005)も収量予測の精度向上に有効かもしれない。今後、栽培環境が均一な試験場のみならず、多様な栽培条件となる現地において生育診断(収量予測)を適用させる場合、NDVI 値や SPAD 値だけでは不十分になる可能性がある。そのため、上述のような予測精度の向上に資する別因子のデータ収集を併せて行い、現地実証を積み重ね、適応力の高い技術にすることが重要である。

出穂期 10 日後の追肥は有効か？

出穂期 10 日後の窒素追肥を行うことで、 β -グルカン含有率が一定程度向上することが示され(第 12 表)、島崎・関(2019)の報告と同様の結果が得られた。しかしながら、2017 年度の試験から、子実粗蛋白質含有率と β -グルカン含有率の関係を見ると、粗蛋白質含有率を 1.0 ポイント向上させても β -グルカン含有率は 0.2 ポイントしか向上しなかった(第 6 図)。本研究では、出穂期 10 日後の追肥窒素量 0.1kg/a 当たりで子実粗蛋白質含有率が 0.7～0.8 ポイント向上と、比較的効率的であったが、収量水準が高い場合、粗蛋白質含有率 1.0 ポイント向上させるのに 0.4kg/a の窒素量が必要になる場合もある(関和ら, 2019)。また、出穂期 10 日後追肥は、黄色み(b*)を弱める効果が見られたが、逆に明るさ(L*)が低下し、赤み

(a*)が増加し、硝子率も増加するなど、精麦品質の低下が目立った(第12表)。この時期の追肥は収量性の向上があまり期待できないので(第11表)、費用対効果が小さく、作業性も劣るので、出穂期以降の追肥は現実的ではないと考えられた。



第6図 子実粗蛋白質含有率とβ-グルカン含有率の関係

- 1) 2017年度の試験区をプロットした。
- 2) 凡例は、上段：一回帰式、下段：決定係数を表示。

結論

「もち絹香」の収量を高位安定化させるためには、基肥一茎立期 30 日前追肥一茎立期追肥の体系による追肥重視の多肥栽培が適すると結論づけられた。生育診断基準は暫定的ではあるが、茎立期 30 日前に NDVI 値×SPAD 値による診断を行い、15～20 を下回る場合には少収化が危惧されるので、窒素 0.1kg/a 当たりで 4.0～4.7kg/a の増収を見込んで追肥を行う。再び茎立期に NDVI 値×SPAD 値による診断を行い、22～23 を下回る場合は、窒素 0.1kg/a 当たりで 3.8～5.7kg/a の増収を見込んで追肥を行う。これらのことにより、品質を維持したまま、収量の高位安定化が期待できると考えられた。

謝辞

本研究の一部は農研機構 生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業(うち地域戦略プロジェクト)」の予算を活用して行った。当試験場の技術員諸氏には試験圃場管理、品質分析等において多大なる協力を頂いた。また、パート職員には調査補助に協力していただいた。関係各位に心から感謝申し上げます。

引用文献

- 青江誠一郎 (2015) 大麦β-グルカンの機能性について。日本食生活学会誌26:3-6
- Cabrera-Bosquet L., Molero G., Stellacci A. M., Bort J., Nogués S., Araus J. L. (2011) NDVI as a potential tool

for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. Cereal Research Com. 39:147-159

- 林健太郎・江口定夫・柴田英昭・仁科一哉・内田義崇 (2017) 食の持続性と低環境負荷の両立を目指す窒素管理研究への土壌学の貢献。土肥誌88:166-179
- 亀和田國彦 (2004) 栃木県の農業と土壌肥料。黒ボク土の理解と生産性向上。土肥誌75:755-756
- Kitchen N. R., Sudduth K. A., Myers D. B., Drummond S. T., Hong S. Y. (2005) Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. Computers and Electronics in Agriculture 46:285-308
- Moges S. M., Raun W. R., Mullen R. W., Freeman K. W., Johnson G. V., Solie J. B. (2004) Evaluation of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. Journal of Plant Nutrition 27:1431-1441
- 長嶺敬・井上健一・奥村華子・細川幸一・和田陽介・関昌子・池田達哉 (2015) 食用大麦の硝子粒問題について。米麦改良12:2-10
- 日本土壌協会 (2001) 土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法。
- 農研機構 (2019) もち性大麦「はねうまもち」栽培マニュアル(暫定版)。
- 農林水産省 (2019) 平成30年産麦類(子実用)の収穫量(全国農業地域別・都道府県別)。
- 大山亮・柳澤貴司・長嶺敬・関和孝博・加藤常夫・青木恵美子 (2017) 食用大麦品質ぶれを解消する技術の開発。日本作物学会第243回講演会要旨集 p68
- 大山亮・長嶺敬・柳澤貴司・関和孝博・山口昌宏・加藤常夫 (2018) 硝子率を重視した食用大麦多収栽培技術の検討。日本作物学会第245回講演会要旨集 p35
- Raun W. R., Solie J. B., Johnson G. V., Stone M. L., Lukina E. V., Thomason W. E., Schepers J. S. (2001) In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. Agronomy Journal 93:131-138
- 関昌子・長嶺敬・青木秀之・山口修・伊藤誠治・仲田克 (2018) 新たなもち性遺伝子を持つ寒冷地向け六条皮麦品種「はねうまもち」の育成。育種学研究20:133-137
- 関和孝博・大山亮・山口昌宏・中田佳幸・加藤常夫 (2019) 黒ボク土における小麦新品種「タマイズミR」の特性。栃木農試研報79:23-35

- Shah S. H., Houborg R., McCabe M. F. (2017) Response of chlorophyll, carotenoid and SPAD-502 measurement to salinity and nutrient stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) Agronomy 7:61; DOI:10.3390/agronomy7030061
- Sharma L. K., Bu H., Franzen D.W., Denton A. (2016) Use of corn height measured with an acoustic sensor improves yield estimation with ground based active optical sensors. Computers and Electronics in Agriculture 124: 254-262
- Sharma L. K., Bali S. K., Dwyer J. D., Plant A. B., Bhowmik A. (2017) A case study of improving yield prediction and sulfur deficiency detection using optical sensors and relationship of historical potato yield with weather data in Maine. Sensors 17:1095; DOI:10.3390/s17051095
- Sharma L. K., Bail S. K. (2018) A review of methods to improve nitrogen use efficiency in agriculture. Sustainability 10:51; DOI:10.3390/su10010051
- Shaver T. M., Khosla R., Westfall D. G. (2010) Evaluation of two ground-based active crop canopy sensors in maize: growth stage, row spacing, and sensor movement speed. Soil Science Society of America Journal 74:2101-2108
- 島崎由美・関昌子 (2019) 開花期窒素追肥がもち性およびうるち性オオムギの β -グルカン蓄積に及ぼす影響. 日本作物学会第247回講演会要旨集 p131
- 五月女敏範・藤田正好・郡司陽・小川雄大・白石淳夫・小林俊一・高橋行継・吉田智彦 (2010) 栃木県那須地方におけるビールオオムギ生産の問題点と技術的改善方向. 日作紀79:528-535
- Takahashi S., Anwar M. R. (2007) Wheat grain yield, phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after 23 years of annual fertilizer application to an andosol. Field Crops Research 101:160-171
- 谷俊男・林元樹・遠藤征馬・三屋史朗・林智仁・山内章 (2015) コムギ湿害対策のための肥効調節型肥料の基肥時土壌表層施用ならびに速効性窒素追肥の効果. 日作紀84:256-263
- 塔野岡卓司・河田尚之・藤田雅也・吉岡藤治・乙部千雅子 (2010) 黒ボク土におけるオオムギ精麦品質の改良. 粉状質胚乳を呈するデンプン変異形質の有用性. 日作紀79:308-315
- Uddling J., Gelang-Alfredsson J., Piikki K., Pleijel H. (2007) Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. Photosynthesis Research 91:37-46
- 上原泰・前島秀和・吉田清志・矢ヶ崎和弘・牛山智彦・細野哲・久保田基成・酒井長雄・田淵秀樹・後藤和美・中澤伸夫・谷口岳志・新井利直・高橋伸夫・中村和弘 (2016) 糯性で β -グルカン含量が高い六条大麦新品種「ホワイトファイバー」の育成. 育種学研究18(別2): 79
- 山口昌宏・大関美香・五月女敏範・大山亮・加藤常夫・関和孝博・望月哲也・沖山毅・春山直人・高山敏之・新井友輔・渡邊浩久・新井申・豊島貴子・鈴木康夫・斉藤哲哉・薄井雅夫・塚原俊明・吉成悠佑・白間香里・長嶺敬 (2019) もち性で良食味の温暖地向け二条大麦新品種「もち絹香」. 栃木農試研報79:1-22
- Yanagisawa T., Nagamine T., Takahashi A., Takayama T., Doi Y., Matsunaka H., Fujita M. (2011) Breeding of Kirari-mochi: A new two-rowed waxy hull-less barley cultivar with superior quality characteristics. Breed. Sci. 61: 307-310
- 柳澤貴司 (2019) 健康機能性が期待できるもち性大麦品種の育成と進む普及. 農研機構技報No.1:16-19
- 吉田行郷 (2017) 民間流通制度導入後の国内産麦のフードシステムの変容に関する研究(大麦・はだか麦編). 最新の需給事情も踏まえた今後の対応方向. 農林水産政策研究所レビュー77:4-5
- Walsh O. S., Klatt A. R., Solie J. B., Godsey C. B., Raun W. R. (2013) Use of soil moisture data for refined GreenSeeker sensor based nitrogen recommendations in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Precision Agriculture 14:343-356
- Zhang K., Ge X., Shen P., Li W., Liu X., Cao O., Zhu Y., Cao W., Tian Y. (2019) Predicting rice grain yield based on dynamic changes in vegetation indexes during early to mid-growth stages. Remote Sensing 11: 387; DOI: 10.3390/rs110403872019