

食用オオムギ品種シュンライにおける硝子率と β -グルカン含有率の変動要因解析と施肥法による両品質の制御

沖山毅¹⁾・柳澤貴司²⁾・長嶺敬³⁾・大山亮⁴⁾・関和孝博⁵⁾・加藤常夫¹⁾

(¹⁾ 栃木県農業試験場, (²⁾ 農研機構次世代作物開発研究センター, (³⁾ 農研機構中央農業研究センター,

(⁴⁾ 栃木県農政部生産振興課, (⁵⁾ 栃木県農業環境指導センター)

要旨: 食用オオムギにおいて、精麦品質の面から重要となる胚乳の硝子率と、機能性が注目されている穀粒の β -グルカン含有率について、現地農家圃場のデータから変動要因を解析するとともに、栃木県農業試験場において施肥法による両者の制御に関する試験を行った。まず、栃木県の農家圃場で生産されたシュンライを用いて変動要因を解析した。硝子率と β -グルカン含有率は穀粒タンパク質含有率と高い相関関係にあることから、タンパク質含有率の制御が高品質生産の鍵になると考えられた。硝子率は年次変動がみられたが、タンパク質含有率 8% 以下であれば、硝子率許容値である 50% 以下となる可能性が高まり、そのときの β -グルカン含有率は 4.4% であった。しかし、減肥栽培による低タンパク質含有率化では、収量の変動が大きく、収量安定化と低硝子率の両立は困難であると考えられた。栃木県農業試験場内の試験では、茎立期 30 日前と茎立期の両時期に追肥する分施肥体系は、全量基肥栽培に比べて β -グルカン含有率は低下するものの、収量が向上して硝子率が低下したことから、実用的な施肥方法であると考えられた。また、目標とするタンパク質含有率に収めるための追肥の可否を茎立期 30 日前の茎数 \times SPAD 値により診断できる可能性が示唆された。 β -グルカン含有率を高めるといわれる出穂期 10 日後の追肥は、硝子率が増加して品質が低下したことから、シュンライにおいては適切な技術ではないと考えられた。

キーワード: オオムギ, 硝子率, シュンライ, タンパク質含有率, 分施, β -グルカン含有率。

オオムギは土地利用型農業における基幹的な冬作物の一つとして生産振興が図られており、「食料・農業・農村基本計画」において、国産オオムギの生産努力目標（2025 年度）である 22 万トン達成に向けて、さらなる生産量の増加が求められている。栃木県は、北陸・東北地域に次ぐ食用六条オオムギの主産地で、品種シュンライ（桑原ら 1992）が 1596 ha 作付され、全国の生産量に占める割合は 13% となっており（農林水産省 2019）、食用オオムギの安定供給に一定の役割を担っている。

国産食用オオムギの品質向上は実需者から強く求められ、品質は販売単価だけでなく、補助金にも影響を与える。特に硝子質粒は、胚乳細胞内のデンプン粒同士の空隙を埋めるように充填されるプロテインマトリックスの量に反映して発生し（早乙女ら 1991, 山口ら 2015）、発生が多くなると胚乳が硬くなり（竹内ら 2007）、搗精時間や精麦白度に負の影響をもたらすことが報告されている（久保田ら 1991, 水上・小林 1993, Nagamine ら 2012, 山口ら 2015）。精麦の商品性として、白度が高いことが加工業者にも好まれるため（小池 2007）、食用オオムギでは硝子質粒の混入は好ましくない。また、経営所得安定対策における交付単価を決める品質評価基準では、六条オオムギの硝子率の基準値は 40% 以下、許容値は 50% 以下と定められており、オオムギ作における収益性確保のためにも硝子率の低減は重要となっている。

食用オオムギの硝子質粒の発生は、産地や年次で変動することが知られており、発生に関与する主要因としては、穀粒のタンパク質含有率（以下、タンパク質含有率）があげられ、高タンパク質含有率になるほど硝子率が増加する（早乙女ら 1991, 久保田ら 1991, 水上・小林 1993, 竹内ら 2007）。また、黒ボク土では灰色低地土に比べてタンパク質含有率が高まり、硝子率が 2 倍程度高くなる（塔野岡ら 2010a）。多肥栽培（箕田ら 2010）、止葉展開期追肥（吉田ら 2008）、穂揃期追肥（柳原ら 1991）などは高タンパク質化に伴い硝子率が増加するため、黒ボク土が大部分を占める栃木県内のシュンライ生産地では、タンパク質含有率が恒常的に高い地域や生産者には、全量基肥による減肥栽培が指導され、追肥は原則禁止としている（栃木県 2019）。しかし、減肥栽培による低タンパク質化で硝子率を抑制する方法では収量確保が困難であることが指摘されており（長嶺ら 2015）、生産者の所得向上のためには、収量の安定化を図りつつ、硝子率の低減が達成できる栽培法の開発が必要となる。

オオムギは食物繊維が豊富に含まれ、その機能性に注目が集まっている。特に、細胞壁多糖の一種である (1-3,1-4)- β -D グルカン（以下、 β -グルカン）の機能性についての研究が進んでおり、血中コレステロール濃度の正常化や食後血糖値の上昇抑制、内臓脂肪蓄積抑制や、満腹感の持続とエネルギー摂取量の調節に対して効果があること

が報告されている（青江 2015, Aoe ら 2017）。米国や EU 諸国などのヘルスクレーム（健康強調表示）に続き、国内においても 2015 年度から始まった機能性表示食品制度において、 β -グルカンを機能性関与成分とした食品が、2019 年 7 月現在で 20 製品受理されている（消費者庁 2019）。生活習慣病罹患率が増加する中、 β -グルカンを豊富に含むオオムギの需要はさらに広がることが予想される。商品として流通する場合、特に関与成分の含量を示す機能性表示食品では β -グルカン含有率の担保は重要な課題であるが、その含有率は環境条件で変動し、タンパク質含有率との関連性が大きいことが知られている（加藤ら 1995, 竹内ら 2007）。また、 β -グルカン含有率を高める技術として出穂期 10 日後追肥が報告されているが（島崎・関 2019）、シュンライで実施した研究事例はない。今後の食用オオムギの品質および生産の高位安定化を目指す上で、 β -グルカン含有率の安定化を図る技術の開発は、極めて重要である。

そこで、本研究では、栃木県の食用オオムギ主力品種であるシュンライにおいて、硝子率と β -グルカン含有率の変動に関わる要因解析を行うとともに、施肥法による両品質の制御に関して試験し、一定の結果が得られたので報告する。

材料と方法

1. 現地試験の概要

六条オオムギ品種シュンライの栃木県内主要産地（以下、栃木現地）における生産物 2 年分（2015 年播、2016 年播）を対象とし、硝子率および β -グルカン含有率の変動要因解析を行った。対象地は真岡市、市貝町、芳賀町とし、分析点数は 2015 年播が 80 点、2016 年播が 88 点とした。栽培条件は県の栽培指針を基にした現地慣行栽培法によるもので、播種期は 11 月上旬から中旬の適期であった。除草および病害虫防除についても栽培指針に準じて行われていた。各年次の生産圃場ならびに生産物において、特記すべき諸病害、病害虫の発生はみられず、品質解析のための試験材料としては適切であった。

2. 施肥試験の構成

栃木県農業試験場（栃木県宇都宮市；以下、栃木農試）において、施肥法による硝子率および β -グルカン含有率の制御に向けて、2016 年播と 2017 年播にシュンライを供試して試験を実施した。圃場は、可給態窒素の多い高地力圃場（表層多腐植質黒ボク土、乾土 1 kg あたりの可給態窒素 112 mg、前作はソルゴー）および可給態窒素の少ない低地力圃場（表層多腐植質黒ボク土、乾土 1 kg あたりの可給態窒素 63 mg、前作は水稻）を用いた。両圃場ともに水田転換畑である。可給態窒素は、30℃ 4 週間保温静置法（日本土壌協会 2001）により測定した。高地力、低地力の判断は、地力増進法（昭和 59 年法律第 34 号）に

基づく地力増進基本指針（農林水産省 2008）を参考に、2016 年の試験播種前の可給態窒素量を基準として、水田の改善目標値（乾土 1 kg 当たり 80 mg 以上 200 mg 以下）を達成している圃場を「高地力圃場」、目標値下限を下回る圃場を「低地力圃場」とした。

施肥処理は、2016 年播では両圃場ともに、基肥に窒素成分で 10 a あたり 0, 4, 6, 8, 10, 12, 16 kg の 7 水準を 2 反復（乱塊法）で設定した。窒素肥料は硫安（N：21%）を用いた。追肥は行わなかった。

2017 年播では、各圃場の可給態窒素量および前年度収量に応じて異なる施肥水準を設定し、追肥時期と量の効果を検証した。つまり、高地力圃場においては、総窒素施肥量を N 成分で 10 a あたり 0, 6, 8, 10 kg、低地力圃場においては、10 a あたり 0, 7.5, 10, 12.5 kg に設定し、両圃場ともに、茎立期 30 日前、茎立期および出穂期 10 日後に追肥する区を設けた（第 1 表）。試験区は乱塊法で 2 反復とした。窒素肥料は、基肥、追肥ともに硫安（N：21%）を用いた。追肥時期は、茎立期 30 日前追肥が 2018 年 2 月 27 日、茎立期追肥が同年 3 月 30 日、出穂期 10 日後追肥が同年 4 月 26 日～5 月 6 日とした。基肥と追肥の施用方法は、試験区全面に表層散布とした。

すべての試験区において、基肥散布時に苦土重焼リン（ P_2O_5 :35%）を P_2O_5 成分で 22.5 kg/10 a、塩化カリ（ K_2O :60%）を K_2O 成分で 20.0 kg/10 a 施用した。また、BB 土づくり 937 号（ P_2O_5 :12%, Mg:7%, アルカリ分:37%）を高地力圃場では 80 kg/10 a、低地力圃場では 120 kg/10 a 施用した。播種日は、2016 年播では 11 月 7 日、2017 年播では、高地力圃場が 11 月 9 日、低地力圃場が 11 月 13 日とした。播種量は、両年ともに 192 粒/m²とし、条間 20 cm のドリル播とした。1 区面積は、2016 年播は 6.24 m²、2017 年播では 5.85 m²とした。

3. 茎立期 30 日前および茎立期の生育量の調査

施肥試験において、2016 年播の全試験区および 2017 年播の高地力圃場の試験区について、茎立期 30 日前および茎立期に、草丈、茎数および SPAD 値（SPAD-502Plus, コニカミノルタ社）を測定した。測定は各々の時期の追肥直前に行った。

4. 出穂期以降の生育特性および収量の調査

現地試験においては、成熟期に 1 サンプルあたり 1.5 m × 5 条分を収穫し、収穫前に稈長、穂長および穂数を測定した。施肥試験においては、すべての試験区について、出穂期、稈長、穂長、穂数、1 穂粒数、倒伏程度および成熟期を調査後、収穫適期にプロットコンバインにて 1 区あたり 3.6 m² 収穫した。収穫物は平型乾燥機で水分が 12% 前後になるまで熱風乾燥した後、唐箕にかけて屑麦等を除いたものを、収量、千粒重、容積重、整粒歩合の調査に供試した。調査は、「皮麦・裸麦（非醸造用二条大麦）

第1表 栃木農試で2017年播に実施した施肥試験の構成.

圃場区分	試験区名	窒素施肥量 (kg/10 a)				総窒素 施肥量 (kg/10 a)
		基肥	追肥			
			茎立期 30 日前	茎立期	出穂期 10 日後	
高地力	0-0-0	0	0	0	—	0
	6-0-0	6	0	0	—	6
	8-0-0	8	0	0	—	8
	10-0-0	10	0	0	—	10
	2-6-0	2	6	0	—	8
	2-0-6	2	0	6	—	8
	2-3-3	2	3	3	—	8
	2-2-2	2	2	2	—	6
	2-4-0-2	2	4	0	2	8
	2-0-4-2	2	0	4	2	8
	2-2-2-2	2	2	2	2	8
	2-3-3-2	2	3	3	2	10
低地力	0-0-0	0	0	0	—	0
	7.5-0-0	7.5	0	0	—	7.5
	10-0-0	10	0	0	—	10
	12.5-0-0	12.5	0	0	—	12.5
	2.5-7.5-0	2.5	7.5	0	—	10
	2.5-0-7.5	2.5	0	7.5	—	10
	2.5-3.75-3.75	2.5	3.75	3.75	—	10
	2.5-2.5-2.5	2.5	2.5	2.5	—	7.5
	2.5-5-0-2.5	2.5	5	0	2.5	10
	2.5-0-5-2.5	2.5	0	5	2.5	10
	2.5-2.5-2.5-2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	10
	2.5-3.75-3.75-2.5	2.5	3.75	3.75	2.5	12.5

調査基準 第1版」(農業研究センター 1986)に準じた。なお、収量および千粒重は水分含有率 12.5%換算値とした。

5. 品質関連形質の測定

収量調査後の粒厚 2.2 mm 以上の整粒を用いて、タンパク質含有率、硝子率、 β -グルカン含有率を各試験区 2 回測定した。タンパク質含有率は、近赤外分光計 (Inframatic IM7500, Perten Instruments 社) で測定し、無水換算値とした。硝子率は、硝子率判定器 (RN-840, ケット社) の基本設定の通り、原麦 100 粒の横断面における硝子質部分の面積比率の平均値とした。 β -グルカン含有率は、原麦を粉砕機 (Cyclotec 1093 Sample mill, Foss 社) を用いて粒径 0.5 mm 以下に粉砕し、市販の測定キット (Mixed Linkage β -glucan Assay kit, Megazyme 社) にて測定し、無水換算値とした。

6. 土壌分析

現地試験において、オオムギ収穫後の土壌を採取して化学性を分析した。項目は、リン酸吸収係数、pH、EC、硝酸態窒素、可給態リン酸、CEC、交換性石灰、交換性

苦土、交換性カリ、塩基飽和度、マンガン、ホウ素、亜鉛、銅とし、株式会社 JA グリーンとちぎに依頼した。

結 果

1. 現地試験における硝子率および β -グルカン含有率

(1) 硝子率と β -グルカン含有率の要因分析

第2表に現地試験で収集したシュンライの硝子率、 β -グルカン含有率、タンパク質含有率、収量および主な土壌分析値との形質間相関係数を示した。2 ヶ年ともに有意な相関関係を示した形質は以下のとおりであった。土壌のリン酸吸収係数は、硝子率、 β -グルカン含有率およびタンパク質含有率との間に正の相関を示し、2015 年播と 2016 年播の相関係数は、それぞれ硝子率との間が 0.74 と 0.62、 β -グルカン含有率との間が 0.73 と 0.40、タンパク質含有率との間が 0.72 と 0.58 であった。同様に、可給態リン酸 / リン酸吸収係数 $\times 100$ は、硝子率およびタンパク質含有率との間に負の相関を示し、相関係数は、それぞれ硝子率との間が -0.56 と -0.34、タンパク質含有率との間が -0.52 と -0.22 であった。また、硝子率、 β -グルカン含有率およびタンパク質含有率の間には互いに高

第2表 現地試験シュンライの硝子率、β-グルカン含有率、タンパク質含有率、収量および土壌化学性の形質間相関係数。

形質	リン酸 吸収係数	硝子率	β-グルカン 含有率	タンパク質 含有率	収量	可給態 リン酸	可給態リン酸 / リン酸吸収 係数×100	石灰 / 苦土	銅
リン酸吸収係数	1	—	—	—	—	—	—	—	—
硝子率	0.74** 0.62**	1	—	—	—	—	—	—	—
β-グルカン含有率	0.73** 0.40**	0.85** 0.73**	1	—	—	—	—	—	—
タンパク質含有率	0.72** 0.58**	0.93** 0.85**	0.87** 0.88**	1	—	—	—	—	—
収量	0.40** -0.09	0.56** 0.06	0.54** -0.03	0.54** -0.06	1	—	—	—	—
可給態リン酸	-0.60** -0.45**	-0.42** -0.17	-0.29** 0.02	-0.37** -0.05	-0.16 0.37**	1	—	—	—
可給態リン酸 / リン酸吸収係数×100	-0.77** -0.69**	-0.56** -0.34**	-0.45** -0.11	-0.52** -0.22*	-0.28* 0.29**	0.95** 0.94**	1	—	—
石灰 / 苦土	-0.56** -0.17	-0.64** -0.08	-0.65** -0.05	-0.68** -0.12	-0.29* -0.01	0.35** 0.04	0.40** 0.18	1	—
銅	-0.71** -0.01	-0.63** -0.13	-0.69** -0.13	-0.67** -0.14	-0.36** -0.13	0.37** -0.30**	0.49** -0.26*	0.55** -0.18	1

上段は2015年播現地生産物80点の相関係数を示し、下段は2016年播現地生産物88点の相関係数を示す。

**は1%水準で、*は5%水準で有意差があることを示す。

第3表 現地試験においてリン酸吸収係数ごとにみたシュンライの硝子率、β-グルカン含有率、タンパク質含有率、収量および土壌化学性。

播種年	リン酸 吸収係数	n	リン酸 吸収係数	硝子率 (%)	β-グルカン 含有率 (%)	タンパク質 含有率 (%)	収量 (kg/10 a)	可給態 リン酸 (mg/kg)	可給態リン酸 /リン酸吸収 係数 × 100	石灰/苦土	銅 (ppm)
2015	1500 未満	25	1352 ^c ±99	37.1 ^b ±6.3	4.03 ^b ± 0.3	7.95 ^b ±1.0	291 ^b ±113	346 ^a ±126	2.55 ^a ±0.8	9.18 ^a ±1.4	6.69 ^a ±1.1
	1500～2000	23	1688 ^b ±100	42.4 ^b ±7.0	4.17 ^b ± 0.3	8.71 ^b ±1.1	322 ^b ±107	291 ^a ±128	1.76 ^b ±0.9	8.91 ^a ±1.0	6.93 ^a ±1.3
	2000 以上	32	2473 ^a ±167	62.4 ^a ±13.4	4.88 ^a ± 0.5	11.57 ^a ±2.1	417 ^a ±135	181 ^b ±78	0.75 ^c ±0.4	7.22 ^b ±1.9	2.88 ^b ±2.0
2015 年分散分析			**	**	**	**	**	**	**	**	**
2016	1500 未満	14	1447 ^c ±38	53.0 ^b ±7.4	4.61 ^{ab} ±0.2	9.09 ^b ±1.0	390 ±86	290 ^a ±130	2.00 ^a ±0.9	8.42 ^a ±0.9	3.22 ±3.1
	1500～2000	33	1684 ^b ±151	53.6 ^b ±8.2	4.59 ^b ± 0.3	9.14 ^b ±1.7	443 ±148	290 ^a ±93	1.77 ^a ±0.6	8.21 ^a ±2.0	2.16 ±3.5
	2000 以上	41	2271 ^a ±164	65.2 ^a ±9.6	4.86 ^a ± 0.5	11.37 ^a ±2.4	429 ±146	202 ^b ±115	0.90 ^b ±0.5	6.61 ^b ±2.7	2.11 ±2.4
2016 年分散分析			**	**	*	**	ns	**	**	**	ns

**, *はそれぞれ分散分析により1%水準、5%水準で有意であることを示し、nsは有意差がないことを示す。

同一の英文字はTukeyの多重比較により5%水準で有意差がないことを示す。

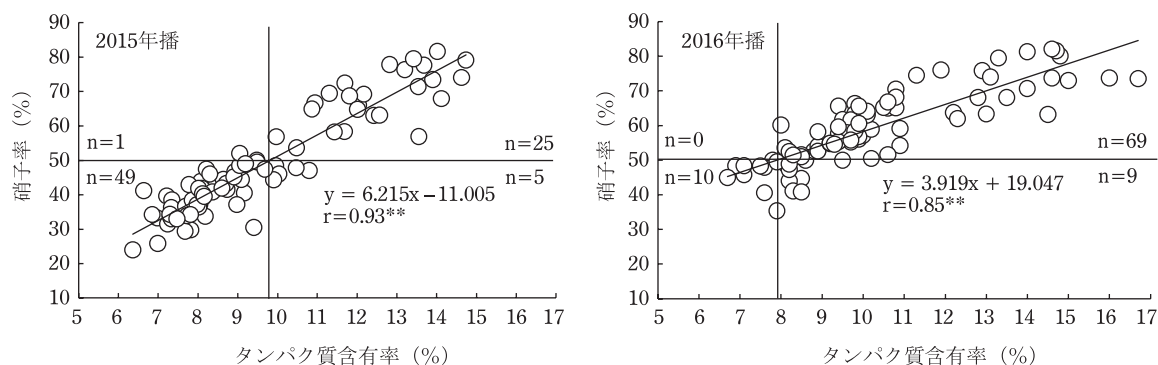
数値は、平均値±標準偏差を示す。

い相関が認められ、両年の相関係数は、硝子率とβ-グルカン含有率との間がそれぞれ0.85と0.73、硝子率とタンパク質含有率との間が0.93と0.85、β-グルカン含有率とタンパク質含有率との間が0.87と0.88であった。

(2) 硝子率、β-グルカン含有率および関連形質の変動

第3表に現地試験で収集したシュンライの硝子率、β-グルカン含有率、タンパク質含有率、収量および主な土壌分析値の実態を示した。収集した地域はすべて黒ボク土であり、リン酸吸収係数が1150から2600と幅広く、硝子率、β-グルカン含有率に差がみられたので、リン酸吸収

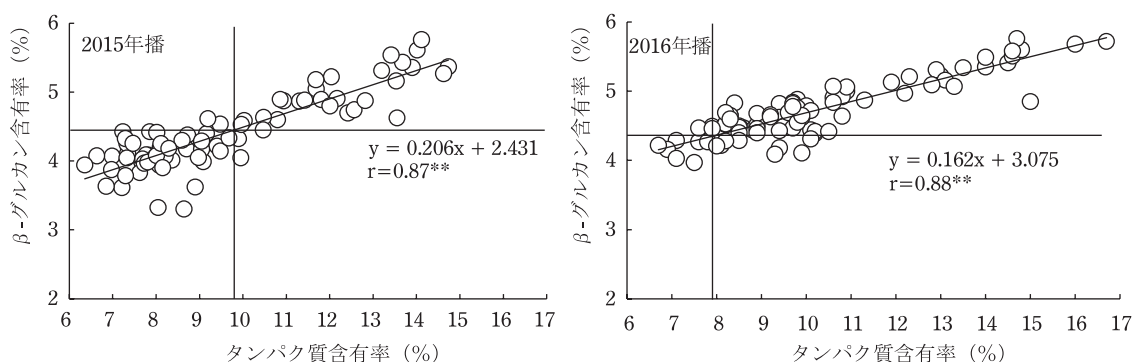
係数を1500未満、1500～2000、2000以上の3区分にして各形質を比較した。リン酸吸収係数の小さい方から順に示すと、硝子率は2015年播では37.1、42.4、62.4%、2016年播では53.0、53.6、65.2%であり、いずれの年次でも前2者に比べて後者では有意に高かった。β-グルカン含有率は、2015年播では4.03、4.17、4.88%と前2者に比べて後者では有意に高く、2016年播では4.61、4.59、4.86%とリン酸吸収係数1500～2000に比べ2000以上では有意に高かった。タンパク質含有率は、2015年播では7.95、8.71、11.57%、2016年播では9.09、9.14、11.37%といずれの年次でも前2者に比べ後者では有意に



第1図 現地試験シュンライのタンパク質含有率と硝子率の関係。

図中の横線は、硝子率の許容値 (50%) を示し、縦線は回帰式により算出したタンパク質含有率 (2015 年播: 9.8%, 2016 年播: 7.9%) を示す。

** は 1% 水準で有意であることを示す。



第2図 現地試験シュンライのタンパク質含有率とβ-グルカン含有率の関係。

図中の縦線は、回帰式により求めた硝子率が許容値 (50%) となるタンパク質含有率 (2015 年播: 9.8%, 2016 年播: 7.9%) を示す。

** は 1% 水準で有意であることを示す。

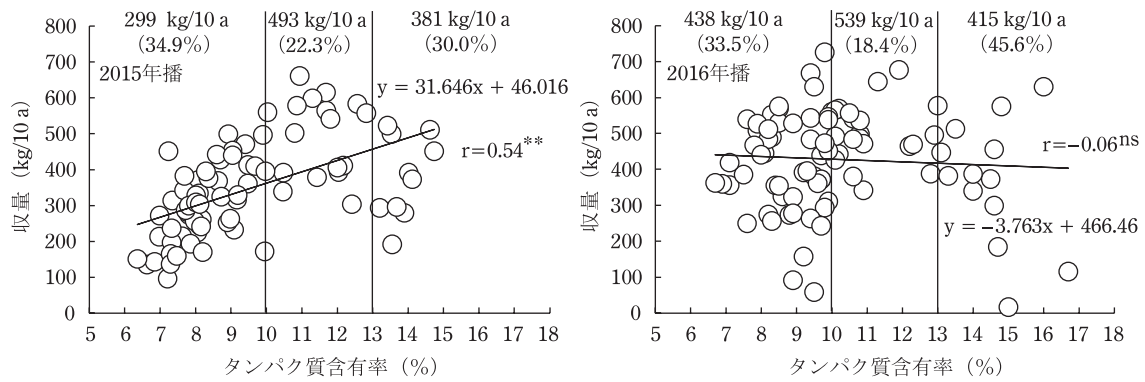
高かった。収量は、2015 年播では 291, 322, 417 kg/10 a と前 2 者に比べ後者では有意に高かったが、2016 年播では有意な差は認められなかった。一方、土壌の可給態リン酸は、2015 年播では 346, 291, 181 mg kg⁻¹, 2016 年播では 290, 290, 202 mg kg⁻¹ と、いずれの年次でも前 2 者に比べ後者では有意に低かった。可給態リン酸 / リン酸吸収係数 × 100 は、2015 年播では 2.55, 1.76, 0.75 とリン酸吸収係数が高まるほど有意に低くなった。2016 年播では 2.00, 1.77, 0.90 と前 2 者に比べ後者では有意に低かった。交換性石灰 / 交換性苦土は、2015 年播では 9.18, 8.91, 7.22, 2016 年播では 8.42, 8.21, 6.61 と、いずれの年次でも前 2 者に比べ後者では有意に低かった。銅は、2015 年播では 6.69, 6.93, 2.88 ppm と前 2 者に比べ後者では有意に低かったが、2016 年播では有意な差は認められなかった。出穂期、稈長、穂長、穂数、一穂粒数、倒伏程度、成熟期、pH、EC、硝酸態窒素、CEC、交換性カリ、塩基飽和度、マンガン、ホウ素、亜鉛には一定の傾向が認められなかった (データ省略)。

(3) 硝子率およびβ-グルカン含有率の制御

第1図に現地試験のタンパク質含有率と硝子率の関係を示した。硝子率は年次間で異なり、2015 年播よりも 2016 年播の方が高い値を示した。回帰式を用いて硝子率が許容値 (50%) となるタンパク質含有率を求めると、2015 年播では 9.8%, 2016 年播では 7.9% と算出された。

第2図に現地試験のタンパク質含有率とβ-グルカン含有率の関係を示した。第1図で求めた硝子率が許容値となるタンパク質含有率のときのβ-グルカン含有率を求めると、2015 年播では 4.39%, 2016 年播では 4.35% であった。

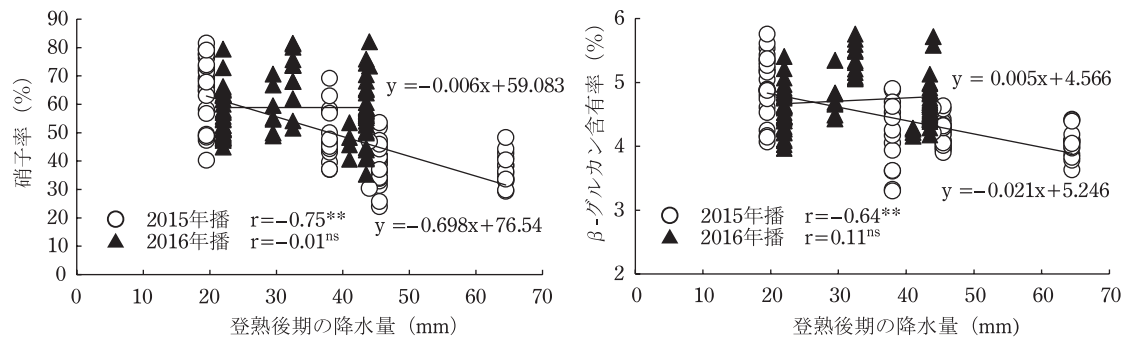
第3図に現地試験のタンパク質含有率と収量との関係を示した。両者の関係は年次によって異なり、2015 年播では正の相関関係が認められたが、2016 年播では相関は認められなかった。2カ年ともに、タンパク質含有率に応じて収量の変動性が異なった。タンパク質含有率を 10% 未満、10~13%, 13% 以上の 3 区分にし、収量の平均値と変動係数を示すと、2015 年播では 10% 未満が 299 kg/10 a と 34.9%, 10~13% が 493 kg/10 a と 22.3%, 13% 以上が 381 kg/10 a と 30.0%, 2016 年播では 10% 未満が 438



第3図 現地試験シュンライのタンパク質含有率と収量の関係。

図中の上段の数字は、収量の平均値(変動係数)を示す。

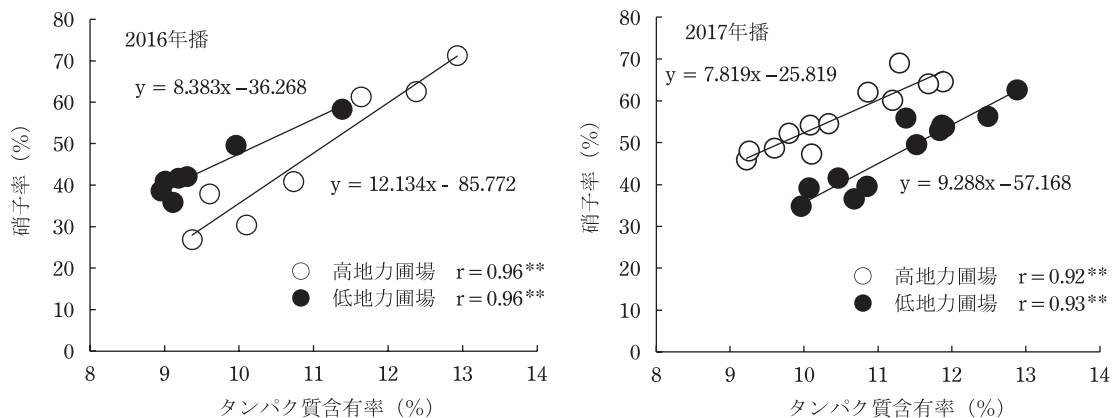
** は1%水準で有意であることを示し、nsは有意差がないことを示す。



第4図 現地試験シュンライの登熟後期の降水量と硝子率、β-グルカン含有率との関係。

収穫14日前から収穫日までの降水量を登熟後期の降水量とした。

** は1%水準で有意であることを示し、nsは有意差がないことを示す。



第5図 施肥試験シュンライのタンパク質含有率と硝子率の関係。

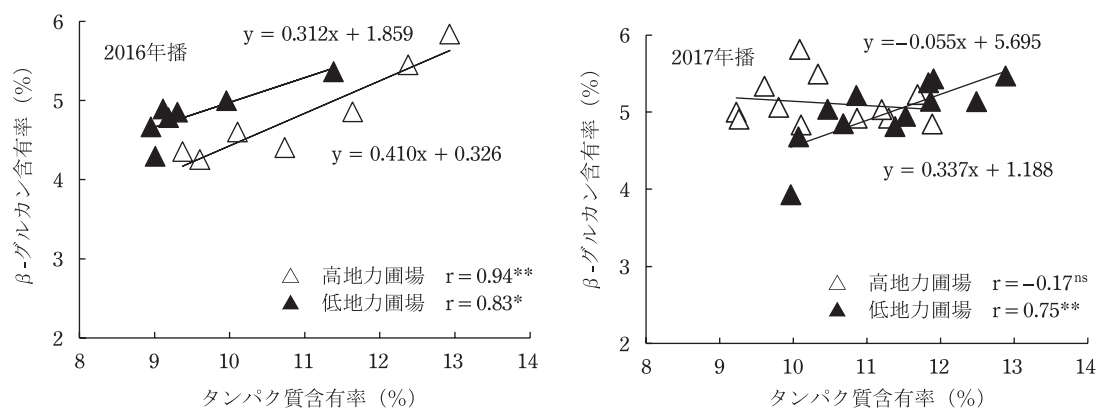
プロットは2反復の平均値を示す。

** は1%水準で有意であることを示す。

kg/10aと33.5%、10~13%が539 kg/10aと18.4%、13%以上が415 kg/10aと45.6%であり、2カ年ともにタンパク質含有率10~13%の範囲にあるサンプルが高収量で安定していた。回帰式により、硝子率が許容値(50%)となるタンパク質含有率のときの収量を算出すると、2015

年播では356 kg/10a(タンパク質含有率9.8%)であった。

第4図に現地試験の登熟後期の降水量と硝子率、β-グルカン含有率との関係を示した。収穫14日前から収穫日までの降水量を登熟後期の降水量とすると、2015年播では、硝子率、β-グルカン含有率と負の相関関係を示し、それぞ



第6図 施肥試験シュンライのタンパク質含有率と β -グルカン含有率の関係。

プロットは2反復の平均値を示す。

**は1%水準で、*は5%有意であることを示し、nsは有意差がないことを示す。

第4表 施肥試験シュンライの2017年播における茎立期30日前および茎立期の追肥が収量、品質および収量構成要素に与える影響。

圃場	試験区名	収量 (kg/10 a)	穂数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒/穂)	千粒重 (g/1000粒)	硝子率 (%)	β -グルカン 含有率 (%)	タンパク質 含有率 (%)
高地力	6-0-0	605 ± 152	395 ± 83.4	45.9 ± 4.7	42.0 ± 0.1	48.6 ± 1.6	5.3 ± 0.7	9.6 ± 0.5
	2-2-2	644 ± 16	497 ± 5.7	51.6 ± 2.5	40.5 ± 0.8	48.0 ± 0.4	4.9 ± 0.5	9.3 ± 0.2
	8-0-0	601 ± 7	526 ± 13.4	48.6 ± 0.8	43.8 ± 0.6	54.1 ± 2.7	5.8 ± 0.5	10.1 ± 0.0
	2-3-3	707 ± 24	527 ± 37.5	50.1 ± 0.4	41.3 ± 0.2	45.9 ± 1.6	5.0 ± 0.2	9.2 ± 0.7
	2-6-0	616 ± 27	522 ± 17.7	48.6 ± 0.8	44.1 ± 0.8	54.5 ± 2.5	5.5 ± 0.1	10.3 ± 0.4
	2-0-6	861 ± 110	505 ± 69.3	57.0 ± 0.0	40.4 ± 0.4	52.3 ± 5.3	5.1 ± 0.1	9.8 ± 0.3
低地力	7.5-0-0	389 ± 119	234 ± 26.9	54.3 ± 3.8	41.9 ± 1.1	39.1 ± 4.1	4.7 ± 0.1	10.1 ± 0.2
	2.5-2.5-2.5	472 ± 67	294 ± 0.0	57.3 ± 0.4	41.6 ± 0.6	34.8 ± 12.0	3.9 ± 0.6	10.0 ± 0.3
	10-0-0	614 ± 62	568 ± 45.3	48.0 ± 0.8	40.8 ± 0.5	41.5 ± 6.7	5.0 ± 0.1	10.5 ± 0.3
	2.5-3.75-3.75	643 ± 47	377 ± 11.3	57.3 ± 1.3	41.3 ± 0.3	39.5 ± 3.2	5.2 ± 0.0	10.9 ± 0.1
	2.5-7.5-0	588 ± 17	349 ± 7.8	58.2 ± 0.8	41.8 ± 0.8	36.5 ± 0.4	4.9 ± 0.3	10.7 ± 0.3
	2.5-0-7.5	529 ± 68	366 ± 106.8	51.0 ± 1.7	40.8 ± 0.5	55.9 ± 3.0	4.8 ± 0.0	11.4 ± 0.2

数値は、平均値 ± 標準偏差を示す。

れの相関係数は -0.75 と -0.64 であった。2016年播では相関関係がみられなかった。

2. 施肥試験での再現・検証と施肥法による制御の実証

(1) 施肥試験での現地圃場の再現・検証

第5図に施肥試験の2016年播および2017年播におけるタンパク質含有率と硝子率の関係を示した。相関係数は2016年播では高地力、低地力圃場ともに 0.96 、2017年播では高地力圃場が 0.92 、低地力圃場が 0.93 と2カ年ともに高い正の相関関係がみられ、現地試験の結果を再現できた。また、2016年播の高地力圃場は低地力圃場に比べて硝子率が低い傾向がみられたが、2017年播の高地力圃場はタンパク質含有率が同程度でも低地力圃場に比べて硝子率が高い傾向がみられた。回帰式を用いて硝子率が許容値(50%)となるタンパク質含有率を求めると、2016年播では高地力圃場が 11.2% 、低地力圃場が

10.3% 、2017年播では高地力圃場が 9.7% 、低地力圃場が 11.5% と算出された。

第6図に施肥試験の2016年播および2017年播におけるタンパク質含有率と β -グルカン含有率の関係を示した。相関係数は2016年播では高地力圃場が 0.94 、低地力圃場が 0.83 、2017年播では低地力圃場が 0.75 と、比較的高い正の相関が認められた。2017年播の高地力圃場では相関関係がみられなかったが、低地力圃場では2カ年ともに正の相関関係がみられ、現地試験の結果を再現できた。

(2) 施肥法による制御の実証

第4表に施肥試験の2017年播における茎立期30日前および茎立期の追肥が収量と品質に与える影響を示した。

全量基肥の場合の施肥量の比較では、高地力圃場においては、8-0-0は6-0-0に比べて収量は同程度であったが

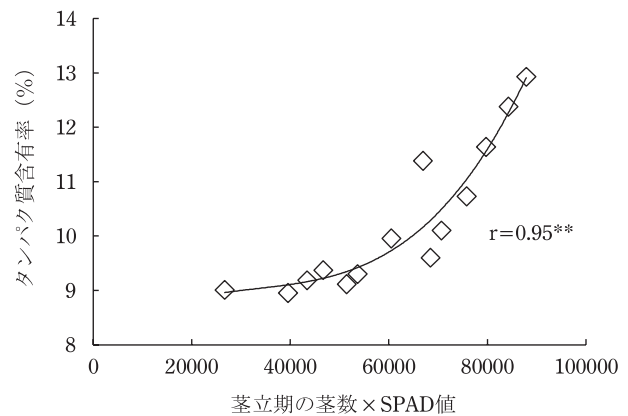
タンパク質含有率が高く、硝子率が高かった。低地力圃場の10-0-0は7.5-0-0に比べて収量が高く、タンパク質含有率が高く、硝子率が高かった。このように、両圃場とも総窒素施肥量が多いほど、明確にタンパク質含有率や硝子率が高まった。

茎立期30日前と茎立期の両方に追肥する体系と全量基肥の比較では、高地力圃場の2-2-2は6-0-0に比べて穂数と一穂粒数が増えて収量が僅かながら向上したが、タンパク質含有率と硝子率は同程度で、 β -グルカン含有率がやや減少する傾向がみられた。2-3-3は8-0-0に比べて、一穂粒数が増えて収量が向上し、タンパク質含有率が低下して、硝子率と β -グルカン含有率が減少する傾向がみられた。また、低地力圃場においては、2.5-2.5-2.5は7.5-0-0に比べて穂数と一穂粒数が増えて収量が向上し、タンパク質含有率は同程度であったが、硝子率と β -グルカン含有率が減少した。2.5-3.75-3.75は10-0-0に比べて穂数は減少したが一穂粒数は大きく増加して収量がやや向上した。タンパク質含有率はやや増加したが、硝子率は僅かながら低下し、 β -グルカン含有率はほぼ同程度であった。このように、茎立期30日前と茎立期の両方に追肥する体系では、全量基肥に比べて、ほとんどのケースで一穂粒数が増加して収量が向上し、硝子率が減少する傾向となった。一方で、 β -グルカン含有率は減少した。

茎立期30日前と茎立期のどちらか一方に追肥する体系と全量基肥の比較では、高地力圃場の2-0-6は8-0-0に比べて一穂粒数が大きく増加して収量が顕著に向上したが、タンパク質含有率の低下は僅かであり、硝子率はほとんど変わらず、 β -グルカン含有率は減少した。2-6-0は収量、タンパク質含有率、硝子率、 β -グルカン含有率ともに8-0-0とほぼ同程度であった。低地力圃場の2.5-0-7.5は10-0-0に比べて一穂粒数が増加したが穂数が大きく減少して収量が減少し、タンパク質含有率が増加して、硝子率も増加し、 β -グルカン含有率が同程度であった。2.5-7.5-0は10-0-0に比べて、一穂粒数が大きく増加したが穂数が少なく、収量が僅かに減少した。タンパク質含有率は同程度であり、硝子率が低下したが、 β -グルカン含有率が同程度であった。このように、茎立期30日前、茎立期のどちらか一方に追肥する体系では、地力にかかわらず収量や硝子率の改善がみられないケースが多かった。

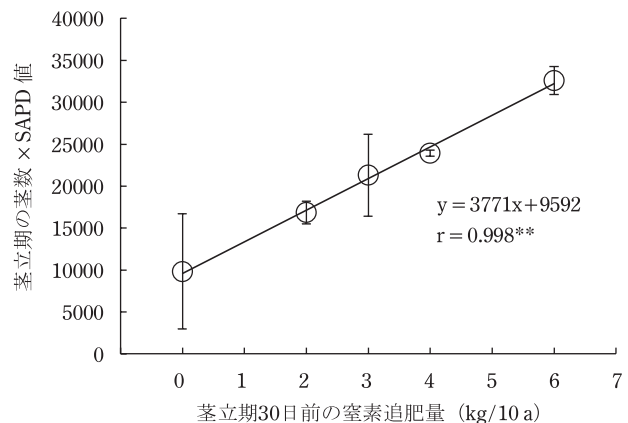
第7図に施肥試験の2016年播における茎立期の茎数×SPAD値とタンパク質含有率の関係を示した。タンパク質含有率の説明変数は、茎立期の茎数では88%であり、SPAD値は67%であった（データ省略）。精度を高めるために両者を掛け合わせた茎立期の茎数×SPAD値は、タンパク質含有率の変動を90%説明でき、茎立期の茎数×SPAD値が高くなるほどタンパク質含有率が高まる関係が認められた。

第8図に施肥試験の2017年播の高地力圃場における茎立期30日前の窒素追肥量と茎立期の茎数×SPAD値の関



第7図 施肥試験シュンライの2016年播における茎立期の茎数×SPAD値とタンパク質含有率の関係。

**は1%水準で有意であることを示す。



第8図 施肥試験シュンライの2017年播高地力圃場における茎立期30日前の窒素追肥量と茎立期の茎数×SPAD値の関係。

基肥窒素量は全て2 kg/10 a。

エラーバーは標準誤差を示す。

**は1%水準で有意であることを示す。

係を示した。両者の間には直線的な正の相関関係が認められ、次の回帰式が得られた。

$$y = 3771 \times x + 9552 \quad (R^2 = 0.996)$$

ここで、 y は茎立期の茎数×SPAD値、 x は茎立期30日前の窒素追肥量(kg/10 a)を示す。

第5表に施肥試験における出穂期10日後の追肥が収量と品質に与える影響を示した。高地力圃場では、出穂期10日後追肥区(2-4-0-2, 2-0-4-2, 2-2-2-2)は、2-3-3-0に比べてタンパク質含有率の増加に伴い、硝子率が顕著に増加して許容値を超過した。また、 β -グルカン含有率はほぼ同程度であり、収量は一様に低下した。低地力圃場でも同様の挙動を示し、出穂期10日後追肥区(2.5-5-0-2.5, 2.5-0-5-2.5, 2.5-2.5-2.5-2.5)は、2.5-3.75-3.75-0に比べて、タンパク質含有率の増加に伴い、硝子率が顕著に増加して許容値を超過した。 β -グルカン含有率はほぼ同程度で、収量は一様に低下した。

第5表 施肥試験シュンライの2017年播における出穂期10日後の追肥が品質および収量に与える影響。

圃場	試験区名	硝子率 (%)	β -グルカン含有率 (%)	タンパク質含有率 (%)	収量 (kg/10 a)
高地力	2-3-3-0	45.9 \pm 1.6	5.0 \pm 0.2	9.2 \pm 0.7	707 \pm 24
	2-6-0-0	54.5 \pm 2.5	5.5 \pm 0.1	10.3 \pm 0.4	616 \pm 27
	2-0-6-0	52.3 \pm 5.3	5.1 \pm 0.1	9.8 \pm 0.3	861 \pm 110
	2-2-2-2	60.1 \pm 6.9	5.0 \pm 0.1	11.2 \pm 0.3	653 \pm 20
	2-4-0-2	64.5 \pm 6.4	4.8 \pm 0.3	11.9 \pm 1.1	623 \pm 166
	2-0-4-2	69.0 \pm 4.9	4.9 \pm 0.5	11.3 \pm 0.1	643 \pm 114
低地力	2.5-3.75-3.75-0	39.5 \pm 3.2	5.2 \pm 0.0	10.9 \pm 0.1	643 \pm 47
	2.5-7.5-0-0	36.5 \pm 0.4	4.9 \pm 0.3	10.7 \pm 0.3	588 \pm 17
	2.5-0-7.5-0	55.9 \pm 3.0	4.8 \pm 0.0	11.4 \pm 0.2	529 \pm 68
	2.5-2.5-2.5-2.5	53.8 \pm 2.8	5.4 \pm 0.0	11.9 \pm 0.1	560 \pm 9
	2.5-5-0-2.5	56.3 \pm 4.6	5.1 \pm 0.5	12.5 \pm 0.3	538 \pm 22
	2.5-0-5-2.5	54.1 \pm 4.4	5.1 \pm 0.7	11.9 \pm 0.1	472 \pm 50

数値は、平均値 \pm 標準偏差を示す。

考 察

1. 硝子率、 β -グルカン含有率の変動のキーファクターはタンパク質含有率である

栃木県産シュンライでは、タンパク質含有率の制御が硝子率ならびに β -グルカン含有率を制御する上で最も有効であると考えられた。現地試験の結果、硝子率と β -グルカン含有率はタンパク質含有率との間に高い正の相関関係を示した(第2表)。施肥試験において、2017年播高地力圃場ではタンパク質含有率と β -グルカン含有率との間に相関関係はみられなかったが、その他の試験区では現地試験と同様に硝子率と β -グルカン含有率はタンパク質含有率との間に高い正の相関関係を示した(第5図、第6図)。タンパク質含有率と硝子率の関係は多くの先行研究で認められている(早乙女ら1991、久保田ら1991、水上・小林1993、竹内ら2007、Nagamineら2012、山口ら2015)。同様に、 β -グルカン含有率についてもタンパク質含有率との関係は認められている(加藤ら1995、Güler2003)。

タンパク質含有率を制御するためには、生産圃場のリン酸吸収係数に応じたリン酸肥料の施用を行い、可給態リン酸/リン酸吸収係数 $\times 100$ を向上させることが有効であると考えられた。現地試験の結果、タンパク質含有率、硝子率および β -グルカン含有率は、リン酸吸収係数との間に正の相関関係が認められた(第2表)。タンパク質含有率および硝子率は、可給態リン酸/リン酸吸収係数 $\times 100$ との間に負の相関がみられたことから、リン酸吸収係数が高い土壌ほど可給態リン酸が少ない傾向にあり(第3表)、タンパク質含有率が高まりやすく、硝子率が増加しやすい環境にあると考えられた。コムギにおいて、佐藤ら(1992)は、黒ボク土で窒素施肥をするとタンパク質含有率が高くなりすぎるが、収量の制限要因となってい

るリン酸を多量施用することで収量を高め、タンパク質含有率を適正値まで下げることができると報告している。また、Takahashi and Anwar (2007)は、黒ボク土における収量の安定化・向上のためにはリン酸施用が重要であると指摘している。したがって、現地圃場の土壌である黒ボク土では、リン酸肥料を増やすことが重要であるが、今回の現地圃場のリン酸吸収係数は1150~2500までの広範囲を示しており、必要なリン酸量がそれぞれ異なった。そのため、画一的な施用量では、圃場毎でリン酸の過不足が生じ、タンパク質含有率の変動を大きくしてしまう可能性がある。五月女ら(2010)は、ビールオオムギにおいて、リン酸改良資材の施用等の基本技術の未実施がタンパク質含有率のばらつきを大きくしていると報告している。

本研究結果から、タンパク質含有率を8%以下に制御することで、硝子率50%以下となる可能性が高まると考えられた。タンパク質含有率の目標値を硝子率許容値以下になるように定めると、回帰式により2015年播では9.8%、2016年播では7.9%となり、年次で異なった(第1図)。これは2016年播の硝子率が2015年播よりも高まったためである。また、硝子率は登熟期後期の降水量の影響によって変動することが示唆されており(早乙女ら1991、中村ら2008、長嶺ら2015、井上ら2017)、白間・菊池(2009)も同様の現象を認めている。 β -グルカン含有率も降雨の影響を受けることが報告されている(Aastrup1979)。本研究でも登熟後期の降水量が多かった2015年播では、硝子率ならびに β -グルカン含有率との間に負の相関関係がみられた(第4図)。そのような年次変動があってもサンプルの過半が硝子率の許容値50%以下とするためには、タンパク質含有率の目標を8%以下とすることが望ましいと考えられた。

タンパク質含有率を抑制する技術としては減肥栽培が

一般的であり、栃木県シュンライにおいても、全量基肥による減肥栽培が指導されている（栃木県 2019）。年次変動がみられたが、現地試験のサンプルはタンパク質含有率が低いものが多く、減肥栽培が広く行われているものと考えられた（第 1 図）。しかし、タンパク質含有率 10% 以下のサンプルでは収量の変動が大きく、不安定であった（第 3 図）。現地試験の土壌は黒ボク土であることから、低タンパク質含有率を目的とした過度な減肥が行われやすく、窒素量の不足が収量の変動を大きくしていると推察された。長嶺ら（2015）は、低タンパク質含有率化による硝子率抑制を可能にする減肥栽培では十分な収量の確保は困難であると指摘している。このように、過度な減肥は硝子率抑制に有効である反面、収量が不安定になる可能性があることに留意すべきである。

2. 窒素分施により収量の安定化と硝子率の抑制が可能である

施肥試験によって、茎立期 30 日前と茎立期の両方に追肥を行う分施体系は、全量基肥栽培に比べて、収量が多くなり、硝子率が低く、収量と品質を両立させる有望な技術と考えられた。つまり、一穂粒数を増やすことによって、子実一粒当たりの窒素蓄積量を抑え、硝子率の上昇を抑えることが重要であった。箕田ら（2010）は、7 葉期（茎立期 30 日前に相当）に追肥する体系は、全量基肥よりも硝子率が低く、収量が僅かではあるが増加する傾向があると報告している。本研究でも同様の結果となったが、二条ハダカムギを用いた箕田ら（2010）の研究では、収量増の要因は穂数増であり、六条カワムギを用いた本研究では、収量増加の要因は穂数増よりむしろ一穂粒数の増加によるところが大きかった（第 4 表）。山口ら（2015）は種子比重と硝子率の高い正の相関関係から、種子の登熟にともなう胚乳細胞への窒素物質の著しい充填が高硝子性をもたらすと考察している。施肥試験の結果、茎立期 30 日前と茎立期の両時期に追肥する区では、地力にかかわらず一穂粒数が増加して、硝子率が減少する傾向が認められた（第 4 表）。今回の試験で認められた茎立期 30 日前と茎立期の 2 回追肥による一穂粒数の増加は、シンの拡大によって転流物質の過剰充填を抑制し、硝子率の抑制に繋がる効果があったと考えられた（第 4 表）。今回、追肥を行った茎立期 30 日前はおおむね幼穂形成期、茎立期は幼穂の伸長期にあたり、一穂粒数の増大への効果があったものと推察され、収量に対する施肥時期別の窒素利用率は、基肥よりも茎立期 30 日前や茎立期の追肥の方が高いことを示した塚原ら（2020）の結果とも合致した。

さらに、Sharma and Bali（2018）によれば、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、全量基肥よりも分施体系の方が窒素利用効率は高いとされる。前述のように、栃木県のシュンライでは速効性肥料を用いた全量基肥栽培が慣行的に

行われており、窒素利用効率の面から考えると改善の余地があると考えられ、今回試験した茎立期 30 日前と茎立期にバランス良く追肥する方法は、窒素利用率を高めた収量安定化かつ硝子率低減化を両立させる新たな栽培法になり得る可能性がある。ただし、今回得られた結果は単年度であることから、追肥の効果について、累年で検証していく必要がある。また、硝子率の低減化に伴い β -グルカン含有率も低下する傾向がみられ（第 4 表）、品質項目間でのバランスを考慮する必要があると考えられた。

3. 茎数×SPAD 値を指標にタンパク質含有率を目標値に収める

硝子率とタンパク質含有率が強い正の相関関係があることを利用し、生育期間中にタンパク質含有率を推定できれば、硝子率を許容値以下に抑える確率が格段に上がる。そこで、生育期間のバイオマスからタンパク質含有率の推定を試みたところ、タンパク質含有率は茎立期の茎数×SPAD 値と強い相関関係を示し、タンパク質含有率の変動を 90% 説明できることが明らかとなった（第 7 図）。施肥試験における硝子率許容値以下となるタンパク質含有率の目標値は、2016 年播では高地力圃場が 11.2%、低地力圃場が 10.3%、2017 年播では高地力圃場が 9.7%、低地力圃場が 11.5% と算出され（第 5 図）、年次変動を考慮すると、タンパク質含有率 10% 以下とすることが望ましいと考えられた。硝子率許容値以下を達成しやすいタンパク質含有率 10% を目標にするならば、茎立期の茎数×SPAD 値の目標値は 65000 が目安と試算された（第 7 図）。

さらに、茎立期 30 日前の茎数×SPAD 値による診断を行い、必要窒素量を追肥することで、タンパク質含有率を 10% に収め、硝子率の低減化を達成できる可能性が示唆された（第 8 図）。今回得られた回帰式によると、茎立期 30 日前の窒素追肥量 1.0 kg/10 a につき、茎立期の茎数×SPAD 値は茎立期 30 日前のそれよりも 13363 増加する。この式を基準に 65000 を目標に茎立期 30 日前に追肥を行い、再度、茎立期に茎数×SPAD 値を実測して不足分を微調整することで、硝子率低減化を図ることができる。今回の予測式には茎数と SPAD を用いたが、茎数などのバイオマスは NDVI 値と相関が高いことが報告されており（Moges ら 2004, Cabrera-Bosquet ら 2011）、タンパク質含有率の予測には、マルチスペクトルセンサーも活用できる可能性がある。

4. β -グルカン含有率の制御は可能か？

出穂期 10 日後の追肥は、追肥無しに比べて、タンパク質含有率を期待どおり増加することができたが、 β -グルカン含有率はほとんど変わらなかった。むしろ硝子率が増加して品質の低下が顕著であった（第 5 表）。このことから、

シュンライにおける出穂期 10 日後の追肥は適切な技術ではないと考えられた。

塔野岡ら (2010b) は、遺伝的に硝子質粒が発生しにくい特性として、モチ性や破碎デンプン粒変異に注目し、高タンパク質含有率化しやすい黒ボク土においても硝子質粒がほとんど発生しないことを明らかにしている。また、内田ら (2020) は、モチ性ハダカムギの穂肥と開花期追肥の後期重点型の窒素施用が β -グルカン含有率を高めることを明らかにしている。 β -グルカン含有率の制御には、モチ性や破碎デンプン粒変異の特性を導入した品種において、穂肥と開花期追肥などを行うことが有効と考えられた。

謝辞：本研究は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター「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）」（2016～2018 年度）の予算を活用して行われた。関係各位に御礼申し上げます。本研究を遂行するにあたって、はが野農業協同組合の木下淳氏、鶴見拓巳氏、細島敬弘氏、芳賀農業振興事務所の薄井雅夫氏には現地生産物の収集に多大なるご協力を頂いた。また、当試験場技術員及びパート職員には試験圃場管理、調査補助に協力して頂いた。本研究を支えて頂いた方々に厚く謝意を表します。

引用文献

- Aastrup, S. 1979. The effect of rain on β -glucan content in barley grains. *Carlsberg Res. Commun.* 44: 381-393.
- 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.
- Aoe, S., Ichinose, Y., Kohyama, N., Komae, K., Takahashi, A., Abe, D., Yoshioka, T. and Yanagisawa, T. 2017. Effects of high β -glucan barley on visceral fat obesity in Japanese individuals: A randomized, double-blind study. *Nutrition* 42: 1-6.
- Cabrera-Bosquet, L., Molero, G., Stellacci, A.M., Bort, J., Nogués, S. and 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 Res. Commun.* 39: 147-159.
- Güler, M. 2003. Barley grain β -glucan content as affected by nitrogen and irrigation. *Field Crops Res.* 84: 335-340.
- 井上健一・和田陽介・奥村華子・中村真也 2017. 大麦の硝子質粒発生に及ぼす要因について I. 成熟期後の雨濡れの影響. *北陸作報* 52: 49-51.
- 加藤常夫・石川直幸・大塚勝・徳江紀子 1995. オオムギにおける β -グルカン及び β -グルカナーゼの環境変動と選抜効率. *栃木農試研報* 43: 127-138.
- 小池肇 2007. 白度が高い加工向き新品種が続々登場 麦ご飯の六条大麦はなんと国産です. *現代農業* 86: 270-274.
- 久保田基成・桑原達雄・井ノ口明義 1991. 大麦の精麦特性と千粒重、硝子率、タンパク質含量及びアミロース含量の関係. *北陸作報* 26: 89-92.
- 桑原達雄・久保田基成・井ノ口明義・斎藤稔・牛山智彦 1992. 大麦新品種「シュンライ」の育成経過と特性. *北陸作報* 27: 46-47.
- 箕田豊尚・重松統・柳澤貴司・長嶺敬・戸倉一泰・加藤徹 2010. 二条裸麦新品種「ユメサキボシ」に適する播種時期、播種量、施肥量および踏圧回数. *埼玉農総研報* 10: 37-47.
- 水上ゆかり・小林恭一 1993. 大麦の精麦加工適性と原麦の性状（硝子率割合、粒厚）との関係. *北陸作報* 28: 66-68.
- Moges, S.M., Raun W.R., Mullen, R.W., Freeman, K.W., Johnson, G.V. and Solie, J.B. 2004. Evaluation of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. *J. Plant Nutr.* 27: 1431-1441.
- Nagamine, T., Yanagisawa, T., Minoda, T., Shigematsu, O., Tokura, K. and Katou, T. 2012. Relationships between quality characteristics in the new two-rowed, hull-less barley cultivar “Yumesakiboshi”. *Japan Agricultural Res. Quarterly* 46: 151-159.
- 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.
- 中村和弘・細野哲・上原泰・牛山智彦 2008. 六条オオムギの精麦白度関連形質の要因解析と品種特性. *育種学研究* 10: 49-55.
- 日本土壤協会 2001. 土壤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. *日本土壤協会*, 東京. 66-69.
- 農業研究センター 1986. 皮麦・裸麦（非醸造用二条大麦）調査基準 第1版. *農研センター*, つくば. 1-74.
- 農林水産省 2008. 地力増進基本指針. https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/pdf/chi4.pdf (2019 年 7 月 16 日閲覧).
- 農林水産省 2019. 平成 30 年産麦の収穫量. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000031809280&fileKind=0> (2019 年 7 月 16 日閲覧).
- 早乙女和彦・星川清親・伊藤浩・宮川三郎 1991. 醸造用二条オオムギの硬質粒に関する研究. *栃木農試研報* 38: 37-58.
- 佐藤暁子・小柳敦史・末永一博・渡辺修・川口数美・江口久夫 1992. コムギ品質におよぼす土壌と窒素、リン酸施肥の影響. *日作紀* 61: 616-622.
- 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.
- Sharma, L.K. and Bali, S.K. 2018. A review of methods to improve nitrogen use efficiency in agriculture. *Sustainability* 10: 1-23.
- 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* 131.
- 白間香里・菊池清人 2009. 六条大麦シュンライ、シルキースノウの硬質粒発生要因解明. *栃木農試成果集* 27: 30-31.
- 消費者庁 2019. 機能性表示食品制度届出データベース https://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/foods_with_function_claims/ (2019 年 8 月 1 日閲覧).
- Takahashi, S. and 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 Res.* 101: 160-171.
- 竹内実・塔野岡卓司・近乗偉夫・吉良知彦 2007. 焼酎用オオムギ「ニシノホシ」の SKCS 硬度に影響する諸要因について. *日作九支報* 73: 28-32.
- 栃木県 2019. 2020 年産麦の栽培技術指針. <http://www.tochigi-beibaku.or.jp/data/gijutsu/mugi-shishin2020.pdf> (2019 年 7 月 15 日閲覧).

塔野岡卓司・河田尚之・吉岡藤治・乙部千雅子 2010a. 黒ボク土がオオムギの精麦品質に及ぼす影響－灰色低地土水田と黒ボク土畑におけるオオムギ精麦品質の差異－. 日作紀 79: 296-307.

塔野岡卓司・河田尚之・藤田雅也・吉岡藤治・乙部千雅子 2010b. 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.

塚原俊明・沖山毅・仲田聡・大山亮・石原島由依・関和孝博・加藤常夫 2020. 食用二条大麦「もち絹香」の窒素施肥方法の最適化. 栃木農試研報 80: 23-36.

内田多江子・高橋肇・稲葉俊二・吉岡藤治・高橋飛鳥・杉田知彦・荒木英樹・水田圭祐 2020. もち性はだか麦品種「キラリモチ」に

対する後期重点型の窒素増施が, 子実 β -グルカン含有率および子実収量に及ぼす影響. 日作紀 89: 195-202.

山口憲一・辻田泉・木村浩・水口聡・兼頭明宏・池田達哉・長嶺敬 2015. ハダカムギ「マンネンボン」の硝子率に対する種子比重の寄与. 日作紀 84: 271-278.

柳原元一・星川清親・飯沼千史 1991. 六條オオムギのガラス質粒発生におよぼす追肥量および追肥時期の影響. 日作東北支部報 34: 45-46.

吉田恭子・金田哲郎・畑中博英・武田康一・黒田晃 2008. 麦茶用高タンパクオオムギ生産のための追肥法について. 北陸作報 43: 89-92.

Factors of Fluctuation in Glassy Grain Rate and β -Glucan Content and their Control by Fertilizing Technology in Barley Cultivar Shunrai for Barley Rice. : Takeshi OKIYAMA¹⁾, Takashi YANAGISAWA²⁾, Takashi NAGAMINE³⁾, Makoto OYAMA⁴⁾, Takahiro SEKIWA⁵⁾ and Tsuneo KATO¹⁾ (¹⁾Tochigi Prefectural Agriculture Experiment Station, Utsunomiya, Tochigi 320-0002, Japan; ²⁾NARO Institute of Crop Science; ³⁾NARO Central Region Agricultural Research Center, Hokuriku Research Station; ⁴⁾Tochigi Prefecture Department of Agricultural Administration Production Promotion Division; ⁵⁾Tochigi Prefecture Sustainable Agriculture Extension Center)

Abstract : In barley for food uses, endosperm glassy grain rate is an important factor that affects pearling quality, while β -glucan has received increasing attention as a functional ingredient. We analyzed the factors affecting endosperm glassy grain rate and kernel β -glucan content from data collected in local growers' fields and studied nutrient-based techniques to manage these two parameters at the Tochigi Prefectural Agricultural Experiment Station. First, we conducted factorial analysis using the cultivar Shunrai grown in farmers' fields in Tochigi prefecture. Given that glassy grain rate and β -glucan content are strongly correlated with kernel protein content, we considered that high product quality depended on the management of protein content. Although the glassy grain rate varied with the year, the acceptable glassy grain rate level of not more than 50% was likely to be achieved when protein content was not more than 8%, with the resulting β -glucan content being 4.4%. However, our attempt to reduce protein content by low-nutrient cultivation resulted in substantial yield fluctuations and led us to conclude that this method is not suitable for achieving low glassy grain rate because it is accompanied by yield instability. Trials at the Tochigi Prefectural Agricultural Experiment Station indicated that split application at the beginning of stem elongation and 30 days before had a practical value as a fertilizing schedule because this schedule produced higher yields with lower glassy grain rate than single basal fertilization, albeit with lower β -glucan content. The results also suggested that the advisability of topdressing in light of keeping protein content within the target range could be determined by multiplying the number of stems by SPAD value, both measured 30 days before stem elongation began. The topdressing at 10 days after heading, which is believed to increase β -glucan content, reduced grain quality by increasing glassy grain rate and was therefore considered unsuitable for Shunrai.

Key words : Barley, β -glucan content, Glassy grain rate, Protein content, Shunrai, Split application.