

新潟県において開花期窒素追肥がパン用コムギ品種「ゆきちから」のリン吸収および子実灰分に及ぼす影響

渋川洋¹⁾・島崎由美¹⁾・南雲芳文²⁾・関正裕¹⁾

(¹⁾ 農研機構中央農業研究センター北陸研究拠点, (²⁾ 新潟県農業総合研究所作物研究センター)

要旨：新潟県内の砂丘地と水田転換畑においてパン用コムギ品種「ゆきちから」を栽培し、開花期の窒素追肥と子実灰分との関係を検討した。砂丘地では、開花期窒素追肥により子実灰分および子実リン含有率は増加したことから、リンが子実灰分の増加に寄与したことが明らかになった。水田転換畑では開花期窒素追肥と子実灰分との間に明瞭な関係は認めなかった。これは、砂丘地では開花期窒素追肥による整子実重の増加に対して子実リン含量の増加の度合いが大きかったのに対し、水田転換畑では開花期窒素追肥により子実リン含量は有意に増加しなかったことに起因した。開花期窒素追肥により登熟期リン吸収量は増加し、その増加量は砂丘地の方が多かった。砂丘地の可給態リン酸含量（トルオーグリン酸）は水田転換畑に比べて多かったことから、可給態リン酸含量が登熟期リン吸収量に影響を及ぼした可能性が示された。以上のことから、開花期窒素追肥と子実灰分との関係は、子実リン含量増分と整子実重増分のバランスにより異なることが明らかになった。また、可給態リン酸含量が多い土壌では、開花期窒素追肥により子実灰分は増加する可能性が示唆された。

キーワード：開花期窒素追肥、可給態リン酸、砂丘地、子実灰分、水田転換畑、パン用コムギ、リン吸収。

コムギ子実の灰分は子実の外皮に多く含まれ、比較的灰分の少ない胚乳でも中心部に比べて周辺部の灰分は多い（長尾 1998）。また、灰分は小麦粉の色と密接な関係があり、一般に、灰分が多くなるにつれて灰白色のくすみが増す（長尾 1998）。このため、子実灰分はコムギの品質にとって重要な要素であり、小麦品質ランク区分（以下、品質ランク区分と略記）の評価項目の一つに位置付けられている。パン用コムギにおける子実灰分の品質ランク区分基準値（以下、基準値と略記）は 1.75% 以下、同許容値（以下、許容値と略記）は 1.80% 以下とされている。また、小麦粉の製パン適性はタンパク質含有率と密接な関係があり、パン用コムギは日本めん用コムギよりも高いタンパク質含有率が求められている。このため、パン用コムギの子実タンパク質含有率の基準値は 11.5 から 14.0% とされ、子実タンパク質含有率を高めるためには開花期の窒素追肥（以下、開花期追肥と略記）が有効であり（山下ら 2005, 岩渕ら 2007）、子実タンパク質含有率と子実灰分の両者を基準値内にする栽培指針が求められている。

近年、新潟県では、耐寒雪性の強いパン用コムギ品種「ゆきちから」（吉川ら 2009）の作付面積が拡大している。「ゆきちから」は新潟市の砂丘地を中心に作付けされており、水田転換畑にも作付が広がりつつある。砂丘地では子実タンパク質含有率は基準値を満たすようになってきたが、子実灰分は許容値を越す事例が増えてきており、問題となっている。既報（渋川ら 2018）において、砂丘地（砂丘未熟土）や普通畑（黒ボク土）では開花期追肥により子実灰分は増加するが、水田転換畑（グライ低地土）では開花期追肥に

より子実灰分は増加しないことが明らかになった。既往の研究では、開花期追肥により子実灰分は増加する場合（江口ら 1969, 二瓶ら 2007）と、変わらない場合（岩渕ら 2007, 島崎ら 2016）とがあるが、開花期追肥と子実灰分との関係が異なる要因は不明である。子実灰分の主成分はリンとカリウムであるが（佐藤ら 1996, 長尾 1998）、開花期追肥による子実灰分の増加に寄与する成分は明らかにはなっていない。このため、子実灰分の増加に寄与する成分を明らかにした上で、砂丘地と水田転換畑で開花期追肥と子実灰分との関係が異なる要因を明らかにすることが重要である。砂丘地は砂丘未熟土から、水田転換畑はグライ低地土からそれぞれ成っている。砂丘未熟土は土性が砂土または壤質砂土で、排水性は良好という特性を持った土壌であり、グライ低地土は地下水にほぼ通年飽和されたグライ層上端が地表下 50 cm 以内に現れ、一般に排水不良という特性を持った土壌である（農耕地土壌分類委員会 1995）。

本研究では、砂丘地と水田転換畑とで開花期追肥と子実灰分との関係が異なる要因を解明するために、子実無機成分、養分吸収量および土壌養分について検討した。

材料と方法

1. 栽培方法

2015–16 年（2016 年産）、2016–17 年（2017 年産）、2017–18 年（2018 年産）の 3 ヶ年にわたり、新潟県新潟市の砂丘地 3 圃場（土壌群：砂丘未熟土、2015 年：A, B 圃場、2016, 2017 年：C 圃場、以下、新潟試験地と略記）および新潟県上越市にある中央農研北陸拠点内の水田転換畑 3 圃

第1表 耕種および施肥の概要.

試験地	場所	播種日	成熟期	栽植様式	播種量	基肥 (施用日)			追肥 (施用日)				
						N	P ₂ O ₅	K ₂ O	越冬前	越冬後	茎立期	止抽期	開花期
					g m ⁻²	g m ⁻²			g m ⁻²				
新潟試験地	A 圃場	2015/10/8	2016/6/10	条間 25 cm 畝なし	5.8	4.4	4.4 (2015/10/8)	4.4	1.1 (11/15)	2.9 (2016/3/9)	2 (3/31)	2 (4/15)	0, 6, 12 (5/2)
	B 圃場	2015/10/7	2016/6/10	条間 25 cm 畝なし	7.8	4.2	4.2 (2015/10/7)	4.2	1.6 (11/15)	2.9 (2016/3/9)	2 (3/31)	2 (4/15)	0, 6, 12 (5/2)
	C 圃場	2016/10/6	2017/6/15	条間 32 cm 5 条 / 畝	7.7	4	4 (2016/10/6)	4	2 (11/8)	3 (2017/3/1)	2 (3/28)	2 (4/17)	0, 6, 12 (5/8)
	C 圃場	2017/10/5	2018/6/15	条間 30 cm 畝なし	7.9	6	3.4 (2017/10/5)	3.4	2 (11/8)	3 (2018/3/8)	2 (3/27)	2 (4/12)	0, 6, 12 (5/1)
上越試験地	D 圃場	2015/10/16	2016/6/8	条間 25 cm 8 条 / 畝	9.0	5.4	5.4 (2015/10/16)	5.4	0	3 (2016/3/4)	2 (4/5)	2 (4/18)	0, 5 (5/9)
	E 圃場	2016/9/26	2017/6/13	条間 32 cm 5 条 / 畝	7.9	5.6	5.6 (2016/9/26)	5.6	2 (11/7)	3 (2017/3/2)	2 (3/30)	2 (4/20)	0, 6, 12 (5/9)
	F 圃場	2017/9/26	2018/6/13	条間 32 cm 5 条 / 畝	7.8	5.5	5.5 (2017/9/26)	5.5	0	4 (2018/3/20)	0	2 (4/18)	0, 6, 12 (5/4)

場 (土壌群: グライ低地土, 2015 年: D 圃場, 2016 年: E 圃場, 2017 年: F 圃場, 以下, 上越試験地と略記) において「ゆきちから」を栽培した. 第1表に耕種および施肥の概要を示した. 1 試験区の面積は, A 圃場では 16.4 m², B 圃場では 21.3 m², C 圃場では 16 m², D 圃場では 22 m², E 圃場では 16 m², F 圃場では 16 m² とした. 試験区の反復は A, B, D 圃場は 2 反復, C, E, F 圃場は 4 反復とした. 播種は機械によるドリル播きとした. 開花期は 1 穂につき数花開花を認めた穂が全体の 40 から 50% に達した時期とした (農業研究センター 1986). 処理として, 開花期追肥は無追肥, 窒素 6 g m⁻² および 12 g m⁻² の 3 水準を設けた. ただし, 上越試験地の 2016 年産は無追肥と窒素 5 g m⁻² の 2 水準とした. 基肥は, 2018 年産 C 圃場では窒素 14%, リン酸と加里は 8% の高度化成肥料を, その他の圃場は窒素, リン酸, 加里含量の等しい高度化成肥料を施用した. 追肥は硫酸を施用した.

D 圃場は前作が水稻で播種時期が遅くなり, 播種から冬期までの期間が短かったため, 越冬前追肥を省略した. F 圃場の越冬前追肥および茎立期追肥は生育量が十分だったため省略した. 赤かび病防除は, 開花期および開花期の約 1 週間後に適宜行った.

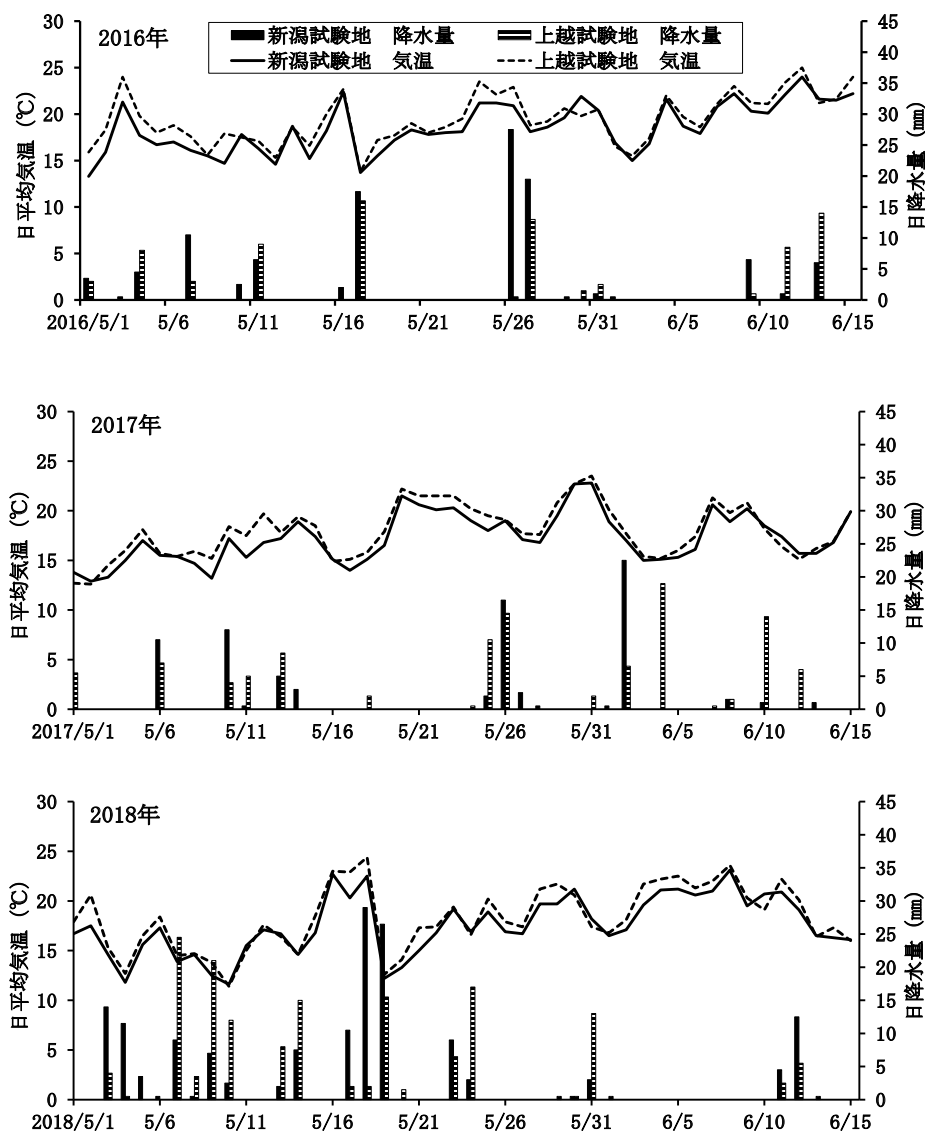
2. 土壌試料の採取および分析

コムギ収穫後に, 地表から深さ 10 cm までの土壌を採取した. 2016 年産の A, B および D 圃場は圃場全体から 5 ヲ所, その他の圃場は 1 試験区から 5 ヲ所採取し, ひとまとめにして十分混合, 風乾し供試分析試料とした. C, D, E および F 圃場の陽イオン交換容量 (CEC) は Schollenberger 法, 交換性塩基含量は原子吸光法 (日立ハイテクサイエン

ス社 ZA3000), 可給態リン酸含量は Truog 法により抽出し, アスコルビン酸還元法により発色させた後, 吸光光度法 (日立製作所 U-5100) により定量した. A および B 圃場は依頼分析 (新潟市農業活性化センター) により定量した.

3. 整子実重および千粒重の測定と子実の分析および子実無機成分の算出

成熟期に 1.2 から 2.2 m² の部分刈りを 1 反復につき 1 ヲ所行い, 整子実重および千粒重を小麦調査基準 (農業研究センター 1986) に準じて調査し, 篩別には 2.2 mm の篩を用いた. 子実試料の一部は微粉砕し (大阪ケミカル Wonder Blender WB-1), 灰分および無機成分の分析に供した. 子実タンパク質含有率は, 2016 年産では未粉砕の子実を近赤外分析計 (フォス・ジャパン (株) インフラテック 1241) により測定し, その他は全炭素・窒素同時分析装置 (ジェイ・サイエンス・ラボ, JM3000CN) で測定した子実窒素含有率に 5.83 を乗じて算出した. 子実灰分は強熱灰化法で測定した (農林水産省農業環境技術研究所 1992). 子実中の無機成分として, リン, カリウム, マグネシウムおよびカルシウムの 4 成分を測定した. リンはマイクロウェーブ酸分解法による硝酸分解後 (三愛科学 P25), アスコルビン酸還元法により発色させ, 吸光光度法 (日立製作所 U-5100) により定量した. カリウム, マグネシウムおよびカルシウムは乾式灰化法により分解後, 原子吸光法 (日立ハイテクサイエンス社 ZA3000) により定量した. 子実無機成分含量は, 子実リン, 同カリウム, 同マグネシウム, および同カルシウム含有率に整子実重を乗じ, 乾物換算で算出した.



第1図 登熟期（5月1日～6月15日）の日平均気温と日降水量。

新潟試験地は近傍のアメダス地点である新潟県松浜の値を、上越試験地は中央農研北陸拠点内気象観測装置の値をそれぞれ用いた。

4. 乾物重の測定および植物体の分析

2017および2018年産では、開花期追肥日（以下、開花期）、開花期追肥10日後（以下、開花10日後）、同20日後（以下、開花20日後）および成熟期に植物体のサンプリングを行った。サンプリング面積は0.15ないし0.16 m²とした。植物体は根ごと抜き取り根部を除去した後、穂と茎葉に分け、70℃の通風乾燥機で72時間乾燥し乾物重を測定した。乾物重を測定した後の穂と茎葉を微粉碎し（大阪ケミカル Wonder Blender WB-1）、粉末試料とした。リンはマイクロウェーブ加熱分解法により硝酸分解し（三愛科学 P25）、アスコルビン酸還元法により発色させた後、吸光度法（日立製作所 U-5100）により定量した。窒素は全炭素・窒素同時分析装置（ジェイ・サイエンス・ラボ、JM3000CN）で定量した。

結 果

1. 登熟期の気象概況

第1図に2016から2018年における登熟期の日平均気温と日降水量を示した。2016から2018年における新潟試験地の日平均気温は、それぞれ13.3から24.0℃、12.9から22.8℃および11.6から23.1℃の範囲で推移した。同年における上越試験地の日平均気温は13.8℃から26.0℃、12.6から23.5℃および11.4から24.4℃の範囲で推移しており、同一年における新潟試験地と上越試験地の日平均気温の推移はほぼ同じであった。また、2016から2018年の登熟期における新潟試験地の降水量はそれぞれ110、79および157 mmで、同年における上越試験地の降水量は81、107および156 mmだった。2017年における登熟期後半の降水量は上越試験地の方が多かったものの、

第2表 新潟試験地および上越試験地の土壌化学性.

試験地	年次	圃場	pH	可給態 P ₂ O ₅	CEC	交換性 Ca	交換性 Mg	交換性 K
			(H ₂ O)	mg kg ⁻¹ 乾土				
新潟試験地	2016 年産	A 圃場	5.6	400	2.8	2.0	0.28	0.23
		B 圃場	6.5	530	2.5	2.8	0.35	0.32
	2017 年産	C 圃場	5.2	427	2.8	1.3	0.27	0.18
	2018 年産	C 圃場	5.1	314	3.8	0.6	0.10	0.10
上越試験地	2016 年産	D 圃場	6.0	48	31.9	22.1	2.91	0.38
	2017 年産	E 圃場	6.0	44	31.8	18.8	3.95	0.38
	2018 年産	F 圃場	5.9	106	36.9	16.1	5.76	0.23

同一年における新潟試験地と上越試験地の日降水量の分布は類似していた。このことから、登熟期における両試験地の気温および降水量の推移は大差がないと判断できた。

2. 新潟試験地および上越試験地の土壌化学性

第2表に新潟試験地および上越試験地における跡地土壌の土壌化学性を示した。B圃場を除く新潟試験地のpHは上越試験地を下回った。新潟試験地の陽イオン交換容量は上越試験地に比べてかなり少なく、砂丘未熟土から成る新潟試験地とスメクタイト主体のグライ低地土から成る上越試験地の母材の違いを反映していた。2018年産C圃場の交換性カルシウムおよび同マグネシウム含量は他の新潟試験地に比べてかなり少なかった。また、2018年産C圃場を除く新潟試験地の交換性カリウム含量は陽イオン交換容量に比して多かったのに対し、上越試験地の交換性カリウム含量は陽イオン交換容量に比して少なかった。新潟試験地の可給態リン酸含量は上越試験地に比べてかなり多かった。

3. 子実灰分、子実タンパク質含有率、子実無機成分含有率および子実無機成分含量

第3表に子実灰分、子実タンパク質含有率および子実無機成分含有率を示した。開花期追肥量の増加に伴い子実タンパク質含有率は増加した。新潟試験地の子実灰分および子実リン含有率は開花期追肥により0.05から0.21ポイントおよび0.03から0.13ポイント増加し、有意な区間差を認めた。これに対し、上越試験地では開花期追肥と子実灰分および開花期追肥と子実リン含有率との関係は不明瞭で区間差を認めず、新潟試験地と傾向が異なった。新潟試験地の2017年産C圃場における開花期追肥6 g m⁻²区および同12 g m⁻²区の子実灰分は1.74%および1.83%で、基準値上限または許容値超過だった。一方、子実カリウム含有率はD圃場を除き開花期追肥により0.03から0.08ポイント減少し、3年間の平均では、両試験地とも区間差は有意であった。子実マグネシウム含有率は開花期追肥による有意な増加を認めなかった。子実カルシウム含有率については新潟試験地において開花期追肥による増加を認めたが、子実カルシウム含有率は他の無機成分含有率に比べ

て非常に低く、子実灰分への寄与は殆どなかった。

第4表に整子実重、千粒重および子実無機成分含量を示した。新潟試験地ではB圃場の開花期追肥6 g m⁻²区の子実重は開花期無追肥区を下回ったが、3年間の平均では開花期追肥により整子実重は有意に増加した。上越試験地のE圃場では開花期追肥により千粒重は増加しなかったものの、3年間の平均では両試験地とも開花期追肥により千粒重は有意に増加した。新潟試験地では開花期追肥によって子実リン含量は有意に増加したのに対し、上越試験地では有意な区間差を認めず、両試験地で開花期追肥と子実リン含量の関係は異なった。子実カリウム含量およびマグネシウム含量に有意な差は認めなかった。子実カルシウム含量は新潟試験地において開花期追肥による増加を認めたが、他の子実無機成分に比べて含量は少なかった。

4. 全窒素吸収量、全リン吸収量、穂リン含量、茎葉蓄積由来リン量および登熟期リン吸収量

第5表に2017および2018年産における全窒素吸収量、全リン吸収量、穂リン含量、茎葉蓄積由来リン量および登熟期リン吸収量を示した。両試験地とも成熟期の全窒素吸収量および全リン吸収量は開花期追肥により増加し、有意な区間差を認めた。両試験地における成熟期の全窒素吸収量は同等だったが、成熟期の全リン吸収量は新潟試験地が上越試験地を上回った。また上越試験地では、F圃場の開花期無追肥区における開花期と成熟期の全リン吸収量には差がなく、みかけ上、登熟期のリン吸収を認めなかった。E圃場においても、開花期から開花後20日後にかけて、登熟期のリン吸収を認めなかった。

成熟期穂リン含量は開花期穂リン含量と登熟期リン吸収量および茎葉蓄積由来リン量（開花期全P吸収量と開花期穂P含量の差から成熟期全P吸収量と成熟期穂P含量の差を差し引いたもの）に分割される（第5表）。登熟期リン吸収量は開花期追肥により増加したが、茎葉蓄積由来リン量は開花期追肥による有意な増減を認めなかった。このことから、開花期追肥による成熟期穂リン含量の増加は登熟期リン吸収量の増加に起因することが分かった。

第3表 子実灰分、子実タンパク質含有率および子実無機成分含有率。

試験地	年次	場所	開花期追肥 N 量	子実灰分	子実タンパク質 含有率	P	K	Mg	Ca
			gm ⁻²						
新潟試験地	2016 年産	A 圃場	0	1.56	9.3	0.38	0.46	0.14	0.029
			6	1.66	11.9	0.43	0.43	0.15	0.029
			12	1.66	15.8	0.51	0.40	0.15	0.033
		B 圃場	0	1.58	8.9	0.43	0.50	0.15	0.030
			6	1.68	12.0	0.47	0.43	0.16	0.031
			12	1.66	16.0	0.49	0.43	0.15	0.031
	2017 年産	C 圃場	0	1.62	8.4	0.41	0.52	0.15	0.028
			6	1.74	11.9	0.46	0.46	0.19	0.029
			12	1.83	16.5	0.47	0.44	0.17	0.029
	2018 年産	C 圃場	0	1.46	7.5	0.39	0.46	0.10	0.030
			6	1.51	10.1	0.42	0.42	0.12	0.031
			12	1.58	12.4	0.43	0.41	0.12	0.033
	平均		0	1.56 ^a	8.5 ^a	0.41 ^a	0.48 ^b	0.14	0.029 ^a
			6	1.65 ^b	11.5 ^b	0.45 ^b	0.43 ^a	0.15	0.030 ^a
			12	1.68 ^c	15.2 ^c	0.47 ^b	0.42 ^a	0.15	0.031 ^b
	分散分析	窒素追肥量		**	**	**	**	ns	**
		圃場		**	ns	**	**	**	**
		交互作用		*	**	ns	ns	ns	ns
上越試験地	2016 年産	D 圃場	0	1.58	8.9	0.38	0.46	0.18	0.029
			5	1.61	11.3	0.43	0.47	0.16	0.031
	2017 年産	E 圃場	0	1.63	10.2	0.43	0.46	0.16	0.028
			6	1.58	13.4	0.39	0.40	0.16	0.028
			12	1.65	15.0	0.43	0.39	0.17	0.028
	2018 年産	F 圃場	0	1.52	9.0	0.39	0.37	0.15	0.025
			6	1.60	12.9	0.40	0.33	0.21	0.023
			12	1.53	14.7	0.39	0.31	0.16	0.024
	平均		0	1.58	9.6	0.40	0.43	0.16	0.027
			5~6	1.60	12.6	0.41	0.40	0.18	0.027
	分散分析	窒素追肥量		ns	**	ns	*	ns	ns
		圃場		ns	**	ns	**	ns	**
		交互作用		*	ns	*	ns	ns	**

子実灰分および子実タンパク質含有率は水分 13.5%換算値，子実無機成分は乾物換算値である。

*, ** はそれぞれ 5%, 1%水準の有意差があることを示す。同一英文字は 5%水準の有意差はないことを示す (Tukey 法)。

5. 登熟期の穂乾物重と穂リン含有率の推移

第2図に 2017 および 2018 年産における登熟期の穂乾物重と穂リン含有率の推移を示した。新潟試験地における 2017 年産の穂リン含有率は開花期無追肥区ではほとんど増加しなかったが、開花期追肥区の穂リン含有率は開花 10 日後から成熟期まで増加し続けた。上越試験地における同年産の穂リン含有率の推移には一定の傾向を認めず、開花期追肥の有無による違いも認めなかった。開花 20 日後における穂リン含有率は新潟試験地が上越試験地に比べて高かった。新潟試験地における 2018 年産の穂リン含有率は成熟期まで増減を繰り返しながら推移し、成熟期穂リン含有率は開花期追肥区が同無追肥区を上回った。同年産の上

越試験地の穂リン含有率は開花期から成熟期にかけて低下した。開花期追肥による成熟期穂リン含有率の違いは認めなかった。

2017 年産の開花 20 日後の穂乾物重は、上越試験地が新潟試験地に比べて大きかった。2018 年産における両試験地の穂乾物重は、開花 20 日後まで同様に推移した。その後、新潟試験地の穂乾物重の増加量は上越試験地を上回り、成熟期の穂乾物重は新潟試験地が上越試験地を上回った。

考 察

1. 新潟試験地および上越試験地の土壌養分

新潟試験地と上越試験地の陽イオン交換容量の差は大き

第4表 整子実重, 千粒重および子実無機成分含量.

試験地	年次	場所	開花期追肥 N 量	整子実重	千粒重	子実無機成分含量			
						P	K	Mg	Ca
			gm ⁻²	gm ⁻²	g	gm ⁻²			
新潟試験地	2016 年産	A 圃場	0	600	39.8	2.02	2.40	0.75	0.15
			6	618	41.8	2.32	2.30	0.83	0.16
			12	683	40.5	3.02	2.41	0.92	0.20
		B 圃場	0	500	39.8	1.89	2.16	0.66	0.13
			6	487	42.0	2.02	1.81	0.68	0.13
			12	575	42.7	2.47	2.18	0.73	0.15
	2017 年産	C 圃場	0	405	39.7	1.46	1.83	0.54	0.10
			6	446	42.2	1.81	1.79	0.75	0.11
			12	448	42.5	1.82	1.72	0.67	0.11
	2018 年産	C 圃場	0	499	37.5	1.69	2.00	0.42	0.13
			6	588	41.1	2.17	2.14	0.60	0.16
			12	592	41.8	2.22	2.10	0.61	0.17
	平均		0	501 ^a	39.2 ^a	1.77 ^a	2.10	0.59	0.13 ^a
			6	535 ^{ab}	41.8 ^b	2.08 ^b	2.01	0.71	0.14 ^{ab}
			12	575 ^c	41.9 ^b	2.38 ^b	2.10	0.73	0.16 ^b
上越試験地	分散分析	窒素追肥量		*	**	**	ns	ns	**
		圃場		**	**	**	**	**	**
		交互作用		ns	**	ns	ns	ns	ns
	2016 年産	D 圃場	0	325	39.3	1.08	1.30	0.51	0.08
			5	299	40.2	1.13	1.22	0.41	0.08
	2017 年産	E 圃場	0	428	39.0	1.59	1.71	0.59	0.11
			6	448	39.3	1.54	1.56	0.63	0.11
			12	472	39.0	1.76	1.62	0.70	0.12
	2018 年産	F 圃場	0	429	36.8	1.47	1.39	0.56	0.09
			6	455	39.8	1.61	1.31	0.85	0.09
			12	478	40.7	1.63	1.27	0.65	0.10
	平均		0	377	39.3	1.27	1.34	0.54	0.09
			5~6	377	40.6	1.37	1.27	0.63	0.09
	分散分析	窒素追肥量		ns	**	ns	ns	ns	ns
		圃場		*	**	*	ns	ns	ns
		交互作用		ns	**	ns	ns	ns	ns

子実無機成分含量は、面積当たり整子実重（乾物換算）に乾物当たり各子実無機成分含有率を乗じて算出した。

整子実重および千粒重は水分 12.5%換算値である。

E 圃場の開花期追肥区は雀害のため、同区の整子実重および無機成分含量は開花期無追肥区の整子実重と開花 20 日後の穂乾物重から算出した補正値を斜字体表記し、統計処理から除外した。

*, ** はそれぞれ 5%, 1%水準の有意差があることを示す。同一英文字は 5%水準の有意差はないことを示す (Tukey 法)。

かったが (第2表), 両試験地とも塩基は開花期追肥にともなう子実灰分の増加に寄与しなかった (第3表)。新潟試験地の可給態リン酸含量は、新潟県の可給態リン酸の改良目標値 (以下, 目標値) 200 から 600 mg kg⁻¹ を満たしていた (新潟県農林水産部 2007)。一方, 上越試験地の可給態リン酸含量は目標値未満だった。谷ら (2010) は隣接する農耕地と未耕地を調査し、深さ 40 cm までの可給態リン酸含量は未耕地が農耕地に比べて著しく少なく、可給態リン酸含量の土壤診断基準値を大きく下回ることを報告している。また、大島・後藤 (2008) は小玉スイカ栽培ハウスの土壤

と近傍の未耕地の土壤を比較し、未耕地の可給態リン酸含量は極めて少ないとしている。このことから、新潟試験地においても、可給態リン酸含量は未耕地の状態目標値であったとは考えにくく、農作物の作付に伴うリン酸施肥によって土壤に可給態リン酸が付加された可能性が高いと考える。両試験地における可給態リン酸含量の差が大きかった理由は不明だったが、上越試験地では水稻を中心とした土地利用型作物が作付されており、タバコやバレイショが作付されていた新潟試験地に比べて可給態リン酸の付加が少なかった可能性が考えられた。

第5表 全窒素吸収量, 全リン吸収量, 穂リン含量, 茎葉蓄積由来リン量, および登熟期リン吸収量.

試験地	年次	圃場	開花期追肥 N 量 gm ⁻²	全 N 吸収量		全 P 吸収量		穂 P 含量		茎葉蓄積 由來 P 量	登熟期 P 吸収量
				開花期	成熟期	開花期	成熟期	開花期	成熟期		
gm ⁻²											
新潟試験地	2017 年産	C 圃場	0	7.0	7.6	1.81	2.09	0.30	1.69	1.10	0.28
			6	7.3	11.8	1.91	2.71	0.32	2.20	1.08	0.80
			12	7.1	14.8	1.77	2.72	0.28	2.21	0.98	0.95
	2018 年産	C 圃場	0	10.1	10.5	2.29	2.54	0.41	2.16	1.51	0.24
			6	9.8	15.7	2.23	3.04	0.41	2.58	1.36	0.81
			12	9.7	20.8	2.31	3.67	0.44	3.02	1.22	1.36
	平均		0	8.5	9.1 ^a	2.05	2.31 ^a	0.36	1.92 ^a	1.30	0.26 ^a
			6	8.5	13.8 ^b	2.11	2.87 ^b	0.36	2.39 ^b	1.22	0.80 ^b
			12	8.4	17.8 ^c	2.00	3.20 ^c	0.36	2.61 ^b	1.10	1.15 ^b
	分散分析		窒素追肥量	ns	**	ns	**	ns	**	ns	**
			年次	**	**	**	**	**	**	*	ns
			交互作用	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
上越試験地	2017 年産	E 圃場	0	11.5	12.5	1.87	1.88	0.39	1.10	0.69	0.01
			6	11.0	15.1	1.80	2.10	0.37	1.14	0.46	0.31
			12	11.8	16.7	1.96	2.28	0.39	1.29	0.57	0.32
	2018 年産	F 圃場	0	9.2	10.4	1.72	1.68	0.39	1.47	1.12	-0.03
			6	9.3	15.5	1.80	2.21	0.41	1.88	1.06	0.41
			12	8.3	21.1	1.56	2.20	0.38	1.72	0.68	0.65
	平均		0	10.3	11.4 ^a	1.79	1.78 ^a	0.39	1.29 ^a	0.90	-0.01 ^a
			6	10.1	15.3 ^b	1.80	2.16 ^b	0.39	1.51 ^b	0.76	0.36 ^b
			12	10.1	18.9 ^c	1.76	2.24 ^b	0.39	1.50 ^b	0.63	0.48 ^b
	分散分析		窒素追肥量	ns	**	ns	**	ns	**	ns	**
			年次	**	ns	ns	ns	ns	**	**	ns
			交互作用	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

茎葉蓄積由来 P 量は開花期全 P 吸収量と開花期穂 P 含量の差から成熟期全 P 吸収量と成熟期穂 P 含量の差を差し引いて算出した。

登熟期 P 吸収量は成熟期全 P 吸収量から開花期全 P 吸収量を差し引いて算出した。

E 圃場は病害のため, 開花 20 日後の数値を斜字体表記で示した。

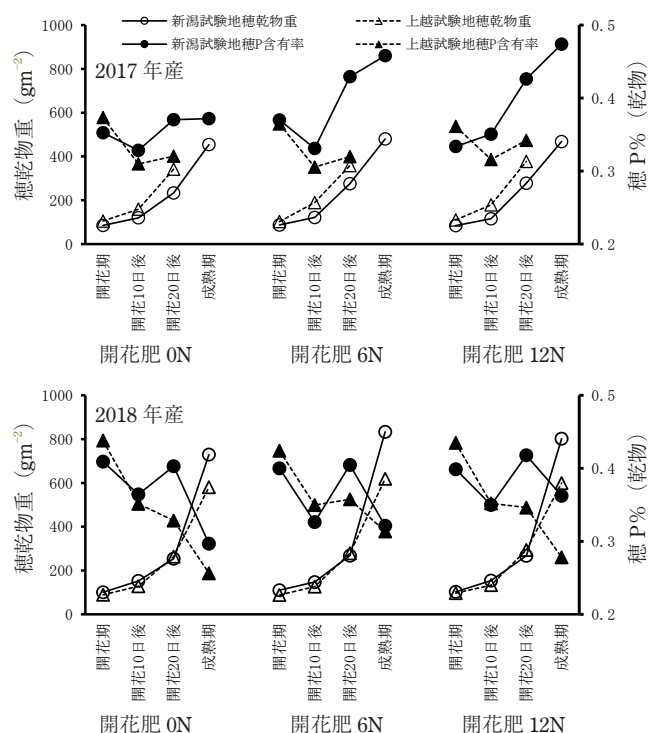
*, ** はそれぞれ 5%, 1%水準の有意差があることを示す。同一英文字は 5%水準の有意差はないことを示す (Tukey 法)。

2. 開花期追肥が子実灰分, 子実無機成分含有率および子実無機成分含量に及ぼす影響

新潟試験地では, 開花期追肥により子実リン含有率は増加したことから (第3表), 開花期追肥による整子実重の増加に比して子実リン含量の増加が大きいことが明らかになった。2017 年産 C 圃場における開花期追肥区の子実灰分は基準値上限または許容値超過だったのに対し, 他の 3 圃場の子実灰分は基準値未満だった (第3表)。2017 年産 C 圃場の整子実重および子実リン含量は他の 3 圃場に比べて少なかったことから, 2017 年産 C 圃場の子実灰分が他の圃場に比べて高かったのは, 主として整子実重の差によったと考える。子実灰分と収量との関係については, 高い負の相関が認められており (井上ら, 2005), 本研究においても同様の結果を得た。上越試験地において開花期追肥により子実リン含有率や子実灰分が増加しなかったのは, 開花期追肥によって子実リン含量が有意に増加しなかったためと考える (第4表)。

新潟試験地では, 開花期追肥により子実カリウム含有率が低下したにもかかわらず, 子実灰分は増加した (第3表)。このことから, 灰化後の子実中のカリウム化合物の重量はリン化合物に比べて軽く, 開花期追肥によるリン化合物の重量増加に比してカリウム化合物の重量減少が少なかったため, 子実リン含有率と子実灰分が対応したと考える。以上のことから, 新潟試験地では, 開花期追肥に伴う子実灰分の増加には子実中のリンが寄与し, 子実中のカリウムは寄与しないことが明らかになった。

両試験地とも開花期追肥区の子実リン含量と子実カリウム含量は概ね同等であった (第4表)。六本木・鈴木 (1985) によれば, コムギ品種「農林 61 号」において, カリウムとカルシウムの吸収量は出穂期までに最大になり, 吸収量の 75%程度は茎葉に分布するが, リンとマグネシウムは成熟期まで吸収が続き, リンは 90%, マグネシウムは 80%が穂に分布するとしている。また, コムギ品種「ホクシン」における無機成分の子実への分配率は, カリウムで



第2図 登熟期の穂乾物重と穂リン含有率の推移。

5 から 15%，カルシウムで 10% 前後，リンで 50 から 90%，マグネシウムで 50 から 70% という報告がある（北海道立総合研究機構 農業研究本部 試験研究成果 2011）。これらの既往の研究から，本研究に供試した「ゆきちから」においても，子実分配到無機成分の割合はカリウムとカルシウムでは低く，リンとマグネシウムでは高かったと考えられ，コムギ全体のカリウム吸収量はリン吸収量より多かったと推察する。

以上のことから，開花期追肥による子実リン含量の増加に対して，整子実重の増加が相対的に多い場合と少ない場合があり，前者では子実灰分と子実リン含有率は下がり，後者では子実灰分と子実リン含有率は上がるを考える。既往の研究では，開花期追肥により子実灰分が増加する場合（江口ら 1969，二瓶ら 2007，渋川ら 2018）と，子実灰分は増加しない場合（岩淵ら 2007，島崎ら 2016，渋川ら 2018）があるが，この違いは，開花期追肥による整子実重の増加に対する子実リン含量の増加の度合いの違いに起因した可能性が示唆された。

その他の子実灰分が高くなる要因として，千粒重が知られている。千粒重と子実灰分の関係については，日本めん用コムギ品種「きたほなみ」では千粒重 37 g 未満で子実灰分が基準値を上回るリスクが高まるという報告がある（北海道立総合研究機構 農業研究本部 試験研究成果 2011）。江口ら（1969）は，収量に比例して千粒重が増加し，子実灰分が減少するのは胚乳歩合の向上によったと推察している。本試験を行った砂丘地では，過去に「ゆきちから」の子実灰分が許容値を上回った年次があり，許容値内外の境

界となる千粒重は 37 g 付近だった（データ省略）。本研究における千粒重は新潟試験地で 37.5 から 42.7 g，上越試験地で 36.8 から 40.7 g で，千粒重は開花期追肥によって増加した（第 4 表）。このことから，新潟試験地では，開花期追肥による子実灰分の増加は千粒重の低下に起因しなかったと考える。

3. 開花期追肥が全リン吸収量，穂リン含量および子実リン含有率に及ぼす影響

両試験地とも成熟期全窒素吸収量は開花期追肥量に応じて増加した（第 5 表）。成熟期全リン吸収量も開花期追肥によって増加したが，開花期追肥量に応じて増加する場合と増加しない場合に分かれた（第 5 表）。2018 年産上越試験地 F 圃場の登熟期全窒素吸収量は，同年産の新潟試験地 C 圃場をわずかに上回った程度で，両者の成熟期全窒素吸収量は同等だった。しかし，成熟期リン吸収量は 2018 年産 C 圃場の方が多く，F 圃場の開花期無追肥区では登熟期のリン吸収はみかけ上認めなかった（第 5 表）。このことから，開花期追肥は登熟期リン吸収量の増加に寄与するが，登熟期の窒素吸収量とリン吸収量の増加傾向は試験地によって異なることが明らかになった。新潟試験地と上越試験地の可給態リン酸含量の差はかなり大きかったことから（第 2 表），両試験地の登熟期リン吸収量の差は可給態リン酸含量の差に起因した可能性が示唆された。登熟期リン吸収量の増加は成熟期穂リン含量の増加に寄与することから（第 5 表），可給態リン酸含量が多くなるほど，開花期追肥による成熟期穂リン含量の増加量は多くなる可能性が示された。既往の研究では，可給態リン酸含量が多くなると成熟期全リン吸収量は増加し，子実リン含有率と子実灰分も増加したという報告がある（北海道立総合研究機構 農業研究本部 試験研究成果 2011）。本研究においても，可給態リン酸含量が多くなると成熟期全リン吸収量は増加する傾向を認めた（第 2 表，第 5 表）。六本木・鈴木（1985）はコムギ品種「農林 61 号」においてリン吸収は成熟期まで継続し，吸収されたリンの 90% は穂に分布するとしている。第 5 表の成熟期穂リン含量を同表の成熟期全リン吸収量で除して百分率で表したものを穂へのリン分配率とすると，新潟試験地では 80.9 から 85.0%，2018 年産上越試験地では 78.2 から 87.5% だった。このことから，本研究においても成熟期全リン吸収量の大部分は穂に分配されたことを確認した。

次に，登熟期リン吸収量と子実リン含有率との関係を明らかにするために，開花期追肥が登熟期における穂リン含有率と穂乾物重との関係に及ぼす影響を考察する。2017 年産では，新潟試験地の開花期追肥区の穂リン含有率は，開花 10 日後以降増加し続けたが（第 2 図），上越試験地における開花期追肥区の穂リン含有率の増加は新潟試験地に比べて少なかった（第 2 図）。これは上越試験地の登熟期全リン吸収量は新潟試験地に比べて少なかったことに加えて

(第5表), 上越試験地の穂乾物重は新潟試験地に比べて大きく推移したためと考える(第2図)。

2018年産は両試験地とも成熟期の穂リン含有率は開花20日後に比べて低かった(第2図)。これは、開花20日後から成熟期にかけての穂乾物重の増加量が穂リン含量の増加量よりも相対的に大きかったことを示している(第2図)。また、上越試験地の成熟期穂乾物重が新潟試験地に比べて小さくても、成熟期穂リン含有率が新潟試験地を下回ったのは(第2図)、上越試験地の成熟期全リン吸収量が新潟試験地より少なかったためと考える(第5表)。

新潟試験地の成熟期全リン吸収量は、2017年産が2018年産に比べて少なかったが(第5表)、2017年産の成熟期穂リン含有率、子実リン含有率および子実灰分は2018年産に比べて高かった(第3表、第2図)。このことから、新潟試験地では、開花期追肥による子実灰分の増加は、成熟期全リン吸収量よりも成熟期穂乾物重の影響を大きく受けたことが示唆された。

上越試験地では、2017年産の開花20日後および2018年産の成熟期全リン吸収量は開花期追肥により増加する傾向を示したが(第5表)、開花期追肥が同時期の穂リン含有率や子実リン含有率に及ぼす影響は判然としなかった(第3表、第2図)。このことから、開花期追肥による登熟期リン吸収量の増加は穂乾物重の増加により相殺され、その結果、開花期追肥と穂リン含有率および子実リン含有率との関係は不明瞭になったと考える。

以上のことから、開花期追肥により登熟期リン吸収量と成熟期穂リン含量は増加するが、その増加量は可給態リン酸含量によって大きく異なることが示唆された。また、成熟期穂リン含有率は登熟期におけるリン吸収量の増加量と穂乾物重の増加量とのバランスによって決まることが示され、開花期追肥によって相対的に前者が大きくなれば子実リン含有率は増加し、相対的に後者が大きくなれば開花期追肥と子実リン含有率との関係は不明瞭になることが明らかになった。

4. 結論と今後の課題

本研究の結果から、新潟試験地で栽培された「ゆきちから」の子実灰分の増加は、子実リン含有率の増加に起因することが明らかになった。また、新潟試験地、上越試験地とも、開花期追肥により登熟期リン吸収量は増加し、その増加量は新潟試験地の方が多いたことが明らかになった。両試験地で開花期追肥と子実灰分および子実リン含有率との関係が異なったのは、新潟試験地の登熟期リン吸収量および子実リン含量は上越試験地に比べて多く、かつ子実リン含量の増加に対する整子実重の増加の度合いが上越試験地に比べて小さいことに起因した。新潟試験地上と上越試験地で開花期追肥による登熟期リン吸収量および子実リン含量の増加量が異なったのは、新潟試験地の可給態リン酸含量が上越試験地に比べて多かったためと推察した。新潟試験

地では、開花期追肥による成熟期全リン吸収量の増加が著しいため、整子実重が少ないと子実リン含有率が高まり、子実灰分が基準値や許容値を超過するリスクが大きくなることが示唆された。江口ら(1969)やSingh and Lamb(1960)はリン酸増施により子実灰分は増加するとしており、東田ら(2011)は可給態リン酸含量170から330 mg kg⁻¹の夏作ばれいしょ後作圃場に秋播きコムギを無リン酸栽培しても収量は慣行栽培と同等だったとしている。新潟試験地の可給態リン酸含量は314から530 mg kg⁻¹だったことから(第2表)、新潟試験地ではリン酸減肥栽培や無リン酸栽培によって減収させずに「ゆきちから」の子実灰分を低減できる可能性がある。これについては今後検討すべき課題である。「ゆきちから」の子実タンパク質含有率を基準値まで高めるには、開花期追肥6 g m⁻²以上の施肥が必要であるが、新潟試験地では子実灰分が基準値や許容値を超過する恐れがあることが示された。このため、新潟試験地において「ゆきちから」の子実タンパク質含有率と子実灰分を基準値内にするためには収量と千粒重を高めることが肝要である。今後は、可給態リン酸含量やリン酸収支(施肥量-吸収量)と子実灰分との関係を明らかにし、可給態リン酸含量に応じた適正なリン酸施肥量を検討することが重要と考える。また、可給態リン酸含量の多少にかかわらず、開花期追肥によって登熟期リン吸収量が増加したプロセスは未解明であることから、このプロセスの解明が必要と考える。

謝辞: 本研究の遂行にあたり、新潟クボタ(株)および(株)マルエイファームには現地圃場の提供および圃場管理に多大なるご協力を賜った。また、農研機構中央農研北陸作物栽培グループおよび北陸土壌管理グループの各位には分析に関して多大なご協力を頂いた。ここに記して、深く感謝の意を表する。

引用文献

- 江口久夫・平野寿助・吉田博哉 1969. 暖地における小麦の良質化栽培に関する研究(第2報). 中国農試研報 A 17: 81-111.
- 東田修司・佐藤英夫・石川岳史・白井滋久 2011. リン酸、カリの連続減肥が土壌化学性と作物収量に及ぼす影響. 北農 78: 258-265.
- 北海道立総合研究機構 農業研究本部 試験研究成果 2011. 小麦の子実灰分の実態とその変動要因(補遺). http://www.hro.or.jp/list/agricultural_pdf/result_dpdp2011/2011228.pdf (2019/6/13 閲覧).
- 井上君夫・中園江・脇山恭行 2005. コムギ4品種の登熟性に関する気象反応. 農業気象 61: 49-59.
- 岩淵哲也・田中浩平・松江勇次・松中仁・山口末次 2007. 開花期の窒素追肥がパン用コムギ品種「ミナミノカオリ」と「ニシノカオリ」の製粉性、生地の物性および製パン適性に及ぼす影響. 日作紀 79: 37-44.
- 長尾精一 1998. 世界の小麦の生産と品質 上巻. 輸入食糧協議会, 東京. 143-144.
- 二瓶直登・平将人・遠藤あかり 2007. 小麦「ゆきちから」の灰分含量に及ぼす窒素施肥の影響. 日作紀 79 (別2): 88-89.

- 新潟県農林水産部 2007. 新潟県における土づくりのすすめ方. 21-23.
- 農業研究センター 1986. 小麦調査基準 第1版. 農業研究センター, つくば. 1-74.
- 農耕地土壌分類委員会 1995. 農耕地土壌分類 第3次改訂版. 農業環境研究所, つくば. 18-28.
- 農林水産省農業環境技術研究所 1992. 肥料分析法. 日本肥糧検定協会. 8.
- 大島宏行・後藤逸男 2008. 茨城県内の小玉スイカ栽培ハウス土壌におけるリン酸蓄積の実態. 土肥誌 79: 263-264.
- 六本木和夫・鈴木清司 1985. 水田裏作小麦に対する窒素分施の影響. 埼玉農試研報 41: 95-108.
- 佐藤暁子・小柳敦史・和田道宏 1996. コムギの子実と粉の無機成分に及ぼす土壌の種類と施肥の影響 (1). 日作紀 65: 29-34.
- 洪川洋・島崎由美・関正裕 2018. 開花期追肥がパン用小麦品種「ゆきちから」の子実タンパク質含有率および子実灰分に及ぼす影響. 北陸作報. 53: 16-19.
- 島崎由美・渡邊好昭・関昌子・松山宏美・平沢正 2016. 窒素の開花期追肥が水田で栽培されたコムギの製パン性に及ぼす影響. 日作紀 85: 294-301.
- Singh, H.G., Lamb, C.A. 1960. Mineral and Protein Content of Wheat Grains as Influenced by Variety, Soil, and Fertilizer. Agron.J. 52: 678-680.
- 谷昌幸・溝田千尋・八木哲生・加藤拓・小池正徳 2010. 十勝地域の未耕地土壌および農耕地土壌におけるリン酸の垂直分布と蓄積量. 土肥誌 81: 350-359.
- 山下幸恵・西岡廣泰・横尾浩明 2005. パン用小麦「ニシノカオリ」の子実タンパク質含有率に及ぼす穂揃期追肥の効果. 日作九支報 71: 20-22.
- 吉川亮・中村和弘・伊藤美環子・伊藤裕之・星野次汪・伊藤誠治・八田浩一・田野崎眞吾・谷口義則・佐藤暁子・中村洋・藤原秀雄・上田邦彦・北原操一・中島秀治・後藤虎男 2009. 製パン適性が高く、早生で耐寒雪性が強い小麦新品種「ゆきちから」の育成. 東北農研研報 110: 17-44.

Impact of Nitrogen Topdressing at Flowering on Phosphorus Uptake and Grain Ash Content in Wheat Variety “Yukichikara” for Bread in Niigata prefecture : Hiroshi SHIBUKAWA¹⁾, Yumi SHIMAZAKI¹⁾, Yoshifumi NAGUMO²⁾ and Masahiro SEKI¹⁾ (¹⁾NARO, Natl. Agric. Res. Cent., 1-2-1 Inada, Joetsu, Niigata, 943-0193 Japan; ²⁾Niigata Crop Res. Center)

Abstract : We examined the relationships between nitrogen topdressing at flowering and grain ash content in the wheat variety “Yukichikara” for bread in a sand dune and upland field converted from paddy field of Niigata prefecture. In the sand dune, the grain ash content and phosphorus concentration were increased by nitrogen topdressing at flowering. In the upland field converted from paddy field, nitrogen topdressing at flowering did not affect grain ash content. This difference in these fields depended on the relationship between increment of grain phosphorus content per unit area and grain yield. The phosphorus uptake during the ripening period was increased by nitrogen topdressing at flowering, and the increment was greater in the sand dune than in the upland field converted from paddy field. Available phosphoric acid concentration (Truog P) was greater in the sand dune than in the upland field converted from paddy field, and a possible effect of the available phosphoric acid concentration on phosphorus uptake during ripening period was implied. These results suggest that the relationship between nitrogen topdressing at flowering and grain phosphorous concentration depends on the balance between increment of grain phosphorus content per unit area and that of grain yield. Additionally, it was implied that grain phosphorus concentration and grain ash content were increased by nitrogen topdressing at flowering in soil with high available phosphoric acid concentration.

Key words : Available phosphoric acid, Grain ash content, Nitrogen topdressing at flowering, Phosphorus uptake, Sand dune, Upland field converted from paddy field, Wheat for bread.