

窒素追肥の時期がコムギ品種「ユメシホウ」の収量および子実タンパク質含有率に及ぼす影響

島崎由美^{1,2)}・渡邊好昭¹⁾・松山宏美¹⁾・平沢正²⁾

(¹⁾ 農研機構中央農業総合研究センター, (²⁾ 東京農工大学大学院農学府)

要旨：窒素追肥時期がコムギ品種「ユメシホウ」の収量並びに子実タンパク質含有率に及ぼす影響を明らかにするため、2008/2009年と2009/2010年の2作期にわたって茎立期から登熟後期の間に、1～2週間間隔で窒素を追肥し、収量、子実タンパク質含有率および開花期から成熟期までの乾物重と窒素蓄積量の増加を無追肥区と比較した。収量は、節間伸長期の開花前16日以前の追肥と登熟中期の開花後20日前後の追肥により増加する傾向がみられた。開花期前後の追肥では、1穂粒数が減少し、収量は増加しなかった。子実タンパク質含有率は、開花期以降の追肥によってのみ増加した。節間伸長期の追肥によって子実タンパク質含有率が高まらなかったのは、無追肥区に比べて穂の窒素蓄積量は増加したものの、開花前蓄積乾物量と開花後同化乾物量が多くなることによって穂の総乾物蓄積量も窒素蓄積量と同程度に増加したためであった。一方、開花期以降の追肥では、無追肥区に比べて開花後同化乾物量よりも開花後の同化窒素量が大きく増加したため子実タンパク質含有率が高くなった。

キーワード：乾物蓄積, コムギ (*Triticum aestivum* L.), 子実タンパク質含有率, 窒素蓄積, 窒素追肥, 葉面散布。

わが国の食糧自給率は、2010年策定の「食料・農業・農村基本計画」において、供給熱量ベースで2020年度に50%まで高めることが目標とされている。その中でコムギは2008年の88万トンから2030年には180万トンへと生産量を大幅に増やし、特に製パン用や中華めん用のコムギ自給率は現在の10%未満から40%へと引き上げるとされている(農林水産省2012)。生産者はこの目標達成のために、収量を高めると同時に品質を向上させることが求められている。

製パン用コムギの品質向上には、日本めん用と比べて子実タンパク質含有率が高いことが求められる。一方で、生産者は収益を高めるために収量が増加することを求めるが、収量が増加するとタンパク質収量(収量×子実のタンパク質含有率)は増加するものの、子実タンパク質含有率は減少するという負の相関がある(江口ら1969, Tribolら2006)。子実タンパク質含有率は、リン酸不足などの窒素以外の制限要因により収量が増加しないときには増加し(江口ら1969)、リン酸と堆肥を施用して収量が増加したときには減少する(佐藤ら1987)。一方で、子実タンパク質含有率は、生育環境や窒素肥料の施用量を変えることで7%から20%まで変化させることもできる(Shewryら2009)。

窒素追肥は、止葉展開期から登熟初期の開花期前後に行うと子実タンパク質含有率を高くすることが経験的に知られ、栽培管理技術として普及し始めている(谷口ら1999, 高山ら2004, 建部ら2006, 竹内ら2006, 佐藤ら2009)。しかし、この時期の追肥は茎立期頃の生育前半の追肥と比べて、子実タンパク質含有率を増加させる効果が高いものの、収量を高める効果は小さいといわれている(佐藤

1991, 田谷2001)。これら追肥時期の違いがコムギの生育にどのように影響し、その結果どのように子実タンパク質含有率や収量に違いを生じるかについては明らかになっていない。

そこで本研究では、生育前半や開花期前後だけでなく、茎立期から登熟後期までの様々な時期に窒素追肥を行い、異なる時期の窒素追肥がコムギ品種「ユメシホウ」の収量および子実タンパク質含有率に及ぼす影響を調査した。さらに窒素追肥の時期が開花後の乾物生産量や窒素蓄積量に及ぼす影響を調査し、子実タンパク質含有率が窒素追肥時期によって異なる要因についても検討を行った。

材料と方法

1. 栽培法

試験は、製パン用品種ユメシホウを供試し、2008/2009年と2009/2010年の2作期にわたって茨城県つくば市の中央農業総合研究センター観音台の淡色黒ボク土の畑試験圃場で行った。

試験には、2008/2009年は休閑の後、コムギ作付を開始して2年目の圃場を用い、2009/2010年は2年に1回コムギを作付し、夏作としてピケットやソルガムを、コムギを栽培しない年の冬作としてコマツナを栽培した圃場を用いた。コムギ以外のいずれの作目も、植物残渣は青刈りして土壌に鋤き込んだ。試験圃場の土壌は、2008/2009年は乾土1gあたり全窒素量が3.55 mg、炭素量が42.8 mg、2009/2010年は乾土1gあたり全窒素量が4.82 mg、炭素量が60.8 mgであった。

播種は、2008/2009年では11月20日に播種量11 g m⁻²、

条間 18 cm で、2009/2010 年では 11 月 6 日に播種量 8 g m^{-2} 、条間 18 cm で行った。基肥は、2008/2009 年では化成肥料 (14-14-14) を N, P_2O_5 , K_2O の成分でそれぞれ、7, 7, 7 g m^{-2} 施肥し、2009/2010 年では化成肥料 (0-15-15) をそれぞれ、0, 4, 4 g m^{-2} 施用した。開花日は、2008/2009 年では 4 月 22 日、2009/2010 年では 4 月 30 日、成熟日は 2008/2009 年では 6 月 2 日、2009/2010 年では 6 月 15 日であった。

2. 追肥方法

追肥は、2008/2009 年では、茎立期にあたる開花前 50 日 (開花前日数と開花後日数の区別を容易にするため、以下開花前日数はマイナスの符号を付けて表す。この場合は開花後 - 50 日) の 3 月 3 日から、登熟後期にあたる開花後 33 日の 5 月 25 日まで約 7 日毎に計 13 時期に行った。開花後 - 50 日は茎立期に、開花後 - 41 日、- 36 日、- 29 日、- 23 日、- 16 日は節間伸長期に、開花後 - 9 日は穂孕み期に、開花後 - 2 日は穂揃い期に、開花後 8 日は登熟前期に、開花後 15 日、21 日、28 日は登熟中期に、開花後 33 日は登熟後期にあたる。2009/2010 年では、茎立期にあたる開花後 - 49 日の 3 月 12 日から、登熟後期にあたる開花後 27 日の 5 月 27 日まで約 10 日毎に計 9 時期に行った。開花後 - 49 日は茎立期に、開花後 - 35 日、- 22 日は節間伸長期に、開花後 - 17 日は穂孕み期に、開花後 - 10 日は出穂期に、開花後 0 日は開花期に、開花後 10 日は登熟前期に、開花後 17 日は登熟中期に、開花後 27 日は登熟後期にあたる。両年次ともこれら追肥区に対して追肥を行わない無追肥区を設けた。

追肥は、両年次とも窒素成分で 2 g m^{-2} となるよう 2.17% 尿素水溶液を調整し、散布量を 200 mL m^{-2} として噴霧器で葉面散布した。試験区は、2008/2009 年では各区 10.8 m^2 の 3 反復完全無作為化法、2009/2010 年では各区 14 m^2 の 3 反復乱塊法で配置した。

3. 収量、収量構成要素および子実タンパク質含有率の測定

収量調査は、「小麦調査基準 第 1 版」(農業研究センター 1986) に準じて、整子実重、穂数、整粒歩合、千粒重を計測した。ただし、整子実重および整粒歩合の計測に用いた篩目の大きさは 2.2 mm とした。収量は整子実重で表し、千粒重とともに水分含量 12.5% の値を示した。1 穂粒数は、収量を穂数と一粒重 (千粒重 / 1000) で除して求めた。子実タンパク質含有率は近赤外分析計 (インフラテック 1241 グレイシアアナライザー, FOSS) で測定し、水分含量 13.5% の値を示した。収量調査には各区とも平均的な穂数を示した 1.08 m^2 を供した。

4. 乾物重、窒素蓄積量の調査

乾物重と窒素蓄積量の測定のための植物体の採取は、開

花期と成熟期に行った。開花期については、2008/2009 年では 4 月 22 日に、2009/2010 年では 4 月 26 日に、試験区の中で生育の中庸な場所 0.09 m^2 からすべての株を根ごと抜き取り、根を切除後、 80°C で 2 日間通風乾燥し、地上部乾物重を測定して窒素分析に供した。

成熟期については、2008/2009 年では 6 月 2 日に 0.36 m^2 からすべての株を地際で刈り取り、これらの茎の中から中庸な穂を持つ茎 30 本を選び、穂と茎葉部に切り分け、 80°C で 2 日間通風乾燥し、地上部乾物重を測定して窒素分析に供した。刈り残った地際と地下の茎部については、生育が中庸な場所 0.09 m^2 の刈り株を根ごと採取し、根を切除後、 80°C で 2 日間通風乾燥し、乾物重を測定して窒素分析に供し、茎葉部の窒素量に加えた。2009/2010 年では 6 月 15 日に生育中庸な場所 0.09 m^2 の株を根ごと抜き取り、根を切除後、茎葉および穂に切り分けて、 80°C で 2 日間通風乾燥し、地上部乾物重を測定して窒素分析に供した。なお、2008/2009 年では、無追肥区に加えて、13 追肥区のうち 1 区おきに合計 6 追肥区を分析に供した。

窒素含有率は、乾物を微粉碎後、NC アナライザー (SUMIGRAPH NC-22F, 株式会社住化分析センター) で定量した。植物体の窒素蓄積量は、乾物重と窒素含有率の積で表した。

穂の乾物増加量と窒素の蓄積量は、Bancal (2009) の方法に基づき、開花後に新たに同化された乾物や窒素 (以下、それぞれ開花後同化乾物、開花後同化窒素とする) がすべて穂へ蓄積したと仮定し、穂乾物重に占める開花後同化乾物量および開花前蓄積乾物量、および穂窒素蓄積量に占める開花後同化窒素量および開花前蓄積窒素量を、それぞれ次式により求めた。

(開花後同化乾物量) = (成熟期の地上部乾物重) - (開花期の地上部乾物重)

(開花前蓄積乾物量) = (成熟期の穂乾物重) - (開花後同化乾物量)

(開花後同化窒素量) = (成熟期の地上部窒素蓄積量) - (開花期の地上部窒素蓄積量)

(開花前蓄積窒素量) = (成熟期の穂窒素蓄積量) - (開花後同化窒素量)

5. 統計処理

統計処理は統計ソフト (JMP 8.0.1, SAS Institute Inc.) を用いて行った。2008/2009 年の結果については、無追肥区を対照区とした両側 t 検定を、2009/2010 年の結果については、無追肥区を対照区とした対応のある両側 t 検定を用いて検討した。

結 果

1. 窒素追肥時期が収量、収量構成要素、子実タンパク質含有率に及ぼす影響

第 1 表に、異なる時期に窒素追肥したコムギの収量、収

第1表 異なる時期に窒素追肥したコムギにおける収量、収量構成要素および子実タンパク質含有率。

年次	開花後 追肥日 (日)	収量 (g m ⁻²)	p	穂数 (本 m ⁻²)	p	整粒 歩合 (%)	p	1 穂 粒数	p	千粒重 (g)	p	子実タンパ ク質含有率 (%)	p
2008/2009 年													
	無	468		338		99.2		37.8		36.3		9.5	
	-50	532	0.535	385	0.391	99.4	0.574	37.5	0.880	36.7	0.416	9.7	0.458
	-41	586	0.450	419	0.358	98.9	0.545	37.6	0.951	36.6	0.554	9.9	0.218
	-36	544	0.368	400	0.192	99.0	0.617	37.5	0.911	36.3	0.958	9.4	0.745
	-29	581	0.506	438	0.336	98.6	0.192	36.0	0.513	35.9	0.374	10.0	0.355
	-23	570	0.223	401	0.181	98.7	0.130	39.4	0.377	36.2	0.855	9.6	0.519
	-16	496	0.799	363	0.647	99.3	0.947	36.6	0.599	37.0	0.163	9.6	0.587
	-9	461	0.958	375	0.575	99.1	0.535	32.2	0.137	37.3	0.179	9.9	0.311
	-2	463	0.951	347	0.849	99.6	0.224	34.4	0.316	38.6	0.005**	10.5	0.019*
	8	484	0.900	351	0.859	99.7	0.119	35.6	0.328	38.3	0.004**	11.1	0.007**
	15	584	0.256	407	0.210	99.4	0.688	37.9	0.974	37.7	0.023*	11.1	0.003**
	21	522	0.718	381	0.657	99.3	0.960	36.7	0.667	37.0	0.180	10.5	0.023*
	28	525	0.568	372	0.556	99.4	0.619	37.6	0.895	37.4	0.043*	10.9	0.003**
	33	355	0.197	291	0.293	99.6	0.172	33.2	0.046*	36.8	0.294	9.9	0.102
2009/2010 年													
	無	716		532		99.0		34.2		39.5		12.0	
	-49	734	0.504	536	0.823	98.7	0.347	35.5	0.263	38.6	0.119	12.0	0.992
	-35	737	0.448	548	0.349	98.9	0.855	34.4	0.863	39.1	0.017*	12.2	0.364
	-22	763	0.135	541	0.782	99.0	0.904	35.7	0.408	39.5	0.973	12.3	0.284
	-17	765	0.099 ⁺	561	0.389	98.9	0.926	35.0	0.625	39.0	0.333	12.3	0.469
	-10	668	0.232	536	0.750	99.2	0.221	31.4	0.020	39.7	0.749	12.3	0.053 ⁺
	0	681	0.101	521	0.750	99.4	0.235	32.6	0.325	40.0	0.184	12.5	0.200
	10	708	0.483	511	0.439	99.3	0.543	35.0	0.444	39.6	0.912	13.1	0.025*
	17	752	0.043*	520	0.584	99.2	0.528	36.2	0.318	40.0	0.103	12.8	0.040*
	27	674	0.216	498	0.307	99.0	0.951	34.9	0.270	38.9	0.494	12.7	0.154

収量、千粒重は水分含量 12.5%，子実タンパク質含有率は水分含量 13.5% の値。

p：各追肥区と無追肥区の比較により得られた t 値に対する外側両側確率。

+, *, ** は、それぞれ 10%，5%，1% 水準で無追肥区との間に有意差があることを示す。

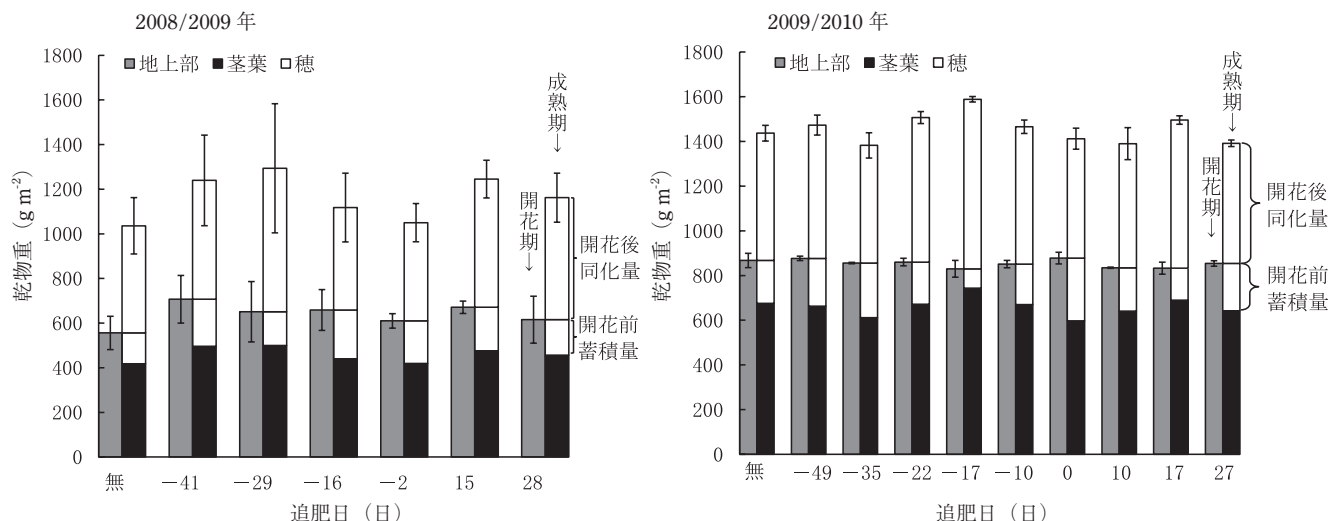
量構成要素および子実タンパク質含有率を示した。

収量は、2008/2009 年では、いずれの追肥区においても無追肥区との間に有意差は認められなかったが、開花後 -41 日、-29 日、-23 日および 15 日追肥区で 570 g m⁻² 以上と多かった。2009/2010 年では、開花後 17 日追肥区が 5% 水準で、開花後 -17 日追肥区が 10% 水準で無追肥区よりも有意に多く、開花後 -22 日追肥区も無追肥区より多い傾向があった。

穂数は、2008/2009 年、2009/2010 年ともに、いずれの追肥区も無追肥区との間に有意差は認められなかったが、2008/2009 年は開花後 -36、-23 日追肥区が無追肥区よりも多い傾向が認められた。整粒歩合は両年次ともに追肥による有意な違いは認められなかった。1 穂粒数は 2008/2009 年では開花後 33 日追肥区が無追肥区よりも 5% 水準で有意に少なかった。さらに、開花後 -9 日追肥区で無追肥区よりも少ない傾向がみられた。2009/2010 年では、いずれの追肥区も無追肥区との間に有意差は認められなかった

が、開花後 -10 日追肥区で無追肥区よりも少ない傾向がみられた。千粒重は 2008/2009 年では開花後 -2 日、8 日追肥区が 1% 水準で、開花後 15 日、28 日追肥区が 5% 水準で無追肥区より有意に重かった。そして開花後 -16、-9、21 日追肥区で無追肥区より重い傾向が認められた。2009/2010 年では、開花後 -35 日追肥区が無追肥区より 5% 水準で有意に軽く、開花後 0、17 日追肥区で無追肥区より重い傾向があった。

子実タンパク質含有率は、2008/2009 年では開花後 8 日、15 日、28 日追肥区が 1% 水準で、開花後 -2 日、21 日追肥区が 5% 水準で無追肥区より有意に高く、開花後 33 日追肥区で高い傾向があった。2009/2010 年では開花後 10 日、17 日追肥区が 5% 水準で、開花後 -10 日追肥区が 10% 水準で無追肥区より有意に高く、開花後 27 日追肥区で高い傾向があった。



第1図 2008/2009年と2009/2010年のコムギの開花期および成熟期における地上部器官別の乾物重。

無は無追肥区、追肥日のマイナスとプラスの値はそれぞれ開花前と開花後の日数を示す。各追肥日とも左側の棒は開花期、右側の棒は成熟期を示す。図中の棒線は開花期及び成熟期の地上部乾物重の標準誤差を示す。

2. 窒素追肥時期が開花期と成熟期の地上部乾物重ならびに成熟期の穂乾物重に占める開花前蓄積乾物量と開花後同化乾物量に及ぼす影響

第1図に、異なる時期に窒素追肥したコムギの開花期および成熟期における地上部乾物重と成熟期の穂乾物重に占める開花前蓄積乾物量と開花後同化乾物量を示した。

開花期の地上部乾物重は、2008/2009年では、いずれの追肥区も無追肥区と有意差はみられなかった。2009/2010年においても、いずれの追肥区も無追肥区と有意差はみられなかった。成熟期の地上部乾物重は、2008/2009年ではいずれの追肥区も無追肥区と有意差はみられなかった。2009/2010年では開花後-17日追肥区が無追肥区より5%水準で有意に重かった。

成熟期の茎葉部乾物重は2008/2009年では、いずれの追肥区も無追肥区と有意差はみられず、2009/2010年では開花後-35日追肥区が無追肥区より5%水準で有意に軽かった。穂乾物重は2008/2009年では、いずれの追肥区も無追肥区と有意差はみられず、2009/2010年では開花後-17日追肥区が無追肥区より5%水準で有意に重かった。

成熟期の穂乾物重に占める開花前蓄積乾物量は、2008/2009年では、いずれの追肥区も無追肥区と有意差は認められなかったが、開花後-41日、-16日追肥区で無追肥区よりも多い傾向が認められた。2009/2010年では、開花後-17日追肥区が無追肥区よりも5%水準で有意に少なかった。

成熟期の穂乾物重に占める開花後同化乾物量は、2008/2009年では、いずれの追肥区も無追肥区と有意差は認められなかったが、開花後-41日、-29日、15日、28日追肥区で無追肥区よりも多い傾向が認められた。2009/2010年では、開花後-17日追肥区が5%水準で、開花後-22日、17日追肥区が10%水準で無追肥区よりも有

意に多かった。

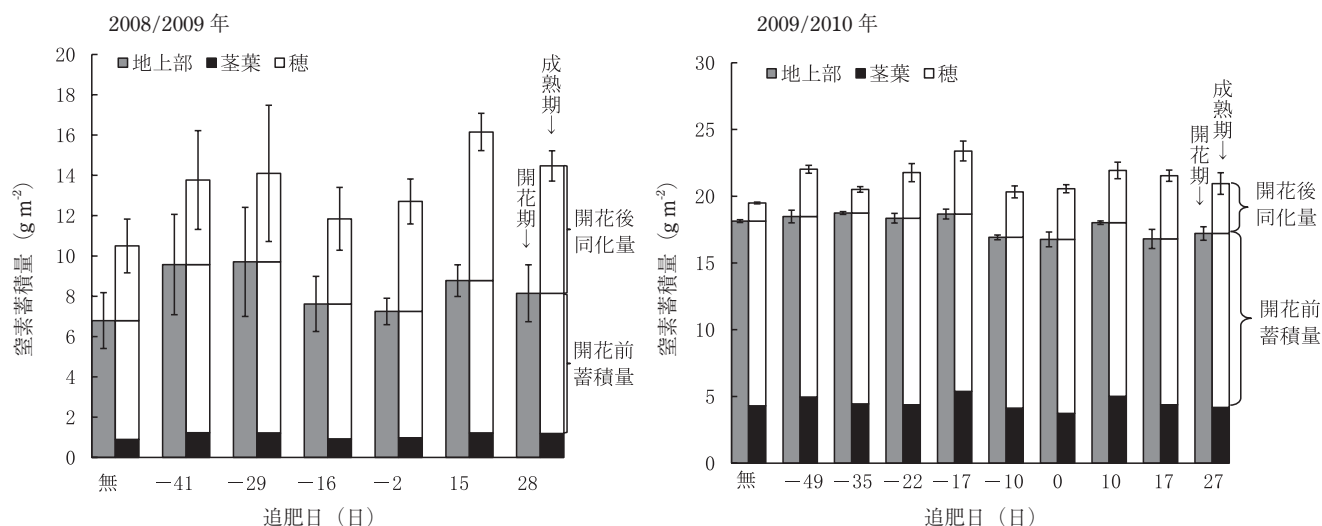
3. 窒素追肥時期が開花期と成熟期の地上部窒素蓄積量ならびに成熟期の穂窒素蓄積量に占める開花前蓄積窒素量と開花後同化窒素量に及ぼす影響

第2図に、異なる時期に窒素追肥したコムギの開花期および成熟期における地上部窒素蓄積量と成熟期の穂窒素蓄積量に占める開花前蓄積窒素量と開花後同化窒素量を示した。

開花期の地上部窒素蓄積量は、2008/2009年では、いずれの追肥区も無追肥区と有意差はみられなかったが、開花後-41日、-29日追肥区で無追肥区よりも多い傾向があった。2009/2010年では、開花後-35日追肥区が無追肥区より10%水準で有意に多く、開花後-10日追肥区が無追肥区より1%水準で有意に少なかった。一方、成熟期の地上部窒素蓄積量は、2008/2009年では開花後15日追肥区で5%水準で、開花後28日追肥区で10%水準で有意に多かった。2009/2010年では開花後-49日追肥区が1%水準で、開花後-35日、-22日、-17日、10日追肥区が5%水準で、開花後0日追肥区が10%水準で無追肥区より有意に多かった。

成熟期の茎葉部窒素蓄積量は2008/2009年では、いずれの追肥区も無追肥区と有意差はみられず、2009/2010年においても、いずれの追肥区も無追肥区と有意差はみられなかった。穂窒素蓄積量は2008/2009年では、開花後15日、28日追肥区が無追肥区より5%水準で有意に多かった。2009/2010年では開花後-17日、0日追肥区が無追肥区より5%水準で有意に多かった。

成熟期の穂窒素蓄積量に占める開花前蓄積窒素量は、2008/2009年では、いずれの追肥区も無追肥区と有意差は認められなかった。2009/2010年では、開花後17日追肥区



第2図 2008/2009年と2009/2010年のコムギの開花期および成熟期における地上部器官別の窒素蓄積量。

無は無追肥区、追肥日のマイナスとプラスの値はそれぞれ開花前と開花後の日数を示す。各追肥日とも左側の棒は開花期、右側の棒は成熟期を示す。図中の棒線は開花期及び成熟期の地上部窒素蓄積量の標準誤差を示す。

が無追肥区よりも5%水準で有意に少なかった。

成熟期の穂窒素蓄積量に占める開花後同化窒素量は、2008/2009年では開花後-2日、28日追肥区が5%水準で、開花後15日追肥区が10%水準で無追肥区よりも有意に多かった。2009/2010年では、開花後-22日追肥区が1%水準で、開花後-49日、-17日、-10日、17日追肥区が5%水準で、開花後-35日、0日追肥区が10%水準で無追肥区よりも有意に多かった。

考 察

本研究では、収量は開後-16日以前の節間伸長期や登熟中期の開花後20日前後の追肥により増加したものの、開花期前後の追肥では増加しなかった(第1表)。子実タンパク質含有率は節間伸長期の追肥では増加しなかったが、開花期前後ならびにそれ以降の追肥で増加した(第1表)。これらの結果は、開花期前後の窒素追肥は生育前半の追肥に比べて子実タンパク質含有率を高めるものの収量は高めないとするこれまでの報告(佐藤1991, 田谷2001)とも一致した。登熟中期の追肥では、子実タンパク質含有率が高まると同時に収量も高まる傾向が認められた。登熟が進んでからの窒素追肥が子実タンパク質含有率や収量に及ぼす影響についての検討は多くないが、登熟中期の追肥が子実タンパク質含有率を無追肥区に比べて有意に高めるだけでなく収量も多くなる可能性を示した報告もある(佐藤ら1999, 佐藤ら2009)。子実タンパク質含有率は収量とは負の相関関係にあることが知られている(江口ら1969, Triboiら2006)一方で、登熟期間が短くなった場合に子実炭素蓄積量が減少しても、子実窒素蓄積量はほとんど変化しないことなどから、炭素と窒素が独立して蓄積することも示されている(Triboi and Triboi-Blondel 2002)。本研究の結果は、登熟中期の追肥によって、子実タンパク質含有率の増加と

同時に収量も増加する可能性を示唆するものである。

節間伸長期の窒素追肥は、開花期における地上部乾物重を増加させることはなかったものの、成熟期の穂乾物重に占める開花前蓄積乾物量と開花後同化乾物量を増加させ、穂乾物重や成熟期の地上部乾物重を増加させる傾向が認められた(第1図)。開花期前の窒素追肥は分けつの枯死を防いだり、新たな分けつの発生を促進したりして(佐藤ら1992, 倉井ら1998)、葉面積の拡大、維持に寄与する(義平ら2006)。葉身に蓄積した窒素はRubiscoをはじめとする光合成関連酵素を増加させ、葉の光合成活性を高める(Makinoら1988)。本研究でも、節間伸長期の窒素追肥によって、開花期までの乾物生産量の増加は有意ではなかったが、穂数が増加し、開花期の地上部窒素蓄積量が増加する傾向が認められたことから(第2図)、開花期までに葉面積や葉の光合成関連酵素を増加させ、個体群の光合成を高める体制ができていたと考えられる。その結果として、開花後同化乾物量が増加した(第1図)ものと考えられる。一方、穂の窒素蓄積量に占める開花後同化窒素量も節間伸長期の追肥によって増加したが(第2図)、子実タンパク質含有率が高まらなかった(第1表)のは、江口ら(1969)の報告のように、開花後同化した窒素量の増加と併せて穂の乾物量の増加も大きかったためと考えられる。

登熟中期の窒素追肥は、成熟期の穂乾物重に占める開花後同化乾物量を増加させた(第1図)。開花後の窒素追肥が収量や乾物生産に及ぼす影響については、影響がなかったという報告(Rawlukら2000, Nakanoら2008)や、増加させたという報告(Altmanら1983, 岩渕・田中2005, 佐藤ら2009)がある。Oscarson(1996)は同化された窒素は直ちに穂に転流する可能性を示しており、そのような場合は、追肥窒素が乾物生産に及ぼす影響は小さいと考えられる。しかしながら、登熟中期の追肥によって開花後同化乾物量

が増加したことは(第1図), 追肥した窒素は登熟中期でも葉の窒素含量を高めて老化を抑制して個体群の光合成活性を高く維持したことを示唆している。さらに, 登熟中期の窒素追肥は開花後同化窒素量を大きく増加させた(第2図)。追肥窒素は基肥窒素に比べて利用率が高く(新良・西宗 1998), とくに, 開花後に吸収された窒素の約 92% が最終的に子実へ転流する(Bancal 2009)と報告されている。これらの報告は, 開花後の追肥窒素は開花前に追肥した窒素に比較して子実のタンパク質の蓄積に効率よく利用されることを示唆している。登熟中期の窒素追肥が, 収量だけでなく子実タンパク質含有率をも無追肥区に比べて高めたことは, この時期の追肥が登熟期の乾物生産を高めるとともに, それ以上に子実への窒素の転流が大きかったことを示している。

一方, 開花期前後の窒素追肥によって開花後同化乾物量は増加しなかったが(第1図), 開花後同化窒素量を大きく増加させ(第2図), 子実タンパク質含有率を高めた(第1表)。この結果は, 上述のようにこれまでの多くの報告(佐藤ら 1999, Rawluk ら 2000, Nakano ら 2008)と一致するものである。開花期前後の窒素追肥では, 1 穂粒数が無追肥区よりも少ない傾向があったことから(第1表), 開花期前後の葉面散布が受精あるいは初期の子実の生長に影響してシンク容量を減少させたこと, そしてシンク容量の減少に伴って葉への可溶性炭水化物の蓄積が引き起こす光合成のフィードバック阻害(Plaut ら 1987, Labraña and Araus 1991)が生じたことなどが, 収量や乾物生産が増加しなかった要因として考えられる。開花期前後および登熟中期の窒素追肥が乾物生産と収量に及ぼす影響の実態とその過程については今後詳しく検討すべき課題である。

謝辞: 本研究の遂行に当たり, 農研機構中央農業総合研究センター温暖平坦地水田輪作研究チームおよび業務第1科のスタッフの各位には多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- Altman, D.W., McCuiston W.L. and Kronstad W.E. 1983. Grain protein percentage, kernel hardness, and grain yield of winter wheat with foliar applied urea. *Agron. J.* 75: 87-91.
- Bancal, P. 2009. Decorrelating source and sink determinism of nitrogen remobilization during grain filling in wheat. *Ann. Bot.* 103: 1315-1324.
- 江口久夫・平野寿助・吉田博哉 1969. 暖地におけるコムギの良質化栽培に関する研究(第2報) 3 要素施用量および窒素の施用時期・施用法と品質との関係. *中国農試研報* 17: 81-111.
- 岩渕哲也・田中浩平 2005. 出穂後窒素追肥が硬質コムギ「ミナミノカオリ」の製パン適性に及ぼす影響. *日作九支報* 71: 23-24.
- 倉井耕一・木村守・遠山明子 1998. 小麦の追肥による生育パターンの変化と追肥技術への応用. *栃木農試研報* 47: 1-12.
- Labraña, X. and Araus J.L. 1991. Effect of foliar applications of silver nitrate and ear removal on carbon dioxide assimilation in wheat flag leaves during grain-filling. *Field Crops Res.* 28: 149-162.
- Makino, A., Mae T. and Ohira K. 1988. Differences between wheat and rice in the enzymic properties of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and the relationship to photosynthetic gas exchange. *Planta* 174: 30-38.
- Nakano, H., Morita S. and Kusuda O. 2008. Effect of nitrogen application rate and timing on grain yield and protein content of the bread wheat cultivar 'Minaminokaori' in southwestern Japan. *Plant Prod. Sci.* 11: 151-157.
- 新良力也・西宗昭 1998. 北海道における秋まきコムギ子実への施肥窒素の集積と土壌由来窒素の吸収. *土肥誌* 69: 604-611.
- 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.
- 農林水産省 2012. 食料・農業・農村白書. 第1部 食料・農業・農村の動向. II. 食料・農業・農村の動向. 農林水産省, 東京. 87-178.
- Oscarson, P. 1996. Transport of recently assimilated ^{15}N nitrogen to individual spikelets in spring wheat grown in culture solution. *Ann. Bot.* 78: 479-488.
- Plaut, Z., Mayoral, M.L. Reinhold L. 1987. Effect of altered sink-source ratio on photosynthetic metabolism of source leaves. *Plant Physiol.* 85: 786-791.
- Rawluk, C.D.L., Racz G.J. and Grant C.A. 2000. Uptake of foliar or soil application of ^{15}N -labelled urea solution at anthesis and its effect on wheat grain yield and protein. *Can. J. Plant Sci.* 80: 331-334.
- 佐藤暁子・小柳敦史・末永一博・渡辺修・川口数美・江口久夫 1987. コムギ品質におよぼす土壌, 施肥の影響. *日作関東支報* 2: 47-78.
- 佐藤暁子 1991. 小麦のタンパク質含量安定化技術の開発. *農及園* 66: 567-574.
- 佐藤暁子・末永一博・川口数美 1992. 異なる土壌におけるコムギの生育と収量: 第3報 節位別分けつの出現, 有効化, 収量に対する寄与度におよぼす窒素とリン酸の増肥効果. *日作紀* 61: 610-615.
- 佐藤暁子・小綿美環子・中村信吾・渡辺満 1999. コムギの製パン適性に及ぼす窒素追肥時期の影響. *日作紀* 68: 217-223.
- 佐藤三佳子・五十嵐俊成・櫻井道彦・鈴木和織・柳原哲司・奥村正敏 2009. 北海道北部地域における春まきコムギ「春よ恋」に対する開花期以降の尿素葉面散布が子実タンパク質含有率と収量に及ぼす効果およびその変動要因. *日作紀* 78: 9-16.
- Shewry, P.R., D'Ovidio, R. Lafandra, D. Jenkins, J.A. Mills E.N.C. and Békés F. 2009. Chapter 8: Wheat grain proteins. Khan, K. and Shewry, P. ed. *Wheat: Chemistry and technology*, 4th ed. AACC International, Inc. St. Paul, Minnesota. 223-298.
- 高山敏之・長嶺敬・石川直幸・田谷省三 2004. コムギにおける出穂10日後追肥の効果. *日作紀* 73: 157-162.
- 竹内実・近乗偉夫・吉良知彦 2006. 醬油醸造用硬質コムギの高タンパク質化へ向けた施肥法について. *日作九支報* 72: 25-28.
- 谷口義則・藤田雅也・佐々木昭博・氏原和人・大西昌子 1999. 九州地域におけるコムギの粗タンパク質含有率に及ぼす穂孕み期追肥の効果. *日作紀* 68: 48-53.
- 建部雅子・岡崎圭毅・唐澤敏彦・渡辺治郎・大下泰生・辻博之 2006. パン用秋まきコムギ「キタノカオリ」の収量, タンパク質含有率を高める窒素施肥法. *土肥誌* 77: 273-281.
- 田谷省三 2001. 西日本地域における小麦蛋白質含量の現状と改善方策. *農業技術* 56: 498-505.
- Triboi, E. and Triboi-Blondel A. 2002. Productivity and grain of seed composition: a new approach to an old problem – invited paper. *Europ.*

- J. Agron. 16: 163-186.
- Triboi, E., P. Martre, Girousse, C. Ravel C. and Triboi-Blondel A. 2006. Unravelling environmental and genetic relationships between grain yield and nitrogen concentration for wheat. *Europ. J. Agron.* 25: 108-118.
- 義平大樹・唐澤敏彦・中司啓二 2006. 北海道で多収を示す秋播性ライコムギにおける起生期の窒素追肥反応：コムギ、ライムギとの比較. *日作紀* 75: 472-479.

Effects of Nitrogen Topdressing Timing on Yield and Grain Protein Content of ‘Yumeshihou’ Wheat : Yumi SHIMAZAKI^{1,2)}, Yoshiaki WATANABE¹⁾, Hiromi MATSUYAMA¹⁾ and Tadashi HIRASAWA²⁾ (¹⁾NARO, Natl. Agric. Res. Cent., 1-2-1 Inada, Jyoetsu, Niigata, 943-0193 Japan; ²⁾Grad. Sch. of Agr., Tokyo Univ. of Agric. and Tech.)

Abstract : In two growing seasons (2008–09 and 2009–10) we applied nitrogen topdressing every 1 to 2 weeks from stem elongation to ripening, and examined the effects on yield, grain protein content, and dry matter and nitrogen accumulation in the spikes after anthesis in ‘Yumeshihou’ wheat. Topdressing at the stem elongation stage about 16 days before anthesis, and that at the mid-grain-filling stage about 20 days after anthesis tended to increase the yield in both growing seasons. The topdressing at about anthesis did not increase the yield owing to a decrease in grain number per spike. Dry-matter accumulation after anthesis was increased by topdressing at the stem-elongation and mid-grain-filling stages. Grain protein content was increased by topdressing at anthesis to ripening stage but not by topdressing at the stem elongation stage. The lack of increase in grain protein content in the plants topdressed at the stem elongation stage was attributed to an increase in dry matter accumulation before and after anthesis as well as nitrogen accumulation in the spikes. Topdressing after anthesis significantly increased in grain protein content in plants because nitrogen accumulation in the spikes was greater than the dry matter accumulation after anthesis.

Key words : Dry matter accumulation, Foliar application, Grain protein content, Nitrogen accumulation, Nitrogen fertilizer topdressing, Wheat (*Triticum aestivum* L.)