

第3章 北海道の基幹品種に対する高収のための合理的な窒素施与法

3-1 既往の知見

(1) 窒素施与位置と施与窒素の移動

畑作物に対する施肥位置は、(i) 肥料成分の効率的利用、(ii) 肥料による濃度障害の回避、(iii) 作業の簡便性、などに影響を及ぼすため重要である²²¹⁾。ただし、諸岡¹¹⁵⁾は土壤肥沃度が高ければ、施肥位置の効果は小さくなる傾向にあり、肥沃度が低い場合は種子に近い条施などの効果が大きいと述べている。したがって、施肥位置問題は、土壤の物理化学的特性や作物の生育特性および施与時期との相互関係で論じられるべきであろう。

十勝の畑作地帯では現在、基肥（播種時）の9割以上が条施されており¹⁶⁰⁾、全道的にも同様な傾向にあるため、秋播小麦でも同様とみなして良い。これに対し、欧米では窒素の表面施与も実施され、条施との比較検討が行われている。両施与位置間には収量差がないとする報告⁸⁵⁾もあるが、DAIGGAR³²⁾やSINGHら¹⁷³⁾は、秋播小麦の施与窒素吸収率は表面施与より条施で高く、大麦でも収量、窒素吸収量、施与窒素吸収率は条施で高いことを認めている²²³⁾。このような差が生じる原因を、TOMAR²²³⁾は、条施された窒素が土壤とあまり接触しないので、微生物による不可給化が少ないためとしている。しかし、これらの研究は、pH6.9の土壤で尿素を使用しており、表面施与された窒素の一部がアンモニアとして揮散した可能性もある。

CHRISTENSEN³⁰⁾は高pH土壤に尿素と硝安を秋に表面施与した場合、アンモニア揮散の著しいことを認め、TERMAN²¹⁰⁾も表面施与された窒素肥料の中で尿素のアンモニア揮散が著しく、それは土壤pHの上昇、乾燥および温度上昇によって促進されることを見出している。FENNら^{50, 51, 52)}は表面施与によるアンモニア揮散の機構およびその抑制機構を詳述しているが、とくにpHとの関係が重視されている。したがって、高pH土壤にアンモニア系肥料や尿素を表面施与すると可成な量のア

ンモニアが揮散すると考えられるが、低pH土壤ではほとんど問題にならないとみて良いであろう。

三枝ら¹⁵⁷⁾は秋播小麦に対して播種時に施与されたアンモニア態窒素は気温が14℃以下であっても、比較的早期に硝酸化成を受け、生成した硝酸態窒素は越冬前後の多水分条件で流亡しやすいと考えた。アメリカでもHUBERら⁷⁹⁾が同様の傾向を認めている。秋播小麦の越冬前後の期間は、蒸発散量より降水量が多く、このような条件では、野口ら¹²⁵⁾、小川ら¹²⁸⁾が指摘するように養分も下層へ移動しやすくなると推定される。施与窒素の下層移動は起生期以降の窒素吸収に影響を与え、窒素吸収率を支配する主因になる可能性が強い。BURNESら²¹⁾によれば、硝酸態窒素の移動は、施与量、降水量、土壤の孔隙分布、施与位置、随伴するカチオン、温度、微生物活生、作物の窒素吸収などの相違によって影響されると述べている。

これらの要因の中で、とくに降水量は重視されねばならない。三枝ら¹⁵⁷⁾は、降水量100mm当りの無機態窒素の移動距離は16cm以上と推定している。また、COCHRANら³¹⁾は9月から4月初旬までの降水量が300mmの場合、硝酸態窒素は120cm以下の層位に、140～160mmの場合には60～120cm間の層位に分布することを認めている。両研究で使用された土壤はいずれも埴壌土であるが、降水に伴う移動距離は明らかに異なっていた。施与時期（前者：10月、後：9月）、窒素肥料の種類（前者：硫安、後：硝酸石灰）などの相違も関与すると考えられるが、その他に、地形および土壤の透水性や養分保持能、微生物の窒素固定能などの相違も考慮すべきであろう。

降水量以外では、粗大粒団¹⁵⁹⁾、栽植の有無¹⁶⁾、微生物の固定作用¹³²⁾、施与時期¹⁵²⁾、硝酸化成抑制剤の使用^{79, 80)}と硝酸態窒素の移動の関係が検討されている。しかし、施与位置との関係を検討した研究がほとんどなく、今後の重要な検討課

題である。

田中²⁰³⁾は集約化農業における施肥位置問題を次のようにまとめている。『国土面積の限られた我が国の畑作において、今後生産力を増大していくためには単位面積当りの収量増加に頼らざるをえない。これを従来からの全量基肥作条方式で施用すると濃度障害をおこす恐れがあり、この慣行から脱却する必要がある。濃度障害の回避、施肥効率の向上には施肥位置問題だけでなく、以下に述べる施与時期問題も考慮する必要があることを示唆しており、集約化農業では根本的な施肥法の見直しが必要であろう。』

(2) 窒素施与時期とその肥効

OLSON¹³¹⁾によると、小麦は秋施肥の場合は土壌窒素から、春施肥の場合は肥料窒素から相対的に多くの窒素を吸収するが、全吸収量には差がないので、施与窒素吸収率は春施肥で高いと指摘している。同様な傾向はSTANFORD¹⁸⁶⁾も認めているが、収量差は小さいとする報告が多く^{30, 132, 186)}、その点で両施与時期の優劣はつけ難い。ELLEN⁴⁴⁾は肥沃な土壤では秋施肥より春施肥が効率的であることを指摘している。すなわち、越冬前の窒素吸収量は、越冬後のそれに比べて少ないので、播種時の土壤中に越冬前の窒素吸収量に相当する無機態窒素が存在すれば、秋施肥の必要はないわけである。また、先述した秋施肥による養分の流亡問題も考慮すると、播種時に多量の窒素肥料を施与するのは不利である。

このような経過から、越冬前の生育に見合った窒素を播種時に施与し、残りは越冬後に施与する方式が欧米で注目され、この方式による増収効果の大きいことが認められている^{79, 154)}。RIGA¹⁵²⁾の報告によると、ベルギーでも秋(播種時)と春(分げつ終止期)の2回施与が慣行として行われていたが、最近では秋施肥は省略され、越冬後から止業期にかけて2～3回施与する体系が確立されつつあると言う。東ドイツ¹⁵¹⁾でも同じような方式が奨められている。しかし、一方では、越冬後の多回施与は不必要で^{11, 60)}、分げつ終止期に1回施与すれば充分である¹⁵⁶⁾との指摘もある。

SPRATT¹⁸³⁾は、早期の窒素施与は栄養生長を促

進し、分げつ数を増大させ、HUKLESBY⁸¹⁾やOLSON¹³⁰⁾は節間伸長開始期の直前に窒素を施与すれば、効果的に増収するとしている。ただし、分げつ茎が無効化するような環境条件では増収効果をあまり期待できないとも言われている¹⁸³⁾。江口⁴³⁾は節間伸長期より後の小穂分化中期から穎花分化期までの窒素施与は、穂数と1穂粒数増のために増収効果が高いことを認め、また、出穂期前後の窒素施与は下部小穂の不稔防止による粒数増と粒重増で増収すると指摘している^{43, 208)}。さらに、生育後期の窒素施与は登熟期間中の窒素吸収を高め、粒の蛋白と澱粉を増加させると言われている^{17, 87, 153, 174)}。見方をかえると、影響を受ける収量構成要素は施与時期で異なるので、与えられた条件下における収量制限要因が明らかになれば、効率的な施与時期を決定することが可能である。

与えられた環境条件が生育、収量に及ぼす影響を検討することは、以下の事実から重要である。すなわち、窒素増施は一般に穂数を増加させ^{71, 145)}、穂数にあまり影響がない場合は穂重を増加させる^{64, 183)}と言われるが、何故、穂数を増加させる場合とそうでない場合が生じるのか不明である。また、出穂期の窒素施与による増収効果が認められる例^{43, 208)}と認められない例⁵³⁾がある。さらに、粒重に対する窒素施与効果についても相反する結果が得られている^{71, 100, 145, 181)}。

したがって、与えられた環境とそれが生育過程に与える影響を明らかにしつつ、窒素の管理法を論じるべきであろう。とくに、窒素追肥で高収を目指す場合には、作物の生育状態、土壌の窒素供給力、および施与窒素の吸収特性との関係で追肥時期や追肥量が決定されるべきであり、さらに、固形肥料の使用だけでなく、窒素の葉面散布法^{34, 36, 53)}の効果的使用にも留意する必要がある。

3-2 実験方法および結果

3-2-1 秋季・基肥窒素の施与位置と肥効の関係

(1) 施与位置が施与窒素の挙動に及ぼす影響

実験方法

a) 1978年9月14日、ほ場の作土を6kg充填した直径23.5cm、高さ35cmのビニール円筒を上

面が地表面と一致するようは場に埋設し、558mg N（硫安）を円筒内の表面下5cm〔窒素作条施与区（作条区）〕と地表面〔窒素表面施与区（表面区）〕に施与した2区を設けた。なお、両区とも地表下5cmに558mg P_2O_5 （過石、熔燐半量づつ）、360mg K_2O （硫加）を施与した。

1978年10月16日と1979年4月28日に円筒をとり出し、表面より7cmきざみで円筒内土壌を層位毎に切断し、各層位の無機態窒素（ NH_4-N および NO_3-N ）をコンウエイの微量拡散分析法で測定した。以後の実験でも土壌の無機態窒素は同じ分析法を適用した。

b) 1980年9月、無N区、NPK作条施与区（以後、作条区と呼ぶ）、N表面・PK作条施与区（以後、

に均一散布した。

実験結果

a) 施与約1ヶ月後（10月16日）には、無機態窒素の大部分が0～7cmの層位に存在し、無機態窒素に占める NH_4-N の比率は、表面区で作条区より高かった。（表4）。越冬後（4月28日）の無機態窒素は、上層ほど多いが、下層にも分布し、その大部分が NH_4-N であった。また、越冬後における0～35cmの無機態合計窒素量は、10月16日より減少したが、その減少量は作条区で表面区より大きかった。

b) 越冬後の無機態窒素は、その多くが0～40cmの層位に分布し、この層位では作条区よりN表面区で多かった（表5）。両区から無N区の

表4．越冬前後の土壌層位別の形態別無機態窒素含量

(mgN/層位)

N位置 月・日 層位 cm N形態	作 条				表 面			
	10・16		4・28		10・16		4・28	
	NH_4-N	NH_4-N + NO_3-N	NH_4-N	NH_4-N + NO_3-N	NH_4-N	NH_4-N + NO_3-N	NH_4-N	NH_4-N + NO_3-N
0～7	390	499	61	100	513	534	162	187
7～14	0	15	82	90	3	16	102	118
14～21	0	18	58	62	0	9	51	73
21～28	0	7	30	36	0	11	47	71
28～35	0	12	12	18	0	13	14	34
合 計	390	556	243	305	516	584	376	483

N表面区と呼ぶ）を設けて、翌春の起生期に0～40cmと40～80cmの層位に分けて土壌試料を採取し、各層位の無機態窒素を分析した。

ha当り施与量は140Kg N（硫安）、215Kg P_2O_5 （リンスター30）、108Kg K_2O （硫加）とし、 P_2O_5 と K_2O および作条区のNは30cm畦幅の作条に施与し、その後「ホロシリコムギ」を350粒/㎡条播し、覆土した。N表面区のNは、覆土後、地表全面

表5．越冬後の層位別無機態窒素含量と
施与窒素の残存率

層 位 cm	NH_4-N+NO_3-N (g/㎡)			残存率 (%) *	
	無N区	作条区	N表面区	作条区	N表面区
0～40	2.2	12.2	18.0	75	>100
0～80	3.5	14.2	19.7	80	>100

*作条区、N表面区の無機態Nから無N区のそれを差引き算出した。

無機態窒素含量を差引き、施与窒素の層位内残存率を算出したところ、表面区では100%以上であり、作条区は約80%で表面区より低かった。

(2) 窒素施与量・位置が初期生育に及ぼす影響 実験方法

1980年9月22日、作条区とN表面区を設け、それぞれに40, 80, 120, 160Kg N/ha（硫安）の4段階の窒素施与量区を設け、標準耕種法で「ホロシリコムギ」を播種した。なお、160Kg P_2O_5 （過石と熔燐を P_2O_5 として半量づつ）、100Kg K_2O （硫加）を作条に施与した。以後、硫安、過石、熔燐、硫加の組合せを標準肥料と呼ぶ。

10月16日と11月12日に作物体および0～5cm、5～15cm、15～25cmの層位別の土壌試料を採取した。

実験結果

10月16日の地上部乾物重は、窒素増施によりN表面では漸増し、作条区では漸減し、常にN表面区で大きかった(図26-a)。この施与位置間の相違は、11月12日にはより明瞭であり、窒素吸収量も乾物重と同様な施与位置間差があった(図26-b)。

10月16日には、作条区、N表面区ともに無機態窒素の大部分が1層目に残存していた(表6)。1層目の無機態窒素とアンモニヤ態窒素は、窒素増施で増加したが、同一窒素施与量区で比較すると、作条区は常にN表面区の2倍以上の値であった。ECも同様な傾向を示し、窒素増施で上昇し、とくに作条区では極めて高かった。

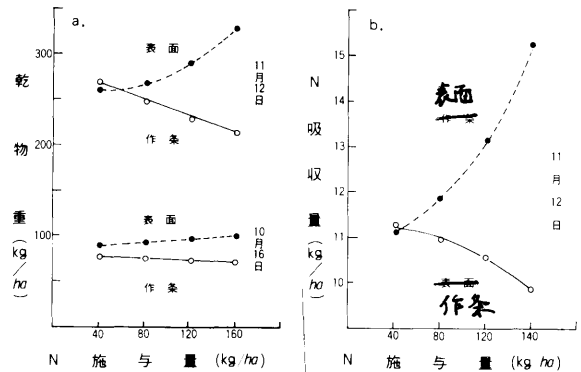


図26. 窒素施与位置、施与量と越冬前の地上部乾物重(a)、窒素吸収量(b)の関係

表6. 層位別のEC、無機態窒素含量と窒素施与位置間差
(10月16日測定)

層位 (cm) N (kg/ha)	E			C (mS/cm)			NH ₄ -N (mg/100g)			NH ₄ -N+NO ₃ -N (mg/100g)		
	0~5	5~15	15~25	0~5	5~15	15~25	0~5	5~15	15~25	0~5	5~15	15~25
作条施与 40	1.36	0.16	0.09	18.7	0.9	Tr	27.2	4.3	2.4			
作条施与 80	1.63	0.29	0.27	41.7	6.4	6.3	49.0	10.0	9.5			
作条施与 120	1.75	0.31	0.27	62.1	9.3	6.1	67.9	13.5	9.7			
作条施与 160	2.12	0.19	0.10	73.4	4.9	0.5	80.9	8.5	3.3			
N表面施与 40	0.70	0.15	0.09	6.7	0.2	Tr	13.1	2.2	2.5			
N表面施与 80	0.92	0.16	0.14	13.0	0.5	Tr	20.4	3.1	4.0			
N表面施与 120	0.81	0.14	0.10	22.5	0.2	Tr	30.2	3.2	3.2			
N表面施与 160	1.32	0.15	0.09	33.8	0.3	Tr	40.7	3.3	3.0			

注) 新鮮土30gにH₂OあるいはN-KCl100mℓ添加後1.5hrs振とうし、各種分析に供した。

(3) 窒素施与位置が生育、収量に及ぼす影響

実験方法

a) 1978年から1980年にかけて、作条区とN表面区を設け、「ホロシリコムギ」について標準栽培法で試験を行った。なお、窒素施与量は年次によって異なる。

b) 1979年9月、作条区とN表面区を設け、それぞれに100, 180Kg N/ha (硫酸) の2段階の窒素施与量区を設け、「ホロシリコムギ」について標準耕種法で試験を行った。

実験結果

a) 子実重と穂数は、作条区よりN表面区で高く(表7)。、収穫時の全重も同様な傾向で、粒重は両区にあまり差がなかった。収穫時の窒素吸収量は、N表面区で多いが、1980年はむしろ作条区で多かった。

1979年の開花期における地上部乾物重と窒素吸収量は、N表面区より作条区でやや多かったが、開花期以降のそれらは、いずれもN表面区で多かった(表8)。

表7. 窒素施与位置の相違が子実収量と収穫時の穂数、全窒素吸収量に及ぼす影響

区画 年次	子実重 (t/ha)			N吸収量 (kg/ha)			穂数 (本/m ²)		
	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1979	1979	1980
作条区	4.50	3.02	4.65	142	76	158	595	343	697
N表面区	4.98	3.38	4.79	158	92	153	636	371	742

表 8. 窒素施与位置の相違が開花期および開花期以降の地上部乾物重と窒素吸収量に及ぼす影響 (1979年)

項目 時期 処理	乾 物 重 (t/ha)			N 吸 収 量 (kg/ha)		
	開 花 期 6 月20日	収 穫 時	開花以降 増 加 量	開 花 期 6 月20日	収 穫 時	開花以降 増 加 量
作 条	5.18	7.51	2.33	66.3	75.6	9.0
N 表 面	4.90	8.22	3.32	64.1	92.4	28.3

表 9. 生育、収量に対する窒素施与位置、施与量の影響

N (kg/ha) 処 理	100		180	
	作条	N 表面	作条	N 表面
	開		花	
茎 数 (本/m ²)	481	530	457	552
L A I	2.01	2.88	2.44	3.25
乾 物 重 (t/ha)	4.86	5.41	5.14	6.01
N 吸収量 (kg/ha)	67	81	83	101
	収		穫	
子 実 重 (t/ha)	3.40	3.66	3.89	4.22
開花期以降 乾物増加量 (t/ha)	3.63	3.77	5.05	5.20
N 吸収量 (kg/ha)	95	106	125	143

b) 開花期の茎数, LAI, 地上部乾物重, 窒素吸収量は, いずれも N 表面区で作条区より高かった (表 9)。さらに, 子実重と窒素吸収量は, 作条区, N 表面区とも窒素増施で増加し, 同一窒素施与量では表面区で常に高かった。

3-2-2 窒素施与時期と肥効の関係

(1) 窒素追肥時期が生育, 収量に及ぼす影響

実 験 方 法

a) 1975年 9 月, 「ムカコムギ」と「ホロシリコムギ」を用いて試験を行った。処理としては, (i) 80Kg N/ha 作条基肥 (ii) 140Kg N/ha 作条基肥 * (iii) 80Kg N/ha 作条基肥 + 起生期 60Kg N/ha 追肥 (iv) 80Kg N/ha 作条基肥 + 止葉期 60Kg N/ha 追肥 (v) 80Kg N/ha 作条基肥 + 開花期 60Kg N/ha 追肥の 5 区を設けた。窒素肥料は基肥, 追肥とも硫安を用い, 標準耕種法で栽培した。

b) 1978年から1980年にかけて, 「ホロシリコムギ」について標準耕種法で試験を行った。播種時には各年とも化成肥料 800Kg/ha (N : P₂O₅ : K₂O = 10 : 18 : 12, 以下同じ) を施与し, 4 月下旬 ~ 7 月下旬の 6 ~ 9 期の異った時期に, 1978年

には 40 Kg N/ha, 1979年と1980年には 60 Kg N/ha を硫安で追肥した。

c) 1975年 9 月, 「ムカコムギ」を用い, 標準耕種法で試験を行った。基肥として化成肥料 (10 : 18 : 12) 800Kg/ha を施与し, 出穂期, 出穂後 10 日, 20 日, 30 日の 4 期に 40Kg N/ha の硫安を追肥する処理区と出穂後 20 日目に 2, 4, 6 % の尿素液 (1 l / 8 m²) を散布する処理区を設けた。

実 験 結 果

a) 窒素追肥による増収効果は, 両品種とも起生期追肥区 > 止葉期追肥区 > 開花期追肥区であり, 起生期追肥は基肥増量区より多収であった (表 10)。

越冬後の窒素追肥区間で比較すると, 両品種で追肥時期が早いほど穂数は多く, ムカコムギでは倒伏も著しかった。一方, 1 粒重, 子実窒素含有率は, 追肥時期が遅いほど高かった。

品種間で比較すると, 子実重, 穂数, および倒伏率はムカコムギで, 1 粒重, 子実窒素含有率はホロシリコムギで高かった。

b) 子実重に対する窒素追肥効果は, 1979年と1980年で大きく, 1981年で小さかった。また,

* (ii)区は(iii)区以下の追肥区と対応して考察するため, 播種期に増施されたものであり, 全窒素施与量は(iii)区以下と同等である。

表10. 子実収量、収量構成要素、窒素吸収量に対する窒素施与時期の影響とその品種間差

処 理 区	N(kg/ha)		N追肥期 月・日	子実重(t/ha)		穂数(本/m ²)		一粒重(mg)		子実N含有率(%)		N吸収量(kg/ha)		倒伏率(%)	
	基肥	追肥		ムカ*	ホロ**	ムカ	ホロ	ムカ	ホロ	ムカ	ホロ	ムカ	ホロ	ムカ	ホロ
i 基肥N区	80	0	—	3.84	3.62	569	478	34.6	37.8	2.07	2.19	107	101	0	0
ii 基肥N増区	140	0	9・15	4.44	4.37	589	562	35.2	36.7	2.18	2.22	131	130	58	0
iii 起生期追肥	80	60	4・28	4.77	4.54	625	622	35.8	37.2	2.24	2.24	144	136	81	0
iv 止葉期追肥	80	60	5・24	4.40	4.20	600	547	37.2	37.4	2.47	2.52	144	141	47	0
v 出穂後追肥	80	60	6・24	3.88	3.83	553	455	37.4	39.1	2.59	2.79	130	145	0	0

*ムカコムギ **ホロシリコムギ 出穂期は両品種とも6月15日

1979年, 1980年は追肥時期が早いほど増収したのに対して, 1981年は出穂後の追肥で増収が認められた(図27-a)。

追肥窒素の吸収率も, 子実重とはほぼ同じ傾向が認められ, 1979年には早期追肥ではほぼ100%の吸収率であったが, 以降, 追肥時期が遅くなるにつれて急低下した。これに対して, 1981年は後期追肥ほど吸収率が高い傾向を示した(図27-b)。

窒素追肥で増収効果が大きかった1979年は, 無追肥区の穂数が少く, 早期追肥で穂数が増加した。一方, 増収率が小さかった1981年は, 無追肥区の穂数が極めて多く, 窒素追肥による穂数増は認められなかった(図27-c)。

無追肥区の窒素吸収量は, 1979年であく, 早期追肥で顕著に増加したが, 1981年は後期の追肥で高まる傾向を示した(図27-d)。

窒素追肥効果は粒重より子実窒素含有率に大きく表われたが, 両者とも出穂期前後の窒素の追肥効果が最も大きかった(図27-e)。

c) 出穂期以降の窒素の表面追肥により, 子実重, 1粒重, 窒素吸収量, 子実窒素含有率は上昇し, それらの上昇率は窒素追肥時期が早いほど大きかった(図28)。

出穂後20日に行った尿素的葉面散布も増収効果があり, 2~6%の濃度範囲では, 高濃度ほど効果が大きく, 窒

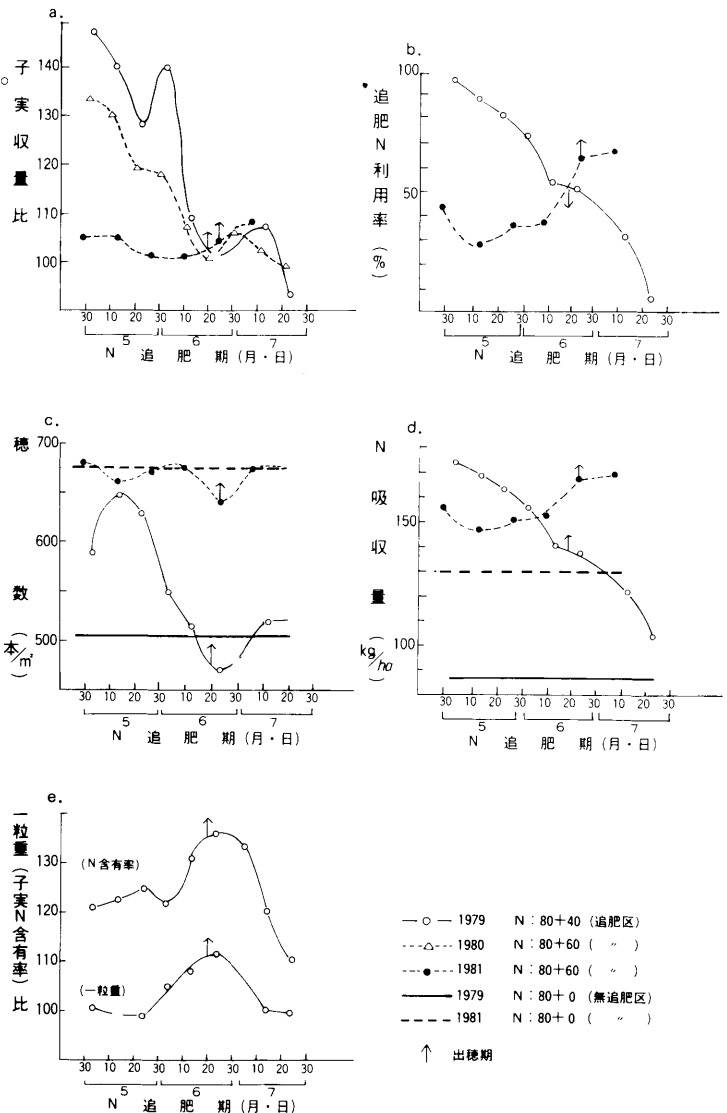


図27. 窒素追肥時期の相違が収量および収量構成要素、窒素吸収量に及ぼす影響

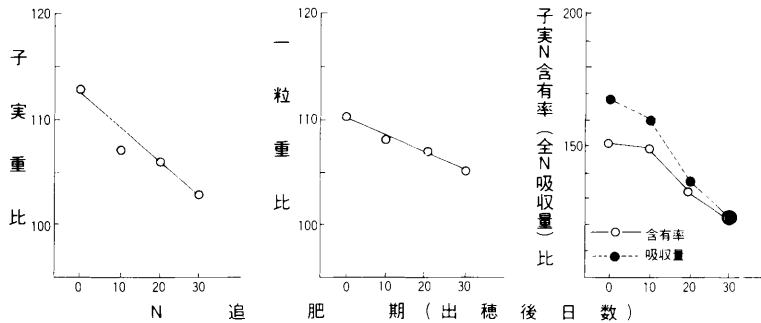


図28. 無追肥区に対する出穂期以降の固体窒素肥料の追肥効果

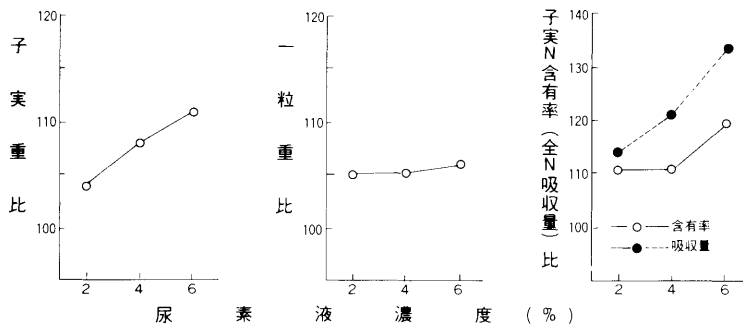


図29. 無散布区に対する出穂後20日目の濃度別尿素液の葉面散布効果

素吸収量も子実重と同じ傾向であった（図29）。

出穂後20日目に窒素の追肥を行った区同志で比較すると、子実重、全重、NEは尿素葉面散布区で、子実窒素含有率は硫酸表面追肥区で高かったが、1粒重、窒素吸収量にはあまり差がなかった。

験を行った。

b) 1978年、「ホロシリコムギ」について、標準耕種法で、播種時に0, 20, 40, 60Kg N/haを硫酸で作条施与する処理と、起生期に0, 60, 100, 140Kg N/haを硫酸で表面施与する処理とを

表11. 出穂後20日目の窒素追肥方法の相違が生育、収量に及ぼす影響

* 項目 処理区	全重 t/ha	子実重 t/ha	同左指数	1粒重 mg	N含有率 (%)		N吸収量 kg/ha	NE** kg/ha
					子実	茎葉		
無追肥区	13.71	5.09	100	42.8	1.58	0.28	104	49.2
表面追肥区	14.29	5.42	106	45.9	2.08	0.33	141	38.5
葉面散布区	14.86	5.63	111	45.5	1.88	0.35	137	41.2

* 表面追肥区は硫酸(40kgN/ha)、葉面散布区は6%尿素液(34.5kgN/ha)使用

** Nitrogen Efficiency (子実重/N吸収量)

(表11)。

(2) 基肥窒素と越冬後追肥窒素の施与配分が生育、収量に及ぼす影響

実験方法

a) 「ホロシリコムギ」について、標準耕種法で1978年には、0, 20, 40, 60, 80, 120, 160, 200Kg N/ha, 1980年には、0, 40, 80, 120, 160, 200Kg N/haを硫酸で作条施与した区を設け、試

組合せた処理区を設け、試験を行った。

c) 1980年、「ホロシリコムギ」について、標準耕種法で播種時に800Kg/haの化成肥料を作条施与し、6月2日(止葉期)に硫酸またはチリ硝石を用いて、0, 30, 60, 90, 120Kg N/haとなるよう畦間に追肥した。窒素追肥後、経時的に層位0~25cmの土壤試料を採取し、無機態窒素の分析を行うとともに、収穫時に各種調査を行った。

d) 1979年,「ムカコムギ」を用い標準耕種法で栽培し,試験を行った。播種時に ha 当り60Kg N, 140Kg P₂O₅, 90Kg K₂O を標準肥料で作条施与し, 6月22日(出穂揃期)には硫酸を使用して 0, 40, 60, 80, 100Kg N/ha となるよう畦間に追肥した各区を設けた。

実験結果

a) 越冬直前の地上部乾物重と窒素吸収量をみると,両者共,どの窒素施与レベルでも1979年より1980年が高かった(図30)。

地上部乾物重は,1978年には80Kg N/ha まで増加したが,1980年には40Kg N/ha 以上の窒素施与量で減少し始め,160Kg N/ha 以上では 0 Kg N/ha より劣った。

窒素吸収量は,両年共80Kg N/ha で最高値であ

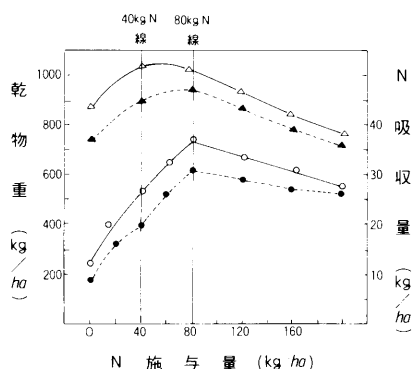


図30. 越冬前の地上部の乾物重、窒素吸収量と作条窒素施与量の関係

り,その前後で減少する傾向が認められた。

1978年における越冬前の降水量は,平年並かやや多かったの対して,1980年は平年よりかなり少く,9月中旬~10月中旬の発芽期を含めた初期生育期間には,ほとんど降水がなかった(表12)。

b) 基肥窒素施与量が同量の系列ごとにまとめると,いずれの系列でも起生期の追肥窒素の増施で,子実重は曲線的に,窒素吸収量は直線的に増加した(図31)。

窒素追肥による子実重の増収率は,基肥窒素量の多少にかかわらず,追肥窒素が60Kg N/ha までは極めて大きい,それ以上の追肥窒素量では小さくなり,とくに,その傾向は基肥窒素量が多く

表12. 越冬前の降水量の年次間差 (mm)

年次	9月			10月			11月		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下
1978	46	58	10	7	33	24	4	29	9
1980	13	4	1	2	1	40	1	0	5
平年	47	30	29	24	31	36	20	26	22

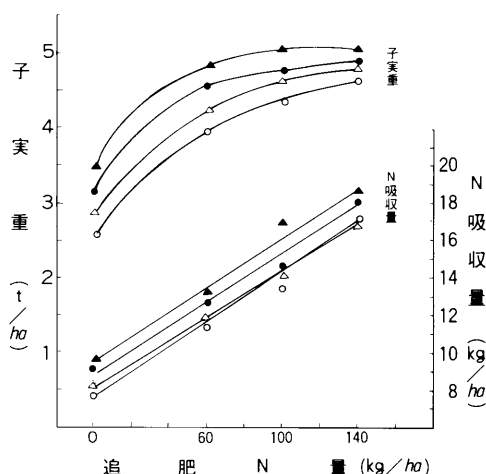


図31. 基肥窒素施与量を異にした場合の起生期の追肥窒素量と子実重、窒素吸収量との関係

注) ○—基肥 0 kg N 系列 △—基肥 20 kg N 系列
●—基肥 40 kg N 系列 ▲—基肥 60 kg N 系列

なるほど顕著であった。

c) データは硫酸追肥区とチリ硝石追肥区の平均値で示した。

止葉期の窒素追肥は,追肥量の多少にかかわらず子実重を増加させたが,60Kg N/ha 追肥区が最高収であり,それ以上の追肥量では漸減した(表13)。

全重, HI, 1粒重, 追肥窒素吸収率も子実重と同様な傾向であったが,窒素吸収量は追肥窒素の増施とともに増加した。

追肥後の土壤中無機態窒素は,追肥窒素が多いほど多いが,経時的に減少し,30kg, 60Kg N 追肥区で追肥後14日目から28日目の減少が著しかった(表14)。

各追肥区と無追肥区の無機態窒素含量から,み

表13. 止葉期の追肥窒素施与量が生育、収量に及ぼす影響

項目 追肥N (kg/ha)	子実重 (t/ha)	全 重 (t/ha)	HI (%)	1 粒 重 (mg)	N吸収量 (kg/ha)	NHI %	追肥N利 用率(%)
0	4.94	14.00	35.2	36.4	149	75.1	—
30	5.29	14.61	36.2	36.1	165	76.5	53.3
60	5.92	16.05	36.9	36.8	195	75.3	76.7
90	5.70	15.67	36.4	36.3	199	73.4	55.6
120	5.58	15.46	36.1	35.7	209	70.9	50.0

注) 子実重には1%水準で有意差があり、そのLSDは0.61t/haである。

表14. 止葉期の追肥窒素施与量が土壤中無機態窒素と施与窒素残存率に及ぼす影響

項目 追肥N (kg/ha)	日数	無機態N (g/m ²)*			施肥N残存率 (%)**		
		14	28	42	14	28	42
30		4.4	0.5	0.2	73.3	8.3	3.3
60		8.3	0.9	0.1	69.2	7.5	0.8
90		14.6	5.2	0.3	81.1	28.9	1.7
120		20.1	9.3	0.2	83.8	38.8	0.8

* 深さ0～25cmでサンプル採取、容積重79.18g/100ccとして算出

** Nは畦間に追肥されたが、散布幅が10～15cmに達するものとして算出した。

かけの追肥窒素の土壤中残存率を算出したところ、追肥後42日目の区間差は小さかったが、14日目と28日目では60Kg N/ha 追肥区の残存率が最低であった。

d) 出穂期の窒素追肥は、追肥量の多少にかかわらず子実重を増加させ、60Kg N/ha 追肥区が最高収量で、追肥窒素吸収率も最大であった(表15)。HI や1粒重も60Kg N/ha 追肥区が最高で、

生育量が減少するのに対して、N表面施与では増し、多量窒素施与の場合には両施肥法間の生育差が大きくなり、N表面施与が優る(図26-a)。播種層土壌(0～5cm)のEC、NH₄-N濃度は、窒素増施に応じて上昇し、ECは、作条施与の場合は窒素増施量に関係なく1m S/cm以上であるが、N表面施与では160Kg N/haを除いて1m S/cm以下で、NH₄-N濃度も50mg N/100g以下であっ

表15. 出穂揃期の追肥窒素施与量が生育、収量および追肥窒素吸収率に及ぼす影響(対無追肥区指数)

項目 追肥N (kg/ha)	子実重 (t/ha)	HI (%)	1 粒 重 (mg)	N 吸 収 量 (kg/ha)	子実N含有 率 (%)	追肥N利 用率(%)
0	(5.00)	(38.2)	(40.0)	(109)	(1.67)	—
40	102	101	104	122	120	(59.2)
60	109	103	107	138	126	(69.2)
80	104	101	105	139	132	(54.5)
100	108	100	101	159	137	(64.0)

() は実数値

注) 子実重には5%水準で有意差があり、そのLSDは0.37t/haである。

それ以上の追肥量では漸減した。しかし、窒素吸収量と子実窒素含有率は、追肥窒素の増施で漸増した。

3-3 論 議

(1) 基肥窒素の施与位置とその肥効

慣行の作条施与では、窒素増施で越冬前の初期

た(表6)。

別途行ったポット試験の結果では、ECが1m S/cm以上、NH₄-Nが50mg N/100g以上で初期生育の抑制作用があった(図32)。

したがって、越冬前の発芽・初期生育は、播種層土壌のECやNH₄-N濃度に支配され、その濃

度が高い作条施与で劣り、これらの値の低い表面施与で優る。

播種時に施与した窒素は、約1ヶ月間はその大

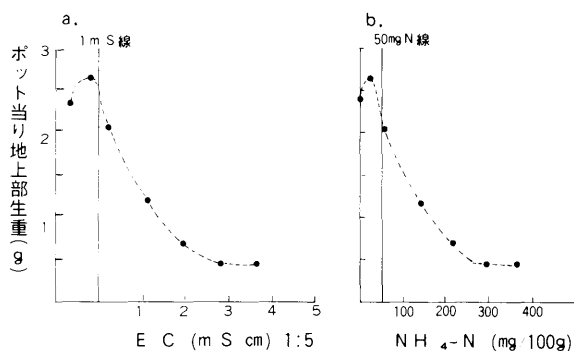


図32. 初期生育量と土壌のEC (a) およびアンモニヤ態窒素濃度 (b) の関係

注) 1. 供試品種 ホロシリコムギ、20粒/ポット 2. 供試土壌 北見農試土 (1600μ)
3. 試験規模 a/7000ポット、2反復 4. 使用肥料 硫酸、第1リリ九酸石灰、硫酸
4. 10月6日播種、10月27日収穫

部分が無機態窒素として施与位置の近傍に分布し、この無機態窒素のうち NH₄-N が占める割合は、作条施与より N 表面施与で大きい (表4)。越冬後の無機態窒素は越冬前より減少する。この減少分は35cmより深い土層に流亡したと考えられる。この流亡は作条施与より N 表面施与で小さい。

したがって、表面施与された窒素は、硝酸化成の抑制ため土壌深層への流亡量が少く、さらに、施与位置が地表面であるため深層系外に達する距離が長く、これらの理由のために施与窒素の有効土層中での残存率が相対的に高い (表5)。

収穫時の穂数や全重は、N 表面施与で作条施与より多かった (表7、表8)。窒素の表面施与では越冬前の生育量が大きく、施与窒素の越冬後の残存率が優るため、越冬後の起生力が高まり、その後の生育を旺盛にし、多くの穂数が確保できる。また、N 表面施与の場合、作条施与に比べて、開花期の乾物重、窒素吸収量、LAI、茎数が高く、このことが開花期以降の乾物生産や窒素吸収力を高める (表9)。

以上の結果から、窒素の表面施与は、(a) 濃度障害の軽減によって越冬前の生育を増進し、(b) 施与窒素の冬期間の流亡を軽減し、越冬後の窒素供給力を高め、(c) 起生期以降の生育を旺盛にし、(d) 生育全期に亘る乾物生産力と窒素吸収力が高

く、高収になると結論できる。

(2) 窒素の追肥効果とその機作

越冬後の窒素追肥が収量構成要素に与える影響は、追肥時期で異なり、一般に早期 (起生期) は穂数を、中期 (止葉期) は穂数と粒重を、後期 (出穂期) は粒重と子実窒素含有率をそれぞれ増加させる (表10)。

しかし、子実収量に対する追肥時期別の増収効果は、年次で異なり、1979年と1980年では追肥時期が早いほど大きかったが、1981年ではむしろ後期追肥で効果が大きかった (図27)。窒素吸収量や追肥窒素吸収率も子実収量と同様の傾向を示した。

1981年の無追肥区の穂数は670本/m²で、供試品種「ホロシリコムギ」については、すでに十分な穂数であり、この年の早期窒素追肥区では、穂数の増加に基づく増収効果が小さく、むしろ粒重が増加する後期窒素追肥区で増収効果が大きくなったのである。一方、1979年の無追肥区の穂数は、556本/m²と少いため、早期窒素追肥区は穂数と窒素吸収量の増加が大きく、穂数の増加がない後期窒素追肥区より高い増収効果を示した。

このように、窒素の追肥時期による増収効果は年次間差があり、その差は無追肥区の穂数の多少に起因すると結論される。

出穂後の窒素追肥方法として、硫酸の地表面散布と尿素液の葉面散布を比較したが、いずれも増収効果が認められた (表11)。しかし、地表面散布では、出穂後の日数が経過すると粒重と窒素吸収量に対する追肥効果は小さく、それに応じて増収率も小さくなるので、窒素追肥は出穂後の早い時期に行うべきである (図28)。一方、葉面散布は地表面散布より出穂後20日目の増収率が高く、この時期の窒素追肥法は速効性の葉面散布が有利である (図29、表11)。

基肥窒素の作条施与量と越冬前の生育量との間には年次間差があり、生育量は、1978年では80Kg N/ha 区で最大であったのに対し、1979年は40Kg N/ha が最大であった (図30)。この年次間差には、降水量の影響を強く受ける土壌の塩類濃度が関与すると推定した。すなわち、1978年は越

冬前の降水量が平年並であるのに対し、1979年は平年より少雨で土壌水分が少く、1978年より最適窒素施与量が低かった（表12）。

一方、越冬後の窒素施与量を生育時期別に検討したところ、起生期では60Kg N/ha 施与量の増収効果が安定的に大きく、止葉期や出穂期でも60Kg N/ha 施与量で最高収量になった（図32、表13、表15）。施与窒素吸収率や土壌中の無機態窒素含量の推移から判断して、60Kg N/ha の施与窒素が最も効率的に作物体に吸収され、それが全重、穂数、粒重、HI など高め、増収効果が相対的に高い（表14、表15）。

なお、窒素施与量が60Kg N/ha 以上では、減収

する場合もあったが、これには窒素表面施与による表層土壌 pH の低下が関与している可能性がある。すなわち、施与量が60Kg N/ha であっても、収穫跡地土壌の pH は無追肥区より明らかに低く、これ以上の施与量ではさらに低下すると予測され、低下の程度によっては、作物生育を阻害する危険性があり、この場合には減収すると考えられる（図33）。この問題は、低 pH と土壌の化学的、微生物的反応および作物の養分吸収反応との関係で検討される必要があるが、窒素を一度に多量施与すると作物の生育や培地環境に悪影響を及ぼし、高収が期待できない。

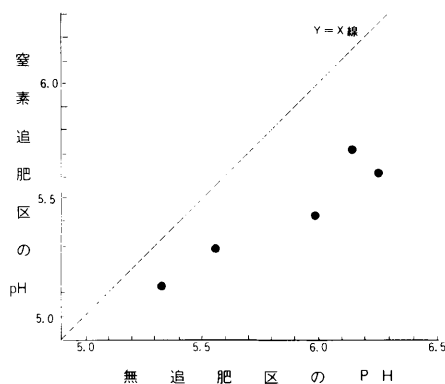


図33. 無追肥区と起生期窒素追肥区の収穫跡地における土壌 pH の関係

注) 窒素施与量は両区とも基肥として80kg N/haを条施し、追肥区には、さらに起生期に60kg N/ha（硫酸）を表面施与した。土壌 pH は畦間中央の0～10cm土層で測定した。