

石灰窒素とリン酸肥料を使って 麦稈を稲作に役立てる

全農 福岡肥料農業事業所 技術主管 脇本 賢三

導入しやすい稲麦二毛作

九州は麦作の盛んなところであり、特に北部地帯では水田の裏作として麦を栽培するところが多い。稲・麦二毛作体系は、水田を有効利用するうえで導入しやすい体系であり、自給率向上の一環としても麦栽培は今後ますますの推進が望まれるところである。麦栽培は水稻栽培のように機械化による省力が可能であり、また冬季に栽培されるため水稻作に比べ病害虫の被害が少なく、そのため農薬による防除が少なくすむという利点がある。

一方で出穂期～成熟期の降雨による麦の品質低下や水稻との作期競合など問題点も多いが、早播き栽培や育種技術を駆使した出穂の早期化など上記問題点もある程度回避されつつあるのが現状である。

麦稈すき込みの問題点

これらのほかに、麦収穫後の麦稈の処理が水稻生育との関連で問題点となっている。麦稈の処理は、①圃場からの搬出、②圃場内での焼却、③切断後圃場へのすき込み、がある。圃場からの搬出には多くの労力がかかり、また搬出した麦稈の利用が少ないことや、圃場へのすき込みは簡便な方法ではあるが水稻への生育障害の発生を惹起させることなどから、現状では圃場内で焼却されることが多い。しかし、焼却にともなう大気汚染や煙害などを引き起こすことから地力増強を兼ねた圃場へのすき込みが奨励されているところである。

麦稈の圃場へのすき込みは、地力増強の点で推奨すべきものであるが、すき込みにともない浮遊わらの苗の押し倒しや、土壌中でわらの分解にとまらぬ有害成分による生育障害の発生など解決すべき問題もいくつかある。ここでは、わらなど粗大有機物の腐熟促進に効果の高い石灰窒素を用いた水稻の施肥技術について検討した結果を報告する。

窒素とリン酸、2つの試験

試験は1977～1980年に九州農業試験場(現九州沖縄農業研究センター)筑後場内圃場で実施したものである。土壌は細粒灰色低地土、品種は「アソミノリ」を供試した。栽植密度は、条間30cm、株間約15cmの機械移植栽培とした。苗はミル式箱苗(35日苗)である。以下のような2種類の試験をおこなった。

試験Ⅰ：窒素施肥法試験(1980年)

○麦稈400kgに石灰窒素＋高度化成

麦稈施用量を乾物換算で400kg/10a施用した。この施用量は現地での平年作の小麦麦稈量にほぼ匹敵すると考えた。麦稈は約10cmに切断後、移植の2週間前にすき込んだ。すき込み時には石灰窒素処理区に石灰窒素を窒素養分で5kg/10a、また、ようりんと塩化カリを用いてリン酸およびカリを成分で各5kg/10a施用した。植え代かき時の石灰窒素区では高度化成48号を用い、窒素を0、2kg/10a、3kg/10a、対照区では高度化成48号を用い、窒素を5kg/10a、6kg/10a、7kg/10a施用した。追肥窒素は、麦稈施用と無施用のいずれも高度化成48号を用い、7月20日に2kg/10a、7月30日に2kg/10a、8月6日に3kg/10a(穂肥Ⅰ)、8月20日に3kg/10a(穂肥Ⅱ)を施用した。6月23日に移植し、10月20日に収穫した。

試験Ⅱ：リン酸施肥法試験(1977～1980年)

○麦稈に石灰窒素＋ようりん＋塩化カリ

麦稈施用量を乾物換算で10a当たり0、150kg、375kg、750kgを施用した。すき込み時に石灰窒素を成分で5kg/10a また、ようりんと塩化カリを用いてリン酸およびカリを成分で各5kg/10a施用した。品種は試験Ⅰと同様である。植え代かき時には、いずれの区も窒素を施用しなかった。追肥条件は試験Ⅰと同様である。リン酸多量処理には過リン酸石灰を用い、成分で70kg/10aを植え代かき時に施用した。

麦稈施用は、毎年同一場所を使用したため、それぞれ4年の連用試験となっている。リン酸多量処理区は1997年と1998年の2か年のみリン酸多量施用をおこない、あとの2か年は施用せず、残効試験とした。耕種条件は試験Ⅰと同じである。

リン酸や硫酸石灰の併用が効果的

試験Ⅰ

○化成窒素の効果で茎数が回復

7月18日の茎数をみると(表-1)、麦稈無施用の化成区では窒素施用量を5kgより多くすると茎数も増加した。石窒5・化成区でも化成窒素の増加により茎数も増加する傾向がみられた。麦稈無施用では化成5区に比べ石窒5・化成0区はやや茎数が少なかった。麦稈400kg施用の化成区では、化成5区に比べ化成6区の茎数は増加したが、化成7区では同等、石窒5・化成区でも、化成0区に比べ化成2区で茎数は増加したが、化成3区ではほぼ同等であった。

麦稈400kg施用では化成5区に比べ石窒5・化成0区は約10%茎数が少なかった。このように麦稈施用の有無にかかわらず、化成5区に比べ石窒5・化成0区は茎数が少なく、麦稈400kg施用条件ではその低下率が大きかった。

石窒5・化成0区の茎数は、基肥として化成窒素を施用すれば、ほぼ同等にまで回復した。7月18日の茎数は穂数にまで反映され、麦稈無施用の化成5区に比べ石窒5・化成0区は5%減となった。一方、麦稈400kg施用では化成5区が約20%減となったのに対し石窒5・化成0区はほぼ同等となった。石窒5・化成0区は化成5区に比べ有効茎歩合が高かった。

表-1 茎数の推移 (試験 I)

麦稈施用量 (kg/10a)	区 名	茎 数 ・ 穂 数 (本/m ²)				有効茎歩合 (%)
		7月18日	7月31日	8月8日	10月20日	
400	化成5	180(94)	446(71)	402(83)	321(81)	72.0
400	化成6	194(101)	498(79)	474(98)	364(92)	73.1
400	化成7	180(94)	552(88)	508(105)	403(102)	73.0
	平 均	185	499	461	363	72.7
400	石室5・化成0	160(83)	398(63)	420(87)	394(99)	93.8
400	石室5・化成2	198(103)	512(82)	510(106)	401(101)	78.3
400	石室5・化成3	166(86)	536(85)	514(107)	415(105)	77.4
	平 均	175	482	481	403	83.1
0	化成5	192(100)	628(100)	482(100)	396(100)	63.1
0	化成6	264(138)	652(104)	548(114)	398(101)	61.0
0	化成7	282(147)	640(102)	560(116)	420(106)	65.6
	平 均	246	640	530	405	63.2
0	石室5・化成0	186(97)	514(82)	438(91)	377(95)	73.3
0	石室5・化成2	248(129)	602(96)	510(106)	371(94)	61.6
0	石室5・化成3	240(105)	590(94)	586(122)	408(103)	69.2
	平 均	225	569	511	385	68.1

()内の数字は指数を表す。表-2、4、5も同じ。

○腐熟促進でわら重が増加

精玄米重をみると麦稈無施用の場合、化成区では化成窒素を1~2kg/10a増加させても、ほぼ同等であった。石室5・化成区では化成窒素を増加させても精玄米重は変わらず化成区よりやや低い傾向がみられた。麦稈400kg施用の場合も麦稈無施用の場合と同様の傾向であった。

一方、わら重をみると麦稈の有無にかかわらず化成窒素の増加によってわら重は増加した。麦稈400kg施用では化成窒素の単独施用よりも石灰窒素併用でわら重の増加率が大きかった(表-2)。

以上のことから麦稈施用時に腐熟促進を目的として石灰窒素を施用し、植え代かき時に化成窒素を施用しない場合は、茎数、穂数は少なくなるものの化成窒素施用区に比べ精玄米重の差はほとんどないことがわかる。

石灰窒素のわら腐熟促進の影響については、成熟期のわら重が石灰窒素施用で大きい傾向がみられたことから促進効果があつたものと推察される。ただし8月8日の時点の乾物重の結果(データ省略)をみると石灰窒素施用の有無の差はみられなかったことから、8月8日以降に石灰窒素施用にともなう窒素肥効が現れたものと考えられる。

表-2 収量調査 (試験 I)

麦稈施用量 (kg/10a)	区 名	わら重 (kg/10a)	精玄米重 (kg/10a)	総籾数 ($\times 10^3/m^2$)	1穂籾数	登熟歩合 (%)
400	化成5	567(91)	603(100)	27.6(97)	86(119)	94.2
400	化成6	687(110)	601(100)	27.9(98)	77(107)	91.8
400	化成7	663(106)	591(98)	26.9(95)	67(93)	96.5
	平 均	639	598	27.5	77	94.2
400	石室5・化成0	572(92)	601(100)	26.8(94)	68(94)	95.1
400	石室5・化成2	818(131)	610(101)	28.4(100)	71(99)	91.2
400	石室5・化成3	781(125)	580(97)	27.3(96)	66(92)	91.2
	平 均	724	597	27.5	68	92.5
0	化成5	625(100)	601(100)	28.4(100)	72(100)	91.2
0	化成6	815(130)	625(104)	28.9(102)	73(101)	93.4
0	化成7	977(156)	599(100)	27.5(97)	65(90)	92.7
	平 均	806	608	28.3	70	92.4
0	石室5・化成0	672(108)	583(97)	25.7(90)	68(94)	95.3
0	石室5・化成2	702(112)	591(98)	26.7(94)	72(100)	94.4
0	石室5・化成3	655(105)	591(98)	27.3(96)	67(93)	93.0
	平 均	676	588	26.6	69	94.2

○金属の過剰吸収を抑制した

また、茎葉中の鉄、マンガンの含有率をみると(表-3)麦稈施用で両養分の含有率が高まること、石灰窒素をわら施用時に施用しておく、これら養分の含有率低下が大きいこと、その影響は7月18日でより大きいことなどがわかった。これは、施用された麦稈が分解され土壌の還元化が進み、鉄、マンガンの溶解度が低下し吸収量が増加したものと考えられる。

これら養分の含有率増加が水稻の生育抑制に影響をあたえたかどうかは不明であるが、麦稈量が400kg/10a以上の多量施用をおこなう場合を考えると、還元化の程度がさらに高まり、これらの養分の含有率がより増加することが予測され、そのような条件ではこれら金属の高濃度集積にともなう生育への害作用の可能性も高まってくるが考えられる。

したがって、麦稈施用時に石灰窒素を施用しておくことは単にわらの腐熟を促進する効果だけでなく土壌の異常還元による鉄、マンガンの過剰吸収を抑制する点でも有効な手段と考えられる。

表-3 茎葉中の鉄、マンガン含有率 (試験 I)

麦稈施用量 (kg/10a)	区 名	7月18日		7月31日	
		鉄	マンガン	鉄	マンガン
400	化成5	1,319(165)	1,652(193)	625(139)	1,040(189)
400	化成6	1,700(213)	2,448(285)	694(154)	1,346(244)
400	化成7	1,527(191)	1,867(218)	729(162)	918(167)
	平 均	1,515	1,996	683	1,101
400	石窒5・化成0	902(113)	1,285(150)	486(108)	979(178)
400	石窒5・化成2	659(83)	673(79)	347(77)	673(122)
400	石窒5・化成3	902(113)	581(68)	416(92)	551(100)
	平 均	821	846	416	734
0	化成5	798(100)	857(100)	451(100)	551(100)
0	化成6	625(78)	643(75)	555(123)	520(94)
0	化成7	521(65)	581(68)	347(77)	459(83)
	平 均	648	694	451	510
0	石窒5・化成0	625(78)	459(54)	416(92)	459(83)
0	石窒5・化成2	625(78)	459(54)	347(77)	428(77)
0	石窒5・化成3	625(78)	520(61)	243(54)	428(78)
	平 均	625	476	335	438

注) 単位は乾物当たりのppm数。

試験 II

○リン酸+硫酸石灰か効果的

茎数の推移をみると(表-4) リン酸無処理の場合、7月18日では麦稈0区に比べ麦稈施用量が増加するとともに茎数は少なくなった。750kg区では16%減となった。リン酸70kg処理では、麦稈施用量が375kg以上で茎数が大幅に増加した。

処理区の平均で比べるとリン酸70kg施用はリン酸無施用より茎数が約30%増加した。

7月28日では、リン酸無処理の場合、麦稈0区に比べ麦稈施用区で茎数は少なくなった。リン酸70kg処理では麦稈0区に比べ麦稈施用区で茎数は10%以上少なかった。処理区の平均で比べるとリン酸70kg処理はリン酸無処理よりやや茎数が少なかった。

10月19日では、リン酸無処理の場合、麦稈0区に比べ麦稈施用区で穂数が15%前後多くなった。リン酸70kg処理では麦稈0区より麦稈施用区が穂数は多くなったが、麦稈施用との間に差がなかった。処理の平均で比べるとリン酸70kg処理はリン酸無処理より約10%穂数が少なかった。

このようにリン酸70kg処理をするとリン酸無処理に比べ7月18日(有効分けつ期頃)までは茎数を増加させる効果がみられ、特に麦稈施用量が375kgのときにもっとも効果が高かった。

○10%増収、無リン酸区のみ同等

精玄米重をみると(表-5)、リン酸無処理の場合、麦稈375kg区がやや高く、その他の区では差がみられなかった。すなわち、麦稈施用により茎数は少なくなるものの、穂数は増加し、精玄米重は同等かそれ以上となるのがわかる。

一方、リン酸70kg処理では、麦稈施用量が0~150kgではリン酸無処理とほぼ同等であったが、375kg以上の麦稈施用で10%以上増加した。収量構成要素からみると、リン酸70kg処理では、リン酸無処理に比べ穂数は少ないが、1穂粒数が多く総粒数が増加して増収となった。1穂粒数の増加要因は、わら重/穂数、すなわち1本の茎の重量が大きくなり茎の充実度が向上したためと考えられる。

このような結果を生じさせた要因は、①麦稈を施用したこと ②麦稈施用時に石灰窒素を施用したこと ③植え代かき時に化成窒素の施用を控えたこと ④植え代かき時に過リン酸石灰を用いてリン酸70kg/10aを施用したこと、の4つがあげられる。

表-4 茎数の推移 (試験 II)

麦稈施用量 (kg/10a)	リン酸施用量 (kg/10a)	茎 数 ・ 穂 数 (本/m ²)			有効茎歩合 (%)
		7月18日	7月28日	10月19日	
0	0	310(100)	579(100)	353(100)	61.0
150	0	312(101)	552(95)	398(113)	72.1
375	0	284(92)	570(98)	415(118)	72.8
750	0	259(84)	511(88)	406(115)	79.5
	平 均	291	553	393	71.4
0	70	334(108)	463(80)	239(93)	71.1
150	70	313(103)	513(89)	352(100)	68.6
375	70	468(148)	555(96)	348(99)	62.7
750	70	407(131)	530(92)	365(103)	68.9
	平 均	382	515	349	67.8

表-5 収量調査 (試験 II)

麦稈施用量 (kg/10a)	リン酸施用量 (kg/10a)	わら重 (kg/10a)	精玄米重 (kg/10a)	総籾数 ($\times 10^3/m^2$)	1穂籾数	わら重/穂数 (g/本)
0	0	670(100)	598(100)	26.9(100)	76(100)	1.90(100)
150	0	660(99)	597(100)	28.8(100)	72(95)	1.66(87)
375	0	689(103)	626(105)	30.4(113)	73(96)	1.66(87)
750	0	646(96)	591(99)	28.1(104)	69(91)	1.59(84)
	平 均	666	603	28.6	73	1.70
0	70	657(98)	576(96)	26.7(99)	81(107)	2.00(105)
150	70	698(104)	602(101)	28.7(107)	82(108)	1.98(104)
375	70	775(116)	686(115)	33.1(123)	95(125)	2.23(117)
750	70	767(114)	659(110)	32.9(122)	90(118)	2.10(111)
	平 均	724	631	30.4	87	2.08

注) ()内の数字は指数を表す。

○リン酸70kg区に現れた2現象

根の養分含有率測定結果からみると(表-6)、7月28日までリン酸70kg処理ではリン酸含有率が高くなっており、これが根の活性向上に働いたのではないかと推察される。また、茎葉中の鉄、マンガン含有率の測定結果をみると(表-7)、麦稈施用量が増加するにしたがって鉄、マンガンの含有率は高まるが、リン酸70kg処理ではこれらの含有率が低い状態に抑えられている。この理由としては、ひとつはリン酸が鉄、マンガンを結合することで鉄、マンガンの溶解度が減少したこと、もうひとつは過リン酸石灰の中に副成分として含まれている硫酸石灰が還元条件下で硫化水素を発生させ、その硫化水素が鉄、マンガンを反応し、溶解度が減少したことの2つの要因が関与していると思われる。有効分けつ期頃のリン酸70kg処理土壌では、土壌の色が黒色が強く、硫化物が多く生成していることがうかがわれた。リン酸70kg処理は、リン酸無処理より2日程度出穂期が早かった。この理由として、リン酸吸収量が多くなった結果、生育が促進され、乾物重が増加して茎葉の窒素含有率が低くなったことが考えられる。データは省略したが、8月5日までリン酸70kg処理は、リン酸無処理より茎葉の窒素含有率が低かった。すなわち、リン酸70kg処理では、このような窒素栄養状態により栄養生長から生殖生長への転換が早まったものと考えられる。

表-6 根の窒素、リン酸、カリ含有率 (試験 II)

麦稈施用量 (kg/10a)	リン酸施用量 (kg/10a)	含 有 率 (乾物当たり%)					
		7月18日			7月28日		
		窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ
0	0	0.72	0.22	1.07	1.15	0.22	0.97
150	0	0.70	0.25	1.05	1.13	0.21	1.15
375	0	0.66	0.24	0.96	1.23	0.24	1.15
750	0	0.68	0.25	1.10	1.09	0.25	1.19
	平 均	0.69	0.24	1.05	1.15	0.23	1.12
0	70	0.65	0.24	1.15	1.12	0.27	1.07
150	70	0.62	0.36	1.07	1.10	0.32	0.99
375	70	0.66	0.33	1.03	1.07	0.28	0.97
750	70	0.62	0.32	1.03	1.09	0.31	0.98
	平 均	0.64	0.31	1.07	1.10	0.28	1.20

表一 7 茎葉の鉄、マンガン含有率（試験Ⅱ）

麦稈施用量 (kg/10a)	リン酸施用量 (kg/10a)	茎葉中の含有率（乾物当たりppm）					
		7月18日		7月28日		8月5日	
		鉄	マンガン	鉄	マンガン	鉄	マンガン
0	0	920	560	1,460	420	450	380
150	0	1,290	590	1,190	420	380	430
375	0	1,520	950	1,370	420	540	430
750	0	2,050	1,210	1,460	540	450	500
	平均	1,448	828	1,370	450	455	425
0	70	610	520	900	440	770	440
150	70	700	430	1,050	370	600	360
375	70	1,220	430	1,050	400	600	390
750	70	1,390	570	1,530	550	600	470
	平均	980	488	1,133	316	643	415

リン酸質肥料の多量施用

以上、試験Ⅰと試験Ⅱの結果からいえるのは、①麦稈を400kg/10a程度すき込むと、水稻の収量向上に寄与すること、②また、その寄与率を向上させるには、麦稈施用時(移植の2週間前)に石灰窒素を窒素成分で5kg程度施用すること、③植え代かき時には化成窒素の施用量を抑えること、④さらにリン酸質肥料を多量施用し、根のリン酸吸収を促進させること、⑤リン酸質肥料は副成分として硫酸石灰を含むものが効果的であること、などがあげられる。ただし、過リン酸石灰の多量施用を同一圃場で毎年適用することは、跡作の麦の生育・収量を考えると必ずしも好ましい技術とはいえない。連用年数やリン酸施用量などの検討が必要である。

したがって、ここで述べた事実は、あくまでも麦稈施用によって10%程度の大幅な増収を得るための条件として、リン酸や硫酸石灰の併用が効果的であったというひとつの例として理解すべきである。その増収のメカニズムは不明な点が多い。おそらく多くの要因が関与しているものと推察される。

秘められた大幅増収の可能性

ここでいえるのは、移植直前の麦稈すき込みは、障害発生が起りやすいため、これまで農家で敬遠されてきたが、麦稈施用には、すき込みによる物理的障害を回避すれば、あとは肥培管理により大幅増収の可能性も秘められているということである。なお、リン酸70kg処理を2年連続しておこなったが、結果は初年度とほぼ同様であり、麦稈375kg区で増収した。

また、残効初年目も増収効果が持続したが、残効2年目では効果がなくなった。

最後に、ここで用いた窒素施肥法は基肥5kg+中追Ⅰ、2kg+中追Ⅱ、2kg+穂肥Ⅰ、3kg+穂肥Ⅱ、3kgの窒素総施用量15kgを基本にしたときの試験結果であることを付記する。すなわち、窒素の分施回数や窒素量が多い条件での結果である。品種や窒素の施用法・施用量が異なれば、ここで述べた技術の適用方法を検討しなおすことも必要になるものと思われる。