

ナバナの安定栽培技術

第4報 土壌の理化学性とナバナの収量及び無機成分との関係

小田原孝治・比良松道¹⁾・松江勇次

好石灰植物のひとつであるナバナの品質改善を図るために、石灰施用が土壌の理化学性とナバナの無機成分含有率及び収量に及ぼす影響について検討した。ナバナの生育期間中の土壌 pH は、石灰無施用区で 6.2～6.7 であったのに対して、石灰施用区で 6.8～6.9、石灰倍量施用区で 7.3 となり、土壌の交換性カルシウム含量の増加に伴い上昇した。ナバナの生育期間中の土壌溶液カルシウムイオン濃度は石灰施用によってほとんど上昇しなかった。ナバナのカルシウム含有率はそれぞれの試験区の間に差が認められなかった。収量は石灰施用区が石灰無施用区より増加したものの、石灰倍量施用区は石灰施用区と同等であった。これらのことから、ナバナのカルシウム含有率を高めるためには、単に石灰を施用するだけでは効果が期待できないことと、土壌 pH 6.8～6.9 がナバナの生育・収量に最適であることが明らかになった。

[キーワード: イオン組成, 石灰, ナバナ, 土壌溶液]

Cultural Method of 'NABANA' the Lateral Bud of *Brassica napus* IV. Effects of Liming Material Application on Yield and Calcium Content of *B. napus*. ODAHARA Koji, Michikazu HIRAMATSU and Yuji MATSUE. (Fukuoka Agric. Res. Cent., Chikushino, Fukuoka 818, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 14: 68-71 (1995)

The effects of liming material application on calcium content and yield of *Brassica napus* were investigated. The soil pH was increased with the increasing amount of liming material applied. The average pH during the growing period of *B. napus* were 6.5, 6.9 and 7.3 at the liming level of 0, 150 and 300kg/10a, respectively. Neither the calcium ion concentration nor the calcium content in the soil solution during the growing period of *B. napus* differed according to the amount of liming material applied. However, the yield at liming level 150kg/10a was the highest, indicating that the optimum pH value for *B. napus* is about 6.9.

[Key words : *Brassica napus*, Ionic composition, Liming, Soil pH, Soil solution]

結 言

最近、消費者の食品栄養面への関心が高まり、福岡県内で産地化しているナバナについても、収量はもとより収獲物の内容成分が重要視されはじめている。ナバナはカルシウム含有率が高いことから市場における評価が高く、消費者の周年出荷に対する要望も強い。また、生産地からは付加価値の高い野菜生産振興の一環として、高カルシウム含有率のナバナ生産技術の確立に期待が寄せられている。筆者らは前報でナバナに対する窒素施用量と収量との関係を明らかにした⁴⁾が、石灰施用とナバナの無機成分の関係については検討していない。また、これまで野菜のカルシウム欠乏に関する報告^{1,2,7,10)}はいくつかみられるものの、野菜の機能性成分としてのカルシウム含有率や他の成分量と栽培条件の関係を調べた報告は少ない。ナバナは好石灰植物である¹¹⁾ため、収量やカルシウム含有率に影響を与える基本的な要因のひとつとして石灰施用量あるいは土壌の交換性カルシウム含量が考えられる。そこで、本報告では石灰施用量とナバナの無機成分含有率及び収量との関係を土壌理化学性の変化の面から検討し、若干の知見を得たので報告する。

試 験 方 法

試験は、1991年に福岡県農業総合試験場豊前分場の水田

1) 現九州大学農学部

(細粒灰色低地土灰褐色系)で行った。アブラナ科野菜は酸性～弱酸性土壌 (pH 6.0 以下) に対する抵抗性が弱いことが明らかにされている¹²⁾ため、微酸性土壌 (pH 6.7) における石灰施用効果を検討した。石灰施用量は9月5日に消石灰を使用して10a当たりCaOで0, 150及び300kgの3水準とし、それぞれ石灰無施用区、石灰施用区及び石灰倍量施用区とした。基肥は、9月12日に10a当たりN, P₂O₅, K₂Oそれぞれ15kgを尿素入り硫加燐安48号で全層に施用し、追肥は窒素成分5kgを硫酸で10月31日、12月16日、3月2日の計3回、畝の表面に全面施用した。

ナバナは *Brassica napus* に属する京築在来種で、8月25日に播種し、9月17日に畝幅150cm、株間35cm、条間60cmで定植した。10月31日に頂芽を摘心した後、葉腋から発生する側枝が25cm程度となったときに下位葉を2～3葉残して収穫した。その後発生してくる側枝を順次、同様に収穫した。

収穫物の無機成分分析法: カルシウム、マグネシウムを原子吸光度法で、カリウムを炎光度法で、全窒素をケルダール法で分解し分析した。試験は1区6㎡の2区制で行い、収量は1区当たり5株を調査した。

土壌の交換性陽イオン: 土壌は1回目の追肥直前(10月31日)とナバナ栽培跡地(5月6日)から採取し、風乾後、ショーレンベルガー法により交換性陽イオンを抽出し、測定した。

生育期間中の土壌溶液組成: 畝の中央部の2～12cmの深さに埋設した長さ10cmのポーラスカップから真空採血

第1表 ナバナの生育初期及び栽培跡地土壌の化学性

試 験 区	採土 ¹⁾ 時期	pH(H ₂ O)	EC	CEC	交 換 性 陽 イ オ ン					塩 基 飽和度	Ca/Mg	Mg/K
					Ca	Mg	K	Na	計			
					me/100g							
石灰無施用区	初期	6.7	0.23	16.5	11.7	1.6	1.3	0.1	14.7	89	7.4	1.2
	跡地	6.2	0.06	16.7	10.4	1.5	0.8	0.1	12.8	77	7.0	1.8
石 灰 施 用 区	初期	6.8	0.22	16.9	14.0	1.6	1.3	0.1	17.0	101	8.9	1.2
	跡地	6.9	0.06	16.8	14.3	1.6	0.8	0.1	16.7	100	9.0	2.0
石 灰 倍 量 施 用 区	初期	7.3	0.31	17.0	18.1	1.6	1.3	0.1	21.1	124	11.1	1.3
	跡地	7.3	0.09	16.8	18.1	1.6	0.8	0.1	20.6	123	11.6	2.0

1) 初期：10月31日，跡地：5月6日

管を用いて土壌溶液を採取し，カルシウム，マグネシウム，カリウム，ナトリウムイオン濃度を測定した。分析はカルシウム，マグネシウムを原子吸光光度法で，カリウム，ナトリウムを炎光光度法で行った。土壌溶液の採取は，石灰無施用区及び石灰施用区からそれぞれ1処理区2カ所で行い，イオン濃度はこれらの平均を示した。

次にナバナによる吸収や降雨による影響のない状態で硫酸施肥後の土壌溶液中のイオン濃度がどのように推移するかを調べるためポット試験を行った。1/5000a ワグネルポットに試験圃場の土壌を乾土として2.4kg 詰め，これに消石灰をCaOとして3.0，6.0及び9.0g 施用し，全層に混合した。これはそれぞれCaOとして150，300，450kg/10aに相当する。含水比35%程度の湿潤状態で3週間静置したのち，硫酸で窒素成分12.5kg/10aをポット当たり20ℓの水に溶かして表層に均一に施肥した。土壌溶液は圃場試験と同様の方法で施肥直前，施肥2時間後，1週間後及び2週間後に採取しカルシウム，マグネシウム，カリウム，ナトリウム，NH₄-N，NO₃-Nイオン濃度を測定した。各処理区とも2区制で試験を行った。分析は塩基については土壌の交換性陽イオンと同様に行い，NH₄-N，NO₃-Nはコンウェイ微量拡散法によって行った。

結果及び考察

1 土壌の交換性陽イオン

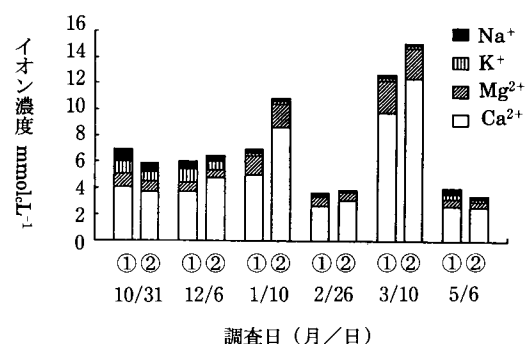
第1表に各試験区のナバナの生育初期時（10月31日採土）及び栽培跡地（5月6日採土）土壌の分析結果を示した。生育初期の土壌の交換性カルシウム含量は石灰施用量の多い区ほど多かった。石灰無施用区（0 kg/10a）を基準としたときの交換性カルシウム含量の増加量は，1㎡当たりの作土量を120kgとした場合，計算上，石灰施用区（150 kg/10a）で4.48me/100g，石灰倍量施用区（300kg/10a）で8.96me/100gとなり，いずれの区でも実測値の方がやや小さい値となった。この原因として土壌中のCa(OH)₂やCaCO₃が酢酸アンモニウムによって十分に抽出されなかった¹³⁾ためと考えられる。マグネシウム，カリウム，ナトリウム含量は各区ともほとんど同じ値となった。このため交換性Ca/Mg比は石灰施用量の増加に伴い増加した。

ナバナ栽培跡地土壌の交換性陽イオン量を生育初期と比べてみると，最も変化の大きかったのはカリウムイオンで各区とも初期土壌の60%に減少した。カリウムイオンの0.5me/100gの減少量は，作土量を120kg/㎡とするとカリ

ウムとして23kg/10aに換算される。一方，ナバナによるカリウム吸収量は石灰施用区では時期別収量とカリウム含有率（第2表）及び収穫物の乾物率を12%として計算すると約7 kg/10aとなる。このため，作土からの減少量の30%はナバナの収穫物へ移行したことになる。カルシウム，マグネシウムイオンは石灰施用区及び石灰倍量施用区ではほとんど変化しなかったが，石灰無施用区では10%程度減少した。その結果，交換性陽イオンの合計当量数は石灰無施用区で13%減少したが，他区は1～2%の減少にとどまった。CECは各区とも約17me/100gであるため，石灰無施用区では塩基飽和度は栽培初期が89%であったのに対し，栽培終了後には77%にまで低下した。同様にpH(H₂O)も6.7から6.2に低下したが，石灰施用区では初期及び栽培跡地のいずれも100～101%でpH(H₂O)も6.8～6.9，石灰倍量施用区ではいずれも123～124%でpH(H₂O)も7.3とほとんど変化しなかった。Mg/K比は，生育初期と栽培跡地で比較すると，交換性カリウムイオンの減少によって高まった。

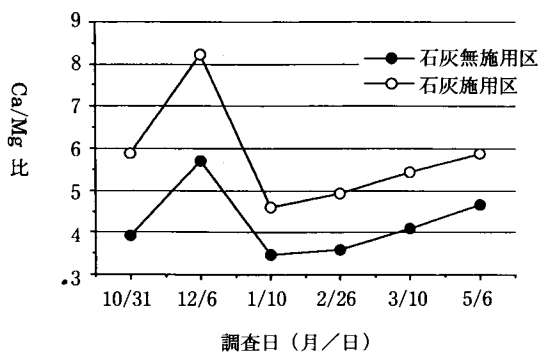
2 土壌溶液陽イオン濃度の変化

第1図に圃場試験の石灰無施用区，石灰施用区における土壌溶液中陽イオン濃度の推移を示した。土壌溶液中カルシウムイオン濃度は石灰無施用区で2.6～9.8mmol/L⁻¹，石灰施用区で2.6～12.4mmol/L⁻¹と大きく変動しながら推移した。これはカルシウムイオン濃度の高くなっている1月10日，3月10日では，追肥から溶液の採取までの日数がそれぞれ25日，8日に対して，濃度の低い12月6日，2月26日では，それぞれ36日，71日であり，この間のナ



第1図 ナバナの生育期間中の土壌溶液中陽イオン濃度の推移

①：石灰無施用区，②：石灰施用区

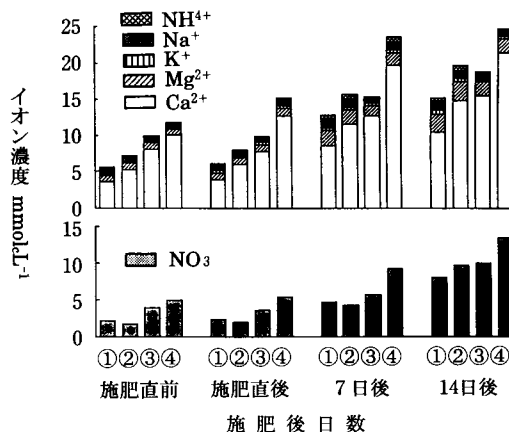


第2図 土壌溶液のCa/Mg比の変化

バナによる NO_3 の吸収や降雨による溶脱によって陰イオンの残存量が異なったためと推察される。また、土壌の水分含量も土壌溶液中のイオン濃度に影響を与えられられるが、土壌溶液の採取がいずれも4~14mmの降雨1~3日後のもので、含水比が28~36%であったことから、この影響は小さいものと考えられる。カルシウムイオン濃度は石灰施用区では石灰無施用区に比べて、1月10日、3月10日にやや高い値を示したものの、他の調査日では差はなく、石灰の施用が土壌溶液中カルシウムイオン濃度の上昇に及ぼす影響は小さかった。これは、ひとつには $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が CO_2 を吸収して難溶性の CaCO_3 となったためと考えられる。

マグネシウムイオン濃度はカルシウムイオン濃度と同様に大きく変動しながら推移したが、Ca/Mg比は比較的に変動が小さく、第2図のように石灰施用区では石灰無施用区より高くなった。これは、数値は異なるものの土壌の交換性Ca/Mg比(第1表)の大小関係に対応していた。カリウム、ナトリウムイオン濃度は日数の経過とともに減少した(第1図)。カリウムイオンは追肥による供給がないことから、土壌の交換性カリウム含量の減少により土壌溶液中のカリウムイオン濃度が低下したのと考えられる。また生育期間を通じて、石灰無施用区に比べて石灰施用区の溶液中カリウム、ナトリウムイオン濃度が減少する傾向にあり(第1図)、岡島⁶⁾が土壌に CaCO_3 を添加し、いくつかの方法で採取した土壌溶液の分析結果と同様の結果が得られた。これは石灰施用による土壌の交換体上のカルシウムイオンの割合の増加、すなわちカリウム、ナトリウムイオンの割合の低下と交換放出されたカリウム、ナトリウムの溶脱及び植物体による吸収によって溶液中の濃度が減少したためと考えられる。

次に、ポット試験における硫安追肥後の土壌溶液中の各イオン濃度の推移を第3図に示した。硫安施肥前の土壌溶液中陽イオンのうちマグネシウム、カリウム、ナトリウム及び NH_4 イオン濃度は石灰施用量による差は認められなかったが、カルシウムイオン濃度は石灰施用量の増加に伴い高くなった。 NO_3 イオン濃度も同様に増加したが、石灰施用量が多いほど NO_3 イオン濃度が増加したことは、土壌pHが高いほど硝酸化生成量が増加したためと考えられる。硫安施肥時に比べて施肥2週間後にはすべての処理区の陽イオン濃度が増加し、その増加量はカルシウムイオンが6.9~11.3mmol/L⁻¹と最も大きかった。マグネシウムイオン濃度はカルシウムイオン濃度とほとんど同じ割合で増加し、カルシウムとマグネシウムが土壌における陽イオン交



第3図 硫安施用に伴う土壌溶液中イオン濃度の経時変化

石灰施用量は①: 0, ②: 150, ③: 300, ④: 450 (kg/10a)

換反応においてほとんど同等の挙動をする⁵⁾ことを示唆した。 NO_3 イオン濃度は施肥時に比べて6.0~8.5mmol/L⁻¹増加したが、これは主に施肥された $\text{NH}_4\text{-N}$ が硝酸化生成によって NO_3 イオンに変化したためと考えられる。土壌溶液中の陽イオンと陰イオンは当量的に存在する⁶⁾ことから、カルシウムイオン濃度の増加は NO_3 イオン濃度の増加に伴うものと考えられる。また、第3図に認められる陰イオンの不足分は、表層に施肥した硫安に由来する SO_4 イオンであると考えられ、このことは三木・佐藤³⁾が行った試験でも確認されている。ポット試験で認められた NO_3 イオンの増加は圃場試験でも起こっていると考えられるが、その増加程度よりバナナによる NO_3 イオンの吸収の方が大きいいため土壌溶液の濃度に差がなく、このことによりカルシウムイオン濃度に差が認められなかったものと考えられる。

3 ナバナの収量及び無機成分含有率

石灰施用によるバナナの時期別収量、カルシウム及び他の成分含有率を第2表に示した。カルシウム含有率は収穫時期による差はあるものの、石灰施用による増加効果はなく、処理間に有意な差は認められなかった。このことはマグネシウム、カリウム含有率についても同様であった。しかし、窒素含有率は岩田¹⁾のキャベツを用いた試験と同様に、石灰施用量の増加とともに減少する傾向がみられた。同様のことは茶¹⁴⁾でも観察されており、この場合は石灰施用による硝酸化生成の促進に伴って、アンモニア態窒素が減少し窒素吸収が抑制されたためと考察されている。これに対してバナナの場合は、土壌pHの上昇に伴う生育量の増加によることが考えられ、その機作は前者と異なるものと思われる。

時期別収量は、石灰施用区では石灰無施用区に比べて各時期とも高く、合計収量は石灰無施用区より13%増加した。これは石灰施用区の土壌のpHが石灰無施用区よりやや高くなったことと、ポット試験の結果にみられるように土壌溶液中の硝酸イオン濃度が増加したことによると考えられる。

石灰倍量施用区の収量は石灰施用区とほとんど差がなく、石灰施用区の土壌pH6.8~6.9より高い土壌pHでの増収効果、及びポット試験で認められたアルカリ効果による窒素無機化量の増加⁸⁾による増収効果は認められなかった。またバナナのカルシウム吸収量は石灰施用区では収量

第2表 ナバナの時期別収量と各成分含有率¹⁾

		10~11	12~1	2~3月	合計
石灰無施用区	収量	183	473	777	1433
	Ca	0.82	0.77	0.95	(87) ²⁾
	Mg	0.24	0.25	0.22	
	K	4.64	4.34	2.93	
	N	5.36	5.65	3.69	
石灰施用区	収量	257	518	869	1644
	Ca	0.82	0.79	1.02	(100) ²⁾
	Mg	0.23	0.23	0.21	
	K	4.44	4.27	2.88	
	N	5.18	5.11	3.62	
石灰倍量施用区	収量	270	529	838	1637
	Ca	0.83	0.74	1.00	(99) ²⁾
	Mg	0.24	0.24	0.20	
	K	4.43	4.20	3.00	
	N	5.16	5.13	3.37	

1) 単位 含有率: % (対乾物), 収量: kg/10a (新鮮重)

2) 石灰施用区に対する収量指数

の増加から石灰無施用区に比べてやや多い結果となったものの、石灰倍量施用区は石灰施用区と差はなく、カルシウム含有率に対する石灰の増施効果は認められなかった。

キャベツ、トマトの地上部カルシウム含有率は培地カルシウム濃度が0.2~18.0mmol/L⁻¹の範囲では培地濃度が高いほど高く¹¹⁾、トマトによるカルシウム吸収量はカルシウム濃度が12mmol/L⁻¹で最も大きい⁷⁾ことが報告されている。本試験における側枝収穫期間中の土壌溶液中カルシウムイオン濃度は、石灰施用区で平均5.8mmol/L⁻¹であり、ナバナのカルシウム含有率を高めるために十分な濃度であるかさらに検討が必要である。その結果によっては土壌溶液中カルシウムイオン濃度をさらに高めることにより、ナバナのカルシウム含有率を高める可能性も示唆される。土壌溶液中カルシウムイオン濃度を高めるためにはそれに伴う陰イオンの存在が不可欠であり、必然的に土壌溶液濃度が高まる結果、ハクサイでは縁腐れ症が発生^{1,2,10)}したり、トマトではカルシウム吸収量がむしろ減少する⁷⁾ことが報告されている。したがって、硝酸カルシウムを被覆した緩効性肥料や土壌溶液中のNO₃イオン濃度を一定のレベルに保つような緩効性肥料の施用が有効であると考えられる。

一方、ナバナの収量からみると、最適な土壌pHは6.8~6.9であり、pHが6.5を下回ると収量がやや劣ると考えられる。また土壌pH7.3では、収量はpH6.8~6.9と同程度で石灰の増施効果は認められず、むしろ土壌の地力

窒素の無機化を促進し、地力を低下させること、さらに微量要素欠乏の発生⁹⁾を助長するおそれもあることなどから、石灰の過剰施用は行わないことが重要であると考えられた。

引用文献

- 1) 岩田正利 (1962) 窒素形態の差異と蔬菜の生育 (第3報) 培養液の各種陽イオン濃度ならびに pH との関係. 園学雑誌 31 : 39-52.
- 2) 川口菊雄 (1964) 野菜の栄養障害に関する研究. 土壌溶液濃度の変化と養分吸収について. 静岡県農試研究報告 9 : 85-92.
- 3) 三木直倫・佐藤辰四郎 (1982) 草地における表面施肥. 施肥位置と栽培技術 (日本土壌肥料学会編), 東京: 博友社, pp49-91.
- 4) 小田原孝治・矢野雅彦・尾形武文 (1990) ナバナの安定栽培技術第1報 播種期, 栽植密度及び施肥法と収量. 福岡農総試研究報告 B-10 : 27-30.
- 5) 小田原孝治・和田信一郎 (1992) 土壌溶液希釈過程における A R^K の不変性の理論的解析. 土肥誌 63 : 64-71.
- 6) 岡島秀夫 (1981) 土地利用と土壌溶液のイオン組成. 土壌の吸着現象 (日本土壌肥料学会編), 東京: 博友社, pp85-123.
- 7) 嶋田永生 (1964) 集約多肥栽培土壌の酸性に関する土壌溶液論的研究. 愛知県園試研究報告 6 : 67-114.
- 8) 高井康雄 (1980) 植物栄養土壌肥料大事典, 東京: 養賢堂, pp448-449.
- 9) 高橋英一 (1980) 作物の要素欠乏過剰症, 東京: 農文協, pp254-259.
- 10) TAKANO, T. and M. SISA (1964) The effects of salt concentration of culture solution and calcium supplied to the soil on the occurrence of the marginal rot in Chinese cabbage, *J. Jpn. Hort. Sci.* 33 : 35-45.
- 11) 橘 泰善 (1982) 各種植物のカルシウム吸収・移行特性. 植物と金属元素 (日本土壌肥料学会編), 東京: 博友社, pp6-36.
- 12) 清水 茂 (1985) 野菜園芸大事典, 東京: 養賢堂, pp298-299.
- 13) WADA, S-I. and S. FURUMURA (1994) Solubility of CaCO₃ in 1 mol/L⁻¹ Ammonium Acetate for Extracting Exchangeable Bases, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40 : 361-364.
- 14) 渡部尚久 (1993) 茶園土壌における窒素の動態と合理的な施肥管理に関する研究. 神奈川県農総研研報 135 : 87-182.