

無機・有機質肥料施用時における肥料の随伴イオンの種類と量の違いが葉菜類のNO₃-含有率に及ぼす影響

誌名	日本土壌肥料學雜誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	加藤,雅彦 林,康人 森國,博全
発行元	日本土壌肥料學會
巻/号	77巻5号
巻号補足	
掲載ページ	p. 569-575
発行年月	2006年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



無機・有機質肥料施用時における肥料の随伴イオンの種類と量の違いが葉菜類の NO_3^- 含有率に及ぼす影響*

加藤雅彦**・林 康人**・森國博全**

キーワード Cl^- ，随伴イオン， NO_3^- 含有率，有機質肥料

1. はじめに

野菜類に蓄積した NO_3^- を多量に摂取することによって、人体に悪影響を及ぼすことが懸念されている¹⁾ 一方で、否定的な見解もなされている²⁾。しかしながら近年、食に対して安全・安心を求める消費者からは NO_3^- 含有率の低い野菜が望まれており、野菜の NO_3^- 含有率を低下させる栽培技術を明らかにすることは重要である。野菜の NO_3^- 含有率については、これまで数多くの研究が行われてきた。栽培環境面からみると、低気温³⁾ であり、光強度^{3,4)} が強いことで野菜の NO_3^- 含有率が低下すること、作型や栽培方法^{5,6)} によって NO_3^- 含有率が異なることが示された。また、もっとも野菜の NO_3^- 含有率に影響を及ぼすと考えられる窒素管理については土壌の硝酸態窒素が 0.3 g kg^{-1} 以下の範囲で、窒素の多量施用により野菜の NO_3^- 含有率が増加することが示された^{7~9)}。また、培養液中のアンモニア態窒素と硝酸態窒素の割合^{10,11)} や土壌中のアンモニア態窒素濃度¹²⁾ が野菜の NO_3^- 含有率に影響することが示され、窒素肥料の種類やその形態の違いについても検討されてきた^{12~14)}。しかしながら、土耕栽培における肥料の随伴イオン (SO_4^{2-} ， Cl^-) と野菜の NO_3^- 含有率に関しては、これまで十分に検討されていない。

Abdelgadir ら¹⁵⁾ は、トマトの水耕栽培において生育過程で Cl^- と SO_4^{2-} を添加したところ、 Cl^- 添加で SO_4^{2-} 添加より NO_3^- 含有率が低下したことを示した。また、同様なタマネギの水耕栽培において、 Cl^- 添加で NO_3^- 含有率が低下したことが報告された¹⁶⁾。一方、土耕栽培においては、Wang・Li¹⁷⁾ は、ハウレンソウの NO_3^- 含有率が硝酸アンモニウム施用よりも塩化アンモニウム施用で低下したことを、Inal ら¹⁸⁾ は、塩化カリウムと塩化カルシウムを用いて、土壌に施用した NO_3^- 量と Cl^- 量の比率を変えニンジン¹⁹⁾ の NO_3^- 含有率を測定したところ、 Cl^- 量の比率をあげることで、茎葉部の NO_3^- 含有率が低下したことをそれぞれ示した。これらの結果は Cl^- が野菜の NO_3^-

含有率に違いをもたらすことを示していると考えられるが、同一の窒素施肥量における随伴イオンの種類と量の違いについては明らかにされていない。

ところで、近年、有機質肥料で栽培された農産物が消費者の関心を集めており、これまでに有機質肥料を用いた場合の野菜の NO_3^- 含有率を含めた品質について検討がなされてきた^{19~21)}。その中において、松本ら²⁰⁾ は、施肥条件を異にするハウレンソウの NO_3^- 含有率を比較したところ、 SO_4^{2-} を含んだ無機質肥料よりも有機質肥料において NO_3^- 含有率が低かったことを報告した。一方、中川ら²¹⁾ は、未耕地土壌において無機質肥料よりも有機質肥料でコマツナの NO_3^- 含有率が高かったことを示し、その要因として土壌中の Cl^- 含量すなわち肥料由来の Cl^- 添加量の違いを示唆している。これらの結果は、無機・有機質肥料施用時において肥料の随伴イオンの違いが野菜の NO_3^- 含有率に影響を与えていることを示唆していると考ええるが、無機・有機質肥料施用時において随伴イオンの違いと野菜の NO_3^- 含有率について十分な結論が得られていない。

そこで本研究では、葉菜類の NO_3^- 含有率が過剰とならない施肥窒素量の条件下において、無機・有機質肥料の違いも含め、肥料の随伴イオンの種類と量の違いがハウレンソウ、チンゲンサイの NO_3^- 含有率に及ぼす影響について検討した。

2. 材料および方法

1) 栽培方法

神奈川県平塚市にある JA 全農営農・技術センター内のガラス温室でハウレンソウ（品種：アクティブ）とチンゲンサイ（品種：青帝）の連作試験を行った。面積 0.60 m^2 ($0.85 \text{ m} \times 0.70 \text{ m}$)、土層深 0.15 m の隔離床（くみあいスーパードレンベッド 85）に淡色黒ボク土を充填し、1区とした。土壌の理化学性を表 1 に示した。ハウレンソウの播種は 2005 年 3 月 14 日、収穫は 4 月 20 日に、チンゲンサイの播種は 5 月 11 日、収穫は 6 月 14 日にそれぞれ行った。両作ともに適宜間引きして、最終的な栽植密度をハウレンソウ、チンゲンサイそれぞれ $85, 25 \text{ 株 m}^{-2}$ とした。灌水は適宜水道水で行った。

2) 処理区の概要

処理区の概要を表 2 に示した。窒素質肥料として硫酸ア

* 本報告の一部は 2005 年度日本土壌肥料学会関東支部大会において発表した。

** JA 全農営農・技術センター肥料研究室 (254-0016 平塚市東八幡 5-5-1)

2006 年 3 月 31 日 受付・2006 年 6 月 1 日 受理

日本土壌肥料学雑誌 第 77 巻 第 5 号 p. 569~575 (2006)

表 1 供試土壌の理化学性

pH	EC	TC	TN	無機態 窒素	トルオーグ P	交換性				CEC	水溶性	
						Ca	Mg	Na	K		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
(H ₂ O)	(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mgN kg ⁻¹)	(mgP kg ⁻¹)	----- (cmolc kg ⁻¹) -----					(mmolc kg ⁻¹)	
7.3	0.2	4.3	0.6	42	161	29.7	7.6	0.5	2.5	47.7	0.3	0.5

表 2 処理区の概要

処理区名	窒素質肥料	加里質肥料	Cl ⁻ 添加量 (molc m ⁻²)	SO ₄ ²⁻ 添加量 (molc m ⁻²)
硫安+硫加	硫安	硫加	0.00	1.39
硫安+塩加	硫安	塩加	0.32	1.07
塩安+塩加	塩安	塩加	1.39	0.00
尿素+塩加	尿素	塩加	0.32	0.00
ナタネ+硫加	ナタネ油粕	硫加	0.01	0.37
ナタネ+塩加	ナタネ油粕	塩加	0.33	0.05

P はすべての処理区で重焼燐を用いた。施肥量は、作ごとに N, P, K それぞれ 15 g, 6.5 g, 12.5 g m⁻²。

ンモニウム (硫安), 塩化アンモニウム (塩安), 尿素およびナタネ油粕 (ナタネ) を, 加里質肥料として硫酸カリウム (硫加) と塩化カリウム (塩加) を用い, これら肥料を組み合わせることで処理区を構成した。硫安+硫加, 硫安+塩加, 塩安+塩加の処理区で随伴イオンの種類と量の検討を行い, 硫安+硫加, 硫安+塩加とナタネ+硫加, ナタネ+塩加とで無機・有機質肥料施用時における随伴イオンの種類の違いについて検討した。尿素+塩加は無機質の窒素質肥料で随伴イオンを含まないものとして設けた。リンはすべての処理区で重焼燐を用い, ナタネ由来の P, K は考慮に入れず, 毎作 N, P, K をそれぞれ 15 g m⁻², 6.5 g m⁻², 12.5 g m⁻² 施肥した。ナタネの施肥は播種 1 週間前に行い, その他の肥料は播種時に全量元肥で全層施肥した。ナタネ由来の Cl⁻ と SO₄²⁻ はそれぞれ 0.01, 0.05 molc m⁻² と, 無機質肥料由来に比べて少なかった (表 2)。試験は各処理区 3 反復で行った。

3) 調査および分析方法

各作ともに, 収穫期に各区から 10 株採取し, その生重量, 草丈, 葉数を調査し, 生重量と栽植密度から単位面積当たりの収量を求めた。これとは別に各区 6 株抜き取り, それらを葉身と葉柄に分け, 3 株を水溶性イオン含有率の測定に, 残りの 3 株を窒素含有率の測定に供試した。水溶性イオン含有率は, 試料を凍結乾燥後, その粉碎物について水抽出し (作物: 水=1:100)^{14,20)}, イオンクロマトグラフ (DX-120, Dionex) を用いて作物の水溶性イオン (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, リン酸, シュウ酸) 含有率を測定した。なお結果の表記は, 作物の水分含量と葉身と葉柄の重量割合を考慮に入れて, 作物全体の新鮮物当たりで示した。窒素含有率の測定は以下のとおり行った。すなわち試料を 80°C で粗乾燥し粉碎後 100°C で通風乾燥して乾物生産量を求めた。NC アナライザー (Sumigraph NC-900, 住化分析センター) により窒素含有率を求め, 乾物重を乗じて窒素吸収量を算出

した。

外径 2.5 mm, 長さ 10 cm の樹脂製土壌溶液採取器 (DIK-301 B) を, ホウレンソウ, チンゲンサイの株元の地点に埋設し, 収穫期までおよそ 1 週間ごとに土壌溶液を吸引採取した。採取した土壌溶液中の NH₄⁺, NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ 濃度をイオンクロマトグラフで測定した。

各作ともに施肥後と収穫後に各区から土壌をよく混合した後に採取し, その EC および水溶性 Cl⁻, SO₄²⁻ 濃度の測定を行った。EC は風乾土を水抽出し (乾土: 水=1:5) 測定した。EC 測定とは別に風乾土を水抽出し (乾土: 水=1:5), イオンクロマトグラフを用いて土壌の水溶性 Cl⁻, SO₄²⁻ 濃度を測定した。

3. 結 果

1) 収穫期の収量, 草丈, 葉数

ホウレンソウ, チンゲンサイの収量を表 3 に示した。ホウレンソウの収量は, 処理区間で有意な差は認められず, 1.70~2.02 kg m⁻² であった。また, チンゲンサイの収量も処理区間で違いはなく, 3.50~4.57 kg m⁻² であった。草丈, 葉数は, 処理区間で違いはなく, ホウレンソウでそれぞれ 23~25 cm, 12~13 葉, チンゲンサイでそれぞれ 24~25 cm, 12~14 葉であった (データ省略)。

2) 窒素吸収量, 作物の NO₃⁻ 含有率と水溶性イオン組成

ホウレンソウ, チンゲンサイの窒素含有率, 窒素吸収量, NO₃⁻ 含有率, シュウ酸含有率および Cl⁻, SO₄²⁻ 含有率を表 3 に示した。ホウレンソウの窒素含有率は, ナタネを施用した処理区 (ナタネ+硫加, ナタネ+塩加; 54.1~54.9 g kg⁻¹) において, 硫安を施用した処理区 (硫安+硫加, 硫安+塩加; 56.9~57.6 g kg⁻¹) よりも低い値であった。一方, チンゲンサイにおいては, 硫安+硫加 (60.3 g kg⁻¹), ナタネ+硫加 (59.2 g kg⁻¹) およびナタネ+塩加 (59.4 g kg⁻¹) に比べ, 硫安+塩加 (57.0 g

表3 ホウレンソウ, チンゲンサイの収量, N 含有率, N 吸収量, NO_3^- 含有率, シュウ酸含有率および水溶性 Cl^- , SO_4^{2-}

作物	処理区名	収量 ¹⁾ (kg m^{-2})	N 含有率 ¹⁾ (g kg DW^{-1})	N 吸収量 ¹⁾ (g m^{-2})	NO_3^- 含有率 ¹⁾ (g kg FW^{-1})	$\text{NO}_3^- \text{ N/TN}^{1)}$ (%)	シュウ酸 ¹⁾ (g kg FW^{-1})	水溶性 Cl^- ¹⁾ (mmolc kg FW^{-1})	水溶性 SO_4^{2-} ¹⁾ (mmolc kg FW^{-1})
ホウレンソウ	硫安+硫加	1.89±0.10	56.9±0.4 a ²⁾	8.27±0.40	5.73±0.17 a	29±1 a	7.75±0.23	9.3±2.4 c	5.2±0.6
	硫安+塩加	2.02±0.22	57.6±0.1 a	8.57±0.63	5.34±0.20 ab	27±1 ab	7.71±0.58	18.2±2.2 b	4.8±0.8
	塩安+塩加	1.73±0.13	56.1±0.2 ab	7.93±0.45	4.28±0.12 d	22±1 c	8.60±0.87	28.4±2.3 a	5.4±0.7
	尿素+塩加	1.92±0.22	56.5±0.2 ab	8.80±0.91	4.87±0.04 c	25±0 bc	8.70±0.06	16.7±1.2 b	4.9±1
	ナタネ+硫加	1.70±0.06	54.9±0.5 bc	7.30±0.35	5.38±0.13 ab	28±1 a	8.80±0.26	13.4±1 bc	4.8±0.5
	ナタネ+塩加	1.70±0.16	54.1±1.2 c	6.83±0.58	5.12±0.06 bc	27±1 ab	7.90±0.89	24.8±2.4 a	5.2±0.8
チンゲンサイ	硫安+硫加	4.27±0.48	60.3±1.4 a	13.1±1.4	6.74±0.11 a	47±1 a	N. D. ⁴⁾	18.5±1.1 c	12.9±4.9
	硫安+塩加	4.09±0.29	57.0±0.1 bc	12.6±1.0	6.07±0.04 bc	45±0 ab	N. D.	32.9±3.8 b	15.6±5.4
	塩安+塩加	3.50±0.12	55.9±0.5 c	11.4±0.4	5.78±0.12 c	43±1 b	N. D.	46.4±3.3 a	13.5±0.1
	尿素+塩加	4.31±0.27	59.0±0.5 ab	12.9±1.3	6.27±0.06 b	44±0 ab	N. D.	31.1±3 b	8.9±0.6
	ナタネ+硫加	4.57±0.30	59.2±0.5 a	14.1±0.3	6.67±0.20 a	47±1 a	N. D.	21.6±1.6 c	13.5±3.5
	ナタネ+塩加	4.33±0.35	59.4±0.6 a	14.1±1.4	6.12±0.06 bc	43±0 b	N. D.	34.1±4.9 b	14.0±3.3
<i>p</i> value ²⁾									
ホウレンソウ		0.644	0.008**	0.211	<0.001***	<0.001***	0.108	<0.001***	0.904
チンゲンサイ		0.324	0.009**	0.516	<0.001***	0.044*	—	<0.001***	0.363

¹⁾ 平均±標準誤差 (S.E.; $n=3$). ²⁾ 各作物において分散分析 (ANOVA) の結果, 処理区間で 0.1%, 1%, 5% 水準で有意差がある場合それぞれ***, **, *で示した. ³⁾ ANOVA の結果, 同一作物において処理区間で $p < 0.05$ の場合, Tukey-Kramer の HSD 検定を行った. 異なるアルファベット間で 5% 水準で有意差があることを示す. ⁴⁾ 未測定.

kg^{-1}), 塩安+塩加 (55.9 g kg^{-1}) で低い値であった. 窒素吸収量は, 両作物ともに処理区間に有意な違いはなく, ホウレンソウで $6.83 \sim 8.80 \text{ g m}^{-2}$, チンゲンサイで $11.4 \sim 14.1 \text{ g m}^{-2}$ であった.

ホウレンソウの NO_3^- 含有率は, 硫安+硫加 (5.73 g kgFW^{-1}) に比べて, 塩安+塩加 (4.28 g kgFW^{-1}), 尿素+塩加 (4.87 g kgFW^{-1}) でそれぞれ 25, 15% 低い値を示した. また, 硫安+硫加と硫安+塩加, ナタネ+硫加 ($5.34 \sim 5.38 \text{ g kgFW}^{-1}$) の間で NO_3^- 含有率に違いはなかったが, ナタネ+塩加の NO_3^- 含有率 (5.12 g kgFW^{-1}) は, 硫安+硫加よりも低い値であった.

チンゲンサイの NO_3^- 含有率は, 硫安+硫加でもっとも高い値 (6.74 g kgFW^{-1}) であり, それに比べ塩加を施用した処理区 (硫安+塩加, 尿素+塩加, ナタネ+塩加; $6.07 \sim 6.27 \text{ g kgFW}^{-1}$) でおよそ 9% 低い値であった. また, 塩安+塩加は 5.78 g kgFW^{-1} ともっとも低く, 硫安+硫加に比べておよそ 14% 低かった. また, 硫安+硫加の NO_3^- 含有率は, ナタネ+硫加 (6.67 g kgFW^{-1}) と違いはなかったが, 硫安+塩加, ナタネ+塩加 ($6.07 \sim 6.12 \text{ g kgFW}^{-1}$) よりも高い値であった.

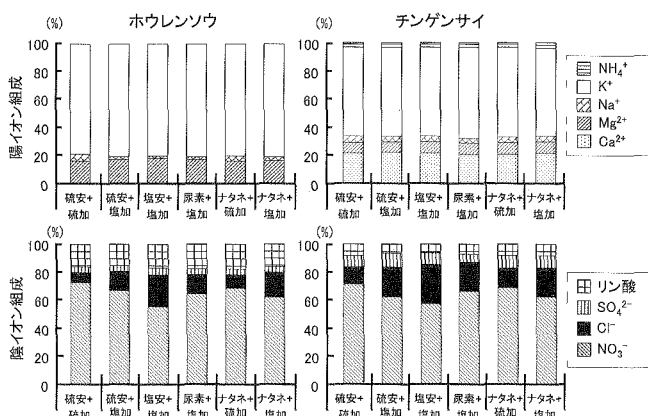
ホウレンソウ中の全窒素に対する硝酸態窒素 ($\text{NO}_3^- \text{ N/TN}$) の割合は, 硫安+硫加, ナタネ+硫加が 28~29% であったのに対して, 尿素+塩加, 塩安+塩加はそれぞれ 25, 22% と低い値であった. チンゲンサイにおいては, 硫安+硫加, ナタネ+硫加よりも塩安+塩加やナタネ+塩加で低い値であった. また, ホウレンソウのシュウ酸含有率は処理区間で有意な違いはなかった.

Cl^- 含有率は, 両作物ともに Cl^- の添加量が多いと, 高い値を示したが, SO_4^{2-} 含有率はホウレンソウが $4.8 \sim 5.4 \text{ mmolc kgFW}^{-1}$, チンゲンサイが $8.9 \sim 15.6 \text{ mmolc kgFW}^{-1}$ の範囲にあり, SO_4^{2-} の添加量に関係しなかった.

図1に作物の水溶性イオンの濃度 (mmolc) 組成を示した. 作物の水溶性陽イオン組成は, 同一作物において処理区の違いにかかわらずほぼ同様であった. 一方, 陰イオンは処理区の違いによって, 総イオン濃度に違いはなかったが (データ省略), その組成が異なった. 同一作物において, SO_4^{2-} , リン酸イオンの組成はほぼ一定で, その和はホウレンソウ, チンゲンサイそれぞれ 19~22, 13~17% であった. NO_3^- の組成割合は, 硫安+硫加, ナタネ+硫加でホウレンソウ, チンゲンサイそれぞれ 68~73, 69~71% であったのに対して, 塩加を施用した処理区 (硫安+塩加, 尿素+塩加, ナタネ+塩加) ではそれぞれ 62~67, 62~66% と低下し, 塩安+塩加ではそれぞれ 57, 57% であった. 他方, Cl^- の組成割合は, NO_3^- の割合低下に対応して高まった.

3) 土壌溶液中のイオン濃度の推移

図2に土壌溶液中の NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} 濃度の推移を示した. 無機態窒素濃度として, NH_4^+ 濃度も含まれる

図1 ホウレンソウ, チンゲンサイの水溶性イオンの濃度 (mmolc) 組成

が、本試験では処理区間で違いがなく、 NO_3^- 濃度に比べて低濃度 ($<2.3 \text{ mmol/L}$) であったため (データ省略)、 NO_3^- 濃度のみ示した。土壌溶液中の NO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 濃度は、ハウレンソウ作よりもチンゲンサイ作で高くなる傾向であった。ハウレンソウ作の NO_3^- 濃度は、ナタネを施用した処理区 (ナタネ+硫加, ナタネ+塩加) で他の処理区よりも低く推移した。一方、チンゲンサイ作ではその差は小さくなった。ハウレンソウ作の Cl^- 、 SO_4^{2-} 濃度の推移は、それぞれの添加量に応じており、塩安+塩加、硫安+硫加でもっとも高く推移した。次いで塩加を施用した処理区 (硫安+塩加, 尿素+塩加, ナタネ+塩加) で Cl^- 濃度が高く、 SO_4^{2-} 濃度は、硫安+塩加で高かった。チンゲンサイ作の Cl^- 、 SO_4^{2-} 濃度は、それぞれ Cl^- 、 SO_4^{2-} が添加された処理区でハウレンソウ作に比べて高くなった。

4) 土壌の EC, 水溶性 Cl^- , SO_4^{2-} 含有量の推移

土壌の EC の推移は (図 3)、窒素質肥料に SO_4^{2-} 、 Cl^- を含むか否かで異なった。すなわち窒素質肥料に尿素、ナタネを処理した区 (尿素+塩加, ナタネ+硫加, ナタネ+塩加) では、作を重ねることで EC が増加したものの、ハウレンソウ、チンゲンサイ収穫時にそれぞれ 0.4, 0.4~0.5 dS m^{-1} であった。一方、硫安、塩安を処理した区 (硫安+硫加, 硫安+塩加, 塩安+塩加) では、ナタネ、尿素を処理した区に比べ、EC の増加は顕著であり、ハウレンソウ収穫時が 0.5~0.6 dS m^{-1} 、チンゲンサイ取

穫時が 0.7~0.8 dS m^{-1} であった。

土壌の水溶性 Cl^- 、 SO_4^{2-} 濃度は (図 3)、処理区の違いにかかわらず、施肥後に濃度が増加し、収穫時には濃度が低下した。また、施肥時、収穫時ともにハウレンソウ作よりもチンゲンサイ作でそれぞれ濃度が高かった。施肥由来の Cl^- 、 SO_4^{2-} の添加量に応じて、土壌の水溶性 Cl^- 、 SO_4^{2-} 濃度が高まった。

土壌の水溶性 Cl^- 濃度は、塩安+塩加でもっとも高く推移し、ハウレンソウ、チンゲンサイ作の施肥時にはそれぞれ 26.5, 38.2 mmol/kg であった。また塩加を処理した処理区 (硫安+塩加, 尿素+塩加, ナタネ+塩加) においては、その濃度の推移に違いはなく、ハウレンソウ、チンゲンサイ作の施肥時にはそれぞれ 3.9~6.3, 7.8~11.2 mmol/kg であった。硫安+硫加, ナタネ+硫加では、試験期間を通じて 1.0 mmol/kg 以下であった。

硫安+硫加, 硫安+塩加の土壌の水溶性 SO_4^{2-} 濃度は、ハウレンソウ作の施肥時には 18.3~19.4 mmol/kg と違いはなかったが、チンゲンサイ作の施肥時には硫安+硫加 (35.7 mmol/kg) よりも硫安+塩加 (26.4 mmol/kg) で低かった。ナタネ+硫加の土壌の水溶性 SO_4^{2-} 濃度は、ハウレンソウ、チンゲンサイ作の施肥時にそれぞれ 7.8, 12.4 mmol/kg であったが、塩安+塩加, 尿

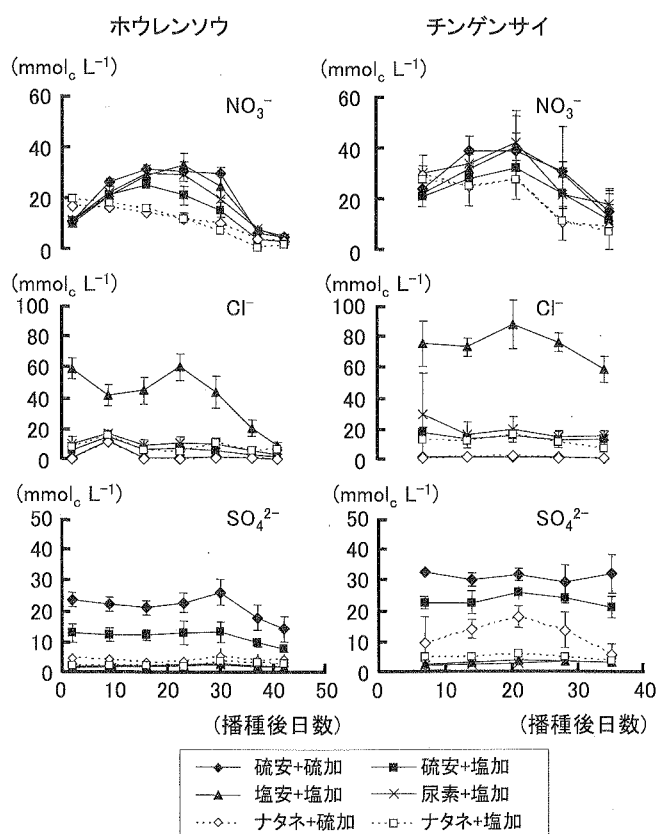


図 2 土壌溶液中の NO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 濃度の推移
バーは、S.E. ($n=3$) を示す。

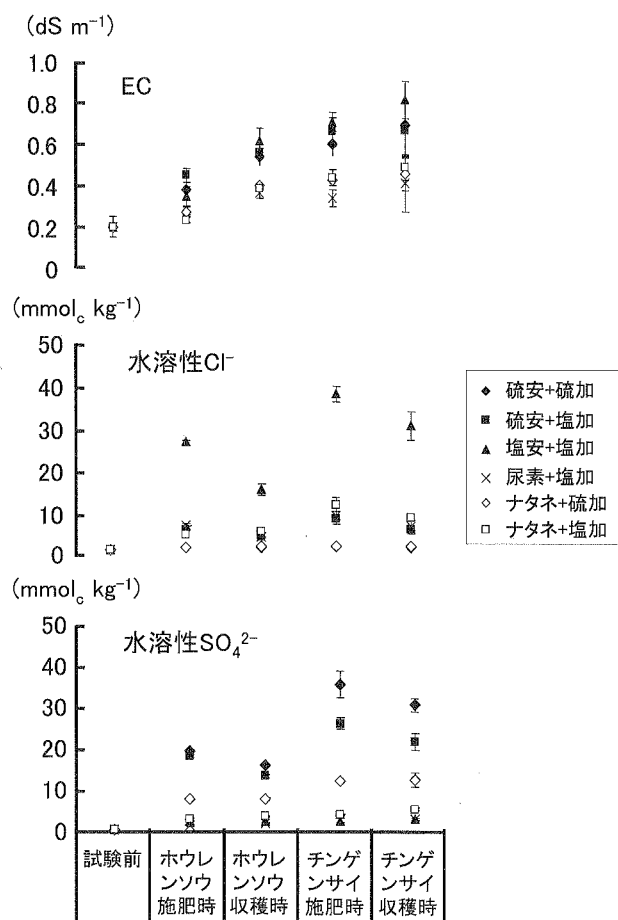


図 3 土壌の EC, 水溶性 Cl^- , SO_4^{2-} の推移
バーは、S.E. ($n=3$) を示す。

素+塩加, ナタネ+塩加では試験期間を通じて, $5.5 \text{ mmol}_e \text{ kg}^{-1}$ 以下であった。

4. 考 察

1) 随伴イオンの種類・量と葉菜類の NO_3^- 含有率

本試験では, 肥料の SO_4^{2-} , Cl^- と葉菜類の NO_3^- 含有率との関係を明らかにするために, 無機・有機質肥料の違いも含め, 肥料の SO_4^{2-} , Cl^- とその量の違いがホウレンソウ, チンゲンサイの NO_3^- 含有率に及ぼす影響について検討した。その結果, ホウレンソウ, チンゲンサイの生育は正常で, 収量に有意な違いは認められなかった (表 3)。しかしながら, 土壌への過剰な随伴イオンの添加は塩類集積を招き, その結果, 土壌の EC を高め, 作物へ生育障害を与えると考えられている²²⁻²⁴⁾。土壌の水溶性 Cl^- あるいは土壌溶液中の Cl^- の診断値は, それぞれ $14 \sim 70 \text{ mmol}_e \text{ kg}^{-1}$, $42 \sim 211 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$ であり, それ以上であると塩類障害によって作物へ生育障害を与える可能性がある²⁵⁾。本試験で土壌や土壌溶液中の Cl^- 濃度 (図 2, 3) がもっとも高かった塩安+塩加は, ホウレンソウでは上記の生育不良濃度の下限値付近を推移したが, チンゲンサイでは, その濃度が高まった。本試験では塩安と塩加の組合せによる連用を 2 回行ったが, より連用を続けることで土壌に Cl^- が蓄積し, 作物の生育に影響を与える可能性が示唆された。他方, SO_4^{2-} の過剰集積は, 土壌 (水溶性) で $10 \text{ mmol}_e \text{ kg}^{-1}$ 以上, 土壌溶液で $31 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$ 以上との診断基準値がある²⁵⁾。硫酸を施用した処理区 (硫酸+硫酸加, 硫酸+塩加) では, これらの濃度以上の時もみられた。硫酸+硫酸加, 硫酸+塩加の土壌の EC は (図 3), 連用することで高まり, チンゲンサイ収穫時の土壌の EC は 0.7 dS m^{-1} となった。ホウレンソウの減収を伴わない土壌の EC は 2.0 dS m^{-1} との知見がある²⁶⁾。本試験における土壌の EC は (図 3), 試験終了時でも 1.0 dS m^{-1} 以下であったため, 収量に影響しなかったものと考えられた。しかしながら, ホウレンソウよりもチンゲンサイで土壌の EC は高く, 塩類の集積によって土壌の EC が高くなったことが推察された。加えて, SO_4^{2-} , Cl^- を多く含む硫酸, 塩安を用いた処理区において尿素, ナタネを用いた処理区よりも EC は高く推移した。ハウス栽培において, 硫酸と塩加を 4 回連用することで土壌の EC が 1.5 dS m^{-1} 以上になったとの報告があり²²⁾, ハウスや隔離床栽培において硫酸や塩安など SO_4^{2-} , Cl^- を多く含む肥料の過剰な連用は土壌の EC を顕著に高め, 作物の生育に障害を与えることが推測された。一方, 同一施肥量で窒素, 加里を施用した場合, 硫酸や塩安の連用に比べ, 硫酸加や塩加の連用は, 土壌への SO_4^{2-} , Cl^- の添加量が少なくなるため (表 2), 土壌の EC, 水溶性 Cl^- , SO_4^{2-} 濃度や土壌溶液中の Cl^- , SO_4^{2-} 濃度 (図 2, 3) の増加が緩やかであった。したがって, 塩加や硫酸は比較的連用を繰り返しても作物の生育に影響を及ぼさないものと推察された。

ホウレンソウ, チンゲンサイの NO_3^- 含有率は (表 3),

随伴イオンに Cl^- を含む処理区で低く, それは Cl^- の添加量に応じて低くなる傾向であった。作物の個体重や窒素含有率の違いによって, 野菜の NO_3^- 含有率が異なることが知られているが⁷⁾, 本試験においては収量に違いはなかったため, NO_3^- 含有率が低下した原因を個体重に帰すことはできない。窒素含有率は, 硫酸+硫酸加に比べて, ホウレンソウではナタネ+硫酸加, ナタネ+塩加で, チンゲンサイでは硫酸+塩加, 塩安+塩加で低かった (表 3)。しかしながら, 全窒素に対する硝酸態窒素 ($\text{NO}_3^- \text{ N/TN}$) の割合は Cl^- の添加量に応じて低くなる傾向であり (表 3), Cl^- 添加によって葉菜類の NO_3^- 含有率は低下するものと考えられた。施肥時の土壌の水溶性 SO_4^{2-} 濃度と葉菜類の NO_3^- 含有率とは有意な関係が認められなかった (ホウレンソウ; $r=0.7547$, チンゲンサイ; $r=0.5484$) が, 土壌の水溶性 Cl^- 濃度と有意な負の関係が認められた (ホウレンソウ; $r=-0.9044^*$, チンゲンサイ; $r=-0.8405^*$)。また土壌溶液中の平均 Cl^- 濃度が増加することで, 葉菜類の NO_3^- 含有率が低下したが, 平均 SO_4^{2-} 濃度と葉菜類の NO_3^- 含有率の間には関係が認められなかった (図 4)。無機質肥料のみを施用した処理区では, 作物の違いにかかわらず窒素施肥量 (表 2) や土壌溶液中の NO_3^- 濃度 (図 2) に違いはなかった。また, 作物の水溶性陰イオン組成をみると (図 1), SO_4^{2-} の割合に処理区間で違いはなかった一方で, Cl^- の割合は, Cl^- の添加量に応じて高まり, NO_3^- の割合が低下した。 Cl^- の添加量が増加することで, 土壌溶液中の Cl^- の割合が増加し (図 3), Cl^- と NO_3^- の拮抗作用により¹⁶⁾, 葉菜類の NO_3^- 含有率が低下したことが考えられた。一方で SO_4^{2-} は, NO_3^- との拮抗作用がないため²⁷⁾, 葉菜類の NO_3^- 含有率との関係がなかったことが考えられた。加えて, ホウレンソウ, チンゲンサイの生育や窒素吸収量に処理区で違いがなかったことから (表 3), Cl^- と NO_3^- の拮抗作用による葉菜類の生育や窒素吸収抑制は生じなかったものと推察された。また, 吸収された NO_3^- が還元されること

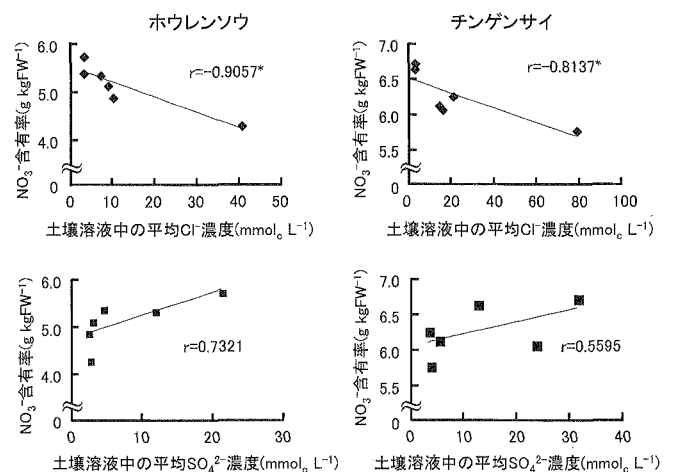


図4 土壌溶液中の平均 Cl^- , SO_4^{2-} 濃度と作物の NO_3^- 含有率との関係

で、その含有率が低下したことも考えられた。 NO_3^- が還元されるとハウレンソウのシュウ酸含有率が増加すると考えられている¹⁰⁾。本試験のハウレンソウのシュウ酸含有率は処理区によって有意な違いはなく(表3)、 Cl^- の添加で硝酸還元酵素の活性が増加し、 NO_3^- 含有率が減少したとは考えにくい。

以上のように肥料の Cl^- を土壌へ添加することでその添加量に応じて葉菜類の NO_3^- 含有率が減少することが明らかとなった。しかしながら、前述のように SO_4^{2-} 、 Cl^- を多く含む肥料の連用は土壌の塩類集積や作物の生育に影響を与えることが考えられ、その添加量や連用回数など今後検討する必要がある。本試験の結果、土壌の水溶性 Cl^- 濃度や土壌溶液中の Cl^- 濃度の増加に応じて、葉菜類の NO_3^- 含有率が低下した(図4)。このことから、野菜の生育や NO_3^- 含有率をもっとも良好となるような土壌や土壌溶液中の Cl^- 濃度を検討し、農業現場において土壌あるいは土壌溶液の分析を行い、 Cl^- を含む肥料を適宜選択することで、野菜の生育を確保しながら、 NO_3^- 含有率を低減することができる。

2) 無機・有機質肥料施用時における随伴イオンの種類の違いと葉菜類の NO_3^- 含有率

これまで無機質肥料と有機質肥料の違いと野菜の NO_3^- 含有率の関係について多くの報告がなされているが、その結果は、有機質肥料の施用で野菜の NO_3^- 含有率が低下した^{19,20)}あるいは、しなかった²¹⁾など様々である。本試験では、無機・有機質肥料施用時における葉菜類の NO_3^- 含有率を SO_4^{2-} 、 Cl^- の違いから検討した。その結果、ハウレンソウの NO_3^- 含有率は硫安+硫加に比べ、硫安+塩加、ナタネ+硫加では違いはなかったが、ナタネ+塩加で低い傾向であった(表3)。他方チンゲンサイでは、硫安+硫加の NO_3^- 含有率は、ナタネ+硫加と違いはなかったが、硫安+塩加、ナタネ+塩加よりも高い値であった。ハウレンソウにおいて硫安+硫加に比べ、硫安+塩加の NO_3^- 含有率に違いがなかった一方で、ナタネ+塩加の NO_3^- 含有率が低かったこととして、土壌溶液中の NO_3^- 濃度がナタネを施用した処理区で低かったことが考えられた。すなわち、土壌溶液中の NO_3^- 濃度が低く推移し、結果として窒素含有率が低くなったため、ハウレンソウの NO_3^- 含有率が低くなったことが考えられた⁷⁾。他方、2作目のチンゲンサイでは土壌溶液中の NO_3^- 濃度が他の処理区と違いがなくなった(図2)。これは1作目のハウレンソウで無機化、硝化されなかったナタネが未作付け期間中あるいはチンゲンサイ作で無機化、硝化され土壌溶液中の NO_3^- 濃度が他の処理区と大差なくなったものと推察された。ナタネを施用した区の土壌溶液中の NO_3^- 濃度が硫安を施用した区と違いがなくなったことで、チンゲンサイの窒素含有率や NO_3^- 含有率が硫安を施用した区と大差なくなったと考えられた。全窒素に対する硝酸態窒素($\text{NO}_3^- \text{ N/TN}$)の割合をみても(表3)、加里質肥料が同一であれば、硫安とナタネとの間に違いはなかつ

た。これらのことから、加里質肥料からの Cl^- 添加が有機質肥料施用による葉菜類の NO_3^- 含有率の低下よりも効果が大きいことが明らかとなった。したがって、本研究は、これまで無機・有機質肥料と野菜の NO_3^- 含有率との関係を議論する際にはほとんど考慮に入らなかった随伴イオンとしての Cl^- 、 SO_4^{2-} の違いが野菜の NO_3^- 含有率に対し、非常に重要な要因であることを示していると考えられた。

5. 要 約

肥料中の SO_4^{2-} 、 Cl^- 量とハウレンソウとチンゲンサイの NO_3^- 含有率との関係について隔離床栽培により検討した。

1) 土壌への SO_4^{2-} と Cl^- の陰イオン種や添加量の違いによって、ハウレンソウ、チンゲンサイの収量や窒素吸収量に違いはなかった。

2) 葉菜類の NO_3^- 含有率は、土壌への Cl^- の添加量の増大とともに減少し、それは土壌溶液中の Cl^- 濃度と高い負の関係が認められた。他方、 SO_4^{2-} はハウレンソウ、チンゲンサイの NO_3^- 含有率との関係は認められなかった。以上より、土壌へ Cl^- を添加することによって、その添加量に応じて葉菜類の NO_3^- 含有率が低下することが示された。

3) SO_4^{2-} よりも Cl^- を含んだ加里質肥料を施用することで、葉菜類の NO_3^- 含有率が低下したが、硫安とナタネ施用では大差なかった。したがって、無機と有機質肥料の違いよりも、 Cl^- の添加が野菜の NO_3^- 含有率を低下させる要因として大きいことが考えられた。

謝 辞：本研究の実施にあたり、栽培および分析にご協力いただいた(株)全農ビジネスサポート平塚支店肥料グループの皆様へ感謝します。また、本論文の校閲を賜った名古屋大学大学院生命農学研究科教授 木村真人博士に感謝申し上げます。

文 献

- 1) Maynard, D. N., Barker, A. V., Minotti, P. L. and Peck, N. H.: Nitrate accumulation in vegetables. *Adv. Agron.*, **28**, 71~118 (1976)
- 2) L'hirondel, J. and L'hirondel, J. L.: Nitrate and Man Toxic, Harmful or Beneficial, 168 pp., CABI Publishing, Wallingford (2002)
- 3) 中本 洋・黒島 学・塩澤耕二：ハウレンソウのシュウ酸、硝酸、ビタミンCに及ぼす遮光、気温、かん水、堆肥施用の影響、北海道立農試集報, **75**, 25~30 (1998)
- 4) 福田直也・宮城 慎・鈴木洋二・池田英男・高柳謙治：深夜照明と培養液からの NO_3^- 除去が水耕ハウレンソウの生育と葉の汁液中 NO_3^- 濃度に及ぼす影響, 園学雑誌, **68**, 146~151 (1999)
- 5) 本居聡子：作型や栽培方法が異なるハウレンソウの品質比較, 野菜園芸技術, **30** (4), 23~26 (2003)
- 6) 建部雅子・岡崎圭毅・鍵下恵太・唐澤敏彦：ハウレンソウの硝酸イオン含有率低減に対する養液土耕栽培の効果, 土肥誌, **77**, 9~16 (2006)

- 7) 建部雅子・石原俊幸・松野宏治・藤本順子・米山忠克：窒素施用がハウレンソウとコマツナの生育と糖、アスコルビン酸、硝酸、シュウ酸含有率に与える影響，同上，**66**，238～246 (1995)
- 8) Chen, B. M., Wang, Z. H., Li, S. X., Wang, G. X., Song, H. X. and Wang, X. N.: Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *Plant Sci.*, **167**, 635～643 (2004)
- 9) Huang, S. W., Jin, J. Y., Yang, L. P., Bai, Y. L. and Li, C. H.: Spatial variability of nitrate in cabbage and nitrate-N in soil. *Soil Sci.*, **169**, 640～649 (2004)
- 10) 建部雅子・石原俊幸・石井かおる・米山忠克：培地の窒素形態および Ca:K 比がハウレンソウとコマツナの硝酸、アスコルビン酸、シュウ酸含有率に与える影響，土肥誌，**66**，535～543 (1995)
- 11) 池田英男・大沢孝也：水耕培養液中の NO_3^- と NH_4^+ の濃度並びに比率がそ菜の生育，葉中 N 成分及び培養液の pH に及ぼす影響，園学雑，**52**，159～166 (1983)
- 12) 建部雅子・佐藤信仁・石井かおる・米山忠克：緩効性窒素肥料の施用がハウレンソウのシュウ酸，アスコルビン酸，糖，硝酸含有率に与える影響，土肥誌，**67**，147～154 (1996)
- 13) 三代恭広・太田勝巳・松本真吾：ペースト肥料による局所施肥栽培がレタスの生育および品質に及ぼす影響，同上，**75**，431～438 (2004)
- 14) 三代恭広・太田勝巳・松本真吾：側条施肥栽培におけるペースト肥料の窒素組成の違いがハウレンソウの硝酸含量に及ぼす影響，同上，**76**，849～857 (2005)
- 15) Abdelgadir, E. M., Oka, M. and Fujiyama, H.: Characteristics of nitrate uptake by plants under salinity. *J. Plant Nutr.*, **28**, 33～46 (2005)
- 16) Inal, A., Gunes, A. and Aktas, M.: Effects of chloride and partial substitution of reduced forms of nitrogen for nitrate in nutrient solution on the nitrate, total nitrogen, and chloride contents of onion. *ibid.*, **18**, 2219～2227 (1995)
- 17) Wang, Z. H. and Li, S. X.: Effects of N forms and rates on vegetable growth and nitrate accumulation. *Pedosphere*, **13**, 309～316 (2003)
- 18) Inal, A., Gunes, A., Alpaslan, M. and Demir, K.: Nitrate versus chloride nutrition effects in a soil-plant system on the growth, nitrate accumulation, and nitrogen, potassium, sodium, calcium, and chloride content of carrot. *J. Plant Nutr.*, **21**, 2001～2011 (1998)
- 19) 山崎晴民・六本木和夫：有機物施用が葉菜類の収量及び品質に及ぼす影響，埼玉園試研報，**21**，7～20 (1998)
- 20) 松本真吾・阿江教治・山縣真人：有機質肥料の施用がハウレンソウの生育および硝酸，シュウ酸，アスコルビン酸含量に及ぼす影響，土肥誌，**70**，31～38 (1999)
- 21) 中川祥治・山本秀治・五十嵐勇紀・田村夕利子・吉田企世子：堆肥および有機質肥料の施用がコマツナ (*Brassica campestris* L. rapifera group) の硝酸，糖，アスコルビン酸および β -カロチン含量に及ぼす影響，同上，**71**，625～634 (2000)
- 22) 小野信一・藤井義晴：ハウス栽培における土壌の塩類集積とその回避対策，同上，**65**，62～65 (1994)
- 23) 羽生友治：施設栽培下の果菜類連作における肥料の成分形態，随伴イオンが土壌，作物体へ及ぼす影響(1)，農業と化学，**475**，8～16 (1997)
- 24) 羽生友治：同上(2)，同上，**476**，7～12 (1997)
- 25) 渡辺和彦：原色野菜の要素欠乏・過剰症，p.121，農文協，東京 (2002)
- 26) Maas, E. V.: Crop tolerance to saline sprinkling water. *Plant Soil*, **89**, 273～284 (1985)
- 27) Zandstra, G. B. and Lampe, J. E. M.: The effect of chloride and sulphate salts on the nitrate content in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.). *J. Plant Nutr.*, **6**, 611～628 (1983)

Effects of the Kind and Amount of SO_4^{2-} and Cl^- in Organic and Inorganic Fertilizers on Nitrate Concentration in Leaf Vegetables

Masahiko Katoh, Yasuhito Hayashi and Hiromasa Morikuni
(JA ZEN-NOH R&D Cent.)

We examined effects of SO_4^{2-} and Cl^- concentration in fertilizers on NO_3^- concentrations in spinach (*Spinacea oleracea* L.) and ching quang juai (*Brassica chinensis* L.) in the isolation floor cultivation. By combining ammonium sulfate, ammonium chloride, urea or rapeseed meal as N fertilizer and potassium sulfate or potassium chloride as K fertilizer, various treatments were prepared in this experiment. Multi-phosphate was uniformly applied as P fertilizer. They were applied as basal fertilizers at the rates of 15 g of N per m^2 , 6.5 g of P per m^2 , and 12.5 g of K per m^2 . The main results obtained were as follows. 1) There were no differences in yield and nitrogen uptake of spinach and ching quang juai among the treatments. Nitrate concentration in plants decreased with the increase in the amount of Cl^- applied to the soil with highly negative correlation. In contrast, there was no relationship between NO_3^- concentration in plants and the amount of SO_4^{2-} applied to the soil. These findings indicate that application of chlorides to the soil lowers NO_3^- concentration in leaf vegetables without any effect on their growth. 2) As there was no significant difference in NO_3^- concentration in plants between ammonium sulfate and rapeseed meal applications, the effect of the form of fertilizers, inorganic or organic, was concluded to be minor to that of anions in fertilizer, SO_4^{2-} or Cl^- , on NO_3^- concentration in leaf vegetables.

Key words chloride ion, nitrate, organic fertilizer, sulfate ion

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., **77**, 569-575, 2006)