

施設栽培下の果菜類連作における肥料の成分形態、 随伴イオンが土壤、作物体へ及ぼす影響 (2)

J A 全農営農・技術センター肥料研究部

部 長 羽 生 友 治

3 考 察

野菜の窒素吸収と養分の蓄積との関係は、以下のように考えられる。植物体は窒素栄養源として主として根からアンモニア態窒素または硝酸態窒素を吸収する。一般に野菜は好硝酸性植物が多く⁴²⁾、硝酸態窒素を根から吸収し、硝酸還元酵素によってアンモニウムイオンに還元され、アミノ酸や核酸の構成物質となる。土壤中と逆の反応が起きていることになる。野菜類では硝酸態窒素が葉柄などの緑葉部に多く認められ、窒素分の蓄積形態といわれる^{16, 17)}。逆に、水稻はアンモニウムイオンを吸収し、アスパラギン酸として蓄積することはよく知られていることである。

施設栽培下での連作による障害性はしばしば報告されているが、本試験は無機肥料の種類に焦点を当て、その特性の違いと問題点を明確にし、今後の解決方向を提案するつもりで取り組んだものである。以下、実施した試験項目に沿って考察を試みる。

熟畑化がすすむと土壤中に施用されたアンモニア態窒素は硝酸化成菌の作用によって速やかに硝酸態窒素へと変わる。しかし、前述したように硝酸化成菌は外的な環境に弱いので、アンモニア態窒素の形態のままに集積することがある。本試験で行った肥料塩の集積によるECの上昇やpHの低下、さらには土壤消毒による殺菌も条件の一つと思われる。

また、土壤中に溶解する塩類の濃度が高すぎると浸透圧が上昇して作物根からの水分や養分の吸収を阻害し、植物体の萎凋や枯死を招くことも知られている³³⁾。肥料塩の種類とEC、pHとの関係は藤沼ら⁹⁾、米沢⁴⁴⁾が詳細な実験をしており、

小野ら²⁸⁾、R. E. Lucas ら³¹⁾の栽培試験例がある。藤沼らの試験では、pHが硫酸、塩安で大きく低下し、硝安で抑制される。ECは塩安や硝酸カリで高まり、硫酸、硝安で低くなっている。小野は実際に抑制キュウリを用いて3作連用し、無硫酸根系列(本試験では硝安区に当る)は最も高収であったと述べている。本試験でもこれらの試験結果と同様に、随伴イオンを含む硫酸塩区、塩酸塩区ではpHの低下とECの上昇がみられている。藤沼らの試験とECの傾向がやや異なるのは作物の栽培による窒素の吸収が関与していることによる。pHは苦土石灰を施用しないと3作栽培後には1以上減少し、苦土石灰の施用で2作目以降上昇した。炭酸塩・硝石区、硝安区は苦土石灰無施用でもあまり低下しない。アンモニウム塩で施用した硫酸塩区、塩酸塩区の硫酸イオン、塩素イオンは酸根であり、アンモニア態窒素の硝酸化成と相乗的に作用して大きく低下したものと考えられる。米沢は有機質肥料によるpHの低下が小さいことを指摘しているが、有機質肥料には酸根となる肥料塩がないことや骨粉などのアルカリ性の肥料も含まれるためと考えられる。ECも同様に硫酸塩区、塩酸塩区で高まる傾向があり、肥料養分以外の余分な成分が施用されたことによる。2作目トマトで塩酸塩区が比較的低いのは生育不良のため相対的に灌水量が多くなり、土壤中に溶解した成分の下層への移動があったためと推定される。また、施設栽培で塩素イオンに比べ硫酸イオンを含む肥料が使用されるのは、前者は塩素イオン自体の有害性のほかに形成する塩の溶解度が一般的に高くなるが、硫酸イオンは土壤中では石膏など溶解度の低い塩を形成し、土壤溶液濃度

が上昇せず障害が回避しやすいことによると考えられる。逆に、硫酸イオンの沈殿はEC測定による硝酸態窒素簡易測定の影響要因になったり⁸⁾、除塩し難くなるなどの性質を有する。また、土壌を固めたり、粒子間の孔隙を塞いで物理性を悪化させることも考えられる¹¹⁾。

土壌溶液との関係でみれば池田ら¹³⁾や但野ら⁴⁰⁾は塩化ナトリウムを添加し、その濃度と生育との関係を見ている。金田²⁰⁾はいちごの生育阻害と土壌溶液の浸透圧との関係を調べ、根の水分吸引圧は5.8bar、土壌溶液では2.8barが限界点であるとしている。また、嶋田^{35), 36)}は多肥施設土壌においては土壌溶液濃度を上昇させ、石灰の吸収を阻害するとしている。同様に、加藤ら²¹⁾は土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度が100ppmを超えると硝酸化成を抑制することを指摘し、このことがKやCaの吸収を阻害することになると指摘している。陽イオンと陰イオンとのバランスは岡島²⁷⁾が指摘するように1:1の電気的中性を維持するための交換平衡の関係であり、本試験でも主要成分の分析結果であるが、総体的に見れば対応関係にあった。土壌溶液に関する研究は多く、その重要性は誰もが認めることである。しかし、作物の栄養分として成分構成を考えると硫酸イオンや塩素イオンは必ずしも多量に必要がない。その上、これらの対イオンとして存在するカルシウムイオンやマグネシウムイオンが養分として有効に働くとは考えられない。つまり作物体に吸収されたとしても、塩素イオンや硫酸イオンが同化されず、そのまま酸根として存在する限り、常に随伴陽イオンの中和のためだけに必要となるからである。

また、2作目トマトでは塩酸塩区、3作目メロンでは硫酸塩区、塩酸塩区のpHの低下は著しく、石灰施用によって上昇した。この傾向は跡地土壌の分析結果と同様である。pHの上昇によって硝酸化成が促進されることも石灰施用の効果といえる。

ECと無機の総イオン量との関係では総イオン量が2作目トマトで全処理区とも多かったが、とくに塩酸塩区を除き生育阻害は認められなかった。土壌溶液中の成分濃度は養液栽培での適性濃度と比べるとはるかに高い値となるが、嶋田³⁴⁾が指

摘するように土壌中の分布状態は必ずしも均一ではなく、孔隙中にはかなり塩類濃度の薄い部分も含まれており、根は好適な場所を選んで伸びていくため濃度障害を起こさなかったと考えられる。

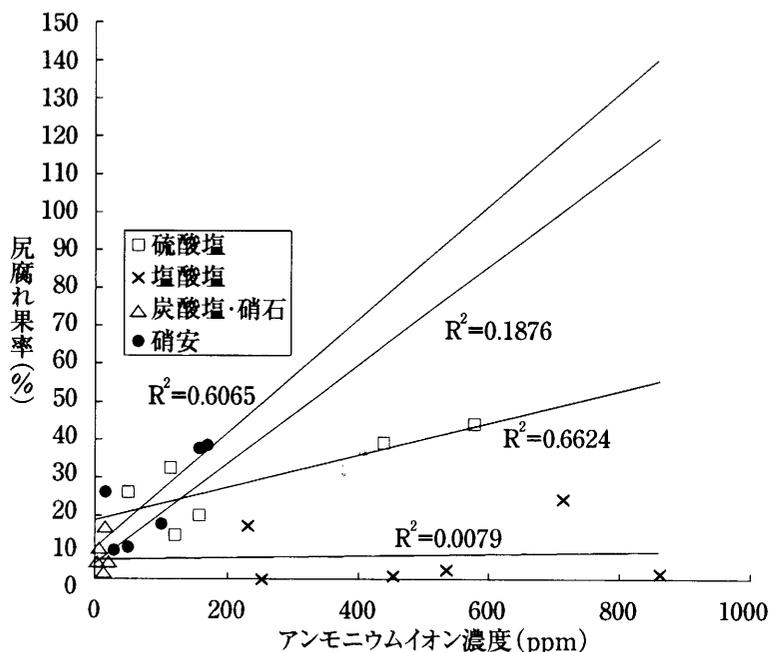
本試験における作物の生育・収量との関係とこれらの土壌の化学的変化を関連付けてみる。メロン、トマト、メロン3作での生育状況では総じて塩酸塩区が劣り、硫酸塩区、炭酸塩・硝石区が続き、硝安区が最もよかった。塩酸塩区の生育抑制は1作目メロンでは硫酸塩区との差はないが、栽培回数が増えると目立った。2作目トマトでは土壌溶液濃度でみると総イオン量で10000ppm、塩素イオン濃度で5000ppmを超えており(第9図)、逆に硝酸イオン濃度が他の区に比べ少なかった。土壌溶液から見ると高い塩素イオン濃度と硝酸化成が十分に進んでいないことが生育遅延の原因と考えられる。総イオン量(EC値に読み代えることができる)についても塩酸塩区は高く、生育に影響したと考えられる。3作目メロンでは基肥を控えたために全体的に土壌溶液濃度は低いが、塩酸塩区は硝酸イオンに対して塩素イオンの割合が大きく、トマトと同様の生育状況になった。平均交配日の違いはこの生育状況を表している。

これらの生育状況が収量性にも現れている。1作目メロンの炭酸塩・硝石区は炭酸塩の施用で、土壌表面のpHが上昇し、とくに追肥時の窒素揮散が多かったため、窒素供給量が不足し1果重がやや劣ったものと推定される。また、2作目トマトの収量への影響は著しく、やや乾燥した土壌水分条件で栽培したため、肥料塩の違いが顕著に現れたと考えられる。

トマトの尻腐れ果の発生要因を処理区ごとにみると、アンモニウムイオンとの関係が高かった。

(15図) トマトの尻腐れ果の発生は石灰欠乏が原因であり、他の野菜類でも発生しやすいことが知られている^{22), 23)}。石灰欠乏は土壌中に多量に含まれて発生してもしばしば発生する¹⁵⁾。石灰は植物体内を移動しにくいいため、生育の盛んなところで発生しやすい。欠乏によって組織が壊死状態になるため商品性を台無しにする。水耕でおこなったトマトの石灰欠乏試験の例は多く、石灰欠乏区のほかに高塩類^{1), 18)}やアンモニア態窒素の施用

第15図 2作目トマト栽培中の土壤溶液アンモニウムイオン量と尻腐れ果の発生率との関係



で発生する^{10,12)}。また、アンモニア態窒素を添加せず硝酸態窒素のみで試験すると改善される例もある²⁹⁾。本試験の場合にもアンモニアとの相関が高い結果となった。石灰欠乏要因の一つとして以下のことが考えられる。石塚ら¹⁴⁾や尾形²⁶⁾へチマの発根と窒素の形態の関係の中でアンモニア態窒素は根がリグニン組成、硝酸態窒素はセルロース組成となるとしている。また、嶋田³⁷⁾は根端より遠くなるとカルシウムの吸収が著しく減少し、理由としてズベリン化の進行と関係が深いとしている。また、P.Adamesら³⁰⁾は高塩類下の水耕では根

第2表—1 2作目トマト栽培終了時の処理区ごとの主要成分分析結果 (%)

処理区	T-N	T-P205	T-K20	T-CaO	T-MgO
硫酸塩	3.00	0.60	6.60	6.05	1.17
〃 石灰	3.19	0.79	7.01	7.24	1.11
塩酸塩	3.24	0.69	7.00	6.49	1.10
〃 石灰	3.14	0.77	6.22	7.43	0.96
炭酸塩・硝石	2.73	0.71	4.83	8.97	1.31
〃 石灰	2.76	0.68	5.10	8.65	1.09
硝安	3.07	0.62	6.40	5.93	1.09
〃 石灰	3.05	0.60	4.76	8.27	1.03

注1.分析は上中下葉を平均したもの

注2.T-Nはサリチル硫酸法, その他のTは乾式灰化後の塩酸抽出し

端部でも吸収減が著しいとしている。カルシウムはアポプラスティックな吸収をするため、アンモニア態窒素を施用すると通路にコルク層が沈着し、通りにくくなる³²⁾。第2表1, 2, 3に2作目トマトの栽培終了時葉中および3作目メロンの葉、果実中の各成分の含有率を示したが、アンモニア態窒素で施用した処理区でカルシウム含有率が低いことがわかる。カリウム等の陽イオン間の拮抗作用の影響が考えられるが、このような吸収抑制作用が生じているかもしれない。

このように土壤溶液で養分状態を診断する場合には、pH, ECや養分濃度だけでなく、アンモニア態窒素や随伴イオン量にも注目することも重要と考える。

つぎに施用した肥料塩の違いと植物体内の水溶性無機イオンバランスについて

検討する。作物体内の汁液は、常に陽イオンと陰イオンがバランスし、電気的な中性を維持していると考えられる。しかし、その構成イオンは主として根から吸収された無機イオンであるが、pHをバランスさせるためには有機酸が大きく関与していることが知られている^{2,6,19)}。吸収された硝酸態窒素がアンモニアに還元される時にOHイオンを放出するため、その中和物質として有機酸が生成するものと考えられる²⁴⁾。本試験でも2作目トマト、3作目メロンで水溶性の主要無機イオンのイオンバランスを示したが、硝酸塩で施用した炭酸塩・

第2表—2 3作目メロン栽培終了時の処理区ごとの果実部主要成分分析結果 (%)

処理区	T-N	T-P205	T-K20	T-CaO	T-MgO
硫酸塩	2.31	0.68	3.74	0.32	0.31
〃 石灰	2.39	0.68	4.49	0.46	0.34
塩酸塩	2.21	0.77	4.44	0.43	0.28
〃 石灰	2.26	0.87	4.59	0.56	0.31
炭酸塩・硝石	2.19	0.78	4.05	0.48	0.32
〃 石灰	2.13	0.67	4.18	0.51	0.32
硝安	2.19	0.86	3.89	0.37	0.30
〃 石灰	2.15	0.59	3.76	0.42	0.29

注1.分析は上中下葉を平均したもの

注2.T-Nはサリチル硫酸法, その他のTは乾式灰化後の塩酸抽出し

第2表—3 3作目メロン栽培終了時の処理区ごとの葉部主要成分分析結果 (%)

処理区	T-N	T-P205	T-K20	T-CaO	T-MgO
硫酸塩	2.83	0.70	2.81	11.72	1.83
〃 石灰	2.75	0.63	2.32	14.81	1.74
塩酸塩	2.63	0.69	1.86	11.47	1.41
〃 石灰	2.45	0.77	2.00	15.52	1.44
炭酸塩・硝石	2.29	0.69	2.28	15.66	1.74
〃 石灰	2.00	0.48	2.12	16.72	1.77
硝安	2.67	0.74	2.73	13.55	1.62
〃 石灰	2.50	0.65	2.38	15.06	1.58

注1.分析は上中下葉を平均したもの

注2.T-Nはサリチル硫酸法, その他のTは乾式灰化後の塩酸抽出し

硝石区及び硝安区で陽イオンの比率が大きくなっており, 有機酸が多く含まれることを示唆している。塩酸塩区で陽イオン比率が相対的に小さいのは, 同化量が少ないため植物体汁液中に多く残存し, 有機酸が生成しにくい状況にあると考えられる。Kirkbyら⁷⁾が述べているように有機酸がカリウム等の陽イオンの代謝に関与しているとすると, このような状況はあまり好ましいことではない。塩素イオンを伴う塩類は溶解度が高く, イオン自体の有害性から植物体内の正常な代謝を阻害するので, 土壤中だけでなく吸収後にも問題があると考えられる。また, 3作目メロンの果実中のバランスでは相対的に塩素イオンが多いため, 陰イオンの比率が高くなっている。このバランスを取るためポリアミド等の有機性の陽イオンの存在が考えられるが明確でない¹⁹⁾。硫酸塩区もやや陽イオン比率が高い傾向を示したが, 硫酸イオンはアミノ酸の構成物である硫黄を含み, 硝酸イオンと同様に還元, 同化される。本試験では, 硫酸塩無施用区でも一定量以上の硫酸イオンが植物体に含有されていた。

このように, 通常必要としない陰イオンが過剰に植物体内に多く存在することは, 対応するカルシウム, マグネシウム, カリウムなどの陽イオンが有効に作用できなくなる可能性があり, その意味でも余分な随伴イオンを施用することは避けることが望ましい。

次に, 肥料塩の種類と微生物性へ与える影響を

みる。試験区の微生物相にややバラツキがあったが, 炭酸塩・硝石区, 石灰施用により糸状菌が減少し, 放線菌, 細菌が増加した。この傾向はそのままA/F値, B/F値に影響した。石灰を施用でも同様の傾向であった。pHが硫酸塩区, 塩酸塩区で低下し, 石灰施用で上昇したことが相対的に細菌, 放線菌数を増加させたためと考えられる⁴¹⁾。また, 横山ら⁴³⁾は塩化ナトリウムの添加で糸状菌が増え, 放線菌, 細菌数が減少するとしている。このように連用する肥料の種類の違いによって微生物相に変化が生じる。とくにpHの影響が大きくなり, 中性付近に維持されることによって硝酸化成を促進し, 好硝酸性作物の生育を健全にする。また, 硝酸態窒素施肥によってハクサイやダイコンの萎黄病, ホウレンソウの根腐病が減少することが報告されている^{3,4,39)}。2作目トマトではJ3が硝酸石灰のみを与えた炭酸塩・硝石区でのみ発生しなかった。放線菌, 細菌相が相対的に増加した微生物相になることや硝酸態窒素が根を健全な状態に維持することもその理由の一つとも考えられる。

4 おわりに

このように同じ無機質肥料とはいっても種類によっては土壤中の環境や植物体の代謝生理にも影響を与え得ることがわかった。さらに, これらの肥料が連用されることによって生理障害や土壌病害の発生にまで影響する可能性が示唆された。今後, さらにこの分野での研究が進展されることを望むものである。

今回の試験は必ずしも厳密に精査された内容とはいえない。本稿で提起したいくつかの結論は十分な試験データを添えて, 今後整理したい。最後に本試験での微生物性のデータは野口勝憲氏(片倉チックリン筑波総合研究所)の協力により実施したもので, 謝意を表します。

参 考 文 献

1. A. Cerda, F. T. Bingham and C. K. Labanaukas: Blossom end rot of tomato fruit as influenced by osmotic potential and phosphorous concentrations of nutrient solution media, J. Amer. Soc. Hort., Sci., 104, 1979
2. A. J. Hiatt: Relationship of cell sap pH to

- organic acid change during ion uptake, plant Physio., 42, 1967
3. 赤司和隆他：ハウレンソウ根腐病の発生要因とその対策, 日土肥誌, 61, 1990
 4. ARYA, N and KUWATSUKA, S: Soil Sci. Plant Nutr. 39, 1993
 5. 坂東一宏：トマトの循環式ロックウール栽培「2」, 農及園, 66, 1991
 6. E. A. Kirkby and K. Mengel: Ionic Balance in Different Tissues of the tomato plant in relation to nitrate, or ammonium nutrition, Plant Physiol., 42, 1967
 7. E. A. Kirkby and A. H. Knight: Influence of level of nitrate on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation and cation-anion balance in whole tomato plants, Plant Physio., 60, 1977
 8. 藤井弘志, 荒垣憲一, 中西政則: SO_4 の多い土壌におけるECの測定法, 農及園, 62, 1987
 9. 藤沼善亮, 田中房江: 作物の塩類障害に関する肥料, 土壌要因について, 農技研報告B26, 1975
 10. G. E. Wilcox, J. E. Hoff, and M. Jones: Ammonium reduction of calcium and magnesium content of tomato and sweet corn leaf tissue and influence on incidence of blossom end rot of tomato fruit, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 98, 1973
 11. I. Papadopoulos: Effect of sulfate water on soil salinity, growth, and yield of tomatoes Plant and Soil, 81, 1984
 12. 池田英男, 大沢孝也: 水耕培養液中のカリ, カルシウムの濃度ならびに随伴イオンがそ菜のアンモニア過剰障害に及ぼす影響, 農学雑, 51, 1982
 13. 池田英男, 大沢孝也: 施用窒素形態とそ菜の適応性(第1報)水耕栽培において硝酸, アンモニア, 亜硝酸を窒素源とした果菜の生育並びに窒素同化, 園芸学会雑誌, 47, 1979
 14. 石塚善明, 尾形昭逸: ヘチマの発根に対する NO_3-N 並びに NH_4-N の影響について, 日土肥誌, 28, 1957
 15. 位田藤久太郎: 野菜の土壌生態・検定と肥培, 博友社, S56, 東京
 16. J. E. Hoff and G. E. Wilcox: Accumulation of nitrate in tomato fruit and its effect on detinning, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95, 1970
 17. ibid: A physiological basis for different patterns of nitrate accumulation in cucumber and pea, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101, 1976
 18. J. Feigin, S. R. Olsen and A. Shaviv: Review of interaction of ammonium-nitrate and potassium nutrition of crops, J. Plant Nutrition, 13, 1990
 19. J. Gerendas and B. Sattlmacher: Influence of nitrogen form and concentration on growth and ionic balance of tomato and potato, Plant nutrition-physiology and application, Kluwer Academic Publishers, 1990, Netherland
 20. 金田雄二: 施設栽培の土壌管理と改良対策, 土壌の物理性と植物生育, 土壌物理研究会編, 1979, 東京
 21. 加藤秀正: 土壌溶液, 土の化学, 季刊化学総説, 日本科学会編, 学会出版センター, 4, 1989
 22. 草野秀: カルシウム欠乏による園芸作物の生理障害の症状と対策及び展望(その1), 農業と科学, 9/10月号, 平成2年
 23. 同上(その2), 農業と科学, 12月号, 平成2年
 24. 松本英明: 根圏のpHに及ぼす植物の作用, 土肥誌, 62, 1991
 25. 森国博全: ドレンベッドにおけるトマトの施肥法, 第2報尻腐れ果と葉柄, 土壌溶液中 Ca^{2+} 濃度, 日本土壌肥料学会講演要旨集, 10-14, 1993, 新潟
 26. 尾形昭逸: 作物の生育に対するアンモニア態窒素と硝酸態窒素の栄養生理的意義に関する研究(第2報), NH_4-N 並びに NO_3-N のエンバクの有機物代謝に及ぼす影響, 日土肥誌, 34, 1963
 27. 岡島秀夫: 土壌溶液と作物生育, 肥料科学, 7, 1984
 28. 小野信一, 森昭憲: ハウス栽培で使用する化学肥料の形態が土壌に与える化学的ストレス,

- 日土肥誌, 67, 1996
29. 大木孝之: トマトの尻腐れ防止のための施肥対策, 農及園, 46, 1977
30. P. Adames and L. D. Ho: Effect of salinity on calcium transport in tomato, Kluwer Academic Publi., 1990, London
31. R. E. Lucas, S. H. Wurrwer and F. G. Teubner: Maintaining high soil nutrition levels for greenhouse tomatoes without excess salt accumulation, Soil Sci. Society Proceeding, 1960, Ohio
32. R. U. Russell, 田中典幸訳: 作物の根系と土壌, 農産漁村文化協会, 1981
33. 嶋田永生: 施設土壌の諸問題, 化学と生物, 15, 1997
34. 嶋田永生: ハウスの土壌管理, 農文協, S45, 東京
35. 嶋田永生: 集約多肥栽培土壌の酸性に関する土壌溶液論的研究, 愛知県園芸試験場報告第6号, S42
36. 嶋田永生: 施設栽培の諸問題—土壌肥料を中心に—, 化学と生物, 6, S52
37. 嶋田典司, 茅野充男, 溶液栽培と植物栄養, 日本土壌肥料学会編, 博友社, 1990. 東京
38. 高橋英一: 植物における塩素の役割, 塩安研究会, 1992, 東京
39. 高橋正輝: 連作障害防止のためのほ場カルテシシステムの開発, 関東東海農業試験研究成績・計画概要集, 農研センター, 1984
40. 但野利秋, 田中明: アンモニア態および硝酸態窒素適応性の作物種間差(第1報)生育初期におけるアンモニア態窒素および硝酸態窒素選択吸収能と生育反応—比較植物栄養に関する研究—, 日土肥誌, 47, 1976
41. 都留信也: 硝酸塩の植物体内で集積, 肥料と環境保全, 早瀬達郎ら編, ソフトサイエンス社, 1976, 東京
42. 野菜試験場: 野菜の硝酸をめぐるとる諸問題, 野菜試験場研究資料第3号, 1977
43. 横山和平, 甲斐秀昭: 塩化ナトリウム添加に伴う土壌微生物相の変化, 日本土壌肥料学会講演要旨, 関西支部, 38, 1992
44. 米沢茂人: 有機質肥料の施用効果に関する研究, 全農農業技術センター, 1983