

黒ボク土畑における有機物および土壌改良資材の連用が作物収量および土壌に及ぼす影響

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	家壽多, 正樹 八槨, 敦 戸辺, 学 ほか1名,
巻/号	74巻5号
掲載ページ	p. 673-677
発行年月	2003年10月



黒ボク土畑における有機物および土壌改良資材の 連用が作物収量および土壌に及ぼす影響*

家壽多正樹**・八楨 敦**・戸辺 学**・安西徹郎**

キーワード 黒ボク土, 稲わら堆肥, ニンジン, ホウレンソウ, 土壌改良資材

1. はじめに

農地は農業の重要な生産基盤であり, 土壌を健全に保ち, その生産力を長期にわたって維持・増強すること, すなわち土づくりは極めて重要である。

しかし, 最近是集約的生産のため化学肥料や資材の多投入が行われたり, 農家の労力不足による有機物施用の減少などから, 土づくりは必ずしも十分には行われておらず, 土壌養分のアンバランスや地力の低下が指摘されている。

従来から土づくりを目的として堆肥や有機質資材を用いた様々な施用試験が行われてきた。特に, これらの10年以上の長期連用試験は, 土壌生産力の維持・増強に及ぼす効果を定量的に把握し評価する上で, 有益な情報となる¹⁻³⁾。

千葉県において, 黒ボク土は, 畑地面積の約65%を占める代表的な畑土壌であり⁴⁾, 膨軟・軽しょうで礫を含まないため, 耕しやすく, 根菜類を中心とした野菜栽培が盛んに行われている。しかし, リン酸固定力が強く施肥リン酸が効きにくく, 陽イオン交換容量(CEC)が大きいわりに陽イオン保持力が弱いため, カルシウムやマグネシウムなどが流亡しやすく, 土壌が酸性化しやすい特徴を持っている。

そこで, 地力の維持・増強を目的とした土壌管理対策を明らかにするために, 黒ボク土において有機物および土壌改良資材の施用が土壌の理化学性的変化と作物収量に及ぼす影響を取りまとめたので報告する。

2. 試験方法

1) 試験条件および試験区の構成

試験は千葉県農業試験場(現, 千葉県農業総合研究センター)の場内圃場で1982年から1997年まで行った。供試土壌は表層腐植質黒ボク土(米神統, 土壌生産力分級III(w)fIIpne)で, 表1に試験開始前の作土の化学性を示した。

試験区および処理内容は表2に示した。化学肥料単用区(施肥基準に準じて⁵⁾, 毎作, 窒素, リン酸, カリをそれぞれ 200 kg ha^{-1} , 硫酸アンモニウム, 過リン酸石灰, 硫酸カリウムにより施用), 無窒素区, 化学肥料+堆肥 20 t ha^{-1} 区および化学肥料+堆肥 50 t ha^{-1} 区(以下堆肥 20 t ha^{-1} 区および堆肥 50 t ha^{-1} 区と記す), 化学肥料+堆肥 20 t ha^{-1} +熔成リン肥 1750 kg ha^{-1} の総合改善区, 化学肥料単用の無石灰区の6処理区を設けた。無石灰区以外はホウレンソウの施肥時に, 緩衝曲線法により, 作土pH(H_2O)を6.5に調整する炭酸カルシウム量を施用した。試験規模は, 1区 16.8 m^2 , 2反復とした。

供試堆肥は, 10~17か月堆積した稲わら速成堆肥を用いた。堆肥の成分含有率は表3に示した。

2) 供試作物と耕種概要

供試作物にはニンジンとホウレンソウを用いた。ニンジンは1982~94年が3月播種, 7月収穫の作期で, 品種は「MS四寸」, 「金港四寸」, 「キング四寸」, 「US四寸」, 「紅光輝」, 「向陽二号」を用いた。1995~97年は8月播種, 11~12月収穫の作期で, 品種は「向陽二号」を用いた。

ホウレンソウは1982~94年が10~11月播種, 1~2月収穫の作期で, 品種は「アトラス」, 「ソロモン」を, 1995年および1997年は5月播種, 6月収穫の作期で, 品種は「ソロモン」, 「おかめ」を用いた。

なお, 1996年はホウレンソウのかわりにコマツナを栽培したが, 本報告では除外した。

3) 調査項目と分析方法

作物の収量調査は, ニンジンでは各区50株程度, ホウレンソウでは約 1.2 m^2 分を抜き取って行った。土壌の化学性は栽培終了後の作土を各区4~5カ所から採取して混合し, 測定した。土壌の物理性は 100 mL 採土管を用いて条間の深さ5~10 cmの土壌を2連で採取し, 測定した。

Masaki Yasuda, Atsushi Yamaki, Osamu Tobe and Tetsuo Anzai : Effects of Continuous Application of Rice Straw Compost and the Soil Conditioners on the Yields of Carrot and Spinach, and the Properties of Ando Soil in an Upland Field

* 本試験は農林水産省土壌保全対策事業土壌環境基礎調査「基準点調査」として実施した。また, 本報告の概要は1999年6月の日本土壌肥料学会関東支部大会で発表した。

** 千葉県農業総合研究センター(266-0006 千葉市緑区大膳野町808)

2003年1月16日 受付・受理

日本土壌肥料学雑誌 第74巻 第5号 p.673~677 (2003)

表 1 試験前の作土の化学性

pH (H ₂ O)	全炭素 g kg ⁻¹	全窒素 g kg ⁻¹	炭素率 (C/N)	CEC cmol _c kg ⁻¹	交換性陽イオン			陽イオン 飽和度 (%)	リン酸 吸収 係数	可給態 リン酸 mg kg ⁻¹
					CaO	MgO mg kg ⁻¹	K ₂ O			
5.69	64.9	4.4	14.8	35.0	2890	290	350	35.5	2133	32

表 2 試験区の構成

(kg ha⁻¹)

試験区	基肥 (毎作)* ¹			稲わら堆肥 (毎作)	熔成リン肥* ² (毎作)	硫酸マグネシウム* ³ (毎作)	pH 調整* ⁴ (ハウレンソウ前)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O				
化学肥料単用区	200	200	200	0	0	400	実施
無窒素区	0	200	200	0	0	400	実施
堆肥 20 t 区	200	200	200	20×10 ³	0	400	実施
堆肥 50 t 区	200	200	200	50×10 ³	0	400	実施
総合改善区	200	200	200	20×10 ³	1750	400	実施
無石灰区	200	200	200	0	0	400	なし

*¹ ニンジン, ハウレンソウとも硫酸アンモニウム, 過リン酸石灰, 硫酸カリウムを用いて調整した。*² 作土のリン酸吸収係数を 2000 とし, その 1.75% に相当するリン酸として, 熔成リン肥 1750 kg ha⁻¹ を毎作施用した。*³ 1985 年から全区に MgO 成分で 100 kg ha⁻¹ の硫酸マグネシウムを施用した。*⁴ 無石灰区以外は, 毎年ハウレンソウ作付前に, 緩衝曲線法により, 炭酸カルシウムで作土の pH を 6.5 に調整した。

表 3 供試堆肥の成分組成

(単位は C/N を除き g ha⁻¹)

水分	T-C	T-N	C/N	P	K	Ca	Mg
749	212	13.8	13.0	2.5	20.0	24.6	2.6
±21	±45	±6.0	±2.0	±0.8	±11.2	±7.1	±0.9

上段には 1982~1997 年の平均値, 下段には標準偏差を示した。

含有率は, 水分および C/N を除き, 乾物あたりで示した。

これらの測定は常法⁶⁾によった。

なお, データは長期にわたる変化の動向を明確にするため, 土壤分析値並びにニンジンおよびハウレンソウの収量を 3 年ごとにブロック化し, 平均処理した。しかし, 1995 年から作期を変えたこと, 1996 年にハウレンソウの連作障害回避のため, 1 作コマツナを導入したことから, 1994 年以降はブロックの区切りを 2 年とした。

3. 結果および考察

1) 土壤の理化学性に及ぼす有機物, 土壤改良資材の連用効果

作土における理化学性の推移を図 1 に示した。一般に黒ボク土は軽しゅう, 膨軟であるため, 他の土壤に比べて有機物施用による物理性改良効果は発現しにくかったとの報告があるが^{3,7)}, 本試験では仮比重の低下が 4~6 年目には堆肥 50 t 区で, 7~9 年目には堆肥 20 t 区で認められた。これは, 供試圃場が試験開始前には植木等が作付けられ, 粗放的な土壤管理が行われていたこと, 試験開始後は堆肥が年 2 回施用されたことにより土壤改良効果が発現しやすかったと考えられる。

全炭素含量は 1~3 年目では区間差がほとんどなかったが, 堆肥 50 t 区では 4~6 年目に試験前の 65 g kg⁻¹ から 75 g kg⁻¹ へ急激に増加し, 堆肥 20 t 区でも 7~9 年目まで

わずかな増加が認められたのに対し, 化学肥料単用区では試験期間にわたり徐々に減少しており, 作付に伴う有機物の減少がうかがえた。このことから, 黒ボク土土壤の地力維持のためには, 稲わら速成堆肥では現物換算で毎作 20 t ha⁻¹ 程度の有機物施用が必要であることが示唆された。

黒ボク土では他の畑土壤に比べて有機物施用による CEC の改良効果があまり期待できないとされている⁷⁾。本試験でも 1~3 年目は区間差がほとんどなかったが, その後は 7~9 年目まで堆肥施用量に応じて CEC の増大が認められた。

可給態リン酸含量と CEC の関係から, 総合改善区は堆肥 20 t 区に比べて可給態リン酸含量および CEC が高い範囲に分布し, 両者には正の相関が認められた (図 2)。これは総合改善区で堆肥 20 t と熔成リン肥を併用したため, 後述するように作土の可給態リン酸が増加し, 富化したリン酸イオンが陽イオン交換基として機能し, CEC が高くなったと考えられる。加藤ら^{8,9)}は, 沖積土および黒ボク土においてリン酸資材の投入が著しい CEC の上昇を招くことを報告している。

また, 化学肥料単用区および堆肥施用区においても可給態リン酸含量と CEC との間で正の相関が認められたこと

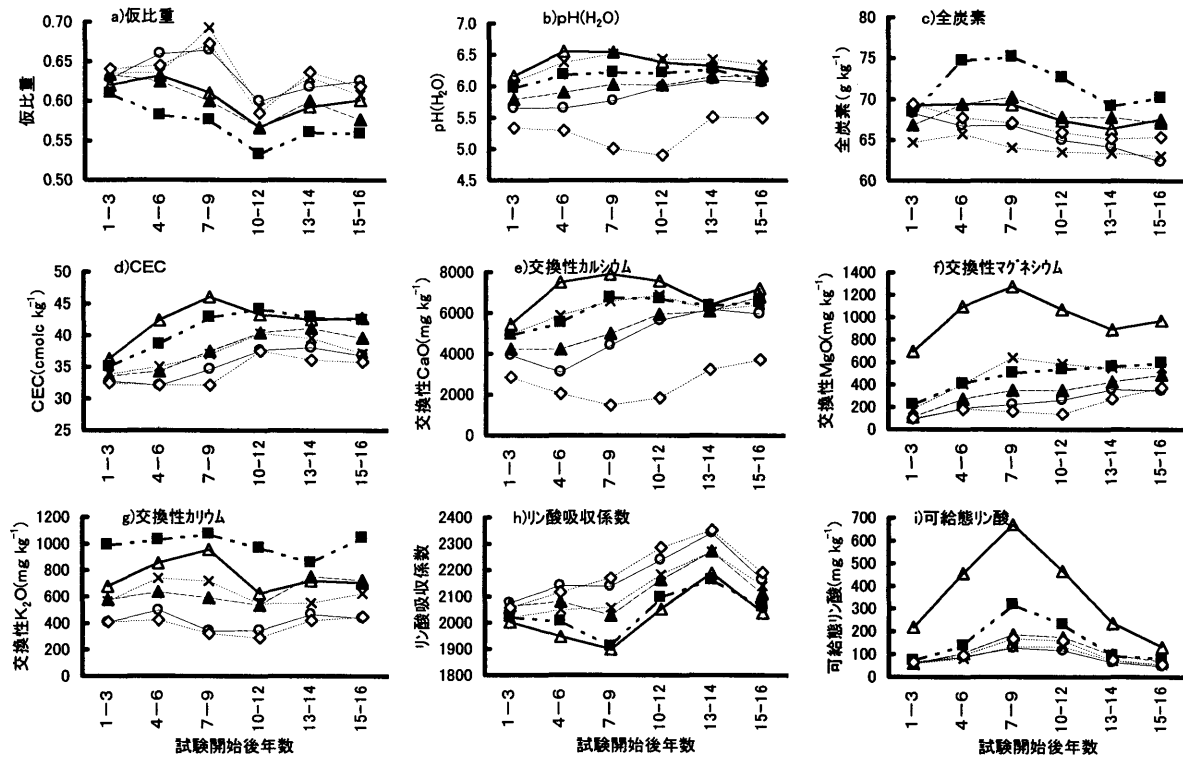


図1 作土の理化学性の推移

○—化学肥料単用, ×—無窒素, ▲—堆肥 20 t, ■—堆肥 50 t, △—総合改善, ◇—無石灰.

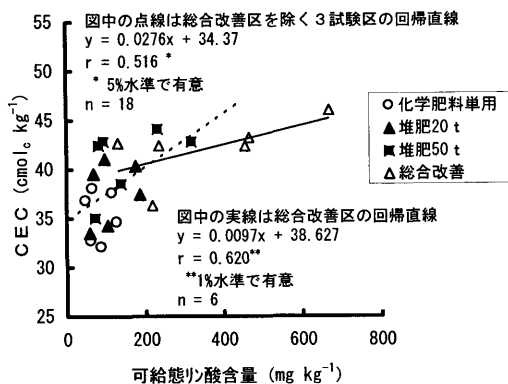


図2 作土の可給態リン酸含量と CEC の関係

から、堆肥施用による CEC の増加は可給態リン酸の増加によると考えられる。

堆肥連用区は交換性陽イオンの増加が認められ、カルシウム、マグネシウム、カリウムとも化学肥料単用区に比べて、堆肥施用量に応じて高い含量で推移した。特に、堆肥 50 t 区では 1~3 年目から交換性カリウム含量の診断基準値¹⁰⁾ の上限値である 600 mg kg⁻¹ (CEC が 40 cmolc kg⁻¹ の場合) をかなり上回った。これは供試した稲わら堆肥がカリウムを乾物あたり 0.02 kg kg⁻¹ (現物あたり K₂O 換算で約 0.006 kg kg⁻¹) 含有し、堆肥 20 t 区および総合改善区で約 120 kg ha⁻¹、堆肥 50 t 区で約 300 kg ha⁻¹ に相当する堆肥由来のカリウムが毎作施用されたことによる。本試験では、可視的な過剰障害は認められなかったが、

15~16 年目における堆肥 50 t 区のマグネシウム/カリウム比 (当量比) は 1.33 で診断基準値より低く、適正な土壤管理をするうえでは注意を要する。

作付前の pH 矯正を行わない無石灰区では、交換性カルシウム含量は診断基準値を大きく下回り、pH(H₂O) は 5.0~5.5 で推移したことから、ニンジンでは 1~3 年目および 13 年目を除き収量指数 57~83、ハウレンソウでは 21~64 と顕著な減収が認められ、適正な土壤管理ができなかったことが明らかであった。

黒ボク土の最大の生産力阻害要因はリン酸の固定による肥沃度の低下である¹¹⁾。有機物施用によるリン酸固定の軽減、リン酸供給量の増加に関する研究がいくつか報告された^{1,7)}が、本試験でも堆肥施用量に応じて、リン酸吸収係数の低下と可給態リン酸の増加が認められた。堆肥 50 t 区では、試験開始後 7~9 年目にリン酸効果が顕著に発現し、リン酸吸収係数 2000 の 1.75% 相当分の熔成リン肥 1750 kg ha⁻¹ を施用した総合改善区のリン酸効果に匹敵した。また、稲わら堆肥 20, 50 t および熔成リン肥 1750 kg のリン酸成分はそれぞれ 29, 72 および 350 kg であり、可給態リン酸は投入した資材中のリン酸含量に対応した蓄積量で推移した。本試験では黒ボク土野菜畑における可給態リン酸の診断基準下限値である 200 mg kg⁻¹ に達するのに、それぞれ 7~9, 4~6, 1~3 年を要した。

2) 有機物および土壌改良資材の連用が作物収量に及ぼす効果

供試したニンジンおよびハウレンソウは、稲わら堆肥や

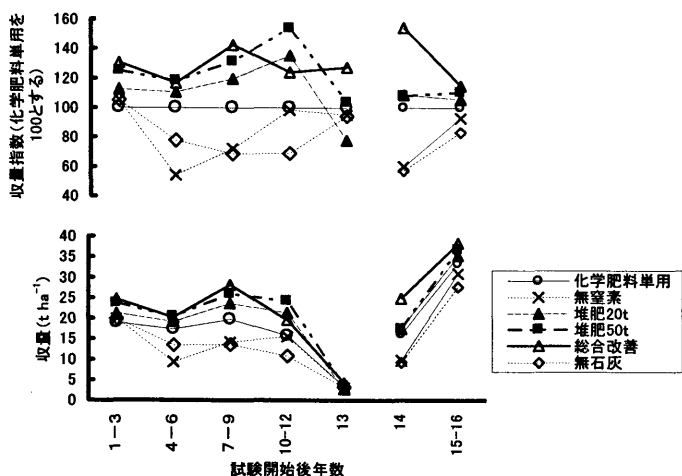


図3 ニンジン収量の推移
ニンジンの根部重量を収量とした。試験は1982~1997年に実施した。

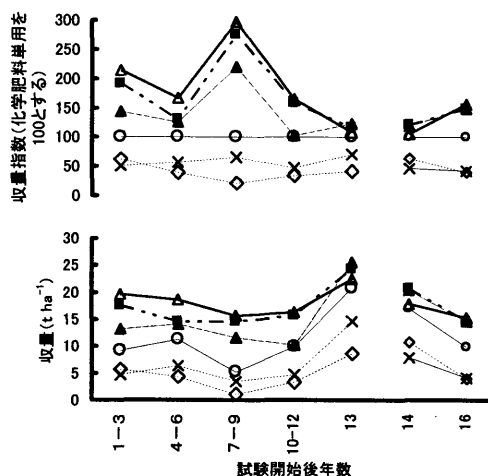


図4 ホウレンソウ収量の推移
ホウレンソウの地上部重量を収量とした。試験は1982~1997年に実施した。凡例は図3に同じ。

土壤改良資材の施用によって化学肥料単用より収量が増加した。しかし、施用効果の発現時期やその程度は両作物で傾向が異なった。

ニンジンの収量は、図3に示したが、1~3年目には化学肥料単用区を100とした収量対比（以下、収量指数とする）が総合改善区で130となり、ついで堆肥50t区が125、堆肥20t区が112であった。7~9年目になると堆肥施用区でさらに増収効果が認められ、総合改善区の収量指数が142、堆肥50t区が131、堆肥20t区が120となった。なお、無窒素区および無石灰区は、4~6年目にそれぞれ収量指数が54および78となり減収した。両区はその後化学肥料単用区を下回って推移したが、10~12年目および15~16年目では無石灰区の収量が無窒素区に比べてさらに劣った。

ホウレンソウの収量は、ニンジンに比較して早い時期から明らかな増収がみられ、1~3年目は、総合改善区の収量指数が214、堆肥50t区が191、堆肥20t区が143であった（図4）。4~6年目以降も概ねこの順位で推移したが、無石灰区の収量は無窒素区に比べてさらに劣る傾向が認められた。

これらの収量変化が、土壤のいかなる要因により強く影響されたかを解析するために、1~12年目のデータを用い、化学肥料単用区の土壤分析値と収量を100とした場合の各試験区の土壤分析値の指数と収量の指数との相関を作物ごとに求め、相関係数を表4に示した。危険率1%で有意な相関関係が認められる要因で、両作物で共通なのは仮比重、孔隙率、全窒素、CEC、交換性カリウム、リン酸吸収係数であり、土壤の物理性の改善、地力窒素や交換性カリウムの増加、保肥力の増大リン酸固定の軽減が共通の増収要因と考えられた。

供試作物間で比較すると、ニンジンに比べてホウレンソウではpH、交換性カルシウム、交換性マグネシウム、交

表4 化学肥料単用区の土壤分析値を100とした各試験区の土壤分析値指数と、化学肥料区収量を100とした各試験区の収量指数との相関関係

土壤分析項目	ニンジン	ホウレンソウ
仮比重	-0.584**	-0.630**
孔隙率	0.604**	0.574**
pH(H ₂ O)	0.363	0.518*
全炭素	0.589**	0.538*
全窒素	0.679**	0.583**
CEC	0.584**	0.739**
交換性カルシウム	0.313	0.499*
交換性マグネシウム	0.408	0.576**
交換性カリウム	0.649**	0.766**
リン酸吸収係数	-0.605**	-0.792**
可給態リン酸	0.495*	0.646**
可給態窒素	0.228	0.470*

試験開始1~12年目のデータを用い、相関係数rを求めた。
*危険率5%で有意、**危険率1%で有意。

換性カリウム、可給態リン酸の相関係数が比較的大きかった。交換性陽イオンの増加が認められた1~3年目の堆肥施用区において、ニンジンに比べてより大きい増収効果が発現したことから、ホウレンソウではカリウムなどの交換性陽イオンの供給が増収に及ぼす影響が大きいと考えられた。

また、無石灰区および無窒素区における収量低下は、ニンジンに比べてホウレンソウでより著しいことから、交換性カルシウムの減少や窒素供給不足はホウレンソウの方がより影響が大きいと考えられた。

4. まとめ

黒ボク土畑における有機物および土壤改良資材の連用が作物収量および土壤に及ぼす影響を明らかにした。

1) 黒ボク土畑における稲わら堆肥の連用は、土壤中の炭素、窒素、リン酸、交換性陽イオンを増加させ、CEC

の増大やリン酸吸収係数の低減をもたらし、ニンジンおよびホウレンソウの収量は増加した。

一方、化学肥料単用区では有機物を施用しないため全炭素含量が減少し、作付に伴って土壌腐植の消耗が懸念された。したがって、地力維持のためには毎作 20 t ha^{-1} 程度の堆肥施用が必要であり、明らかな全炭素含量の増加のためには毎作 50 t ha^{-1} 程度の堆肥施用が有効であることが示唆された。

2) リン酸固定力の大きい黒ボク土に対する土壌改良方法として、可給態リン酸の増加およびリン酸吸収係数の低減に7~9年を要する毎作 50 t ha^{-1} の堆肥施用よりも、堆肥 20 t ha^{-1} 施用に熔成リン肥 1750 kg ha^{-1} を毎作併用すれば3年程度で改良効果が得られることが明らかになった。

3) 本試験では、石灰質資材による土壌改良効果についても検討したが、石灰質資材を施用しない場合は土壌pHが低下し、交換性カルシウム含量が基準値以下になるため、施用の必要性が改めて確認された。

文 献

- 1) 安田 傑：火山灰畑土壌における有機物連用の影響，愛媛農試研報，**30**，59~63 (1990)
- 2) 六本木和夫・石上 忠・武田正人：稲わら堆肥の連用が沖積畑土壌の理化学性に与える影響，土肥誌，**64**，27~33 (1993)
- 3) 若澤秀幸・河合 徹・神谷径明・堀田 柏・青島洋一・鈴木則夫・中神 敏・山田金一・堀 兼明・堀内正美・高橋和彦・水本順敏・松本昌直：堆きゅう肥の連用が黄色土及び黒ボク土畑土壌に及ぼす影響（第1報）土壌の理化学性の変化とキャベツ，カンショの収量，静岡農試研報，**38**，85~98 (1994)
- 4) 千葉県農林部：千葉県耕地土壌の実態，p. 25 (1984)
- 5) 千葉県農林部農産課：主要農作物等施肥基準，p. 164~166，211~212 (1994)
- 6) 農林水産省農産園芸局農産課：土壌環境基礎調査における土壌・水質及び作物分析法，p. 11~87，土壌保全調査事業全国協議会，東京 (1979)
- 7) 上沢正志：化学肥料・有機物の連用が土壌・作物収量に与える影響の全国的解析，農業技術，**46**，393~397 (1991)
- 8) 加藤秀正・岡 紀邦・本島俊明：畑土壌におけるリン酸の動態（第1報）タマネギ畑土壌のリン酸の蓄積量，土肥誌，**56**，279~284 (1985)
- 9) 加藤秀正・岡 紀邦・亀和田國彦：畑土壌におけるリン酸の動態（第3報）土壌溶液論的にみた黒ボク畑土壌のリン酸の上限，同上，**58**，27~34 (1987)
- 10) 千葉県・千葉県農林技術会議：土壌・水質及び作物分析診断，p. 1~2 (1989)
- 11) 渡辺春朗：表層腐植質黒ボク土畑地帯における土層改良に関する研究，千葉農試特報，**21**，6 (1992)