

肥沃度の維持と有機物施用

帯広畜産大学

筒木 潔

テキスト2

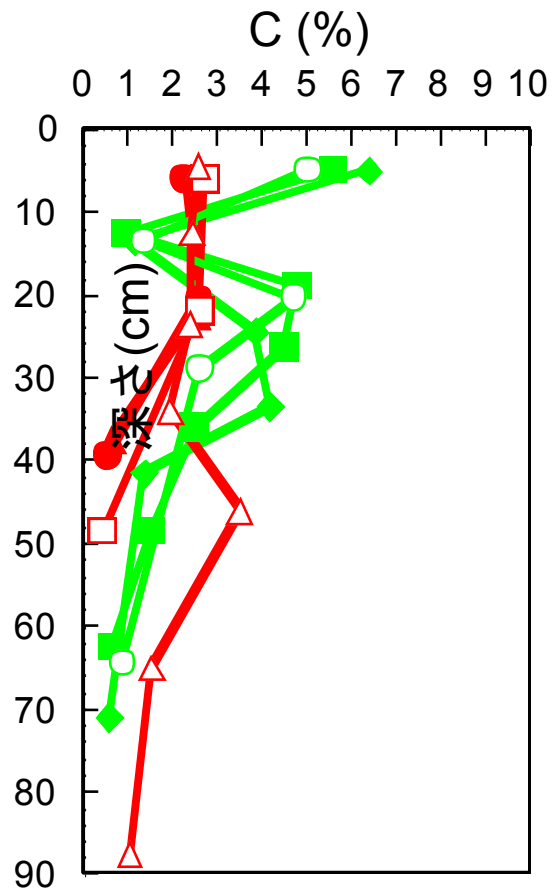
土の有機物

- 陸上生態系における有機物
- 耕地土壌における有機物
- 農地に施用する有機物

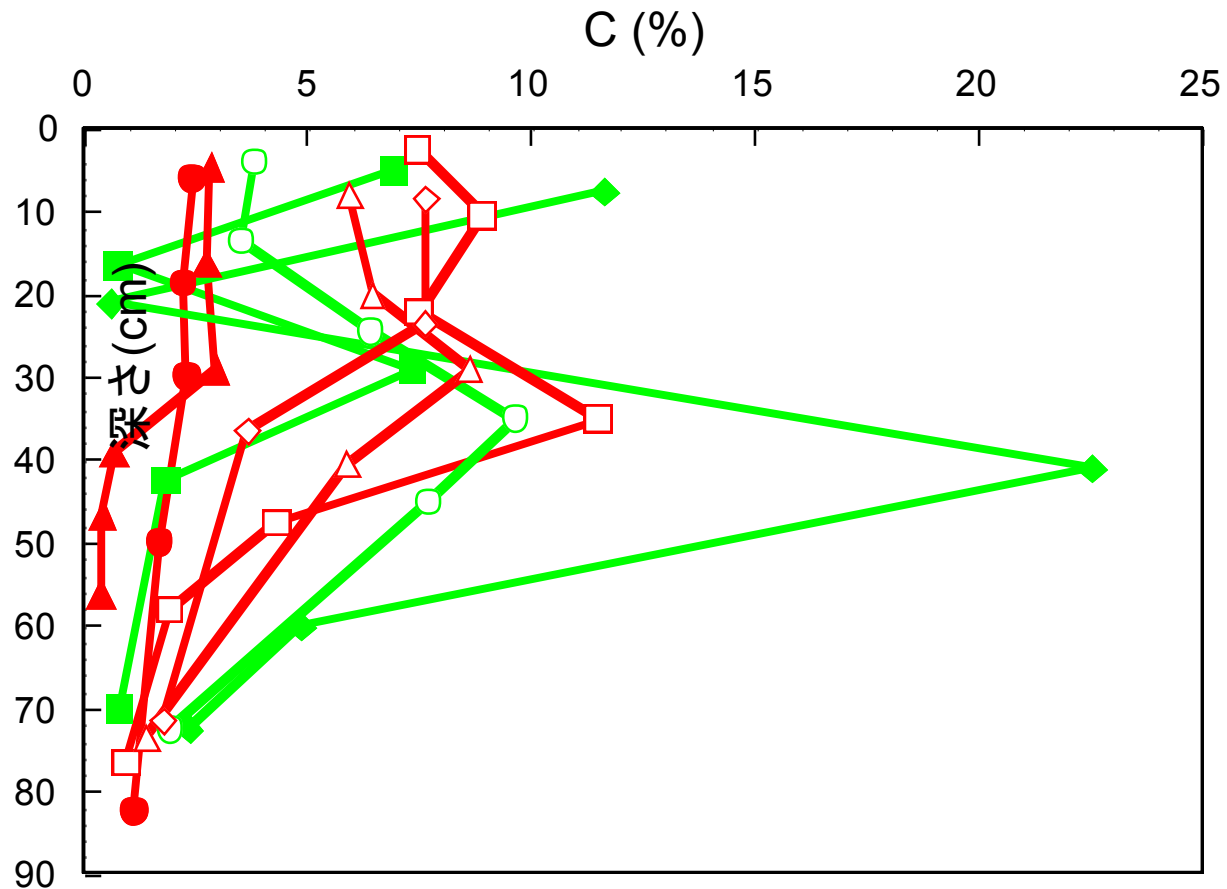
1人あたりのエネルギー消費

- 世界平均 1.7トン /年 (石油換算)
- 日本 4.1トン /年
- アメリカ 8.0トン /年
- 人間の生活は確実に大気CO₂濃度の増大をもたらす。
- CO₂を吸収・貯蔵してくれるのは、植物と土壌

乾性地点



湿性地点



未耕地と耕地における黒ボク土壌断面の炭素含量の変化



土壤断面内の有機物の分布

- 土壤の乾湿による影響
- 気候変化
- 火山灰の降灰
- 耕耘による土壤有機物の著しい消耗

腐植物質とは

- 地球の表面で最も多量に存在する有機物 炭素として

1500 Gt (10^9 t, 10^{12} kg)

- 全ての植物バイオマスの3倍
- 大気中のCO₂の2倍

しかし先史時代には2100 Gtもの腐植物質炭素が存在していた。

植物栄養観の変遷

- J.Tull (18世紀始め) 耕うんの重要性
- A. von Thaer (18世紀始め)

土壌腐植養分説

- Theodore de Saussure (19世紀始め)
光合成、植物にとっての無機養分の必要性
- J.B. Boussingault (1834) 窒素固定の発見
- J. von Liebig (1840) 無機養分説

腐植物質の機能

- 地球上の炭素循環における最大の貯蔵庫
- 地球温暖化の抑制
- 植物・微生物への養分供給
- 養分・水分保持
- 土壌物理性の維持改善
- 植物生育の促進

しかし、腐植は万能ではない。

- 腐植物質だけでは、作物の生育を支えることができない。
 - 適正なpH
 - 好適な水分条件
 - 十分な無機養分
 - 生育阻害物質を含まない
- などと組み合わせの上にも、その効力を発揮する。

地球上の窒素の存在部位とプールサイズ

存在部位	10^6 t
大気	3.9×10^9
陸上 植物	15×10^3
動物	0.2×10^3
土壌有機物	150×10^3
海洋 動植物	0.5×10^3
溶液、沈殿物	1200×10^3
このうち硝酸態窒素	570×10^3

植物栄養学第2版(文永堂) ただし原著に誤記入あり

地球上のリンの存在部位とプールサイズ

存在部位	10^6 t
陸上 生物	2.6×10^3
リン鉱石	19×10^3
土壌	$96 \sim 160 \times 10^3$
淡水	0.090×10^3
海洋 生物	$0.05 \sim 0.12 \times 10^3$
可溶性無機リン	80×10^3
沈殿物	$840,000 \times 10^3$

N, P ともに、土壌は陸上における最大の貯蔵庫である。

植物栄養学第2版(文永堂)

農耕の始まりと有機物施用

- 農耕地における有機物施用は、自然の有機物分解プロセスの模倣である。
- Organic matter application in agriculture is an imitation of natural process in organic matter decomposition

熊田恭一 「土壌環境」

学会出版センター (1980) より

自然から離れる農業

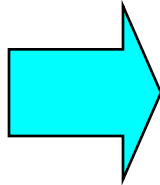
- 現代の農業は、自然を模倣し、自然のプロセスに習うという段階を脱却した。
- そこから抽出した必須と思われるプロセスのみを利用し、付随する一見無駄なプロセスを切り捨てるようになった。
 - 化学肥料、農薬、エネルギー依存
 - 養液栽培
 - 有機物や土壌から離れた農業

土壤有機物の役割

- a . 土壤の物理的性質の向上
- b . 土壤の化学的・生物的性質の向上
- c . 植物生育促進効果

a . 土壌の物理的性質への 有機物の貢献

カビの菌糸
多糖類
腐植物質



団粒形成
通気性と保水性
土壌侵食の緩和
土壌の比熱を高める
地温上昇

b. 化学的および生物的性質への 有機物の貢献

陽イオン・陰イオンの保持

無機養分の移動と輸送

人工汚染物質の不活性化

プロトン (H^+) 供与体

生理活性の増大

養分をバランス良く供給

微生物への養分供給

病原菌への拮抗作用

c. 植物生育促進効果への 有機物の貢献

発芽や発根の促進

根や茎の生育促進

養分元素と錯体を形成

植物による養分吸収を促進

ホルモンに類似した作用

細胞膜の透過性を促進

光合成、呼吸活性・各種酵素活性促進

作物体タンパク含量抑制、糖含量増大

冷害・異常気象下での作物生育への障害を軽減

各種植物への腐植酸Naの影響

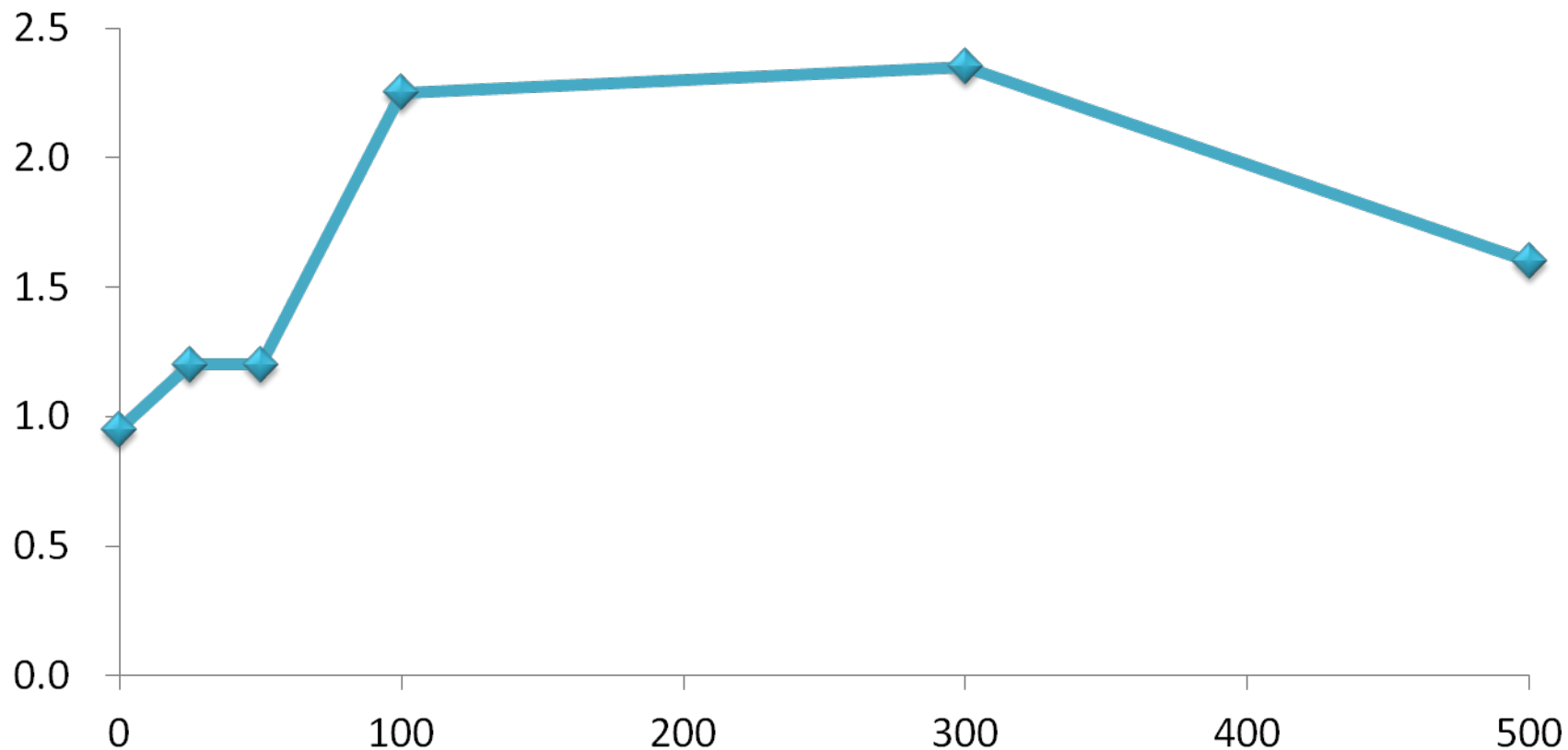
コノワ 土壤有機物 菅野他訳 農文協 S.51

	植物	水	腐植酸Na 6-60 ppm
一次根の長さ (mm)	春小麦	68±1	200±23
	冬小麦	75±1	378±46
	イネ	90±7	152±12
莖長 (mm)	春小麦	139	192
	冬小麦	201	232
	イネ	140	171

フルボ酸濃度とキュウリ地上部生育

Rauthan & Schnitzer 1981

乾重(g/plant)



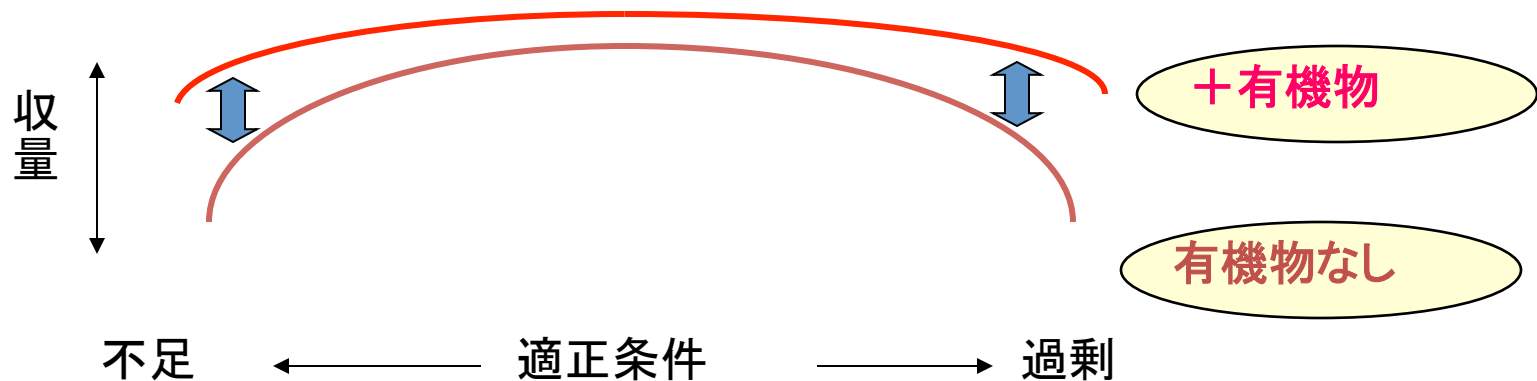
フルボ酸濃度(mg L⁻¹)

植物生育促進効果

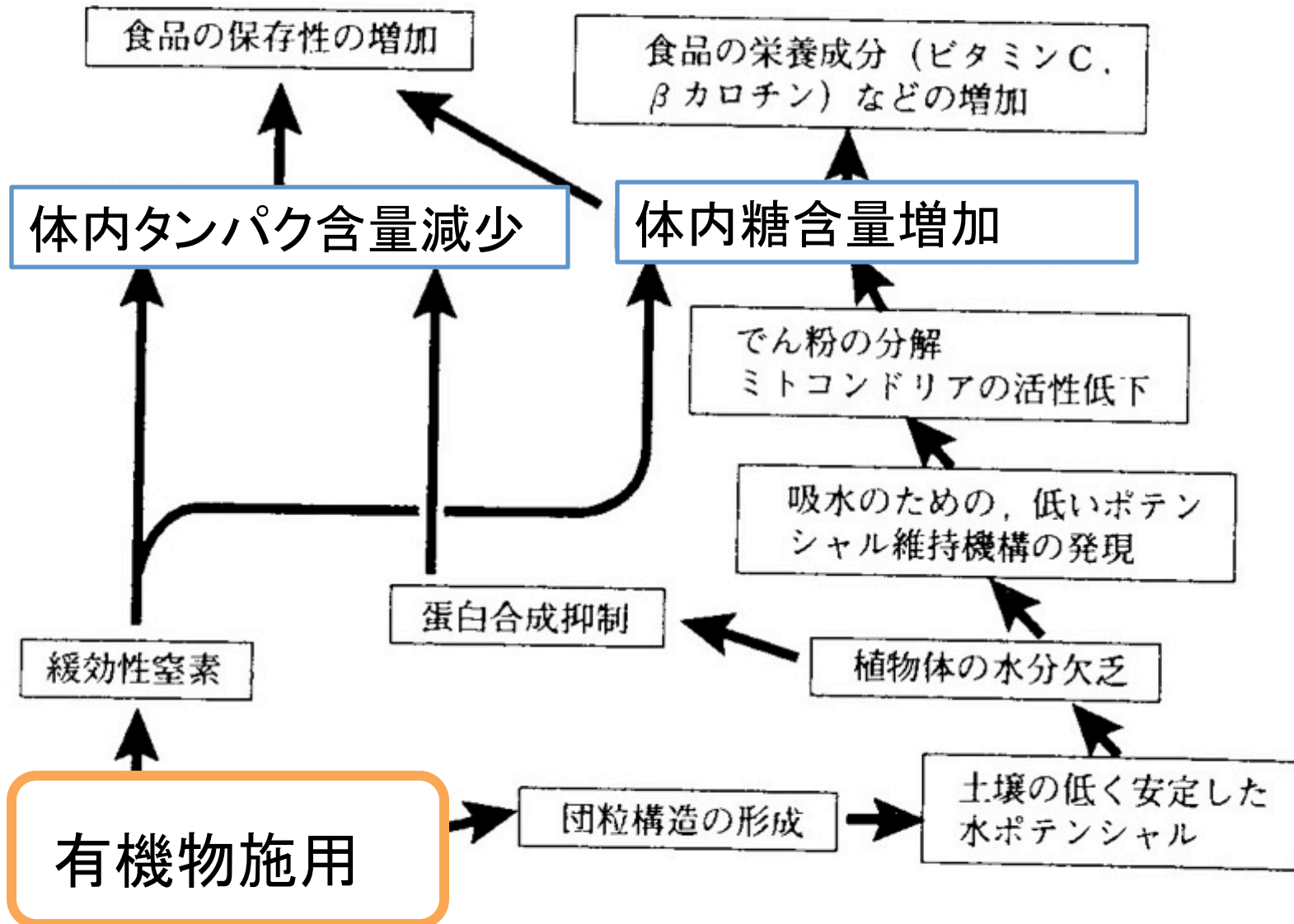
植物ホルモン作用

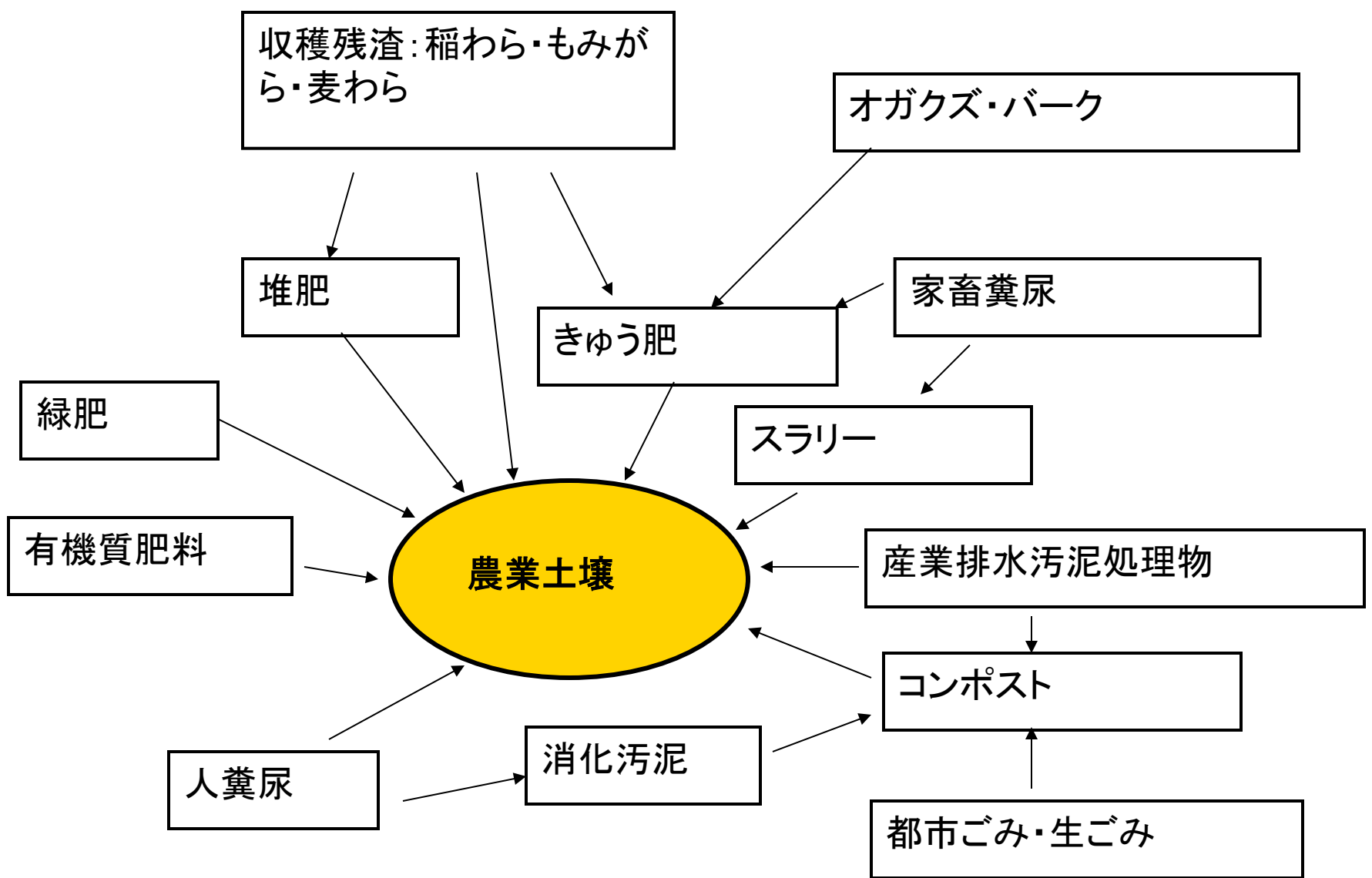
冷害・異常気象下での障害軽減

養分不足・過剰下での安定生産

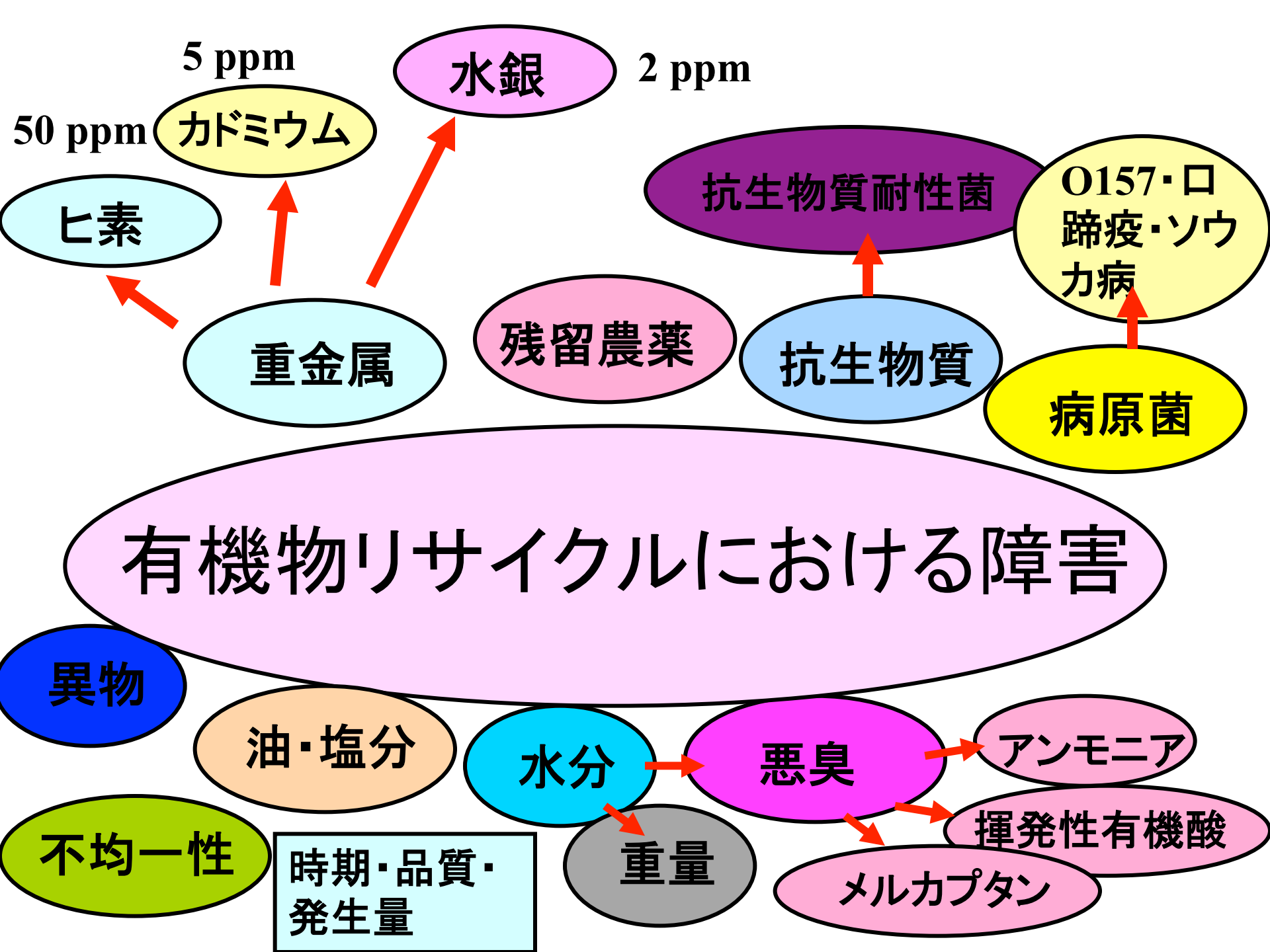


有機物施用に伴う品質向上メカニズム(森 1996)





農地土壌に施用される有機物



有機物施用に関わる困難性

- 堆肥化原料の偏在・不足
- 堆肥製造、堆肥散布作業の重労働
- 堆肥製造に技術・熟練・設備が必要
- 堆肥成分・肥効のバラツキ

有機物施用に関わる困難性(2)

- 抗生物質耐性菌・病原菌の存在
(低温で製造した場合抗生物質耐性菌・病原菌は生き残る。70°C以上での発酵が必要)
- ソウカ病などの土壌病害を助長
- 堆肥化原料の重金属汚染
- O157 などの食中毒菌を媒介

コンポストおよび堆肥中の重金属含量 (ppm 平均値)

項目	下水汚泥 コンポスト	堆肥
カドミウム Cd	2.79	0.82
ヒ素 As	4.55	2.22
水銀 Hg	1.37	0.11
銅 Cu	184	28
亜鉛 Zn	1109	82

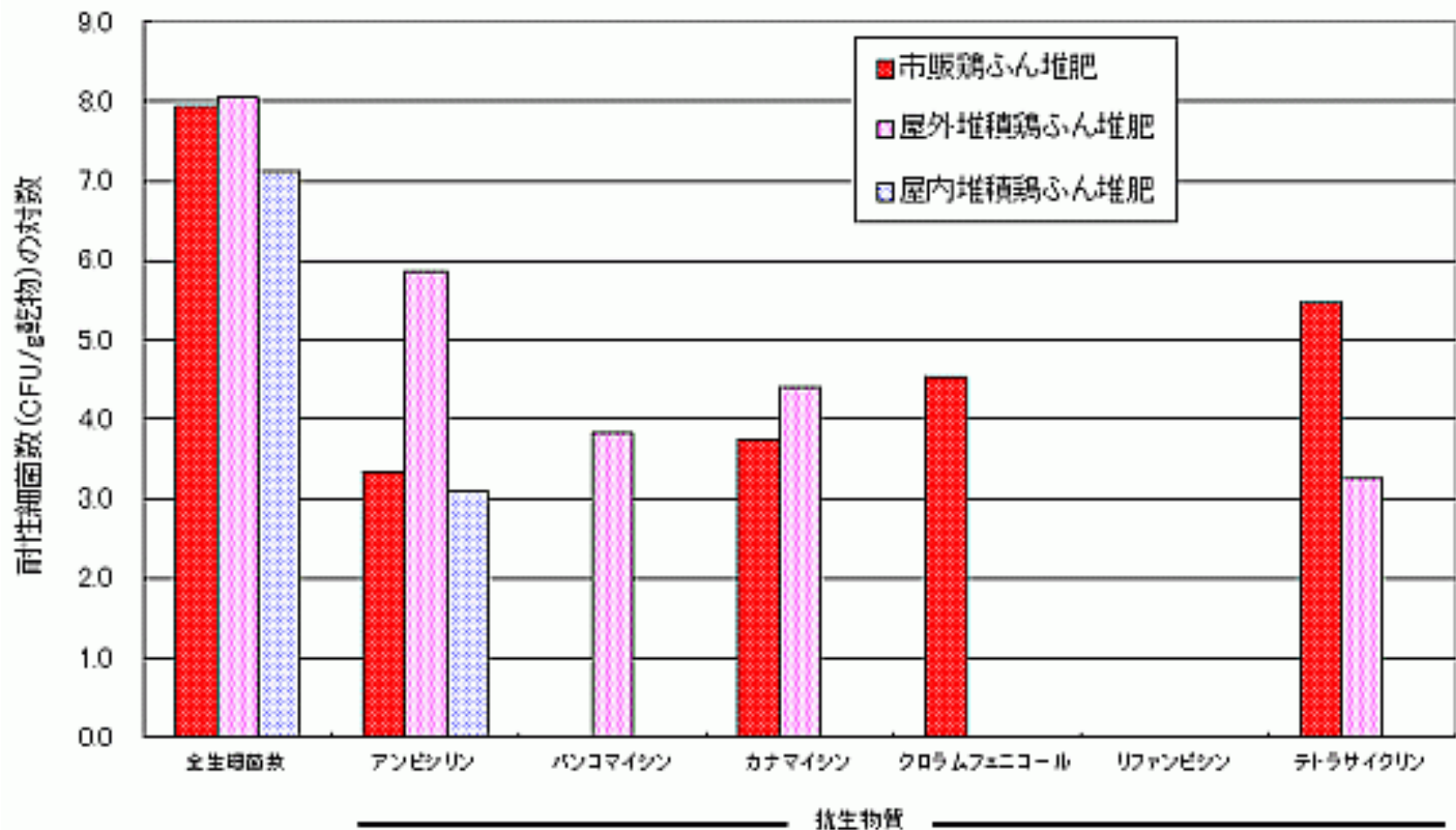


図1 鶏ふん堆肥中の抗生物質耐性細菌数 (Kobashi et al. 2005 から作図)
 (屋外および屋内堆積鶏ふん堆肥は異なる経営体のもの)

未熟な堆肥や家畜糞尿により 助長される病害

- 苗立枯病（テンサイ、ピシウム菌）
- ソウカ病、夏疫病、炭そ病（じゃがいも）
- 落葉病、灰色カビ病（あずき、サイトウ）
- O157 人間への感染



堆肥化の目的 1

1. 作業者にとって取り扱いやすいもの
にすること
2. 衛生面で安全なものとするとともに
雑草の種子等を死滅させること
3. 作物にとって安全なものにすること

堆肥化の目的...2

3. 病原菌や寄生虫を殺す。
4. 雑草の種子を殺す。
5. フェノール性物質や低分子有機酸を分解する。

堆肥化の目的(3)

- 窒素飢餓の回避
- ピシウムによる苗立ち枯れの回避
- 有害物質による害の回避
- 有害生物の死滅
- 衛生病害虫の伝播防止
- 有機酸の生成や土壌の異常還元による生育障害の防止

有機農業の技術 土壌微生物と作物

西尾道徳 農文協 2007

資源化に向けての課題

- 安全な材料を求める。(重金属、塩分、油分、不純物の少ない原料)
- 量の安定確保(原料および生産量)
- 需要の確保と開発
- 単純なプラント
(製造コストの削減・製造技術の単純化・特殊な菌に依存しない)
- 安全な製法を採用する。発酵温度を高め、病原菌、抗生物質耐性菌、雑草種子を除去
- 高品質・高機能なコンポストの製造(病原菌抑制・生育促進)
- 大学・試験場などとの連携

堆肥の効果



有機物施用の効果 土壌化学性の改善

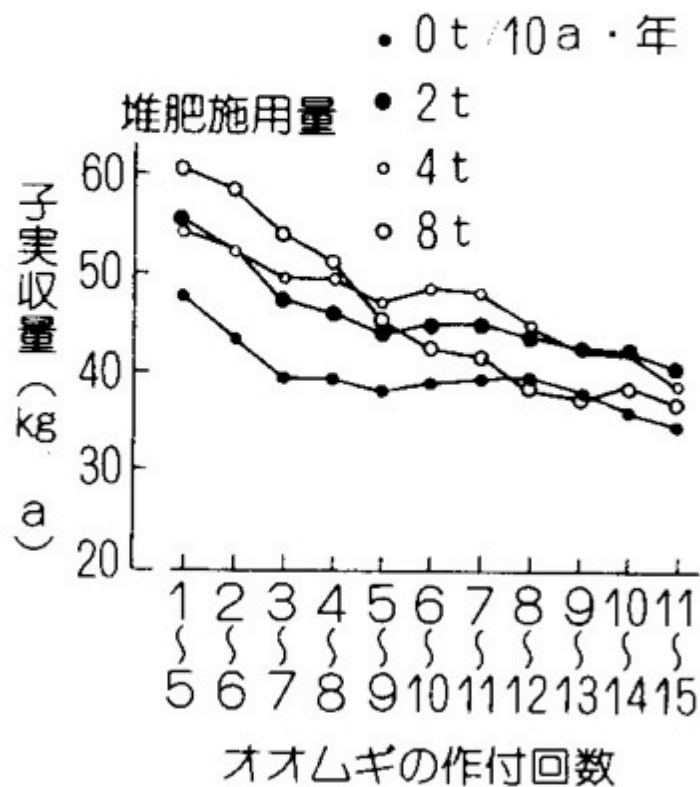
三要素および微量元素の供給、調節、
陽イオン交換容量の増加、
酸性緩衝物質、
養分の溶解促進、
有害金属・農薬との吸着、
活性アルミニウムの抑制、
リン酸の有効化

有機物施用の効果

- 土壌物理性の改善（団粒化促進、透水性と保水性の改善、地温上昇）
- 土壌生物性の改善（土壌微生物数の増加と多様化、土壌病害抑制）
- 生理活性（ホルモン様）効果

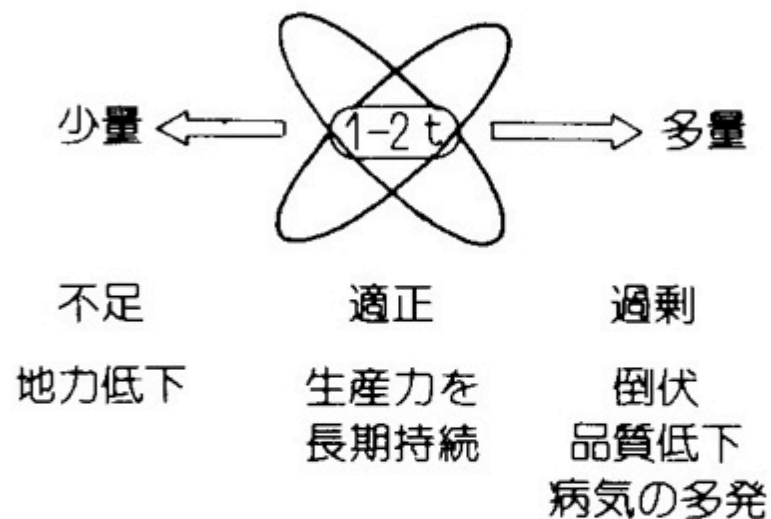
適正な堆肥施用量

堆肥施用と5作移動平均
オオムギ子実収量の変化
(農業研究センター, 1985)



堆肥の大量投入は速効的だが、連用を続けるとかえって減収する

有機物施用量の適正水準



堆肥・厩肥の適正施用量

- 水田： 1 – 1.5 t / 10 a
- 普通畑： 1.5 – 3 t/10 a
- 樹園地： 草生栽培や敷わら利用の促進
(農水省 地力増進基本指針より)

堆肥過剰施用の弊害

6t / 10 a / 年以上の施用は望ましくない。

- てん菜の糖分低下
- 馬鈴しょのデンプン価低下
- 小豆の過繁茂
- 環境面では、地下浸透水の硝酸態窒素濃度が環境基準値10mg/Lを超過
- 投入窒素量は15kg/10a/年以下とする。

十勝農試栽培環境科

有機物の連用条件下における安定多収施用量

(農林水産技術会議事務局, 1985)

試験地域 (土壌)	有機物の 種類 (現物窒素%)	作物	施用量 (/10a年)	施用量算 出の根拠	平均 増収率
北海道 (重粘土)	牛ふん堆肥 (0.4~ 0.6%)	ジャガイモ トウモロコシ テンサイ	連用2t	圃場試験(1, 2, 4t 施用)における収量 比較	10~ 20%
北海道 (黒ボク土)	牛ふん堆肥 (0.48%)	テンサイ ジャガイモ コムギ	連用1.5t	圃場試験(1.5t施用) における収量からの 推定。2tでは数年後 過剰症	10% 15% 20%
関東 (黒ボク土)	稲わら堆肥 (0.5%)	オオムギ (サツマイモ)	連用2t	圃場試験(2, 4, 8t) のN無機化放出量の 連年変化より推定	20%
九州 (黒ボク土)	牛ふん堆肥 (0.59%)	青刈トウモロ コシ イタリアンラ イグラス	連用 各作2t 年4t	圃場試験(年6t)の N無機化放出量より の推定	25% 10%

7. Rothamsted 長期(>150年) 堆肥・化学肥料連用試験

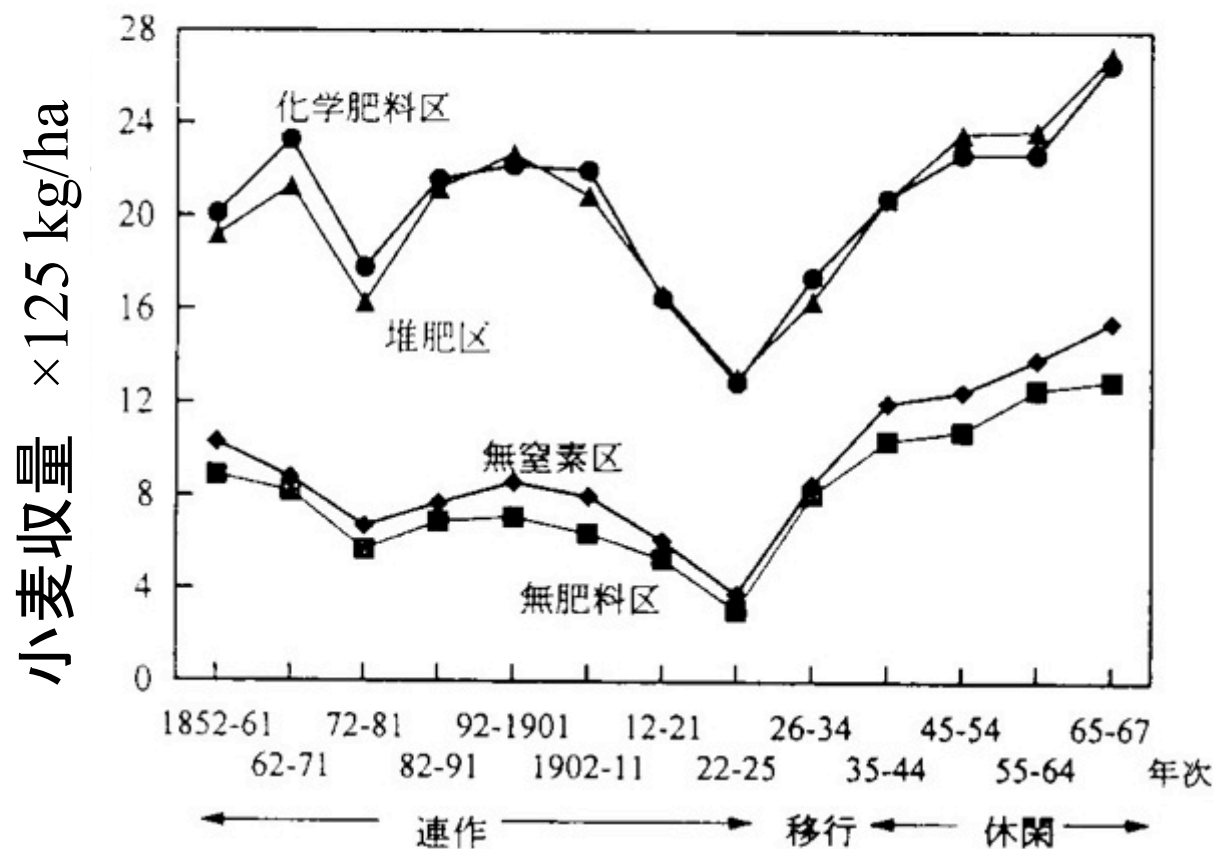


図 15.2 堆肥と化学肥料の長期連用処理区における秋播コムギ子実収量の経年変化
 堆肥区：35 t ha⁻¹，化学肥料区：N P K Na Mg- 144 35 90 35 35 kg ha⁻¹，Mg は 3 年
 に 1 度 施 与，無 窒 素 区 は 化 学 肥 料 区 の N を 除 き，他 は 同 様 の 養 分 を 施 与 し て い る，1925 年
 ま で は コ ム ギ の 連 作，1926～1934 年 の 期 間 は 次 の 休 閑 シ ス テ ム へ の 移 行 期，1935 年 以 降 は
 1 年 休 閑 4 年 連 作 で 栽 培，収 量 は 各 10 年 間 の 平 均 値 で あ る，
 この図は Rothamsted Experimental Station Report for 1968 の H. V. Garner と G.
 V. Dyke のデータから筆者が作図，

堆肥・化学肥料の長期連用が土壤生物に与える影響

(Russell, 1973)

計測方法	無肥料区	化学肥料区	堆肥区
細菌数			
全細胞数 (10^9 g^{-1})	1.6	1.6 <<	2.9
平板法 (10^6 g^{-1})	50	47	67
糸状菌数			
菌糸片数 (10^6 g^{-1})	0.85	0.94	1.01
菌糸長 (m g^{-1})	38	41 <	47
平板法 (10^6 g^{-1})	0.16	0.26	0.23
原生動物数			
全動物数 (10^3 g^{-1})	17	48 <<	72
活性動物数 (10^3 g^{-1})	10	40	52

- 1) このデータは、ロザムステッド農試のブロードボーク圃場で堆肥あるいは化学肥料を105年間連用した1948年の1月20日から6月23日まで、月に1度ずつ計測した6回のデータの平均値である。単位：風乾土1g当たりの数。
- 2) 細菌数と糸状菌数は、P.C.T.Jones, J.E.Mollison および F.A.Skinner による。
- 3) 原生動物のデータは、B.N.Singh による。

堆肥の施用効果1 (山根, 1981)

堆肥の働き	働きの詳細	造成地 腐植少	畑		水田	
			腐植少	腐植多	腐植少	腐植多
養分として	三要素肥料	○	○	○	○	○
	微量元素肥料	○	○	○	×	×
	緩効性肥料	○	○	○	○	○
	植物ホルモン	○	×	×	×	×

堆肥の施用効果2 (山根, 1981)

堆肥の働き	働きの詳細	造成地	畑		水田	
		腐植少	腐植少	腐植多	腐植少	腐植多
安定腐植 として	物理性改善	○	○	×	○	×
	陽イオン保持	○	○	×	○	×
	有害物阻止	○	○	×	○	×
	微量要素溶解	○	○	×	○	×
	緩衝物質	○	○	×	○	×
生物(微生物・土壌動物)の給源		○	×	×	×	×

地 力 の 要 因		維 持 手 段							
化学性	養分の供給量	有機物	客土・深耕	改良資材	化学肥料	施肥法	緩効性肥料		
	養分の緩慢かつ継続的供給 環境変化を和らげる緩衝能 毒性物質の除去								
物理性	水分供給能(保水性、透水性)							輪作	水管理
	空気確保(通気性)								
	耕し易さ								
生物性	風や雨に対する耐性								
	有機物分解や窒素固定を促進 病原菌や害虫の活動を抑える								

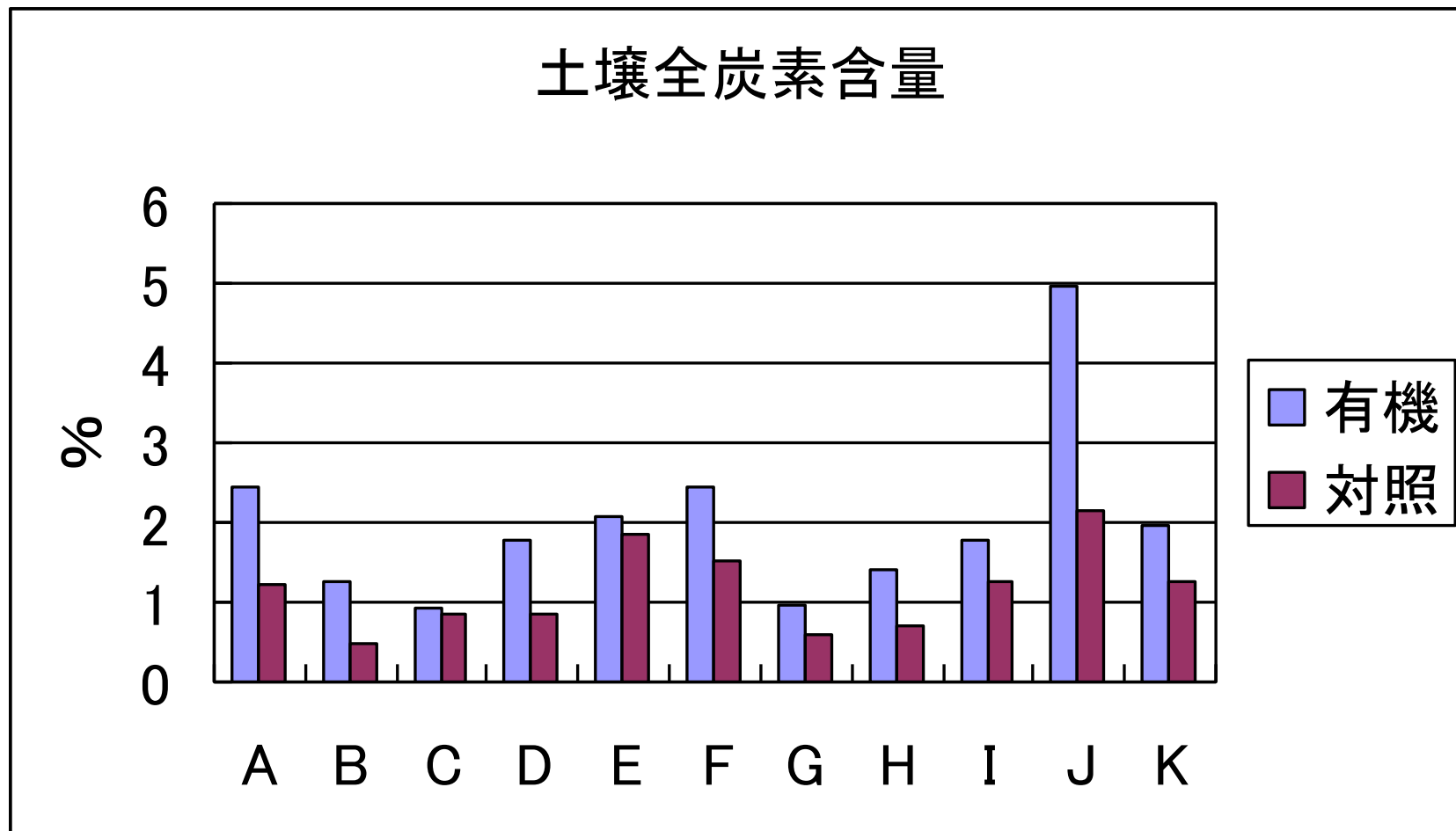
◎ 関係が強い ○ 関係が弱い

図 14.5 地力の要因と維持手段のかかわりあい

有機栽培圃場と慣行圃場の 土壌特性の比較

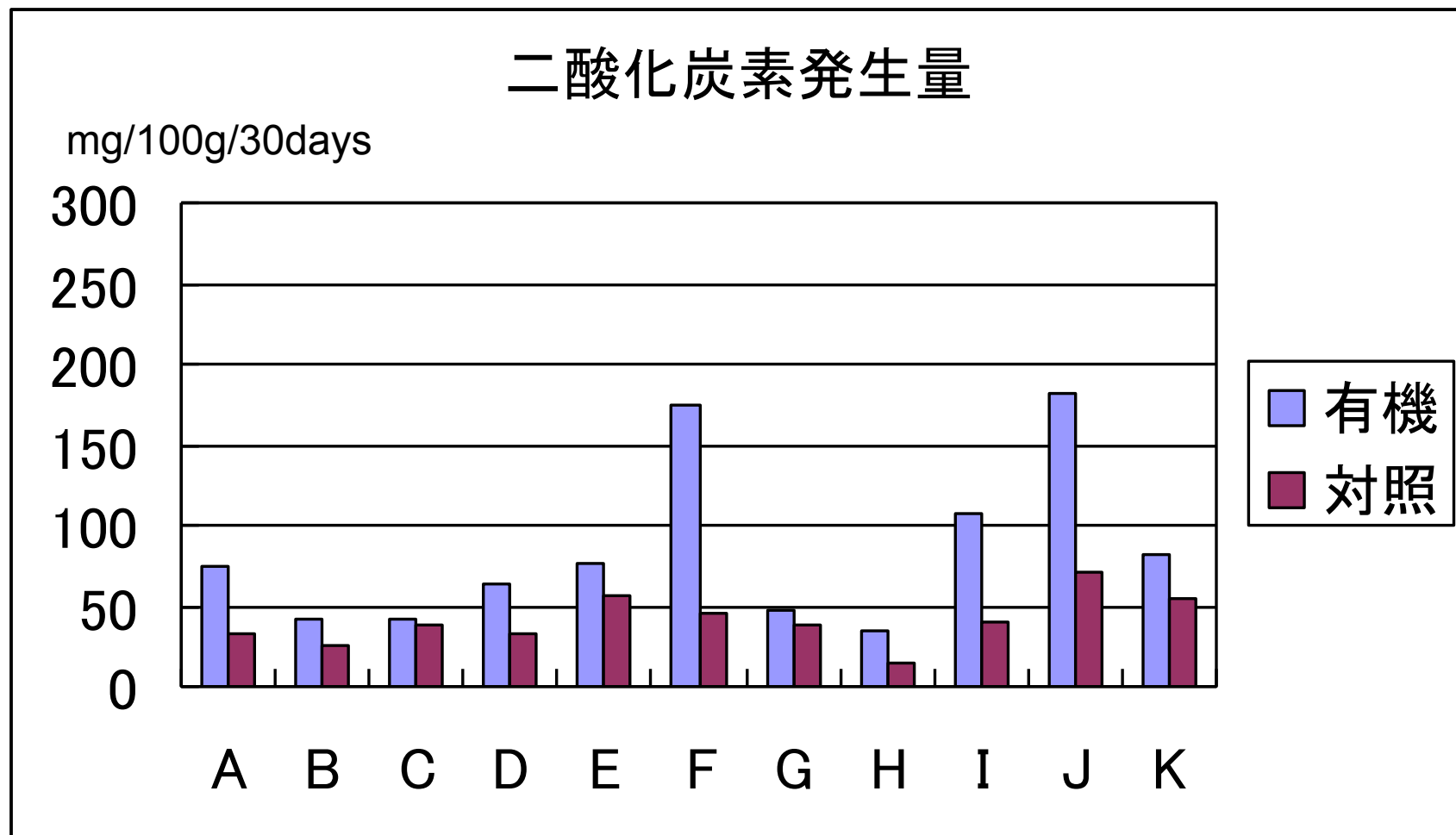


有機栽培圃場と対照(慣行)圃場の炭素含量



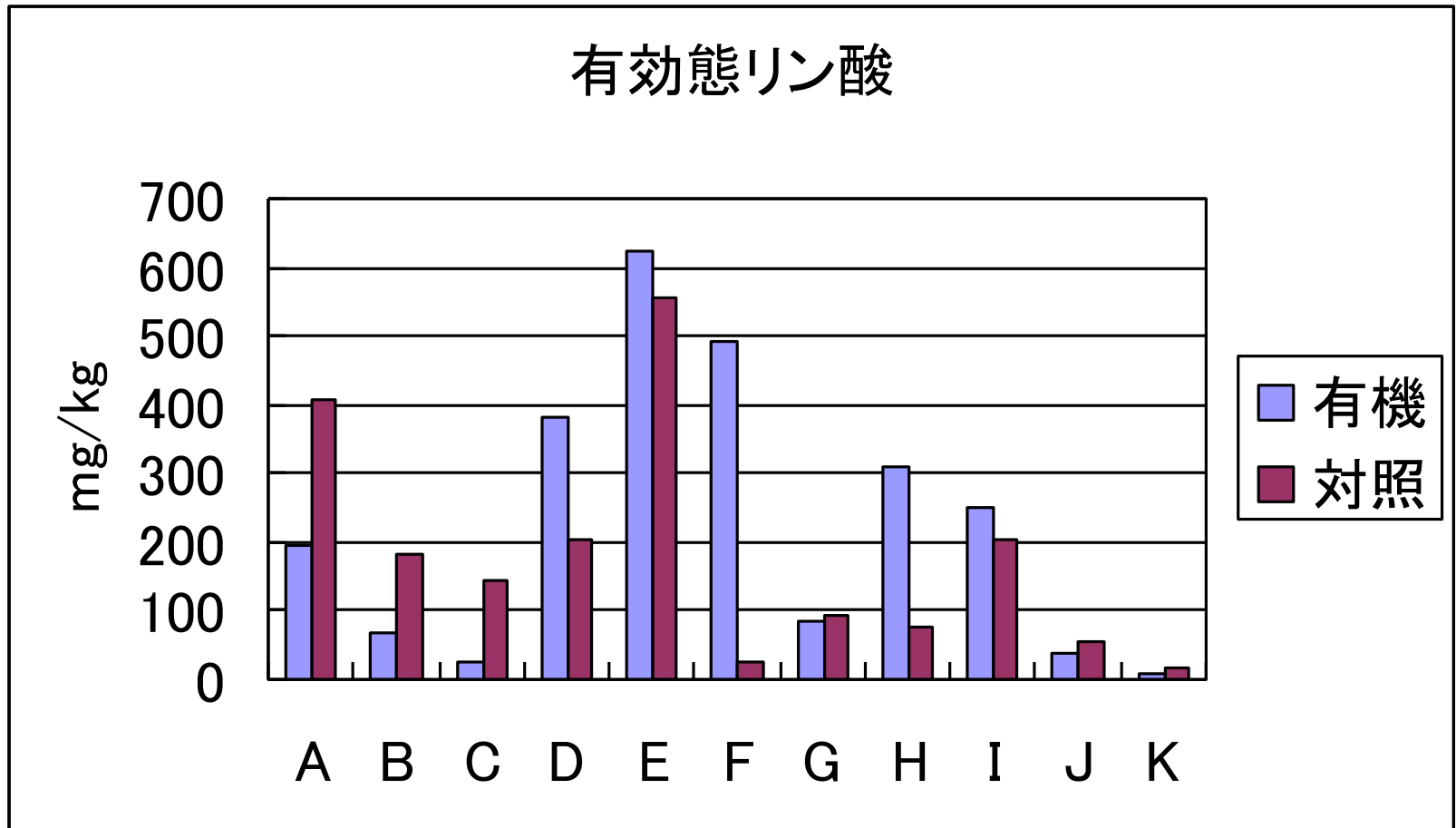
瀧・加藤(1998)

有機栽培圃場と対照(慣行)圃場のCO₂発生量

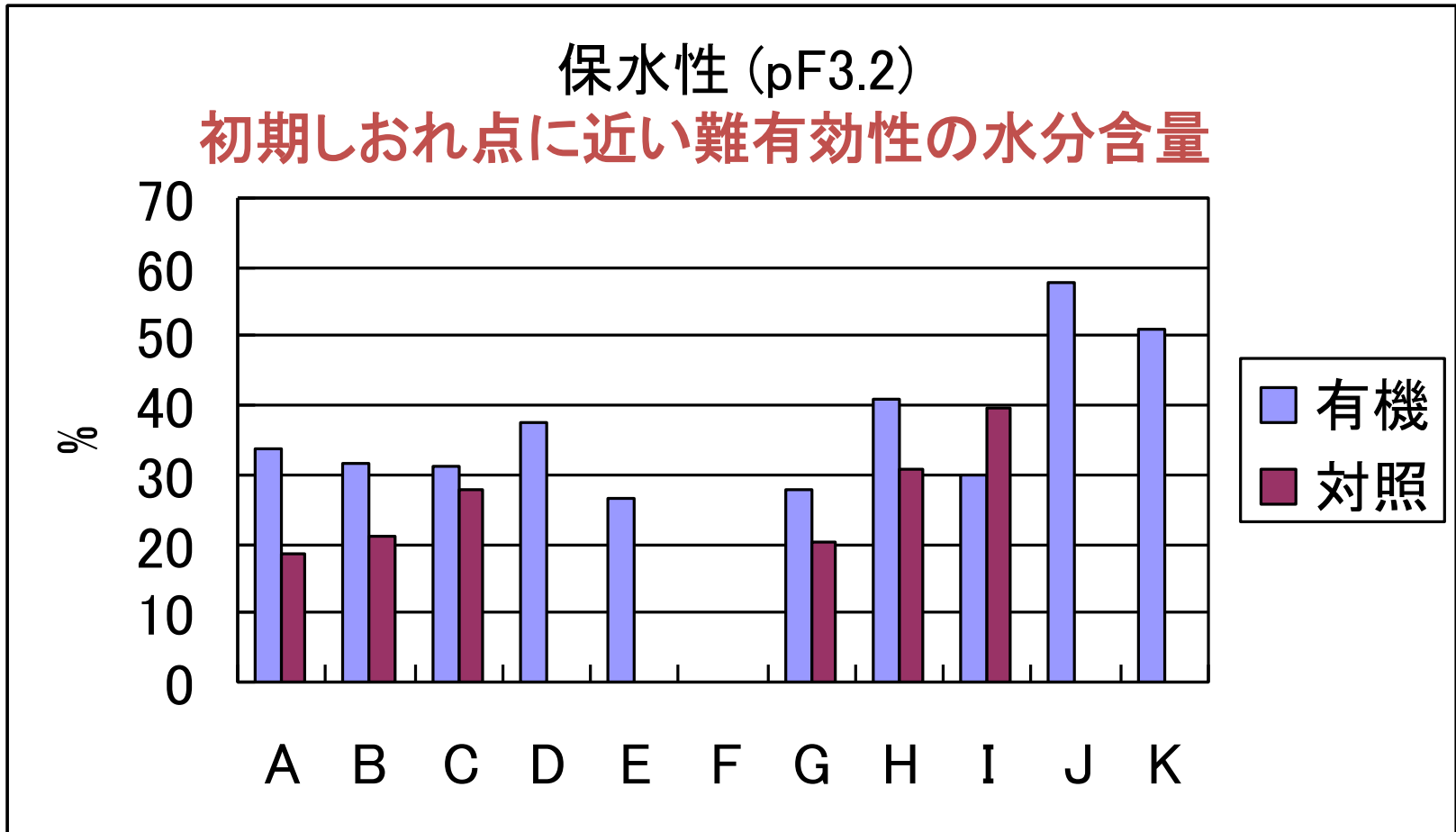


瀧・加藤(1998)

有機栽培圃場と対照(慣行)圃場の有効態リン酸



有機栽培圃場と対照(慣行)圃場の保水性 (pF 3.2)



瀧・加藤(1998)

有機栽培圃場と対照(慣行)圃場の土壌 動物数 瀧・加藤(1998)

調査圃場	ミミズ		ヒメミミズ	
	有機	対照	有機	対照
A	994	8	608	48
B	16	16	528	32
C	152	0	592	8
E	32	8	3624	80
F	104	0	96	0

調査圃場	ムカデ・ダンゴムシ		トビムシ・ダニ	
	有機	対照	有機	対照
A	72	64	13	41
B	64	48	13	2
C	440	0	38	0
E	240	8	23	3
F	184	0	37	8

有機栽培野菜と慣行栽培野菜に成分の違いはあるか？

- 慣行栽培野菜との間に違いがあるかどうかについて明確な結論は得られていない。
- 「有機野菜」そのものの標準品がなく、個別に有機栽培と慣行栽培の比較を行っても単なる事例とならざるをえない。
- 化学合成物質の添加がなければ様々な種類の肥料や土壌改良資材を施用できる。有機物の施用効果や野菜の品質に及ぼす影響もその種類によってかなり異なる。

消費者の反応

- 味覚・食感への反応は敏感
- 安全・安心への志向

畑作における輪作の意義

- 土壤有機物の供給と維持
- 窒素の天然供給力の増大
- 土壤の物理性の改善
- 土壤養分の吸収域の拡大
- 土壤養分のバランスの維持
- 土壤の侵食防止

畑作における輪作の意義 (2)

- 土壌伝染性病害虫の抑制
- 雑草の抑制
- 労働力配分の均衡化
- 土地利用率の向上
- 危険分散

作物の生育に対する 前作物の影響 (1)

- 土壌水分の有効性
- 土壌養分の有効性
- 病害虫密度
- アレロパシー物質の有無

作物の生育に対する 前作物の影響 (2)

- 土壌の物理性
- 土壌の生物性
- アーバスキュラー菌根菌の密度(非宿主作物か宿主作物か)
- 未解明の要因

農業における緑肥の利用

- 土壌有機物の増大
- 連作障害の防止
- 土壌物理性(透水性・保水性)の改良
- 窒素固定による養分供給
- 菌根菌の増加
- センチュウの防除
- 過剰養分の吸収
- 有害金属の吸収

緑肥のメリット

- 品質の均一性
- 大面積に容易に導入できる。
- 緑肥の根の効果
- 多量の有機物がすき込まなくても地下に加わる。
- 過剰養分の回収・ファイトレメディエーションなどの効果も期待できる。
- 土壌侵食・風食の防止
- 美しい農村景観への貢献
- 地上部生産物の利用・収入

緑肥利用上の注意点

- それぞれの緑肥作物には特徴がある。
 - 窒素固定能の有無
 - 菌根菌との共生の有無
 - 殺センチュウ能の有無
- 後で栽培する作物に適した緑肥を選ぶ必要がある。
 - マメ科どうし、イネ科どうしの連作を避ける。
- 雑草化しないように配慮する。

緑肥作物と後作物

表2 緑肥作物と後作物との組合せ適性

	緑肥作物	適する後作物	緑肥の主な効果
後作緑肥	エンバク	ダイズ	根粒着生, 菌根菌感染促進, エンバク野生種ではネグサレセンチュウ発生抑制
	ヒマワリ, マメ科	トウモロコシ, タマネギ	無機態窒素の供給, 菌根菌感染促進
	シロカラシ, マメ科	テンサイ	無機態窒素の供給
休閑緑肥	マメ科緑肥	秋まきコムギ	無機態窒素の供給

「緑肥作物の特性と畑輪作への導入指針」(受託試験成績書)を一部改変

上湧別のタマネギ畑

緑肥としてライ麦を栽培

残存窒素の吸収

土壌透水性の回復



August 11, 2004,

Chiebun

智恵文のひまわり畑
景観緑肥 観光への貢献
菌根菌の増殖



セイヨウカラシナ *Brassica juncea* (L.) Czern. et Coss. (アブラナ科 アブラナ属)

連作障害の軽減、センチュウ害の抑制、地力の維持・向上、
農村景観の形成、ファイトレメディエーションへの利用

、



アンジェリア(ハゼリソウ)

ネギの白絹病・黒腐菌核病抑制



クリムソンクローバー (くれない)

大豆シスト線虫の対抗植物



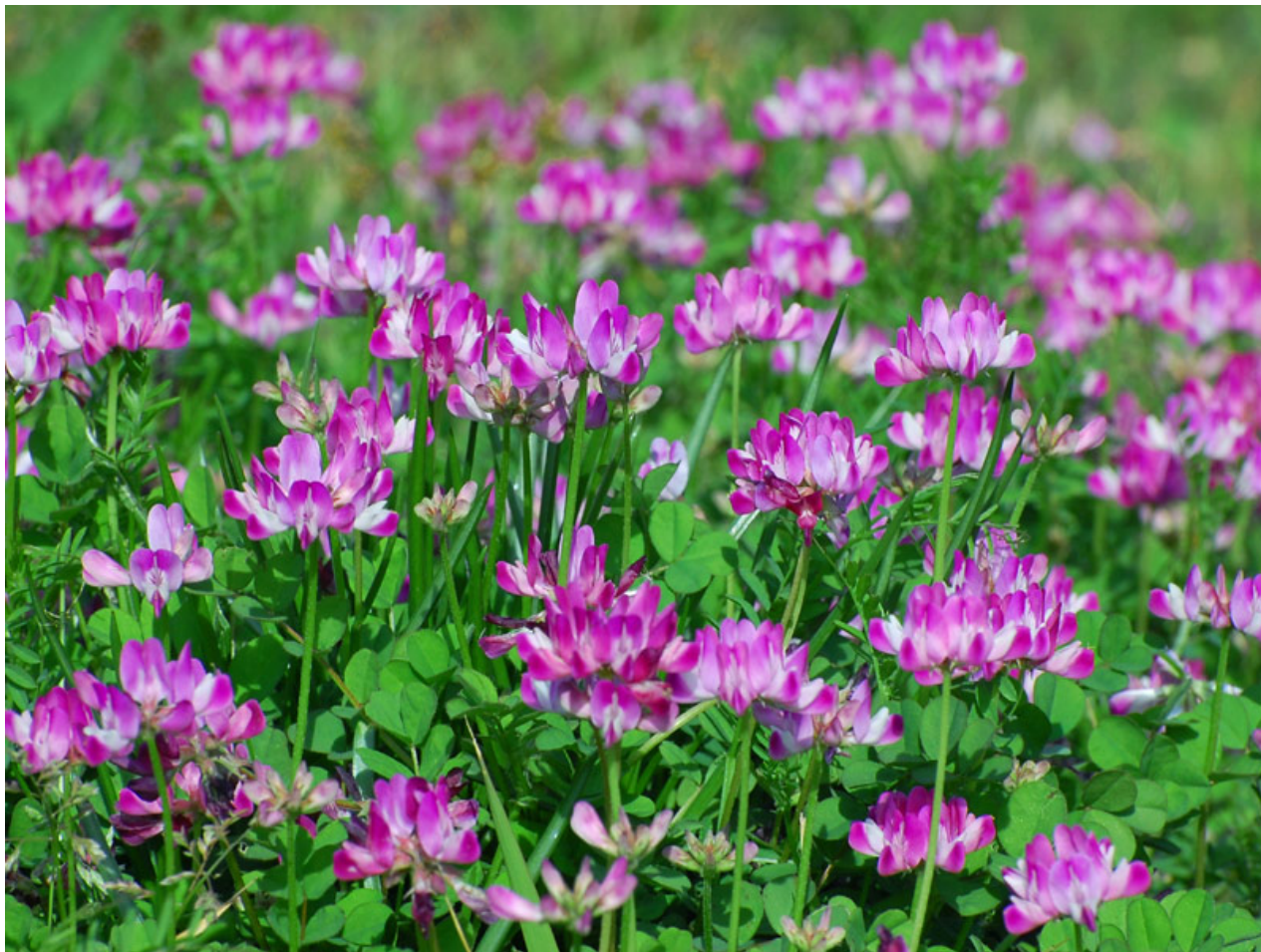
ヘイオーツ(野生種エンバク)

ネコブセンチュウ抑制



レンゲソウ milk vetch

水田の緑肥



各種の緑肥作物



左から、ヒマワリ、ヘアリーベッチ、シロカラシ
[北見農試だより2000年9月](#)より

イアコーン収穫残渣の緑肥効果



国産濃厚飼料