

千葉県の主要農耕地土壌における養分の経時変化とその要因解析

永沢朋子・八槇 敦・斉藤研二

キーワード: 土壌調査, 土壌養分, 施肥基準, 堆肥, 経時変化

I 緒 言

わが国初の土壌調査は、1959～1978年に、農耕地土壌の生産力を阻害している理化学的要因を明らかにし、その潜在的生産力を分級することを目的として、地力保全基本調査(安西, 1990; 千葉県, 2015)が実施された。全国の農耕地約508万haにおいて25haにつき1地点の割合で調査が行われ、全国農耕地土壌図が作られた。1979～1998年には、その後の土壌の変化とその変化要因を把握し、適切な土壌管理指針を示すために土壌環境基礎調査(安西, 1990; 小原・中井, 2003)が行われた。この調査においては、全国では約20,000点、千葉県では557点の定点が設定され、各地点について5年に一度の調査が行われた(1～4巡目)。さらに、1999～2008年には土壌の実態と変化だけでなく、環境への負荷軽減を解明するために、全国の調査地点数を約6,000点に絞って土壌機能実態モニタリング調査が実施された。この調査においては、千葉県では379地点を対象として、5年に一度の調査が行われた(5, 6巡目)。その後、2009～2012年に、調査地点をさらに14地点に縮小してこの調査を継続した(7巡目)。

土壌環境基礎調査1～3巡目までに、水田では、用排水施設の整備等に伴う乾田化の影響で全炭素が減少し、可給態窒素(以下N)が増加し(安西ら, 1981)、主に化学肥料による施肥の影響で交換性加里(以下K₂O)及び可給態リン酸(以下P₂O₅)が増加した(安西ら, 1998)。一方、野菜畑では、化学肥料と有機質資材の施用による、交換性K₂O及び可給態P₂O₅を中心とした養分の蓄積が進んでいた(安西ら, 1998)。

このように、農耕地土壌は土壌管理等の影響を受けて変化していることから、土壌養分の過剰な蓄積を是正し、作物の生産性を維持するうえでは、土壌の変化要因を明らかにする必要がある。そこで、本報告では、今後の施肥基準の見直しや土壌管理対策の構築を進めるために、千葉県の農耕地における1巡目から最新の7巡目調査までの土壌養分の変化及びその変化に及ぼす施肥と堆肥施用の影響を解析する。

本研究の実施にあたり、現地調査に協力いただいた生産者の方々をはじめ、千葉県内の各農業事務所、安全農業推進課

及び担い手支援課の担当者の方々、千葉県農林総合研究センター土壌環境研究室の方々には多大なご助言とご協力をいただいた。ここに記して深く感謝の意を表す。

II 方 法

1. 調査地点

千葉県の水田土壌は、主として九十九里低地、利根川等の河川沿い及び丘陵に挟まれた谷津に分布するグライ低地土が63,825haで最も多く、農耕地面積の43%を占める(千葉県, 2015)。次いで、主に県南部の河川の段丘面、沖積低地等に分布する灰色低地土が22,291haで15%である。利用形態別における調査地点数の推移を第1表に示した。1巡目の水田の調査地点数は208で、そのうちグライ低地土が167、灰色低地土が16、その他(黒泥土、黒ボクグライ土、以下同様)が25であり、2～4巡目はほぼ同一地点であった。5巡目の調査地点数は100で、そのうちグライ低地土が60、灰色低地土が28、その他が12であり、6巡目はほぼ同一地点であった。7巡目の調査地点数は54であり、そのうちグ

第1表 利用形態別における調査地点数の推移

利用形態 土壌の種類	1巡目	2巡目	3巡目	4巡目	5巡目	6巡目	7巡目
水田							
グライ低地土	167	165	165	135	60	61	42
灰色低地土	16	18	15	39	28	20	12
その他							
(黒泥土)	22	21	27	33	12	11	0
(黒ボクグライ土)	3	3	5	1	0	0	0
	208	207	212	208	100	92	54
野菜畑							
黒ボク土	82	83	82	78	71	62	25
褐色低地土	35	34	31	31	21	20	10
褐色森林土	10	9	10	10	4	8	3
その他							
(黒泥土)	5	5	4	2	2	1	0
(灰色低地土)	0	0	0	0	3	0	0
(グライ低地土)	0	0	0	0	1	0	0
(暗赤色土)	0	0	0	0	1	0	0
	132	131	127	121	103	91	38
野菜施設							
黒ボク土	3	3	3	3	16	18	6
褐色低地土	18	17	19	19	36	35	15
その他							
(褐色森林土)	0	0	0	0	2	1	1
(グライ低地土)	0	0	0	0	0	1	0
(灰色低地土)	0	0	0	0	2	4	0
	21	20	22	22	56	59	22

注) 1巡目は1979～1983年, 2巡目は1984～1988年, 3巡目は1989～1993年, 4巡目は1994～1998年, 5巡目は1999～2003年, 6巡目は2004～2008年, 7巡目は2012年(可給態Nだけは2009年)に調査を実施した。

受理日 2016年8月9日

ライ低地土が 42, 灰色低地土が 12, その他はなかった。

畑土壤（水田以外の農耕地土壤）では、主に県北部の下総台地に分布する黒ボク土が 38,143ha で最も多く、農耕地面積の 26%を占める。次いで、九十九里低地等の沖積低地に分布する褐色低地土が 8,915ha で 6%である。県南部の丘陵地帯の褐色森林土と、下総台地周縁部に分布する黒ボク土に土砂が混入した褐色森林土に分類される土壤を合わせると 3,987ha で 3%である（千葉県, 2015）。野菜施設面積は、1,585ha となっている（千葉県, 2016）。1 巡目の野菜畑の調査地点数は 132, そのうち黒ボク土が 82, 褐色低地土が 35, 褐色森林土が 10, その他（黒泥土, 灰色低地土, グライ低地土, 暗赤色土, 以下同様）が 5 であり、2~4 巡目はほぼ同一地点であった。5 巡目の調査地点数は 103, そのうち黒ボク土が 71, 褐色低地土が 21, 褐色森林土が 4, その他が 7 であり、6 巡目はほぼ同一地点であった。7 巡目の調査地点数は 38 で、そのうち、黒ボク土が 25, 褐色低地土が 10, 褐色森林土が 3, その他はなかった。1 巡目の野菜施設の調査地点数は 21 で、そのうち黒ボク土が 3, 褐色低地土が 18, その他（褐色森林土, グライ低地土, 灰色低地土, 以下同様）はなく、2~4 巡目はほぼ同一地点であった。5 巡目の調査地点数は 56, そのうち黒ボク土が 16, 褐色低地土が 36, その他が 4 であり、6 巡目はほぼ同一地点であった。7 巡目の調査地点数は 22, そのうち黒ボク土が 6, 褐色低地土が 15, その他は 1 であった。

2. 調査方法, 調査項目及び分析方法

1~6 巡目では調査期間中の 4 あるいは 5 年間のいずれかの年に、7 巡目では 2012 年（可給態窒素だけは 2009 年）に、各地点で概ね作物の収穫後に深さ 0~15cm の土壤（1~6 巡目においては作土）を採取した。土壤は風乾した後、粉碎して 2mm の篩を通した風乾砕土とし、これを用いて可給態窒素（以下 N）、可給態リン酸（以下 P₂O₅）及び交換性加里（以下 K₂O）含量を測定した。

土壤養分は、土壤環境分析法（土壤環境分析法編集委員会, 1997）に準じて分析した。可給態 N は、水田及び畑土壤ともに培養法により測定し、無機態 N の測定には、フローインジェクション分析装置（アクア・ラボ製, FA-100）あるいはオートアナライザー分析装置（ブランルーベ製, TRAACS2000）を用いた。培養後の無機態 N から培養前の無機態 N を差し引いて、可給態 N とした。可給態 P₂O₅ はトルオーグ法により抽出し、P₂O₅ 濃度の測定には分光光度計（日立製作所製, U-2900）あるいは ICP 発光分光分析装置（アジレントテクノロジー製, 710-ES）を使用した。交換性 K₂O は、風乾土 2g を汎用抽出ろ過装置（富士平工業製, AUTO CEC-10）により pH7.0 の 1M 酢酸アンモニウム溶液で抽出した K 濃度を原子吸光光度計（日立製作所製, Z-5010）あるいは ICP 発光分光分析装置

第2表 7巡目における利用形態別堆肥施用の実態と平均堆肥施用量¹⁾

利用形態	土壤	地点数		施用量 (kg/10a)	
		堆肥施用無	有	平均値±標準偏差	
水田	—	34	5	332 ±	421
野菜畑	黒ボク土	9	12	1,098 ²⁾ ±	703
	褐色低地土	6	2	300 ±	0
野菜施設	黒ボク土	1	4	1,875 ±	1,548
	褐色低地土	4	6	767 ±	1,148

注1) 水田はコシヒカリ栽培水田, 野菜畑及び野菜施設は調査地点数の多かった黒ボク土及び褐色低地土の地点のみを示す。

2) 堆肥施用量の平均値は、堆肥の施用があった調査地点における平均値を示す。

で測定した。また、交換性 K₂O 飽和度を算出するための CEC は、乾土 2g を汎用抽出ろ過装置（富士平工業製, AUTO-CEC）により抽出した液の NH₄⁺濃度をオートアナライザー分析装置で測定して求めた。

土壤の採取とともに、栽培作物及び施肥管理に関するアンケートを実施した。その項目は、栽培作物及び期間、ほ場面積、肥料の種類と成分含量及び施用量、堆肥の種類及び施用量とした。7 巡目のアンケート調査による各地点の肥料と堆肥に含まれる N、P₂O₅ 及び K₂O 全量をそれぞれ合計し、養分投入量とした。施肥基準とは、県内の主要な農作物等の代表的な作型について、目標とする収量・品質を確保するのに必要な肥料成分量を示したものである（千葉県, 2009）。なお、本報告においては、水田土壤の施肥基準の下限値及び上限値の平均を施肥基準として用いた。また、堆肥の成分含量は、千葉県内における各種堆肥の平均値（千葉県, 2006）を用いた。

栽培作物及び施肥管理等のアンケート回答が得られた調査地点のうち、7 巡目における土壤養分含量の変化に及ぼす養分投入量の影響を解析するため、第 2 表のとおり設定した。すなわち、水田では地点数が最も多かったコシヒカリ栽培水田 39 地点、野菜畑では地点数の多かった黒ボク土 21, 褐色低地土 8 の計 29 地点、野菜施設では地点数の多かった黒ボク土 5, 褐色低地土 10 の計 15 地点を解析対象とし、土壤の種類（野菜畑及び野菜施設）、堆肥施用の有無に分け、解析した。

III 結 果

1. 各利用形態における 1~7 巡目の土壤養分含量の変化
各利用形態の主要な土壤における 1~7 巡目の土壤養分含量の平均値を第 3 表に示した。

第3表 利用形態及び土壌別の土壌養分含量平均値の変化

利用形態	土壌養分 (mg/100g)	土壌の種類	1巡目	2巡目	3巡目	4巡目	5巡目	6巡目	7巡目	1-7 ¹⁾ 巡目
水田	可給態N	グライ低地土	14.1	15.4 *	17.1 **	16.4	13.9 **	13.7	12.9	(-1.2)
	可給態P ₂ O ₅	及び	9.0	12.6 **	15.0	8.6 **	6.6	11.8 **	15.7	(6.8) **
	交換性K ₂ O	灰色低地土	19.0	19.5	19.5	18.2	22.9 *	17.7 *	22.6 *	(3.5)
野菜畑	可給態N	黒ボク土	7.7	11.9 **	10.4	12.7	9.3	7.6	7.3	(-0.3)
		褐色低地土	5.8	7.3	7.2	6.4	7.4 *	3.9 *	3.8	(-2.0)
		褐色森林土	7.3	16.4 *	10.3	15.8	10.0	8.4	7.9	(0.6)
	可給態P ₂ O ₅	黒ボク土	23.7	28.0	30.4	18.0 **	14.8	33.5 **	71.0 *	(47.3) *
		褐色低地土	56.6	78.3	82.8	53.2 *	49.9	82.7 *	143.2	(86.5) *
		褐色森林土	80.0	151.2 *	95.8	61.7	44.8	142.8	115.9	(35.9)
交換性K ₂ O	黒ボク土	58.4	60.3	57.1	79.5 *	62.3	64.0	81.4	(23.1) *	
	褐色低地土	46.7	43.1	49.2	56.4	40.5	38.4	53.0	(6.3)	
	褐色森林土	159.2	159.9	100.1 *	131.9	65.7	62.1	174.3 *	(15.1)	
野菜施設	可給態N	黒ボク土	20.4	14.3	29.4	18.2	29.8	17.9 **	14.2	(-9.1)
		褐色低地土	7.3	20.0 *	18.9	13.7	14.5	13.7	16.9	(13.3)
	可給態P ₂ O ₅	黒ボク土	51.3	22.5	46.0	28.7	69.5	179.9 **	184.5	(80.3)
		褐色低地土	129.4	279.2 **	215.4	149.6 *	148.6	246.8 **	380.4 *	(259.3) **
	交換性K ₂ O	黒ボク土	45.7	45.0	80.2	83.9	96.3	73.1	150.8	(108.5)
		褐色低地土	47.7	70.8	50.1	63.8	48.8	50.3	77.0	(28.8)

注1) 1巡目と7巡目との差を示す。

2) 分散が等しくないと仮定した2標本によるt検定により、前巡目との差が*は5%、**は1%水準で有意。

3) 調査年は第1表の注)を参照。

(1) 水田

グライ低地土及び灰色低地土の可給態 N は、1 巡目の 14.1 mg/100g から 3 巡目の 17.1mg/100g まで増加し (p<0.05) , 5 巡目で減少した (p<0.01) . その後大きな変化はなく、7 巡目は 12.9mg/100g であった. 可給態 P₂O₅ は、6.6~15.7mg/100g で推移し、1 巡目から 3 巡目まで増加傾向で、4 巡目で減少したが (p<0.01) , 6 巡目から再び増加した (p<0.01) . 7 巡目は 15.7mg/100g となり 1 巡目と比べて有意に高かった (p<0.01) . 交換性 K₂O は 17.7~22.9mg/100g で推移し、5 巡目で最大 22.9 mg/100g に増加した後 (p<0.05) 減少し (p<0.05) , 7 巡目で再び増加して (p<0.05) 22.6mg/100g となった。

(2) 野菜畑

可給態 N は、黒ボク土では 2 巡目で増加して (p<0.01) 11.9mg/100g となり、5 巡目以降は有意な差はないものの減少傾向にあった。褐色低地土は、5 巡目で 7.4mg/100g に増加し (p<0.05) 最大となった後減少し (p<0.05) , 7 巡目は 3.8mg/100g であった。褐色森林土では、2 巡目で増加して (p<0.05) 16.4 mg/100g となった後は有意な変化はなかった。可給態 P₂O₅ は、黒ボク土では 1 巡目が 23.7 mg/100g , 4 巡目で減少した後 (p<0.01) , 6 巡目及び 7 巡目で増加し (p<0.01 及び p<0.05) , 7 巡目は 71.0mg/100g と最大となった。褐色低地土は、1 巡目の 56.6mg/100g から 3 巡目まで増加傾向にあったが、4 巡目で減少した後

(p<0.05) 6 巡目で増加し (p<0.05) , 7 巡目が 143.2mg/100g と最大となった。褐色森林土は、2 巡目で増加して (p<0.05) 151.2mg/100g となった後、5 巡目まで減少傾向にあったが、6 及び 7 巡目は高かった。交換性 K₂O は、黒ボク土では 57.1~81.4mg/100g で推移し、7 巡目が 81.4mg/100g と最も高かった。褐色低地土は 38.4~56.4mg/100g, 褐色森林土は 62.1~174.3mg/100g で推移した。

(3) 野菜施設

可給態 N は、黒ボク土では 1 巡目から 5 巡目まで 14.3 ~29.8mg/100g で推移し有意な変化はなく、6 巡目で減少して (p<0.01) , 7 巡目は 14.2mg/100g であった。褐色低地土は、2 巡目で増加し (p<0.05) , 2~7 巡目は 13.7~20.0mg/100g で推移した。可給態 P₂O₅ は、黒ボク土では 1~4 巡目が 22.5~51.3mg/100g で推移し、6 巡目で 179.9mg/100g に増加し (p<0.01) , 7 巡目も同様に高かった。褐色低地土は、2 巡目で増加して (p<0.01) 279.2mg/100g となり、4 巡目で減少した後 (p<0.05) , 6 巡目及び 7 巡目で再び増加して (p<0.01 及び p<0.05) , 7 巡目は 380.4mg/100g と最大となった。交換性 K₂O は、黒ボク土では 45.0~150.8mg/100g で推移し、7 巡目が高い傾向にあった。褐色低地土は、47.7~77.0 mg/100g で推移しほぼ横ばいであった。

第4表 利用形態別調査地点における窒素(N), リン酸(P₂O₅)及び加里(K₂O)の平均施肥量の変化

利用形態	施肥成分 (kg/10a)	土壌の種類	1巡目	2巡目	3巡目	4巡目	5巡目	6巡目	7巡目	1-7 ¹⁾ 巡目
水田	N P ₂ O ₅ K ₂ O	グライ低地土	10.2	8.1 *	7.2 *	6.4 *	5.3 **	5.4	4.7	(-5.5) *
		及び	11.0	10.1	10.1	8.8 *	7.0 **	5.7	5.1	(-5.9) **
		灰色低地土	10.7	9.0	8.5	7.9	6.2 **	5.0	5.3	(-5.4) **
野菜畑	N	黒ボク土	19.9	16.4	14.9	13.8	12.4	11.8	13.0	(-6.8) **
		褐色低地土	25.7	17.5 *	18.7	22.3	18.6	13.6	17.0	(-8.7)
		褐色森林土	44.2	27.9	25.4	21.6	14.4	- ²⁾	13.3	(-30.8)
	P ₂ O ₅	黒ボク土	21.2	17.4	19.2	17.2	13.9	8.0 **	21.8 **	(0.7)
		褐色低地土	75.1	18.7	23.2	61.2	14.4	12.1	22.4	(-52.7)
		褐色森林土	36.4	16.3	13.9	15.1	15.6	- ²⁾	30.0	(-6.4)
	K ₂ O	黒ボク土	15.7	13.5	14.4	13.9	11.9	6.1 **	10.8 **	(-4.9) *
		褐色低地土	47.1	16.2	21.4	59.7	14.7	10.2	12.1	(-35.0)
		褐色森林土	40.2	15.3	13.7	12.3	13.2	- ²⁾	13.3	(-26.9)
野菜施設	N	黒ボク土	6.5	14.5	9.3	13.6	15.5	8.3 **	20.3	(13.8)
		褐色低地土	36.6	13.5 **	38.7 **	41.1	26.2	25.6	25.9	(-10.7)
	P ₂ O ₅	黒ボク土	20.8	35.0	37.4	12.5	14.6	10.4	18.6	(-2.2)
		褐色低地土	46.0	22.0 **	44.7 **	46.6	27.9 *	19.8	25.1	(-20.9) **
	K ₂ O	黒ボク土	6.9	23.7	13.9	4.8	17.0	8.3	12.5	(5.6)
		褐色低地土	37.9	24.7	40.7	38.7	17.3 **	13.6	22.1 *	(-15.8) *

注1) 1巡目と7巡目との差を示す。

2) アンケート結果が1地点のみであったことから数値を記載していない。

3) 分散が等しくないと仮定した2標本によるt検定により、前巡目との差が*は5%、**は1%水準で有意。

4) 調査年は第1表の注)を参照。調査地点は第3表と同様。

2. 利用形態別における N, P₂O₅及び K₂O 施肥量の経時変化

各利用形態の主要な土壌における N, P₂O₅及び K₂O の施肥量の変化を第4表に示した。

(1) 水田

グライ低地土及び灰色低地土の N, P₂O₅及び K₂O 施肥量は、1巡目が最も多くそれぞれ 10.2, 11.0 及び 10.7kg/10a であり、その後漸減傾向で推移し、7巡目はそれぞれ1巡目のおよそ半分の 4.7, 5.1 及び 5.3kg/10a となった。

(2) 野菜畑

N 施肥量は、黒ボク土、褐色低地土及び褐色森林土ともに1巡目が最も多く、それぞれ 19.9, 25.7 及び 44.2kg/10a であった。全ての土壌で6巡目まで概ね減少傾向にあり、黒ボク土では1巡目と比べて7巡目が有意に少なかった (p<0.01)。P₂O₅ 施肥量は、黒ボク土では7巡目、褐色低地土及び褐色森林土では1巡目が最も多く、それぞれ 21.8, 75.1 及び 36.4kg/10a であった。褐色低地土及び褐色森林土では大きな増減がなかったが、黒ボク土は6巡目で減少し7巡目に増加した (p<0.01)。K₂O 施肥量は、黒ボク土及び褐色森林土では1巡目が最も多く、それぞれ 15.7 および 40.2kg/10a であり、黒ボク土では6巡目に減

少し7巡目に増加した (p<0.01)。

(3) 野菜施設

N 施肥量は、黒ボク土では5巡目まで 6.5~15.5kg/10a で推移して6巡目に減少し (p<0.01), 7巡目は 20.3kg/10a であった。褐色低地土は、2巡目に減少、3巡目に増加して (p<0.01), その後は 25.6~41.1kg/10a で推移した。P₂O₅ 施肥量は、黒ボク土では 10.4~37.4kg/10a で推移した。褐色低地土は、1巡目が 46.0kg/10a, 2巡目で減少、3巡目に増加して (p<0.01), その後5巡目で再び減少し (p<0.05), 7巡目は 25.1kg/10a であった。K₂O 施肥量は、黒ボク土では 4.8~23.7kg/10a で推移し、褐色低地土では1巡目が 37.9kg/10a, 5巡目で減少し (p<0.01), 7巡目に増加して (p<0.05) 22.1kg/10a となった。

3. 7巡目における養分投入量と施肥基準及び土壌養分含量との関係

7巡目における土壌養分含量の変化に及ぼす養分投入量の影響を解析した。

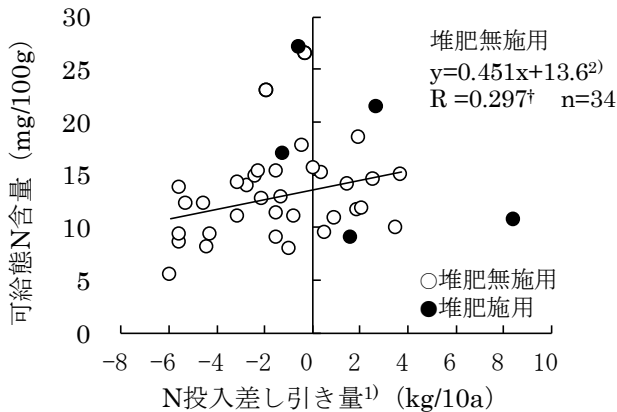
(1) 水田

7巡目における N, P₂O₅及び K₂O 投入量が施肥基準の上限値及び下限値の平均に達していなかった地点数は、それぞれ 25 地点 (64%), 28 地点 (72%) 及び 35 地点 (90%) であり多くの地点で不足の状況にあった (第5表)。

第5表 7巡目における利用形態別施肥基準に対する N, P₂O₅及びK₂O投入量の過不足の状況

利用形態	肥料成分	施肥基準に対する過不足 ^{注)}			
		不足		超過	
水田	N	25	(2)	14	(3)
	P ₂ O ₅	28	(2)	11	(3)
	K ₂ O	35	(3)	4	(2)
野菜畑	N	10	(2)	19	(12)
	P ₂ O ₅	10	(1)	19	(13)
	K ₂ O	14	(5)	15	(9)
野菜施設	N	7	(4)	8	(6)
	P ₂ O ₅	6	(2)	9	(8)
	K ₂ O	8	(4)	7	(6)

注)主要農作物等施肥基準(千葉県, 2009)に対して不足及び超過(過不足のない地点を含む)する地点数を示す。水田は, 上限と下限の平均値に対して不足及び超過(過不足のない地点を含む)する地点数を示す。()内の数値は堆肥を施用した地点数を示す。



第1図 「コシヒカリ」栽培水田における N 投入差し引き量と可給態 N 含量との関係

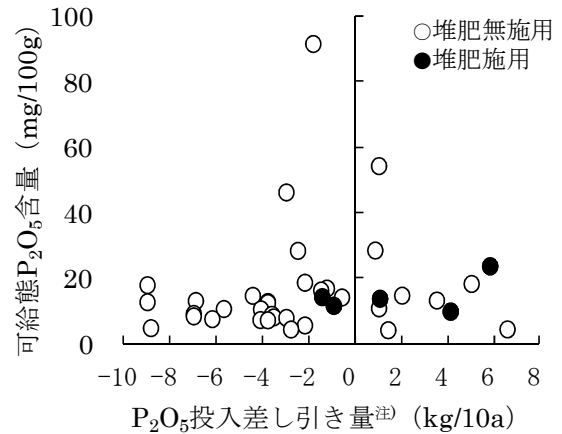
注1) N 投入差し引き量 = (調査地点の肥料と堆肥の N 投入量の合計) - 「コシヒカリ」の N 施肥基準値*

施肥基準値*: 上限及び下限の平均値。
 グライ低地土: 砂質土 7.5, 壤質土 5.5, 粘質土 5.5,
 粘質土(安房) 4.5kg/10a
 灰色低地土: 砂質土 7.0, 壤質土 6.5, 粘質土 5.3kg/10a

2) 関係式は堆肥施用地点 5 地点を除いて算出した。†は 10%水準で有意。

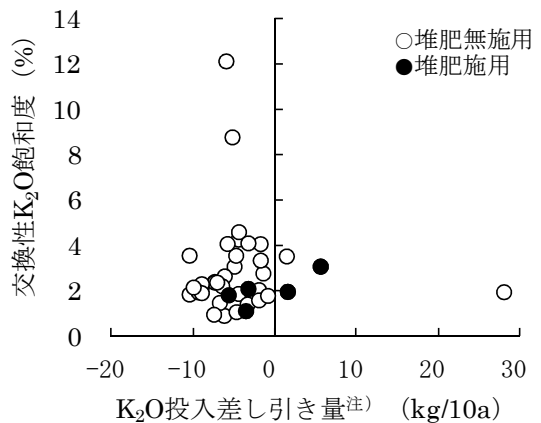
堆肥は 5 地点で施用されており, その内の 3 地点では N あるいは P₂O₅が, 2 地点では K₂O 投入量が施肥基準を超過していた。

N 投入量から施肥基準 N 量を差し引いて N 投入差し引き量(以下, N 差し引き量)を求めた。堆肥には土壌中で分解されにくい有機態の窒素が含まれ, これらは速やかに



第2図 「コシヒカリ」栽培水田における P₂O₅ 投入差し引き量と可給態 P₂O₅ 含量との関係
 注) P₂O₅ 投入差し引き量 = (調査地点の肥料と堆肥の P₂O₅ 投入量の合計) - 「コシヒカリ」の P₂O₅ 施肥基準値*

施肥基準値*: 上限及び下限の平均値。
 グライ低地土: 砂質土 8.0, 壤質土 9.0, 粘質土 7.0kg/10a
 灰色低地土: 砂質土 9.0, 壤質土 8.0, 粘質土 7.0kg/10a

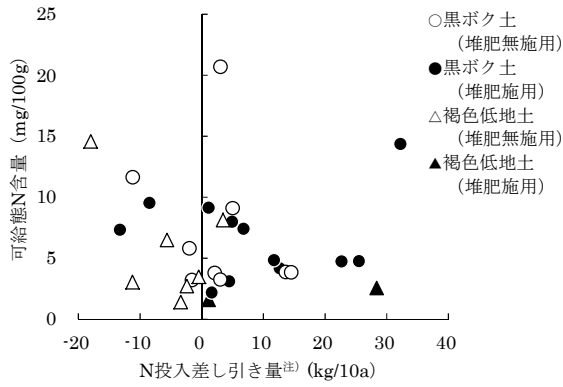


第3図 「コシヒカリ」栽培水田における K₂O 投入差し引き量と交換性 K₂O 飽和度との関係

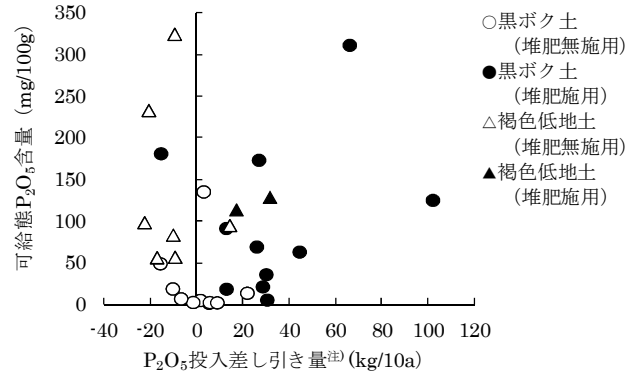
注) K₂O 投入差し引き量 = (調査地点の肥料と堆肥の K₂O 投入量の合計) - 「コシヒカリ」の K₂O 施肥基準値*

施肥基準値*: 上限及び下限の平均値。
 グライ低地土: 砂質土 10.5, 壤質土 10.5, 粘質土 9.0kg/10a
 灰色低地土: 砂質土 11.0, 壤質土 11.0, 粘質土 10.0kg/10a

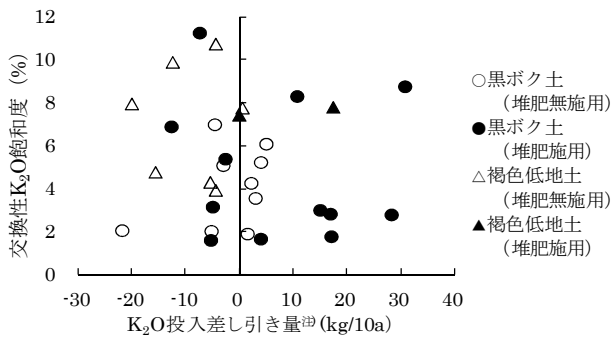
作物に吸収されない。このことから, 堆肥無施用の地点について N 差し引き量と可給態 N 含量との関係を求めた結果, N 差し引き量が少ないほど可給態 N が低い傾向にあった(第1図)。一方, P₂O₅及び K₂O 投入差し引き量(以下, それぞれ P₂O₅及び K₂O 差し引き量)を求めたが, それぞれと可給態 P₂O₅及び交換性 K₂O 飽和度との間に明らかな関係は認められなかった(第2及び3図)



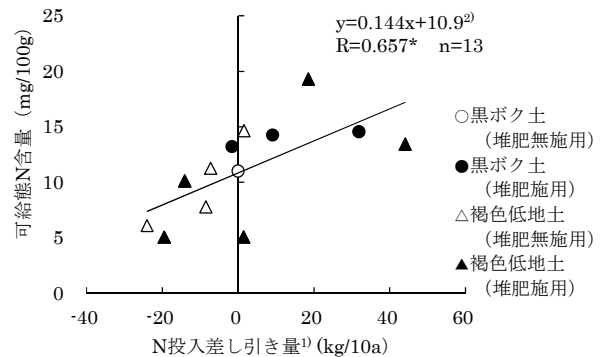
第4図 野菜畑におけるN投入差し引き量と土壌の可給態N含量との関係
 注) N投入差し引き量=(調査地点の肥料と堆肥のN投入量の合計) - (各作物のN施肥基準量)



第6図 野菜畑におけるP₂O₅投入差し引き量と可給態P₂O₅含量との関係
 注) P₂O₅投入差し引き量=(調査地点の肥料と堆肥のP₂O₅投入量の合計) - (各作物のP₂O₅施肥基準量)



第5図 野菜畑におけるK₂O投入差し引き量と交換性K₂O飽和度との関係
 注) K₂O投入差し引き量=(調査地点の肥料と堆肥のK₂O投入量の合計) - (各作物のK₂O施肥基準量)



第7図 野菜施設畑におけるN投入差し引き量と可給態N含量との関係
 注1) N投入差し引き量=(調査地点の肥料と堆肥のN投入量の合計) - (各作物のN施肥基準量)
 2) *は5%水準で有意. 図中の13地点の平均可給態N含量は11.2mg/100g
 3) N投入差し引き量146kg/10a, 可給態N含量3mg/100gの黒ボク土1地点及びN投入差し引き量-11kg/10a, 可給態N含量79mg/100gの褐色低地土1地点は図中に示されていない.

(2) 野菜畑

N, P₂O₅及びK₂O投入量が栽培作物の施肥基準未満であった地点は,それぞれ10地点(34%),10地点(34%)及び14地点(48%)であった(第5表).これに対し,投入量が施肥基準を超過していた地点は,それぞれ19地点(66%),19地点(66%)及び15地点(52%)と多く,このうち12地点,13地点及び9地点と約6割で堆肥が施用されていた.

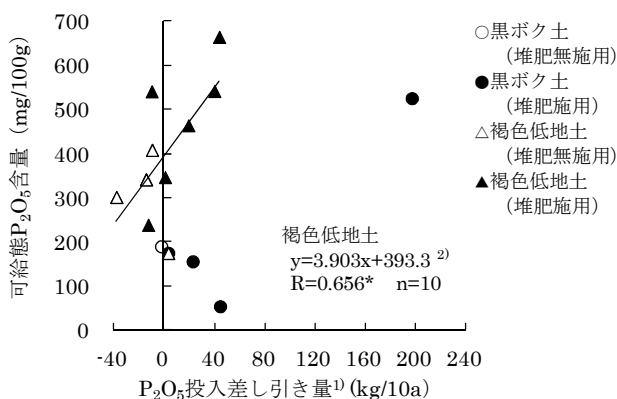
野菜畑において,N差し引き量と可給態N含量及びK₂O差し引き量と交換性K₂O飽和度との間に明らかな関係は認められなかった(第4及び5図).可給態P₂O₅含量は,P₂O₅差し引き量との関係は明らかでなかったが,黒ボク土では堆肥無施用の平均値が約27mg/100gであるのに対し,堆肥を施用した地点の平均値が約93mg/100gと高かった(第6図).

(3) 野菜施設

N, P₂O₅及びK₂O投入量が栽培作物の施肥基準未満であった地点は,それぞれ7地点(47%),6地点(40%)

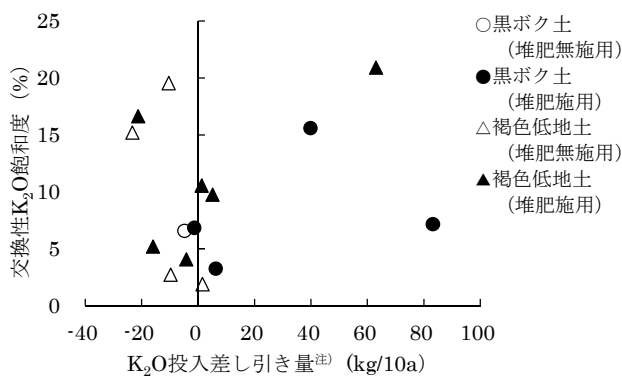
及び8地点(53%)で,このうち堆肥を施用していた地点は,それぞれ4地点,2地点及び4地点であった(第5表).これに対し,投入量が施肥基準を超過していた地点は,それぞれ8地点(53%),9地点(60%)及び7地点(47%)であり,これらのそれぞれ6地点,8地点及び6地点で堆肥が施用されており,施肥基準を超過していた地点では堆肥を施用していた地点数の割合が高かった.

堆肥及び肥料のN施用量がともに多くN差し引き量が146kg/10aとなった地点及び可給態N含量が79mg/10aと極端に高かった地点の計2地点を例外として除いた場合,N差し引き量が多いほど可給態N含量が高い傾向があり,このときの平均可給態N含量は11.2mg/100gであった(第7図).また,褐色低地土においては,P₂O₅差し引き量が多いほど可給態P₂O₅含量が高い傾向にあった



第8図 野菜施設畑における P₂O₅ 投入差し引き量と可給態 P₂O₅ 含量との関係

注1) P₂O₅投入差し引き量=(調査地点の肥料と堆肥の P₂O₅投入量の合計) - (各作物の P₂O₅施肥基準量)
 2) 関係式は褐色低地土の堆肥無施用及び堆肥施用地点のデータから算出。*は5%水準で有意。



第9図 野菜施設畑における K₂O 投入差し引き量と交換性 K₂O 飽和度との関係

注) K₂O 投入差し引き量=(調査地点の肥料と堆肥の K₂O 投入量の合計) - (各作物の K₂O 施肥基準量)

(第8図) . しかし、K₂O 差し引き量と交換性 K₂O 飽和度との間に明らかな関係は認められなかった (第9図) .

IV 考 察

1 巡目から最新の7 巡目における土壌養分の実態の変化を明らかにし、その変化に及ぼす施肥と堆肥施用の影響を解析するとともに、農耕地の土壌管理目標を設定し、管理方策について検討した。

(1) 水田

可給態Nは7巡目では1巡目の91%となり、N施肥量は46%に減少した。滋賀県では、追肥重点施肥法による基肥の減少、施肥田植え機及び全量基肥施肥の普及に伴い窒素施肥量が減少したといわれている(園田ら, 2014) . また、本報告のアンケート調査において、コシヒカリ栽培水田の2割で全量基肥タイプの肥料が使用されていた。千葉県においても、施肥田植え機と全量基肥施肥の普及の影響を受けN投入量が減少したことにより、可給態Nは減少したと推察される。

本報告で得られたN差し引き量と可給態Nとの関係式から、堆肥の施用がない場合、施肥基準量のN施用で可給態Nはおおよそ13.6mg/100gと推定され、これは7巡目の可給態N平均値13.0mg/100gと近似した値である。現在のN肥沃度を維持するためには、施肥基準量のN施用が必要と判断される。全量基肥施肥でN投入量が施肥基準以下となる場合は、堆肥の施用によりN肥沃度の維持を図る必要がある。

千葉県では、稲わら施用率は86%と高いものの、堆肥施用率は9%と少ないうえ、施用量も減少傾向にある(千葉

県, 2015) . 平均して牛ふん堆肥1.7t/10aが10年間連用された水田では、施用されていない水田に比べて可給態Nが3mg/100g増加することが報告されており(安江ら, 2012) , 1年当たり平均0.3mg/100gの増加が見込まれる。本調査の可給態Nの平均値は、4~7巡目の約16年間で4mg/100g、1年当たり平均0.3mg/100g減少していたことから、N投入量が施肥基準以下となる場合には、稲わらをほ場に還元するとともに牛ふん堆肥であれば1.7t/10a程度を毎年施用することが、窒素肥沃度の維持に有効であると判断される。また、水稲収穫後に緑肥を栽培してほ場にすき込むことにより有機物を供給できることから(上野, 2010) , 堆肥の施用が困難な圃場では緑肥の利用も有効と考えられる。

可給態P₂O₅は、滋賀県では3巡目をピークにその後7巡目まで減少傾向にあるが(園田ら, 2014) , 鹿児島県では1~6巡目でほぼ増減がない(西ら, 2013) . 千葉県においては、滋賀県と同様に3巡目でピークがみられ、6巡目以降に再び増加した。一方で、化学肥料単用栽培の稲わらに含まれるP₂O₅は約2.5kg/10aであり(石井ら, 2016) , 後述するK₂Oと比べて少ない。また、P₂O₅投入量も多く地点で不足の状況にあることから、施肥量減少の影響を受けて、今後土壌の可給態P₂O₅が低下する恐れがある。2, 3年に一度は土壌分析を行って可給態P₂O₅含量を把握し、不足傾向にある場合には施肥基準量の施肥あるいはP₂O₅を多く含む家畜ふん堆肥、リン酸資材等の施用が必要と考えられる。

交換性K₂Oは、鹿児島県、滋賀県ともに明らかな経時変化はなく(園田ら, 2014 ; 西ら, 2013) , 千葉県においても交換性K₂Oに減少傾向はなかった。千葉県の稲わら施用率は、1巡目の38%から7巡目の86%まで増加傾向にある(千葉県, 2015) . 稲わらにより10kg/10a以上のK₂Oがほ場に還元されると報告されている(高橋ら, 2003) . 施肥と稲わらに由来するK₂Oを合わせた総K₂O投入量は、稲わ

ら施用率を考慮すると、1巡目で14.5kg/10a、7巡目で13.9kg/10aとなり、減少はわずかである。以上のことから、 K_2O 施肥量は1巡目に比べ7巡目では半減しているものの、稲わらの施用率が上昇したことで交換性 K_2O が維持されたものと推察される。

(2) 野菜畑

可給態Nは、各土壌で調査開始1巡目から増加した後、黒ボク土及び褐色低地土では5巡目以降に減少あるいは減少傾向にあった。N施肥量は6巡目まで概ね減少傾向にあることから、これらの土壌では、施肥量が可給態Nの減少に影響したと推察される。N投入量は、堆肥の施用がない場合に施肥基準に対して不足する傾向があることから、肥効率が低い牛ふん堆肥等を用いることでこれまでどおりの作物生育を保ちながら、N肥沃度の維持を図る必要があると判断される。片峯ら(2001)は、黒ボク土の野菜畑において稲わら牛ふん堆肥1.5t/10a(Nとして約10kg/10a相当)を20年間連用すると、堆肥無施用と比べて可給態Nが3.9mg/100g増加することを報告している。したがって、 P_2O_5 や K_2O の蓄積が問題とならないほ場では、牛ふん堆肥1.5t/10a程度の施用を続けることがN肥沃度の維持には有効と考えられる。

可給態 P_2O_5 は、鹿児島県では1～6巡目で増加し(西ら, 2013)、広島県及び山形県では1巡目～4巡目で増加した後減少している(谷本ら, 2002; 長沢ら, 2006)。全国的には1～4巡目で増加しており(小原・中井, 2004)、全国的に蓄積傾向となっている。千葉県は、黒ボク土では4巡目に減少し、褐色低地土では3巡目まで増加傾向を示した後4巡目で減少した。また、両土壌ともに6巡目以降に増加し、7巡目が最も高かった。

可給態 P_2O_5 の4巡目の減少は、 P_2O_5 施肥量の減少によるものと考察されている(安西, 2000)。本報告では、黒ボク土は7巡目、褐色低地土は2巡目以降の可給態 P_2O_5 と P_2O_5 施肥量の変化が概ね一致していた。また、黒ボク土では、堆肥無施用に比べて施用した地点の可給態 P_2O_5 含量が高い傾向にあることから、可給態 P_2O_5 に対する施肥及び堆肥施用の影響は大きいものと判断できる。く溶性 P_2O_5 を含む熔リン、重焼リン等のリン酸資材は、過リン酸石灰等の速効性肥料と異なり肥効に持続性がある(藤澤, 2010)。また、 P_2O_5 含量の高い豚ふん堆肥は、連用により土壌中に P_2O_5 が蓄積されることが示されている(片峯ら, 2001)。可給態 P_2O_5 含量が低い黒ボク土のほ場では、これらの資材の施用により P_2O_5 肥沃度の維持向上が期待される。

一方、褐色低地土では堆肥施用の有無にかかわらず可給態 P_2O_5 が100 mg/100g以上である地点の割合が高い。また、堆肥の施用が可給態 P_2O_5 の診断基準超過に影響していることが伺える。千葉県では、野菜畑及び野菜施設土壌にお

ける可給態 P_2O_5 の診断基準を50～100mg/100g(黒ボク土では20～100mg/100g)と定めている(千葉県, 2009)。可給態 P_2O_5 の過剰な蓄積が進んでいる土壌については、施肥減量や堆肥投入量の削減等の対策が重要と考える。

交換性 K_2O は、鹿児島県では1～6巡目において大きな変化はなかった(西ら, 2013)が、広島県や全国平均では1～4巡目で増加傾向にあった(谷本ら, 2002; 小原・中井, 2003)。一方、千葉県では、黒ボク土及び褐色低地土では大きな変動はなく、褐色森林土では3巡目に減少、7巡目で増加したが、これらの変化と施肥量との関係は判然としなかった。本報告においては、堆肥に含まれる P_2O_5 及び K_2O を含めた施用量の変化を算出していないが、7巡目調査においては41%の野菜畑で堆肥が施用されていることから(千葉県, 2015)、今後は土壌養分の変化に対する堆肥による養分施用量の影響を解析する必要があると考えられた。

千葉県において、交換性 K_2O 飽和度の診断基準は、黒ボク土では2～15%、黒ボク土以外では2～17%の範囲に定められており(千葉県, 2009)、本報告では交換性 K_2O 飽和度が過剰となる地点は少ない。また、7巡目では半数の地点で施肥基準に対して K_2O 投入量が不足していたことから、肥料や堆肥によって施肥基準量を目安に K_2O を投入することが妥当と判断できる。

(3) 野菜施設

可給態Nは、黒ボク土では6巡目で減少しており、施肥量の変化と対応していたが、褐色低地土ではこれらの関係は判然としなかった。

堆肥及び施肥によるN投入量が多いために、差し引き量が146kg/10aと多くなった地点及び可給態N含量が79mg/10aと極めて高い地点を例外として除くと、本報告で得られたN差し引き量と可給態Nとの関係から、施肥基準量のN投入量で10.9mg/100gの可給態Nが維持されると推測される。これは上記の2地点を除く可給態Nの平均値11.2mg/100gとほぼ等しい。N投入量が施肥基準量以下となる場合は、野菜畑と同様に、鶏ふん堆肥に比べ肥効率の低い牛ふん堆肥等の土づくり的効果の高い堆肥を施用することで、これまでどおりの作物生育を保ちながらN肥沃度の維持が図られると考えられる。

可給態 P_2O_5 は、滋賀県では1～6巡目に増加(園田ら, 2014)、全国平均では1～3巡目に増加し(小原・中井, 2004)、100mg/100gを超える過剰な蓄積が多数あった。千葉県においては、黒ボク土は5巡目以降、褐色低地土は6巡目以降で増加傾向がみられ、褐色低地土では1巡目から100mg/100gを超過していた。褐色低地土の P_2O_5 施肥量は、7巡目で増加傾向にあるものの、6巡目はそれまでと比べて少なく、可給態 P_2O_5 の増加に対応する施肥量の増加は認め

られない。施設では、野菜畑と異なり、降雨による流亡が起りにくいことが、施肥量の増減にかかわらず可給態 P_2O_5 が蓄積している要因と推察された。

本報告の褐色低地土では、 P_2O_5 差し引き量が多いほど可給態 P_2O_5 が高く、可給態 P_2O_5 の蓄積には P_2O_5 投入量の影響が大きいことが明らかとなった。黒ボク土の場合は、土壌中で P_2O_5 が固定され難溶性 P_2O_5 になりやすいために、褐色低地土と同様の傾向がみられなかったと考えられる。 P_2O_5 差し引き量と可給態 P_2O_5 との関係式から、投入量が施肥基準量と等しくても可給態 P_2O_5 は $300\text{mg}/100\text{g}$ 以上となる。さらなる蓄積を進めないためには、施肥減量あるいは堆肥施用量の削減が必要と判断された。

全国的には、交換性 K_2O は 1~4 巡目で増加傾向にあった（小原・中井，2003）。千葉県においては、黒ボク土で 7 巡目の交換性 K_2O が高い傾向にあった他はほぼ横ばいで推移し、 K_2O 施肥量と同様であった。褐色低地土の交換性 K_2O は横ばいで推移し、5 巡目以降の施用量の増減とは対応していなかった。1~4 巡目の施用量が $37.9\sim 40.7\text{kg}/10\text{a}$ と非常に多いことから、施肥量の減少にかかわらず、交換性 K_2O が低下しなかったものと推察される。

千葉県における交換性 K_2O 飽和度の診断基準の上限值で最も低い値は 9% である（千葉県，2009）。本報告では K_2O 差し引き量と交換性 K_2O 飽和度との関係に有意な相関は認められなかったが、第 9 図における調査地点のおよそ半数で 9% を超え、野菜畑に比べて蓄積する傾向が認められたことから、交換性 K_2O 飽和度が高いほ場では施肥減量や堆肥の施用を控える必要がある。

以上のように、水田、野菜畑及び野菜施設において、N、 P_2O_5 及び K_2O 肥沃度の維持、あるいは P_2O_5 及び K_2O の過剰蓄積改善に向けた施肥及び堆肥施用に関する管理目標を示すことができた。本報告で示した施肥基準量に対する投入差し引き量の実態は 7 巡目の調査結果に基づくものであり、今後の土壌管理の影響を受けて各ほ場の養分状況は変化する可能性が考えられる。施肥減量や堆肥施用に際しては、土壌診断により定期的に現状を把握し、堆肥からの供給量を考慮した管理を進めることが極めて重要と考える。

V 摘 要

千葉県の農耕地土壌における 7 巡目の調査結果から、土壌の可給態 N、可給態 P_2O_5 及び交換性 K_2O 含量と、N、 P_2O_5 及び K_2O 施肥量の実態を明らかにし、土壌養分の変化に及ぼす施肥及び堆肥による養分投入量の影響を解析した。

1. 可給態 N は、水田では 4 巡目以降、野菜畑の黒ボク土で

は 5 巡目以降、褐色低地土では 6 巡目以降、野菜施設の黒ボク土では 6 巡目以降に減少傾向がみられ、施肥量の影響が推察された。可給態 P_2O_5 は、野菜畑及び野菜施設の黒ボク土及び褐色低地土では 6 巡目以降に増加傾向がみられた。

2. 水田の N、 P_2O_5 及び K_2O 施肥量は、2 巡目以降漸次減少し 7 巡目には 1 巡目の 50% 以下となった。野菜畑の N 施肥量は 1 巡目が最も多く、黒ボク土、褐色低地土及び褐色森林土では 6 巡目まで概ね減少傾向にあった。 P_2O_5 施肥量は、褐色低地土及び褐色森林土では大きな増減がなく、黒ボク土では 6 巡目に減少し 7 巡目で増加した。野菜施設では、黒ボク土の N 施肥量は 6 巡目で減少し、黒ボク土及び褐色低地土の P_2O_5 施肥量には 4 巡目以降で有意な増加は認められなかった。
3. 養分投入量から施肥基準量を減じて差し引き量としたところ、水田及び野菜施設では、N 差し引き量が少ないほど可給態 N が低い傾向にあり、N 肥沃度維持のためには施肥基準量の N 施用が必要と判断された。
4. 野菜畑及び野菜施設の褐色低地土では、多くの地点で可給態 P_2O_5 が本県の診断基準 $100\text{mg}/100\text{g}$ を超過していた。野菜施設の褐色低地土では P_2O_5 差し引き量が多いほど可給態 P_2O_5 が増加する傾向にあったことから、 P_2O_5 の過剰な蓄積を抑制するには、施肥基準量よりも減量あるいは堆肥施用量の削減を行うことが必要と判断された。

VI 引用文献

- 安西徹郎・渡辺春朗・鈴木節子・日暮規夫・中村千明・金子文宣・松本直治（1981）千葉県水田土壌の断面形態および理化学性の変化 - 強グライ土について - . 千葉農試研報. 22:1-9.
- 安西徹郎（1990）現場における土壌調査の現状と今後の展開方向. ペドロジスト. 34:128-168.
- 安西徹郎・篠田正彦・八槇 敦・戸部 学・在原克之・渡辺春朗（1998）千葉県における主要農耕地土壌の実態と変化 - この 15 年間の解析 - . 千葉農試研報. 39:71-86.
- 安西徹郎（2000）千葉県における農耕地土壌の実態と変化. ペドロジスト. 44 : 155-160.
- 千葉県（2006）千葉県施肥設計支援システム「エコ FIT」. Ver01. 千葉県農林水産技術会議. 千葉.
- 千葉県（2009）主要農作物等施肥基準. 千葉県農林水産部安全農業推進課 編. 451pp.千葉.
- 千葉県（2015）千葉県農耕地土壌の現状と変化 - 土壌実態調査 7 巡目（2009~2012）の結果より - . 千葉県農林水産技術会議. 55pp.千葉.

- 千葉県(2016)千葉県農林水産業の動向 -平成28年度版- .
137pp.千葉.
- 千葉県史料研究財団(1997)千葉県の自然史 本編2 千葉
県の大地(県史シリーズ41). 823pp.千葉県. 千葉.
- 土壤環境分析法編集委員会(1997)土壤環境分析法. 博友社.
東京.
- 土壤保全調査事業全国協議会(1991)日本の耕地土壌の実態
と対策(新訂版). 295pp.博友社. 東京.
- 藤澤英司(2010)新版 土壤肥料用語辞典 第2版(藤原
俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎 編). pp.182-
186.農山漁村文化協会. 東京.
- 片峯美幸・亀和田國彦・鈴木康夫・伊藤良治・中山喜一・内
田文雄(2001)黒ボク土畑における各種有機物の20年
間連用が作物生育ならびに土壤理化学性に及ぼす影響.
栃木農試研報. 50:79-91.
- 石井研至・藤山正史・里中利正・早田隆典(2016)中粗粒グ
ライ土における籾殻牛ふん堆肥の連用が水稻の収量性,
成分含量に及ぼす影響. 長崎農林技セ研報. 7:81-97.
- 長沢和弘・熊谷勝巳・中川文彦・佐藤之信・今野陽一・森岡
幹夫・上野正夫・山口金栄(2006)山形県における農耕
地土壌の実態と変化. 山形農事研報. 38:41-57.
- 中井 信・小原 洋(2003)土壤環境基礎調査(定点調査)
の概要. 土肥誌. 74:557-565.
- 西 裕之・森田重則・小玉泰生・渋川 洋・相本涼子・井上
健一・久米隆志・後藤 忍・末永 博・永田茂穂・鳩野
哲也・松元 順・森 清文・山下純一・脇門英美・和合
由員(2013)30年間における鹿児島県農耕地土壌の理
化学性の変化. 鹿児島農総セ研報. 7:47-61.
- 小原 洋・中井 信(2003)農耕地土壌の交換性塩基類の全
国的変動 農耕地土壌の特性変動(I). 土肥誌. 74:615-
622.
- 小原 洋・中井 信(2004)農耕地土壌の可給態リン酸の全
国的変動 農耕地土壌の特性変動(II). 土肥誌. 75:59-
67.
- 園田敬太郎・猪田有美・北川照美・武久邦彦(2014)滋賀県
における農耕地土壌の実態と変化(第3報)土壤モニタ
リング調査35年年間のまとめと解析. 滋賀県農技セ研
報. 52:29-39.
- 高橋良学・島 輝夫・高橋好範・高橋正樹・小野剛志(2003)
水稻無カリ栽培が可能となる土壌中カリ蓄積水準. 土肥
誌. 74:353-356.
- 谷本俊明・宮地勝正・松浦謙吉・中沢征三郎・上本 哲・小
松武治(2002)広島県における農耕地土壌の実態と変化.
広島農技セ研報. 72:55-70.
- 上野秀人(2010)水田における緑肥利用の現状と展望. 農業
および園芸. 85:136-146.
- 安江園子・森 孝夫・篠田正彦(2012)千葉県における水田
への家畜ふん堆肥施用の実態及びその影響. 千葉農総研
報. 4:125-131.

Changes in Nutrient Levels over Time in Major Farmland Soil Types in Chiba Prefecture, and Analysis of Related Factors

Tomoko NAGASAWA, Atsushi YAMAKI and Kenji SAITO

Key words : soil survey, soil nutrients, fertilizer standard,
manure, change over time

Summary

We determined the current condition of available N, available P₂O₅ and exchangeable K₂O content in soil, based on the results of seven rounds of surveying farmland soil in Chiba Prefecture, and analyzed the effect of nutrient input by fertilizer and manure on soil nutrient change.

1. Available N tended to decrease after the 4th survey round in the paddy fields, after the 5th round in the Andosol, after the 6th round in the brown lowland soil of vegetable fields, and after the 6th round in the Andosol of vegetable facilities. These results were presumed to reflect the amount of fertilization. Available P₂O₅ tended to increase after the 6th round in the Andosol and brown lowland soil of the vegetable fields and vegetable facilities.
2. The amount of N, P₂O₅ and K₂O fertilizer in the paddy fields gradually decreased after the 2nd survey round, and by the 7th round was less than 50% of the 1st round.
3. Typically, in paddy fields and vegetable facilities, the lesser the amount of N fertilization (vs. the standard amount), the lower the available N. Therefore, it was concluded that the standard amount of N of fertilizer application was necessary for maintaining nitrogen fertility.
4. Many areas of brown lowland soil in the vegetable fields and vegetable facilities in Chiba Prefecture exceeded the soil diagnostic criteria of 100 mg/100 g of available P₂O₅. In the brown lowland soil of the vegetable facilities, the greater the amount of P₂O₅ fertilization (vs. the standard amount), the greater the available P₂O₅. Therefore, in order to suppress the excessive accumulation of P₂O₅ in the soil, it is considered necessary to apply less than the fertilization standard amount and/or reduce the amount of applied manure.