

## 中国東北部，主要畑土壌リン形態の地域および土壌 間差異

韓，京龍  
九州大学農学部土壌学講座

江頭，和彦  
九州大学農学部土壌学講座

<https://doi.org/10.15017/23634>

---

出版情報：九州大學農學部學藝雜誌. 54 (1/2), pp.69-76, 1999-11. 九州大學農學部  
バージョン：  
権利関係：

## 中国東北部, 主要畑土壌リン形態の地域および土壌間差異

韓 京龍・江頭和彦

九州大学農学部土壌学講座

(1999年6月10日受付, 1999年8月24日受理)

### Phosphorus Status of Major Upland Soils in Northeastern Part of China in Relation to Agricultural Division and Soil Type

Jing-Long HAN and Kazuhiko EGASHIRA

Laboratory of Soils, Faculty of Agriculture,  
Kyushu University, Fukuoka 812-8581

#### 緒 言

中国東北部は北緯38°~53°, 東経115°~135°に位置し, 遼寧省, 吉林省, 黒龍江省からなる。総面積123.6万 km<sup>2</sup>, 中央部と南部に東北大平野が広がり, 中国農業の主要生産基地である。顕著な寒冷かつ半乾燥の大陸性気候を示し, 年平均降水量は300~700mm, 6~8月に集中する。年蒸発量は900~2000mmで, 降水量を上回る。年平均気温は0.5℃~8.0℃, 春季と秋季はしばしば低温に見舞われ, 冬季は長く厳寒, 夏季は短くて蒸し暑い。このため農作物の栽培期間は5月から9月までで, 南から北へ短くなる。主な農作物は水稻, 大麦, 大豆, トウモロコシ, 果樹, 野菜である。

吉林省は南の遼寧省と北の黒龍江省に挟まれ, 年平均気温3~4℃, 10℃以上の有効積算温度は2800~3200℃の範囲にある。吉林省は, 社会経済的および農業生態学的条件の違いに基づく農業地域区分によって, 大きく東部地区, 中部地区, 西部地区に区分される。中部地区は長春市と吉林市を中心に, 地形的には東北大平野に位置する。主要な土壌は黒土である。西部地区は白城地区を中心に, 東北大平野の一角を占め, 塩漬土が広く分布する。東部地区は延辺地区と通化地区を中心とし, レシベ土と暗棕壤が主要な土壌である。地形的には, 長白山脈に続く半山区(標高400~800mの山地・丘陵とその間の盆地からなる)である。年降水量は東から西へ減少し, 東部地区600~700mm, 中部地区500~550mm, 西部地区400~450mmである。耕地の開拓年数は中部地区が最も古く約400年, 東部

地区150年, 西部地区は80年である。東部地区の開拓は朝鮮半島からの移住とともに始まり, 西部地区の開拓の遅れは, 気候および土壌条件の劣悪さによる。

リンの形態分析は, 土壌のリン肥沃度解明, 農業生産での肥培管理上重要である。例えば阿江ら(1993)は, インド半乾燥熱帯での土壌間の作物リン栄養の違いをリンの形態の違いに結びつけている。すなわち, ヒヨコマメ, ダイズ, ソルガム, トウジンビエ, トウモロコシはカルシウム型リンを主要形態とする Vertisol では正常に生育したが, 鉄型リンを主要形態とする Alfisol では播種後リン欠乏で枯死した。一方, キマメはむしろ Alfisol で正常に生育し, リン吸収量も高かった。これはキマメがピシディン酸を分泌し, リン酸鉄を溶解するためと報告された。著者のひとは, いままでにバングラデシュの沖積低地土壌(Egashira and Yasmin, 1990)とラオスのメコン川中流域水田土壌(Egashira *et al.*, 1996)のリンの形態分析を行い, リンの肥沃度状態を評価してきた。中国東北部耕地土壌のリンの形態分析の研究は少なく, わずかに江ら(1998)が水田化に伴うリンの形態変化について研究しているのみである。彼らによれば, 畑土壌の水田土壌化作用によって, 土壌の無機態リンは, 基本的には吸着態および非吸着態鉄型リンが主要となった。

著者らはこれまで, 中国東北部主要畑土壌の農業生産での的確な土地利用と肥培管理を目的に, その物理的および化学的性質(韓ら, 1998)と粘土鉱物学的特徴(韓・江頭, 1999)を明らかにしてきた。本報では, リンの形態分析に基づき, リンの肥沃度状態を農業地

域と土壤型との関連で調べた結果について報告する。

## 試料および方法

### 1. 土壤試料

土壤試料は1997年6月、吉林省と遼寧省で採取した。図1に土壤試料採取地域を示す。採取地点を個々に示さず、ひとつの採取地域としてまとめて表示している。土壤試料は、吉林省東部地区で7地点(M3~M5, M8, M10~M12)、中部地区で2地点(M7, M9)、西部地区で2地点(M1, M2)、遼寧省で1地点(M6)から採取した。遼寧省の土壤試料採取地域の社会経済的および農業生態学的条件は吉林省中部地区に類似し、開拓年数もほぼ同じで、約400年である。Ap層とB(あるいはAC)層から、層位ごとに1kgずつ試料を採取した。風乾後、綿織袋に詰めて日本に空輸し、分析に供した。

表1に採取土壤の土壤型と採取地を記載する。レシベ土、湿草地土、黒土、暗棕壤、塩漬土は中国東北

部の主要な畑土壤で、畑総面積の8割以上を占める。FAO/UNESCOの土壤分類では、それぞれPlanosol, Cambisol, Phaeozem, Luvisol, Solonchakに対応する。母材は第四紀堆積物である。中国内陸部とモンゴルの乾燥・半乾燥地帯からの風成塵の混入が、現地研究者からの聞き取りで指摘され、また鉱物分析(韓・江頭, 1999)によって示唆された。

### 2. 分析方法

全リンは過塩素酸分解-アスコルビン酸法(中国科学院南京土壤研究所, 1978)、有機態リンは燃烧法(Olsen and Sommers, 1982)で分析した。無機態リンは、全リンと有機態リンの差として求めた。無機態リンのうち順次2.5%酢酸、1Mフッ化アンモニウム、0.1M水酸化ナトリウムで抽出されるリンを非吸着態リンとし(関谷, 1970)、それぞれカルシウム型、アルミニウム型、鉄型リンに対応する。上述の溶液で抽出できない無機態リンは吸着態リンとし、以前は難溶性リンと表され(関谷, 1970)、無機態リンと非吸

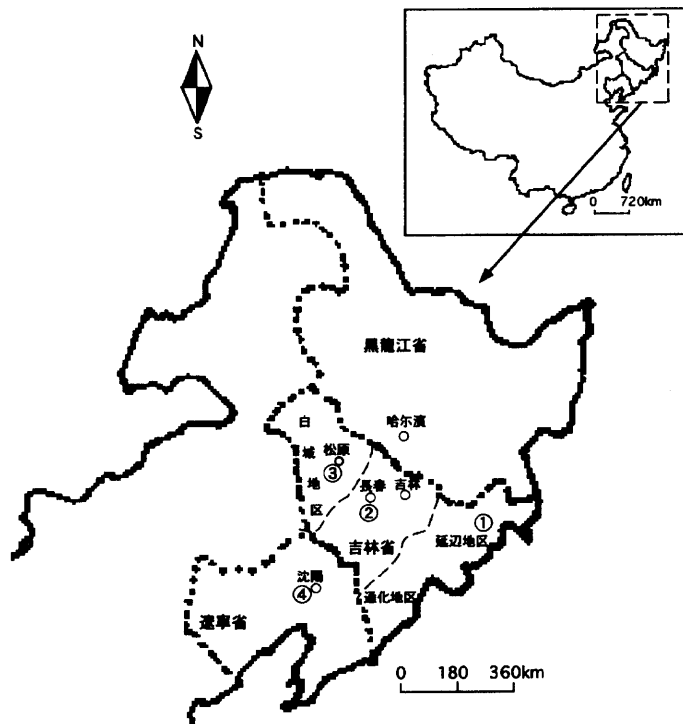


図1 中国東北部畑土壤試料の採取地域。  
 ①土壤試料M3~M5, M8, M10~M12の採取地域  
 ②土壤試料M7とM9の採取地域  
 ③土壤試料M1とM2の採取地域  
 ④土壤試料M6の採取地域

表1 中国東北部畑土壌試料の説明

農業地域区分	土壌型	試料番号	採取地	層位	深さ (cm)	
吉林省 東部地区	レシベ土	M 3	吉林省龍井市智新城東	Ap	0~15	
				B	15~85	
		M 4	吉林省和龍市西城	Ap	0~15	
				B	15~50	
		M 5	吉林省龍井市太陽鎮太興村	Ap	0~15	
				B	15~50	
	湿草地土	M 8	吉林省龍井市朝陽川鎮太東村	Ap	0~20	
				AC	20~40	
		黒土	M10	吉林省和龍縣和龍東街	Ap	0~20
					B	20~50
			M11	吉林省龍井市東盛鎮紅星	Ap	0~20
					B	20~50
暗棕壤	M12	吉林省龍井市延辺大学農学院農場	Ap	0~20		
			B	20~50		
中部地区	湿草地土	M 7	吉林省長春市蔡家村	Ap	0~25	
				AC	25~35	
	黒土	M 9	吉林省農安縣大營子村	Ap	0~15	
				B	15~60	
西部地区	塩漬土	M 1	吉林省松原市鮮豊村	Ap	0~15	
				B	15~55	
		M 2	吉林省松原市紅旗農場	Ap	0~20	
				B	20~50	
遼寧省	湿草地土	M 6	遼寧省沈陽市新城子区	Ap	0~20	
				AC	20~30	

着態リンの差として求めた。吸着態リンには一次鉱物のリン酸塩としてのリン灰石や、土壌の風化過程で三酸化物に吸蔵されたリン酸塩が含まれる（関谷，1970）。以下、リン含量は  $\text{mg P kg}^{-1}$ （乾土基準）で表示する。

## 結 果

### 1. リンの存在形態の地域間差

図2に、農業地域区分ごとの有機態、非吸着態、吸着態リン含量を Ap 層と B (AC) 層に分けて示す。各形態のリン含量は、その農業地域区分に属する土壌の平均値として示す。全リン含量は、遼寧省、吉林省中部、東部、西部の順に、Ap 層で474, 425, 681, 634, B (AC) 層では297, 302, 513, 489であり、明らかな地域間差がみられた。吉林省東部と西部の値が、吉林省中部と遼寧省の値に比べて、Ap 層、B (AC) 層とも約200高かった。有機態リン含量は地域による

差がみられず、Ap 層 (170~190) が B (AC) 層 (130~150) の含量よりわずかに高かった。有機態リン含量に地域間差がみられないことから、全リン含量にみられた地域間差は無機態リン含量の違いに結びつけられる。

Ap 層では吸着態リン含量に大きな地域間差がみられた。吸着態リン含量は、遼寧省33, 吉林省中部62, 東部214, 西部228と、吉林省東部と西部で明らかに高かった。一方非吸着態リン含量は、吉林省中部 (177) が低いほか、遼寧省 (272), 吉林省東部 (279) と西部 (239) の間では大きな差はみられなかった。B (AC) 層では、吸着態および非吸着態リン含量のいずれも吉林省東部と西部が吉林省中部と遼寧省より高かった。すなわち、吸着態リン含量は順次、177, 184, 100, 73であり、非吸着態リン含量は183, 159, 66, 92であった。

図3に、非吸着態リンをカルシウム型、アルミニウム

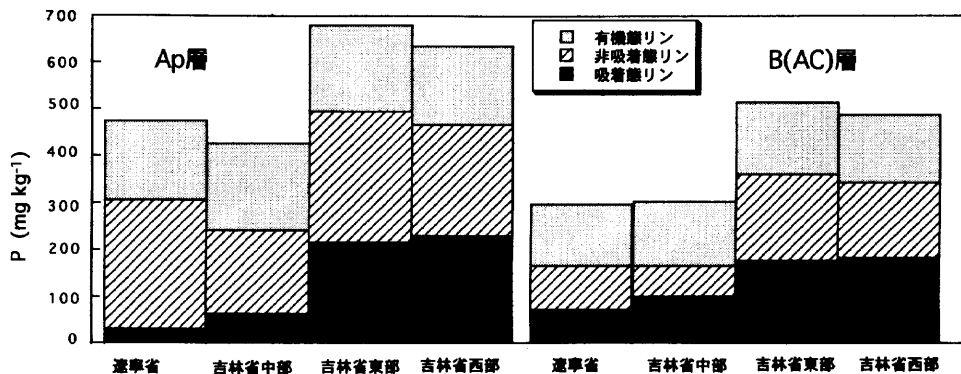


図2 各農業地域土壤のAp層とB(AC)層の有機態リン, 非吸着態リン, 吸着態リン含量.

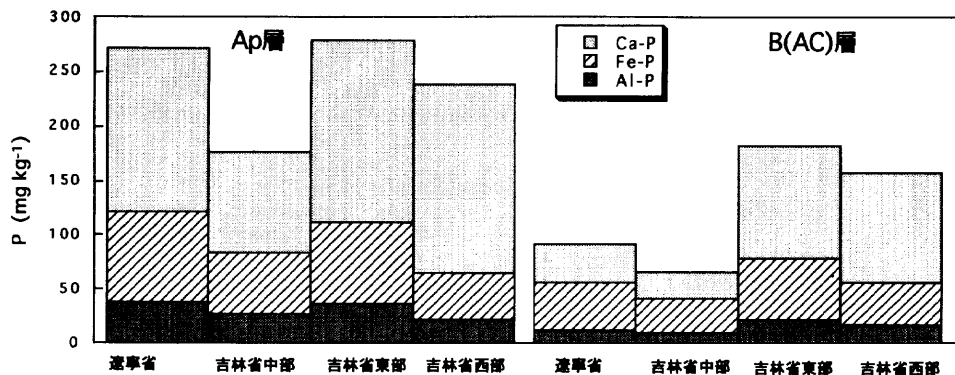


図3 各農業地域土壤のAp層とB(AC)層の非吸着態リンの形態別含量。  
Ca-P: カルシウム型リン; Fe-P: 鉄型リン; Al-P: アルミニウム型リン.

ム型, 鉄型に分けて表示する。Ap層ではいずれの農業地域でも, カルシウム型>鉄型>アルミニウム型の順であった。各型の相対割合は, カルシウム型53~73%, 鉄型18~32%, アルミニウム型9~15%であった。B(AC)層では, 地域間差がみられ, 吉林省東部と西部ではAp層に類似して, カルシウム型(57~64%)>鉄型(25~31%)>アルミニウム型(11~12%)の順であったのに対し, 遼寧省と吉林省中部では鉄型(47%)>カルシウム型(38~39%)>アルミニウム型(14~16%)の順であった。

## 2. リンの存在形態の土壤間差

リンの存在形態の土壤間差をみるために, レシベ土, 湿草地土, 黒土, 暗棕壤の4土壤型を採取した吉林省東部地区(表1)を対象に, 土壤間の比較を行った。図4に結果を示すように, リンの形態には大きな土壤間差がみられた。なお, レシベ土は3地点, 黒土は2地点の平均として示している。全リン含量は, Ap層

では湿草地土(1335), 黒土(851), レシベ土(473), 暗棕壤(309)の順に低下した。B(AC)層では湿草地土(754), 黒土(554), 暗棕壤(510), レシベ土(407)の順であり, 暗棕壤を除いて, 対応するAp層の含量より低かった。有機態リンはAp層, B(AC)層とも無機態リンに比べて少なく, 土壤間の差も小さかった。

土壤間でみられた全リン含量の差は無機態リン含量の差に結びつけられた。すなわち, 図4に示すように, Ap層では, 非吸着態リン含量は湿草地土で最も高く(534), 以下黒土(436)>レシベ土(165)>暗棕壤(56)の順, 吸着態リン含量も湿草地土で最も高く(550), 以下黒土(209)>レシベ土(135), 暗棕壤(125)の順であった。B(AC)層では, 非吸着態リン含量は暗棕壤(320)>湿草地土(272)>黒土(173)>レシベ土(114), 吸着態リン含量は湿草地土(304)>黒土(193)>レシベ土(138), 暗棕壤(136)の順

であった。

吸着態リンの順序は Ap 層と B (AC) 層の間で同じであり、その含量は、湿草地土を除いて両層間でほぼ同じであった。非吸着態リンも、暗棕壤を除けば Ap 層と B (AC) 層で同じ順序であり、その含量は Ap 層が B (AC) 層よりも高かった。暗棕壤は、他の土壌と異なり、非吸着態リン含量はむしろ B 層で高く、Ap 層の5.7倍であった。このことの理由として次のことがあげられる。暗棕壤の土壌試料は延辺大学農学院の果樹林で採取した。この果樹林では、深層施肥を行い、20cm 以下の層に施肥している。このことが、暗棕壤の B 層での高い非吸着態リン含量につながる；すなわち深層施肥がその要因であると考えられる。

図5に、吉林省東部地区の土壌の非吸着態リンの形態別の結果を示す。土壌間の差は、カルシウム型リン含量の差に強く現れた。Ap 層では、湿草地土と黒

土ではカルシウム型リン (348と300) が主要な形態であり、非吸着態リンの65, 69%を占めた。レシベ土では鉄型リンが45%、カルシウム型リンが40%であり、暗棕壤ではいずれの形態とも低含量であったが、カルシウム型リンが54%を占めた。B (AC) 層では、湿草地土と黒土ではカルシウム型リンの割合が高く、66と51%、レシベ土ではカルシウム型と鉄型リンがそれぞれ44%を占めた。暗棕壤では、カルシウム型リン (226) が用いた土壌のなかでは最も高く、非吸着態リンの71%に相当した。深層施肥による暗棕壤 B 層の非吸着態リン含量の増加は、カルシウム型リンの増加によることが認められる。アルミニウム型リンの割合は土壌と層位を通して16%以下であった。

### 考 察

#### 1. リンの存在形態の地域間差とリン肥沃度 中国東北部吉林省と遼寧省畑土壌のリンの形態分析

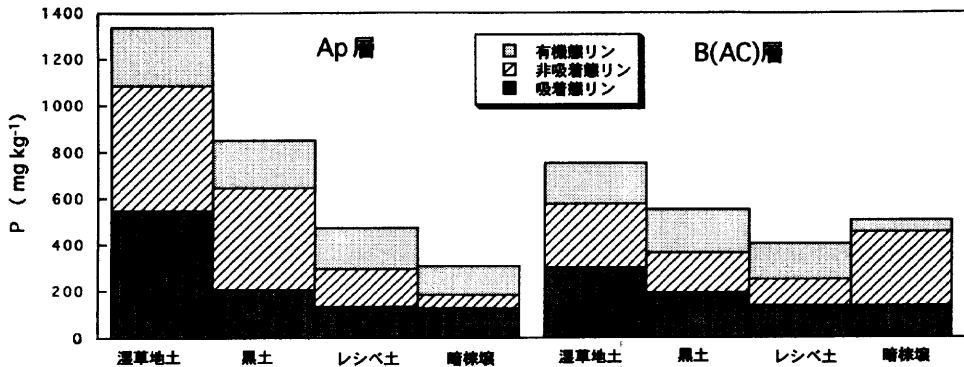


図4 吉林省東部地区土壌の Ap 層と B (AC) 層の有機態リン，非吸着態リン，吸着態リン含量。

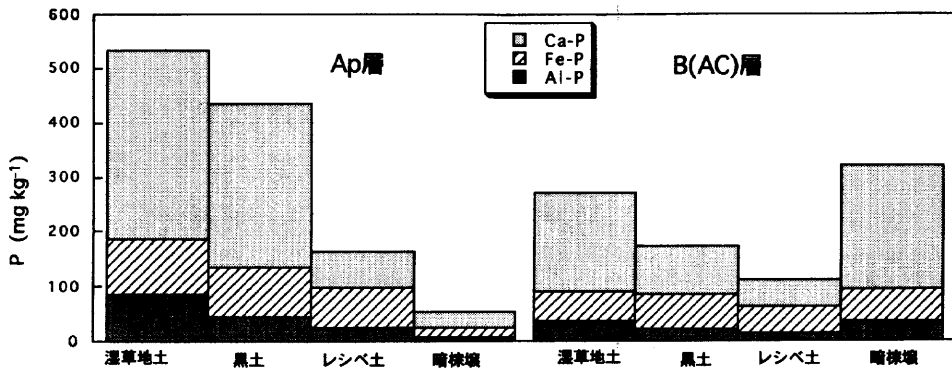


図5 吉林省東部地区土壌の Ap 層と B (AC) 層の非吸着態リンの形態別含量。  
Ca-P：カルシウム型リン；Fe-P：鉄型リン；Al-P：アルミニウム型リン。

の結果、有機態リン含量には地域間差がみられず、非吸着態リン含量には差があるものの、大きな差はみられず、吸着態リン含量に特に Ap 層において明瞭な差がみられた。すなわち、Ap 層の吸着態リン含量は、開拓年数が約400年と長い吉林省中部地区と遼寧省で60以下と低く、耕地利用の長さにつれて減少する傾向が認められた。

吸着態リンとしては主にリン灰石と三二酸化物に吸蔵されたリン化合物があげられる(関谷, 1970)。中国東北部畑土壌は第四紀堆積物を母材とし、土壌生成作用を受けた期間に地域間でそう大きな差はないと思われる。そうすると、吸着態リンとしては、風化作用に伴って増加する三二酸化物に吸蔵されたリン化合物よりも、リン灰石の可能性が高い。リン灰石は風化抵抗性が高いが、酸性土壌あるいは腐植酸の作用でその溶解度が増加する(山西農業大学主編, 1993)ことから、耕地利用および施肥等の措置によって溶解すると考えられる。中国畑土壌の吸着態リンの主要な形はリン灰石であり、それは母材に由来し、耕作に伴う肥培管理・土壌管理によって減少し、開拓年数が約400年と長い吉林省中部地区と遼寧省耕地ではほぼ消失しているというのが我々の考えである。Ap 層の吸着態リン含量が B (AC) 層より低いのは、Ap 層が B (AC) 層より耕地利用の影響を強く受け、リン灰石の溶解がより強く進んでいることによる。

## 2. リンの存在形態の土壌間差とリン肥沃度

吉林省東部地区での土壌型による全リン含量の変化は、無機態リン含量の変化によることが明らかとなった。Ap 層では、全リン含量、無機態リン含量とも湿草地土>黒土>レシベ土>暗棕壤の順で、この順序は江ら(1998)の畑土壌での順序、すなわち湿草地土>レシベ土>暗褐色森林土(暗棕壤)と一致した。

無機態リンのうち吸着態リン含量は湿草地土>黒土>レシベ土、暗棕壤の順であった。吸着態リンは、中国東北部畑土壌では主としてリン灰石と考えられ、おそらくは母材に由来し、地形と母材の影響を強く受けている。吉林省東部地区において、湿草地土と黒土は低地に分布し、上流からの堆積物を母材とし、そのため多少とも多量のリン灰石を含む。レシベ土と暗棕壤は風成塵の混入の影響をより強く受け、リン灰石の含量が本来低いのであろう。

湿草地土と黒土の高い非吸着態リン含量は、地形と母材の影響に加え、施肥の影響を強く受けていると考えられる。このことは、暗棕壤の B 層での深層施肥による非吸着態リン含量の増加によって支持される。

非吸着態リン含量は、土壌によりまた層位によって大きく変動した。非吸着態リン含量の高い湿草地土の Ap 層と AC 層、黒土の Ap 層と暗棕壤の B 層は、いずれもカルシウム型リンを主としていた。前報(韓ら, 1998)で、トルオグ法で測定した可給態リン含量と、Ap 層と B (AC) 層のいずれにおいても有意の相関( $r=0.834^{**}$ と $0.652^{*}$ )を示したのはカルシウム型リン含量だけであった。従って、中国東北部畑土壌のリン肥沃度は非吸着態カルシウム型リン含量に支配され、カルシウム型リン含量はリン灰石含量とともにリン酸肥料施肥の影響を強く受けると考えられる。非吸着態リンの形態によって肥培管理を考えれば、レシベ土のように鉄型リンを主にする土壌ではカルシウム型リンを主にする土壌よりも多量のリン酸肥料の施用が必要であろう。

吉林省西部の塩漬土は開拓年数が一番短く、全リン(ふたつの土壌の平均で Ap 層634, B 層489)、非吸着態リン(239と159)と非吸着態カルシウム型リン(174と102)含量は、吉林省東部の黒土とレシベ土の間にあり、有機態リン含量(167と146)はレシベ土よりやや低く、吸着態リン含量(228と184)は黒土とはほぼ同じレベルにあった。このことから、塩漬土は、Ap 層でみればレシベ土や暗棕壤より高いリン肥沃度をもつと推測される。塩漬土の主な作物生産上の阻害要因はナトリウムイオンによるものであり、阻害要因を除去すれば、相対的に高い収量の獲得は可能であろう。

遼寧省の湿草地土と吉林省中部の湿草地土と黒土の全リン(Ap 層371~478, B (AC) 層297~309)、吸着態リン(33~50と73~81)および非吸着態リン(214~272と55~92)含量は、吉林省東部の湿草地土と黒土に比べて明らかに低かった。非吸着態カルシウム型リン含量(123~151と22~36)も低かった。開拓年代が古く、長期間にわたって耕作されてきた遼寧省及び吉林省中部地区の畑土壌のリン肥沃度は低く、リン酸肥料の多用に依存している現状がうかがえる。

## 要 約

中国東北部吉林省と遼寧省の畑土壌の全リン含量は、農業地域によって大きな差があった。開拓年数の長い吉林省中部地区と遼寧省の畑土壌の全リン含量は、開拓年数の短い吉林省東部および西部地区の畑土壌に比べて約 $200\text{mg kg}^{-1}$ 低かった。全リン含量の差は吸着態リン含量の差に求められ、耕地利用の長さにつれ、吸着態リンの主要を占めるリン灰石が減少したことに

よると推察した。有機態リン含量は低く、リン肥沃度への寄与は小さい。

吉林省東部地区の畑土壌の土壌型による全リン含量は、Ap層で湿草地土>黒土>レシベ土>暗棕壤の順であった。土壌型による全リン含量の相違は無機態リン含量の違いに求められ、吸着態リン含量はAp層、B(AC)層とも、湿草地土>黒土>レシベ土>暗棕壤の順で、地形と母材、風成塵の混入度合いの影響を強く受けている。非吸着態リン含量はAp層では湿草地土>黒土>レシベ土>暗棕壤、B(AC)層では暗棕壤>湿草地土>黒土>レシベ土の順であり、地形と母材に加え、リン酸肥料施肥の影響を受けていると推測した。非吸着態リンの形態はカルシウム型が主要な形態であり、中国東北部畑土壌のリン肥沃度の支配要因であると結論した。加えて、中国東北部農業の化学肥料施肥に依存している現状と、土壌によっては過度の施肥が行われている実態が予見された。

## 謝 辞

土壌試料の採取にご協力いただいた延辺大学農学院農学系李 宗鉄教授、金 英海氏、延辺大学農学院科研処許 周源教授、鄭 哲氏、全 病武氏に感謝する。

## 文 献

阿江教治・有原文二・岡田謙介 1993 キマメのリン酸吸収機構とピシディン酸誘導体の役割。日本土

壤肥料学会編：植物の根圏環境制御機能。博友社、東京、85-124頁

中国科学院南京土壤研究所 1978 土壤理化分析。上海科学技术出版社、上海

Egashira, K. and M. Yasmin 1990 Total and available phosphorus of some floodplain soils of Bangladesh. *Bull. Inst. Trop. Agr., Kyushu Univ.*, 13: 127-137

Egashira, K., M. Tanouchi and P. Virakornphanich 1996 Phosphorus status of paddy soils from the central region of the Mekong River in Laos. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 42: 427-432

韓 京龍・江頭和彦・金 福順 1998 中国東北部、主要畑土壌の物理的および化学的性質。九大農学芸誌, 52: 183-192

韓 京龍・江頭和彦 1999 中国東北部、主要畑土壌の粘土鉱物学的特徴。九大農学芸誌, 53: 51-63

江 耀宗・李 喬木・佐伯和利・松本 聰 1998 中国東北部における各種土壌の水田化に伴うリンの化学形態変化。土肥誌, 69: 396-397

Olsen, S. R. and L. E. Sommers 1982 Phosphorus. In "Methods of Soil Analysis", Part 2, ed. A. L. Page *et al.*, American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, pp.403-430

関谷宏三 1970 無機態リン酸の分別定量法/土壌リン酸の形態別組成。土壤養分測定法委員会編：土壤養分分析法。養賢堂、東京、235-239頁

山西農業大学主編 1993 土壤学。農業出版社、北京、9-36頁

## Summary

Phosphorus status of major upland soils of the northeastern part of China was assessed by means of fractionation of soil phosphorus. Soil samples were collected at Jilin and Liaoning provinces, covering Meadow soil, Black-colored soil, Dark-brown forest soil, Sols lessives, and Saline soil which occupy more than 80% of the upland field.

Total P content of upland soils varied with the agricultural division from which soil samples were collected. It was lower by about 200 mg P kg<sup>-1</sup> for soils of Liaoning province and central division of Jilin province where soils have been cultivated for about 400 years, than for soils of eastern and western divisions of Jilin province where soils were started to be cultivated before 150 and 80 years, respectively. The lower content of total P in the former divisions was involved by the lower content of P in the adsorbed-fraction and was ascribed to the disappearance of most apatite, a main P compound in the adsorbed-fraction, due to prolonged time of cultivation.

Total P content of upland soils in the eastern division of Jilin province was in the order of Meadow soil>Black-colored soil>Sols lessives>Dark-brown forest soil in the



Ap horizon. Variation of total P content with soil type was related to the difference in the content of inorganic P. The content of P in the adsorbed-fraction was in the same order as described in the above and was suggested to be a measure of apatite content controlled by landform and parent material. The content of P in the non-adsorbed-fraction was affected by application of P fertilizer in addition to landform and parent material. Calcium-type P is a predominant form of the non-adsorbed-fraction and was estimated to be an index of P fertility of upland soils in the northeastern part of China.