



UDK: 631.452

Abdunabi BOIROV,

Tuproqshunoslik va agrokimyoviy tadqiqotlar instituti yetakchi ilmiy xodimi, q.x.f.n

E-mail: abdunabi.bairov@gmail.com

Shuxrat JURAYEV,

Tuproqshunoslik va agrokimyoviy tadqiqotlar instituti katta ilmiy xodimi, b.f.f.d

Otabek XOLMATOV,

Tuproqshunoslik va agrokimyoviy tadqiqotlar instituti kichik ilmiy xodimi

Guliston davlat universiteti professori, b.f.d Sh.Turdimetov taqrizi ostida

THE EFFECT OF LONG TERM APPLICATION OF MINERAL AND ORGANIC FERTILIZERS ON AGROCHEMICAL PROPERTIES AND PHOSPHORUS STATE OF IRRIGATED TYPICALSEROZEM

Annotation

The article presents data on the influence of mineral fertilizers and manure on the agrochemical properties of the soil, the content of labile, moderately labile and stable fractions of inorganic and organic phosphates in a long-term experiment on irrigated typical serozem soil, established by the Institute of Cotton Growing in 1926. The studies used generally accepted methods of chemical analysis, as well as the Hadley method, which allows one to determine the content of inorganic and organic phosphates in the soil. The results of the study showed that over 96 years of experiment (1926-2022) in variants with mineral fertilizers ($N_{250}P_{175}K_{125}$ kg/ha) and 30 t/ha of manure + 25 kg/ha P_2O_5 , the content of humus, nitrogen, phosphorus and potassium in the soil was significantly increased. At the same time, an increase in the absorption capacity of the soil and an increase in the content of calcium and potassium in the composition of the absorbed bases were observed. Under the influence of mineral fertilizers, especially manure, the share of organic phosphorus in total soil phosphorus increased significantly. Moreover, in these variants, an increase in the content of all fractions was observed, especially the fractions of labile phosphorus compounds.

Keywords: irrigated typical serozem, mineral and organic fertilizers, humus, basic plant nutrition elements, fractional composition of phosphates.

ВЛИЯНИЕ МНОГОЛЕТНЕГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ФОСФОРНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРОШАЕМОГО ТИПИЧНОГО СЕРОЗЕМА

Аннотация

В статье представлены данные о влиянии минеральных удобрений и навоза на агрохимические свойства почвы, содержания лабильных, умеренно лабильных и стабильных фракций неорганических и органических фосфатов в многолетнем опыте на орошаемом типичном сероземе, заложенного Институтом Хлопководства в 1926 году. В исследованиях использовались общепринятые методы химического анализа, а также метод Хедли, позволяющий определить содержание неорганических и органических фосфатов почвы. Результаты исследования показали, что за 96 лет эксперимента (1926-2022 гг.) в вариантах с минеральными удобрениями ($N_{250}P_{175}K_{125}$ кг/га) и 30 т/га навоза+25 кг/га P_2O_5 содержание гумуса, азота, фосфора и калия в почве значительно увеличилось. В то же время наблюдалось увеличение емкости поглощения почвы и повышение содержания кальция и калия в составе поглощенных оснований. Под влиянием минеральных удобрений, особенно навоза, доля органического фосфора в общем фосфоре почвы значительно увеличилась. При этом в этих вариантах наблюдалось увеличение содержания всех фракций, особенно фракций лабильных соединений фосфора.

Ключевые слова: орошаемый типичный серозем, минеральные и органические удобрения, гумус, основные элементы питания растений, фракционный состав фосфатов.

KO'P YILLAR DAVOMIDA MINERAL VA ORGANIK O'G'ITLARNI QO'LLASHNING SUG'ORILADIGAN TIPIK BO'Z TUPROQLARNING AGROKIMYOVIY XOSSALARI VA FOSFORLI HOLATIGA TA'SIRI

Annotatsiya

Maqolada Paxtachilik instituti tomonidan sug'oriladigan tipik bo'z tuproqlarda 1926 yilda qo'yilgan ko'p yillik tajribada mineral o'g'itlar va go'ngining tuproqning agrokimyoviy xossalari hamda fosforning noorganik va organik shakllardagi labil, o'rtacha labil va stabil fraksiyalari miqdorlariga ta'sirini ko'rsatuvchi ma'lumotlar keltirilgan. Tadqiqotlarda umumqabul qilingan kimyoviy tahlillar usullari hamda tuproq noorganik va organik fosfatlarining fraksiyaviy tarkibini aniqlash imkoniyatini beruvchi Hedley usuli qo'llanildi. Tadqiqot natijalari ko'rsatishicha tajribaning 96 yilida (1926-2022 yy.) mineral o'g'itlar ($N_{250}P_{175}K_{125}$ kg/ga) va 30 t/ga go'ng+25 kg/ga P_2O_5 variantlari tuproqda gumus, azot, fosfor va kaliy miqdorlari nazoratga nisbatan sezilarli darajada ko'paygan. Shu bilan birga tuproq singdirish sig'imi oshishi va singdirilgan asoslar tarkibida kalsiy va kaliy miqdorlarining ko'payishi aniqlandi. Mineral o'g'itlar, ayniqsa go'ng ta'sirida tuproq umumiy fosfori tarkibida organik fosforning ulushi oshgan. Bunda, noorganik va organik fosforning barcha fraksiyalari, ayniqsa labil fraksiyalari miqdori ko'payishi kuzatildi.

Kalit so'zlar: sug'oriladigan tipik bo'z tuproq, mineral va organik o'g'itlar, gumus, asosiy oziqa elementlari, fosfatlarining fraksiyaviy tarkibi.

Kirish. 2022–2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida «Qishloq xo'jaligini ilmiy asosda intensiv rivojlantirish orqali dehqon va fermerlar daromadini kamida 2 baravar oshirish, qishloq xo'jaligining yillik o'sishini kamida 5 foizga yetkazish» maqsad qilib olingan bo'lib, mazkur maqsadga erishish uchun «Tuproq unumdorligini oshirish va muhofaza qilish» [1] asosiy ustuvor yo'nalishlardan biri sifatida belgilab berilgan. Bu yo'nalishdatuproq unumdorligini saqlash va qishloq xo'jaligi ekinlaridan rejalashtirilgan hosilni olish uchun mineral va organik o'g'itlar va boshqa turli agrotexnik tadbirlar qo'llash natijasida tuproqning agrokimyoviy xossa va xususiyatlari, jumladan fosforli holatida yuz berayotgan o'zgarishlarni aniqlash asosida bu jarayonlarni ijobiy boshqarish yo'llarini ishlab chiqish dolzarb masala hisoblanadi.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. Tuproqda kechadigan biologik va kimyoviy jarayonlar fosforli o'g'itlar samaradorligiga ta'sir qiladi. Natijada, o'g'itlar fosforining samaradorligi 15-25 %ni tashkil etadi [1]. Ca dominantlikka ega bo'lgan neytral va ishqoriy (karbonatli) tuproqlarda eruvchi fosfor qo'llanilishi birinchi navbatda dikalsiy fosfat digidratining ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) cho'kishiga olib keladi va u vaqt o'tishi bilan asta-sekin boshqa barqaror, kam eriydigi kalsiy fosfatlariga aylanadi [2]. Shu sababli fosforning fiksatsiyasini kamaytirish va hosildorlikni oshirish uchun ekinlarga muvozanatli o'g'itlash tizimlarini qo'llash tavsiya etiladi [3].

Fosfor fraksiyalari to'g'risidagi ma'lumotlar tuproqning fosforli holatini baholash va uning kimyoviy xususiyatlarini tushinish uchun zarur [4]. Bu borada Hedley va b. ning fosforli ketma-ket fraksiyalash usuli tuproq tabiiy fosfori va qo'llanilgan fosfor taqdirini o'rganishda foydali yondashish bo'lib, u fosforli o'g'itlarni qo'llash va uni boshqarish maqsadida tegishli foydalanish va boshqarish konsepsiyalarini qabul qilishni ta'minlaydi [5].

Fosforning uzoq muddatli qo'llanilishi labil bo'lmagan fosforqa qaraganda labil va o'rtacha labil fosfor miqdoriga ko'proq hissa qo'shadi [6]. Tuproq fosforining o'zlashtiriluvchanligini oshirishda sifatli organik o'g'itlar noorganik fosforqa tenglashishi yoki yanada samaraliroq bo'lishi mumkin [7].

Wang Qiong va b. ning Xitoy qora tuprog'ida 29 yillik tajribada NPK + go'ng qo'llash tuproqning turli qatlamlarida umumiy fosfor miqdorini 0,6-1,6 barobar ko'paytirgan, harakatchan fosfor miqdori (Olsen usuli) 50,6 mg/kg ni tashkil etib, tuproqdagi ekologik chegarasidan ancha yuqori bo'lgan. Fosforning labil va o'rtacha labil hamda suyultirilgan HCl noorganik fosfor fraksiyalari miqdori NPK variantiga nisbatan ko'p bo'lgan. Bunga go'ng tuproqda fosfor fiksatsiyasini kamaytirib, nolabil fosfor shakllarining labil shakllarga transformatsiyasiga hissa qo'shishi hisobiga erishilgan. Bu holat go'ng qo'llash fosforli mineral o'g'itlarga talabni kamaytirishga va atrof muhitning ifloslanishining oldini olishga xizmat qilishini ko'rsatadi [8].

Rafael De Souza Nunes va b. ning Braziliyaning Rhodic Ferralsol (Oxisol) og'ir mexanik tarkibli kam fosfor tutuvchi tuprog'ida 17 yil davomida soya va makkajo'xori yetishtirishda tuproqqa an'anaviy va No-till ishlov berish turlari va 35 kg/ga me'yorida turli fosforli o'g'itlar qo'llashning fosfor fraksiyalariga ta'siri o'rganilganda No-till ishlov berish an'anaviy ishlov berishga nisbatan noorganik fosforning labil fraksiyalari hamda agregatsiya natijasida himoyalangan organik fosfor fraksiyasining ko'proq to'planishiga olib kelgan [9].

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqotlar Paxta seleksiyasi, urug'chiligi va yetishtirish texnologiyalari ilmiy tadqiqot instituti tomonidan eskidan sug'oriladigan tipik bo'z tuproqda 1926 yilda qo'yilgan ko'p yillik tajriba maydonida bajarildi. Tajribaning nazorat, $\text{N}_{250}\text{P}_{175}\text{K}_{125}$ kg/ga me'yorlarida qo'llanilgan va 30 t/ga go'ng+25 kg/ga P_2O_5 qo'llanilgan variantlaridan tuproq namunalari olindi. Tuproq namunalari gumus miqdori Tyurin bo'yicha, singdirilgan asoslar Pfeffer usulida, umumiy azot Keldal usulida, harakatchan fosfor va kiliy Machigin usulida aniqlandi, tuproq umumiy fosfori, norganik va organik fosfatlarining fraksiyaviy tarkibi Hedley uslubining Tiessen, H., Moir, J. Modifikatsiyasida [10] aniqlandi.

Tahlil va natijalar Tajriba maydoni tuprog'i og'ir qumoqdan iborat bo'lib, fizik loy miqdori haydalma qatlamda 45,7 %ni tashkil qiladi. Tajribaning 96 yili - 2022 yilda nazorat variantining haydalma qatlamida gumus miqdori 1,034 %, mineral o'g'itlar $\text{N}_{250}\text{P}_{175}\text{K}_{125}$ kg/ga me'yorlarida qo'llanilganda 1,79 %, 30 t/ga go'ng+25 kg/ga P_2O_5 variantida 2,301 % ni tashkil etdi (1-jadval).

1-jadval. Ko'p yillik tajribada tuproq agrokimyoviy ko'rsatkichlarining o'zgarishlari

Variantlar	Chuqurlik, sm	Gumus, %	Karbo-natlar (CO_2), %	N umum., %	K ₂ O umum., %	K ₂ O almash., mg/kg	P ₂ O ₅ umum., %	P ₂ O ₅ harakat., mg/kg
Nazorat	0-30	1,034	7,10	0,071	0,9	240	0,225	19,2
	30-50	0,759	7,15	0,074	0,9	211	0,20	8,4
	50-70	0,759	7,19	0,071	1,0	163	0,175	2
	70-90	0,716	7,18	0,072	1,0	144	0,17	2
	90-110	0,503	7,50	0,053	0,9	144	0,155	2
	110-130	0,507	9,15	0,043	0,9	105	0,14	6
	130-150	0,345	9,49	0,038	0,8	100	0,14	7,2
$\text{N}_{250}\text{P}_{175}\text{K}_{125}$	0-30	1,079	6,92	0,110	0,9	430	0,33	41,2
	30-50	0,778	7,09	0,057	1,0	275	0,205	12,8
	50-70	0,696	6,73	0,046	1,1	240	0,180	4,8
	70-90	0,654	7,11	0,068	1,1	168	0,175	11,6
	90-110	0,639	6,52	0,074	1,0	144	0,18	15,2
	110-130	0,488	8,37	0,069	1,0	134	0,155	5,6
	130-150	0,371	9,32	0,056	0,9	112	0,14	6
30 t/ga go'ng+25 kg/ga P_2O_5	0-30	2,301	4,32	0,157	0,9	850	0,365	152
	30-50	1,214	7,06	0,100	1,0	980	0,29	115,2
	50-70	0,800	6,75	0,067	1,0	134	0,2	59,2
	70-90	0,617	6,62	0,050	1,1	192	0,18	25,6
	90-110	0,617	6,82	0,064	1,1	199	0,15	11,2
	110-130	0,605	7,71	0,050	1,0	134	0,155	6
	130-150	0,443	7,89	0,050	1,0	96	0,14	5,2

Umumiy azot nazorat variantidagida 0,071%, $\text{N}_{250}\text{P}_{175}\text{K}_{125}$ kg/ga variantida 0,110 %, 30 t/ga go'ng+25 kg/ga P_2O_5 variantida 0,157 %ni tashkil etdi. Umumiy fosfor miqdori nazoratda 0,225 %, $\text{N}_{250}\text{P}_{175}\text{K}_{125}$ kg/ga variantida 0,33%, 30 t/ga go'ng+25 kg/ga P_2O_5 variantida 0,365% ni tashkil etdi. Tajriba maydoni nazorat variantining haydalma qatlami harakatchan

fosfor bilan kam ta'minlangan (19,2 mg/kg), almashinuvchi kaliy bilan o'rtacha ta'minlangan (240 mg/kg). $N_{250}P_{175}K_{125}$ kg/ga variantida harakatchan fosfor 41,2 mg/kg, almashinuvchi kaliy 430 mg/kg ni tashkil etib, nazoratga nisbatan qariyb 2 barobar oshgan. 30 t/ga go'ng+25 kg/ga P_2O_5 variantida harakatchan fosfor 152 mg/kg, almashinuvchi kaliy 850 mg/kg ni tashkil etib, nazoratga nisbatan bir necha marta oshgan.

Tajriba tuprog'ida singdirilgan asoslar tarkibida Ca ustunlik qilib umumiy summaning 73-75 % ni tashkil etdi. Kationlar singdirish sig'imi 30 t/ga go'ng+25 kg/ga P_2O_5 qo'llanilganda 16,25 mg-ekv/100 g ni tashkil etib, nazorat (14,23 mg-ekv/100 g) va faqat mineral o'g'itlar qo'llanilgan (15,28 mg-ekv/100g) variantlarga nisbatan sezilarli darajada oshgan.

Tuproq mineral va organik fosfatlarining fraksiyaviy tarkibi. Tadqiqotlar natijalarining ko'rsatishicha tuproqlarga ko'p yillar davomida mineral va organik o'g'itlar qo'llash ularning fosfatli holatiga ta'sir qiladi. Xususan, o'g'itlar qo'llanilmagan nazorat variantining haydalma qatlamida umumiy fosfor miqdori 1824,6 mg/kg ni tashkil etgan holda, mineral o'g'itlar $N_{250}P_{175}K_{125}$ kg/ga me'yorlarida qo'llanilganda 2034,5 mg/kg, 30 t/ga go'ng+25 kg/ga P_2O_5 variantida esa 2464,0 mg/kg dan iborat bo'ldi. Ya'ni mineral o'g'itlar, ayniqsa organik o'g'it go'ng qo'llash tuproqda umumiy fosfor miqdorining oshishiga olib kelgan. Organik fosforning umumiy fosfordagi ulushlari ham katta o'zgarishlarga uchragan. Nazorat variantida organik fosforning umumiy fosfordagi ulushi 13,9 % ni tashkil etgan holda, faqat mineral o'g'itlar qo'llanilgan variantda 16,6 %, go'ng qo'llanilgan variantda esa 23,6 % ni tashkil etib, nazoratga nisbatan sezilarli darajada oshgan.

Noorganik va organik fosforning fraksiyalar bo'yicha taqsimlanishida ham mineral va organik o'g'itlarning kuchli ta'siri namoyon bo'ldi. Xususan, barcha variantlarning haydov qatlamida barqaror fosfor (kalsiy bilan bog'langan fosfor (HCl 1 mol) + rekalsitrant P - HCl kons. + qoldiq P - H_2SO_4 / H_2O_2) miqdori labil fosfor miqdoridan bir necha marta ko'p ekanligi kuzatildi (2-jadval).

2-jadval. Ko'p yillik tajriba tuprog'i mineral va organik fosfatlarining fraksiyaviy tarkibi, mg/kg

Variantlar	Chuqur-lik, sm	P (mg/kg)									Frak-siyalar summasi, mg/kg	Organik frak-siyalar,%
		Juda labil (H_2O)		Labil ($NaHCO_3$)		O'rtacha labil ($NaOH$)		Stabil (barqaror)				
		Pi*	Pi	Po*	Pi	Po	HCl 1 mol.	HCl kons.	H_2SO_4 / H_2O_2	P		
Nazorat (o'g'itsiz)	0-30	4	36	12	36,8	119,2	442,6	81,2	102,8	970	1804,6	12,97
	30-50	3,2	15	36,2	29,6	198,4	358,6	71,2	112,8	970	1795	19,35
	50-70	3,2	3,2	19,2	25,2	114,8	328	70,8	125,2	1000	1689,6	15,34
	70-90	2,4	3,2	16	27,6	112,4	310,6	64,8	107,2	950	1594,2	14,78
	90-110	3	7,2	0,8	20,8	79,2	312	74,8	125,2	960	1581,4	12,87
	110-130	2,4	9,6	22,4	19,6	80,4	306,6	67,6	108,4	910	1527	13,83
	130-150	2,4	5,6	26,4	16,8	71,2	300	67,2	108,8	860	1458,4	14,15
N-250 P_2O_5 -175 K_2O -125	0-30	7,2	60	56	57,6	130,4	545,3	104,4	139,6	910	2010,5	16,21
	30-50	4	28,5	19,5	42,8	129,2	362,6	77,6	134,4	920	1718,6	16,47
	50-70	3	8	20	32,4	123,6	318,6	69,6	118,4	920	1613,6	16,24
	70-90	3,2	9	3,8	32	112	281,3	76,8	119,2	1000	1637,3	14,35
	90-110	3	8	4,8	29,2	82,8	322,6	84,8	119,2	860	1514,4	13,66
	110-130	2	7,2	5,6	27,6	84,4	317,3	73,2	114,8	980	1612,1	12,70
	130-150	3,5	5,6	26,4	19,6	68,4	314,6	75,2	96,8	970	1580,1	12,13
30 t/ga go'ng+25 kg/ga P_2O_5	0-30	28	65	247	86	194	520	116,4	151,6	1080	2488	23,82
	30-50	25	52	196	94	166	434,6	94	130	970	2161,6	22,76
	50-70	14	46	80	80	168	361,3	76,8	111,2	1020	1957,3	18,35
	70-90	6,5	26	50	46	122	314,6	80,4	107,6	1010	1763,1	15,86
	90-110	3,6	29	55	38	102	229,3	84	120	850	1510,9	18,33
	110-130	3	14,5	23,9	32,5	83,5	316	88,4	107,6	900	1569,4	13,70
	130-150	2,4	12	30	27	65	442,6	84,8	115,2	980	1627	12,92

* - Pi- noorganik fosfor, Po - organik fosfor

Labil ($NaHCO_3$) hamda temir va alyuminiy oksidlari bilan bog'langan o'rtacha labil ($NaOH$) fosfor miqdorlari ham o'g'itlangan variantlarda nazoratga nisbatan sezilarli darajada ko'paygan. Shu bilan birga ushbu fraksiyalardagi organik fosfor miqdori noorganik fosfor miqdoridan sezilarli darajada oshganligi, ayniqsa go'ng qo'llanilgan variantda bir necha barobar ko'pligi aniqlandi.

Juda labil fosfor fraksiyasi (H_2O) ning nazorat variantida miqdori 4 mg/kg ni tashkil etgan holda, mineral o'g'itlar qo'llanilgan variantda 7,2 mg/kg ni, organik o'g'it qo'llanilgan variantda esa 28 mg/kg ni tashkil etdi. Bu holat har yili 30 t/ga go'ng+25 kg/ga P_2O_5 qo'llanilganda juda labil (28 mg/kg) va labil (312 mg/kg) fosfor miqdorlari keskin ko'payishiga olib kelib, ularning tuproqdan yuvilishi va atrof-muhitni ifloslantirishi ehtimoli kuchayishini ko'rsatadi.

Xulosa va takliflar. Sug'oriladigan tipik bo'z tuproqlarda ko'p yillar davomida mineral va organik o'g'itlarni qo'llash ular tarkibida gumus va asosiy oziqa elementlari miqdorlari oshishiga olib keladi hamda tuproqning singdirish sig'imi oshirib, singdirish kompleksida kalsiy va kaliy miqdorlarini ko'paytiradi.

Tuproq fosforining asosiy qismi barqaror birikmalar tarkibida saqlanadi. Fosforning labil shakllari esa nisbatan juda kam miqdorni tashkil etadi. Ayni paytda ko'p yillar davomida mineral o'g'itlar, ayniqsa organik o'g'it go'ng qo'llanilganda tuproqda organik fosfor miqdori hamda juda labil va o'rtacha labil fosfatlar miqdori sezilarli darajada ko'payadi.

ADABIYOTLAR

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022–2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги Фармони
2. Иванов А.И. Фосфатный режим и превращение фосфорных удобрений в орошаемых светлых сероземах предгорной равнины Заилийского Алатау. автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 1984. -20 с.
3. Mardamootoo T., du Preez C. C. and Barnard J. H. (2021) Phosphorus management issues for crop production: A review Afr. J. Agric. Res. Vol. 17(7), pp. 939-952. DOI: 10.5897/AJAR2020.15205.
4. Mohsin Mahmood, Yi Tian, Qingxia Ma, Waqas Ahmed, Sajid Mehmood, Xiaoli Hui and Zhaohui Wang (2020) Changes in Phosphorus Fractions and Its Availability Status in Relation to Long Term P Fertilization in Loess Plateau of China Agronomy 2020, 10, 1818; pp: 1-16. doi:10.3390/agronomy10111818.
5. Adhami E., Owliaie H.R., Molavi R., Rezaei Rashti M., Esfandbod M. Effects of soil properties on phosphorus fractions in subtropical soils of Iran Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2013, 13(1), 11-21.

6. Negassa Wakene and Peter Leinweber How does the Hedley sequential phosphorus fractionation reflect impacts of land use and management on soil phosphorus: A review *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2009, 172, 305–325 DOI:10.1002/jpln.20080022.
7. Chad J. Penn and James J. Camberato A Critical Review on Soil Chemical Processes that Control How Soil pH Affects Phosphorus Availability to Plants *Agriculture* 2019, 9, 120; doi:10.3390/agriculture9060120 www.mdpi.com/journal/agriculture.
8. Generose Nziguheba, Cheryl A. Palm, Roland J. Buresh & Paul C. Smithson Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources *Plant and Soil* volume 198, pages 159–168 (1998).
9. WANG Qiong, QIN Zhen-han, ZHANG Wei-wei, CHEN Yan-hua, ZHU Ping, PENG Chang, WANG Le, ZHANG Shu-xiang, Gilles COLINET. Effect of long-term fertilization on phosphorus fractions in different soil layers and their quantitative relationships with soil properties. *Journal of Integrative Agriculture* 2022, 21(9): 2720–2733. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>). doi: 10.1016/j.jia.2022.07.018.
10. Nunes RS, de Sousa DMG, Goedert WJ, de Oliveira LEZ, Pavinato PS and Pinheiro TD (2020) Distribution of Soil Phosphorus Fractions as a Function of Long-Term Soil Tillage and Phosphate Fertilization Management. *Front. Earth Sci.* 8:350. doi: 10.3389/feart.2020.00350.
11. Tiessen H., Moir J.O. Characterization of Available P by Sequential Extraction. *Soil sampling and methods of analysis* / by M.R. Carter and E.G. Gregorich. - 2nd ed (2006). Chapter 25, pp. 293-306.