

ЕМИЛИЯ АТАНАСОВА*, ИРЕНА АТАНАСОВА, ЦЕЦКА СИМЕОНОВА, ЛЮБА НЕНОВА,
МЕТОДИ ТЕОХАРОВ, МАРИЕЛА СТОЙКОВА

Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Н. Пушкиarov”, София

*E-mail: emi_atanasova@abv.bg

Оценка на хранителния статус на рукола (*Eruca sativa*) в техногенно повлияни почви

*Assessment of the Nutritional Status of Rocket Salad (*Eruca sativa*) in Technogenically Affected Soils*

E. Atanasova, I. Atanassova, Ts. Simeonova, L. Nenova, M. Teoharov, M. Stoikova
N. Poushkarov Institute of Soil Science, Agrotechnologies and Plant Protection, Sofia, Bulgaria*

Abstract

Studied are Cinnamonic Forest soils and weakly developed soils (Regosols), technogenically affected by heavy metals, granulated and ungranulated coke powder from the industrial zone of Kremikovtzi metallurgical plant, as well as a natural Leached Cinnamonic Forest soil from the village of Seslavtzi, Sofia region. The technogenically affected soils are characterized by slightly alkaline pH, weak availability of nitrogen, very weak of phosphorous and normal of potassium. Organic matter content in these soils is high, 5.2%, 11.8% and 17.5% due to the coke additives. With the four soils a greenhouse experiment was set up with rocket salad (*Eruca sativa* Mill) as a test plant. In two of the variants, the soils were additionally contaminated with copper, 500 and 1000 mg/kg. On the three technogenically affected soils the yields are several times lower than on the control soil. There is a tendency of a decrease of the rocket salad yield with adding copper in all the soils, except in the technogenically affected leached Cinnamonic Forest soil (Profile 7). Phosphorous content in plants in the technogenically affected soils is lower than in the control soil and decreases in the variants with copper addition. Higher sodium contents in these soils are also observed in all the variants excluding the control soil. Pollution with copper has a different effect on the macroelement status in the natural Cinnamonic Forest soil and the weakly developed technogenically affected soils.

Key words: technogenically affected soils, macroelements, copper, *Eruca sativa*, coal, coke

Много човешки дейности като индустриални производства, минно дело, отделяне на големи количества отпадъци и др., причиняват замърсяване на почвата с тежки метали. Характерно за тежките метали е, че те предизвикват токсични ефекти в растенията в ниски концентрации в сравнение с тези на макроелементите. Руколата е известна като

растение, което извлича метали от почвата (Saleh, 2001, Filho et al., 2011). Както и при други култури, цялата надземна част се използва за храна от човека. В последните години това растение придоби популярност в нашата страна поради своите ценни хранителни качества. За разлика от другите листни зеленчуци, листата на руколата съдържат

ненаситени омега-3 мастни киселини, които обикновено са компонент на ядките. Руколата е отглеждана в България преди около 30 години, а дивата форма (*Sisymbrium officinale* L.) се среща в нашата флора. Тя е култура с кратък биологичен цикъл, бързо натрупва листна маса и извлича хранителни вещества от почвата – главно азот и калий. Някои автори препоръчват азотно торене с норми, не по-високи от 10 kg/da, поради натрупване на нитрати (до 4000 mg.kg⁻¹ свежа маса) (Bianco et al., 1997). Според Регламент (ЕС) № 1258/2011 г. максималните допустими количества нитрати в листата от рукола са 7000 mg.kg⁻¹. Редица автори изследват различни параметри при отглеждане на руколата на замърсени с различни замърсители (тежки метали, градски отпадъци) почви. При прилагане на вермикомпост от градски отпадъци е установено увеличение на съдържанието на мед и кадмий и намаление на съдържанието на манган в руколата (Filho et al., 2011). Saleh (2001) установява, че руколата и репичките имат поведение на хиперакумулатори. При увеличаване на количествата на кадмий и олово в почвата се наблюдава увеличение на постъпването на тези елементи в растенията без проявление на токсични ефекти, а се увеличава биомасата, хлорофилното съдържание и някои ензимни активности. В изследвания на Zhi et al. (2015) е установено, че руколата е толерантна или умерено толерантна към Cu, Hg, Cr, и Cd и силно толерантна към Pb, Ni и Zn, и може да се използва като индустриална маслодайна култура при замърсени с тежки метали почви.

Азотът и калият са основни хранителни елементи, които се поглъщат в големи количества в сравнение с другите елементи. Те са необходими на растенията за формиране на биомасата и за нормално протичане на основните процеси на метаболизма. Важно условие за усвояването на азота е и добрата запасеност на почвата с калий и фосфор.

Целта на изследването беше да се установи ефектът на въздействието на техногенно повлияни почви с физикохимични характеристики, благоприятстващи фиксацията на тежките метали при допълнително замърсяване с мед върху натрупването на биомаса и

макроелементи в надземните части на широколистна рукола (*Eruca sativa* Mill).

Материал и методи

Обект на изследване са три почви от индустриалната зона на металургичния комбинат „Кремиковци“. Изследвани са излужена Канелена горска почва и слаборазвити почви (Регосоли), техногенно повлияни от тежки метали и гранулиран и негранулиран коксов прах. Като контрола е взета естествена излужена Канелена горска почва от землището на с. Сеславци, разположено в близост до комбината.

Морфологично описание на почвите:

Профил № 6. Техногенно повлияна почва, Регосол; Разположен е непосредствено до въглищна кула и комин на 4-та коксова батарея. Около профила са разпръснати въглища и скрап. Растителността е слабо развита, представена от пелин, мак и на някои места едногодишни тополи. Почвеният профил е със строеж ACf – aCf – C1 – C2 – C3. Цветът на хоризонт ACf е 10YR 5/6 – светлопепеляв. В горните хоризонти до 110 cm се открояват тъмни петна от замърсяване. В почти всички хоризонти почвата е разпрасана и безструктурна.

Профил № 7. Техногенно повлияна излужена Канелена горска почва; Разположен е до басейн на въглеподготвителен цех и в близост до силози, в които се складират въглища. Растителността е много рядка – пелин и едногодишни тополи. Почвата е с техногенен надповърхностен слой от въглищен прах. Строежът на почвения профил е A – AB1 – B1 – B(C) – C. Хоризонт A е с тъмнокафяв до червен цвят – 5YR 5/6, разпрасана до дребнобучковидна структура. Отсъства биогенност.

Профил № 8. Техногенно повлияна почва, Регосол. Разположен е на най-голяма надморска височина в близост до Коксохим – катран и катранодестилационен цех. Замърсяването е от катран, катранени фуси и ароматни въгледороди. Растителност няма. Строежът на почвения профил е AC_{I^{нл.}} – AC_{II^{нл.}} – AC_{III^{нл.}} – AC_{IV^{нл.}}. Хоризонт AC_{I^{нл.}} е с ръждивопепелен цвят, частична нездрава зърнесто-троховидна структура и забележим преход към следващия хоризонт.

Профил № 13. Излужена Канелена горска почва (контрола); Разположен е в землището на с. Сеславци, на юг от селото, на 1-2 km север-северозападно от площадката на комбинат „Кремиковци“. Почвата е Канелена горска с нормално развит профил, добре изградени структурни агрегати и тотално ожелезяване. Строежът на профила е А1 – АВ – В1 – В2 – В3 – ВС – С. Хоризонт А1 е с тъмноръждивокафяв цвят, сух и уплътнен, със смесена структура – разпрашена, дребно до едрозърнеста и бучковидна. Срещат се неизветрени първични минерали (отделни тъмни петна) и единични скални фрагменти с размер от 0,1 – 5 cm.

С четирите изследвани почви – една контролна и три техногенно повлияни беше заложен съдов вегетационен опит във вегетационната къща на ИПАЗР „Н. Пушкиров“. Опитът е проведен в 12 варианта. Първите 4 варианта са без допълнително добавена мед, при варианти 5 ÷ 8 е добавена мед под формата на меден ацетат в количество 500 mg/kg почва, а във варианти 9 ÷ 12 добавената мед е в количество 1000 mg/kg почва. След компостиране със замърсителя в продължение на 30 дни са засадени опитните растения – широколистна рукола (*Eruca sativa* Mill), в съдове от по 1 kg – във всеки съд по три растения. Всички варианти са заложиени в три повторения. Азот, фосфор, калий са внесени като фон във всички варианти в следните количества: азот – 300 mg/kg, фосфор – 300 mg/kg и калий – 150 mg/kg почва. Растенията са отглеждани в продължение на 30 дни, след което е отчетен добивът в свежа биомаса. Отчетени са следните показатели в суха маса: азот – по метода на Келдал, фосфор – по ацетато-лактатния метод на П. Иванов (1986), калий и натрий – на пламъчен фотометър, калций и магнезий – на атомноабсорбционен спектрометър “Perkin Elmer” (Page et al., 1982). Анализите на почвите са извършени по следните методики: механичен състав – пипетен метод по Качинский (1958); хумус – чрез окисляване – по Тюрин (Кононова, 1963); карбонати – по Шайблер (Пенков и др., 1981); рН – потенциометрично в H₂O и KCl; мин. N – модифициран метод на Бремнер и Киней (Bremner, 1965); P₂O₅ и K₂O – метод на П. Иванов (Иванов, 1986).

Резултати и обсъждане

На табл. 1 са дадени стойностите за рН, съдържанието на минерален N, P, K, съдържанието на органично вещество, сорбционния капацитет и електропроводимостта на почвите. Реакцията на почвите е слабо алкална, което е предпоставка за добра фиксация и имобилизация на тежките метали. Запасеността с минерален N и P е слаба и много слаба, и с K – нормална (Нинов и др., 1975).

И в трите техногенни почви се отчита повишено съдържание на тежки метали спрямо контролната почва от района на Сеславци, но не се надвишават нивата за ПДК за индустриални терени (Наредба № 3, 2008 г.)

Добивите от растенията (g свежа биомаса), отгледани на контролната излужена Канелена почва, превишават няколко пъти добивите от техногенно повлияните почви (фиг. 1). Младите растения на техногенните почви са видимо потиснати, трудно се прихващат и преживяват продължителен период на адаптация и на формиране на коренова система. Почвата от Профил 7 – Канелена горска с техногенен надповърхностен слой от въглищен прах и високо съдържание на разтворими соли (табл. 1), оказва най-силно потискащо влияние върху растенията и при нея добивите са най-ниски, растеж почти не се наблюдава (растенията остават с размерите на засадените в разсадната фаза). При техногенните почви освен наличието на замърсители и соли влияние оказва и лошият водно-въздушен режим. Тези почви са видимо деструктурирани, което пречи на нормалния растеж на растенията.

При внасяне на допълнително количество замърсител мед (500 mg/kg) в контролната почва от Сеславци биомасата на растенията намалява (от 37,02 до 34,05 g), докато при внасяне на 1000 mg/kg количеството на биомасата е чувствително намалено – приблизително два пъти и е статистически доказано (Ненова и др., 2015).

В първия вариант без допълнително замърсяване с мед добивът на растенията от почвата от Профил 7 е най-нисък, следван от Профил 6. Растенията се развиват най-добре на техногенно повлияната почва от Профил 8 – няколко пъти превишават доби-

вите от Профил 7 (фиг. 1). Внасянето на допълнителни количества мед в почвите води до потискане на растенията и понижаване на добивите. Замърсяването с по-голямо количество мед (1000 mg/kg почва) не оказва съществено влияние и различията в добивите не са доказани. По-различна е ситуацията при растенията, отгледани върху почва от Профил 7. Тук се наблюдава дори леко увеличение на биомасата при вариантите с допълнително замърсяване, но различията не са доказани (Ненова и др., 2015). Filho et al. (2011) установяват увеличение на добива от рукола, както и увеличение на съдържанието на Cd и Cu в растенията при прилагане на вермикомпост от градски отпадъци, докато Karimi et al. (2013) установяват значително намаление на добива и промени в постъпването на макроелементите при бакла и полски синап, отгледани на замърсени с Cd, Pb и Ni почви.

Съдържанието на азот в растенията ва-

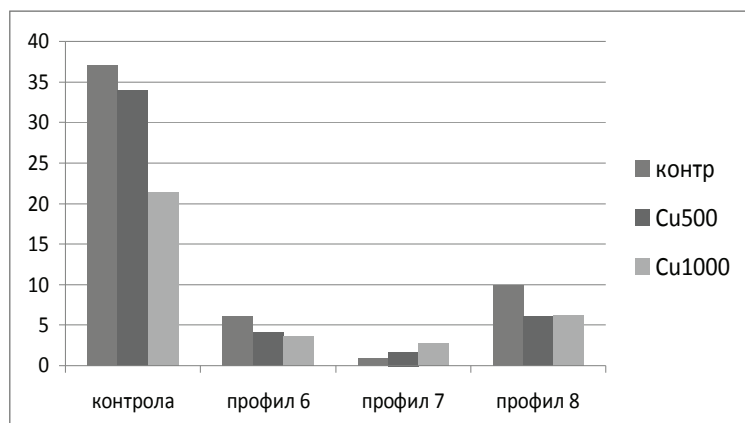
рира в широки граници в различните видове, тъкани или органи, фазата на развитие, условията на отглеждане и други фактори. Общо варирането е между 0,3 – 7% в сухата маса, като при зеленчуковите растения стойностите са по-ниски, отколкото при бобовите. Азотът и медта взаимодействат в белтъчния синтез чрез Cu-съдържащи комплекси, като растенията с високо съдържание на N обикновено показват симптоми на Cu дефицит, т. е. проявява се антагонистичен ефект между двата елемента (Kabata-Pendias, 2011). Cu^{2+} йоните участват в процесите на окисление, фотосинтезата и дишането, белтъчния и въглехидратния метаболизъм, симбиотичната N_2 фиксация, водопропускливостта и други процеси в растителния организъм (Woolhouse, Walker, 1981).

При проведения експеримент съдържанието на общ азот в листата на руколата е високо и варира между 4,06 и 5,59% в сухото вещество. Най-ниско е съдържанието в рас-

Таблица 1. Стойности на pH, съдържание на макроелементи и органично вещество в изследваните почви (дълбочина 0 – 30 cm)

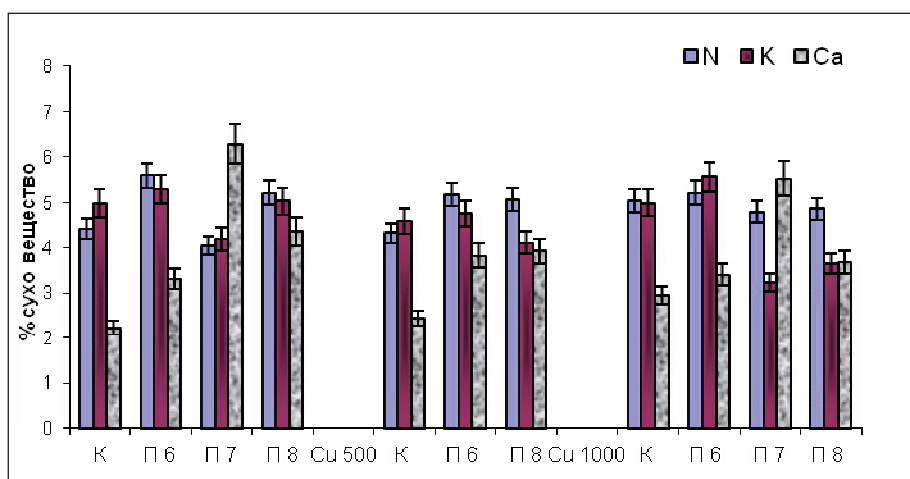
Table 1. Values pH, content of macroelements and organic matter in the studied soils (depth 0 – 30 cm)

| Почва | pH (H_2O) | ΣN NH_4^+ NO_3^- , mg/kg | P_2O_5 , mg/100 g | K_2O , mg/100 g | Органично в-во, % | CEC _{8,2} , cmol/kg | EC, mS/cm |
|----------|---------------|--|------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|--------------|
| Контрола | 6,7 | 18,4 | 2,6 | 40,4 | 2,5 | 26,9 | 0,02 |
| Профил 6 | 7,7 | 15,6 | 5,7 | 24,3 | 17,5 | 26,6 | 0,13 |
| Профил 7 | 7,7 | 20,2 | 8,0 | 25,0 | 11,8 | 26,7 | 0,19 |
| Профил 8 | 7,6 | 19,0 | 4,6 | 20,6 | 5,2 | 20,3 | 0,07 |



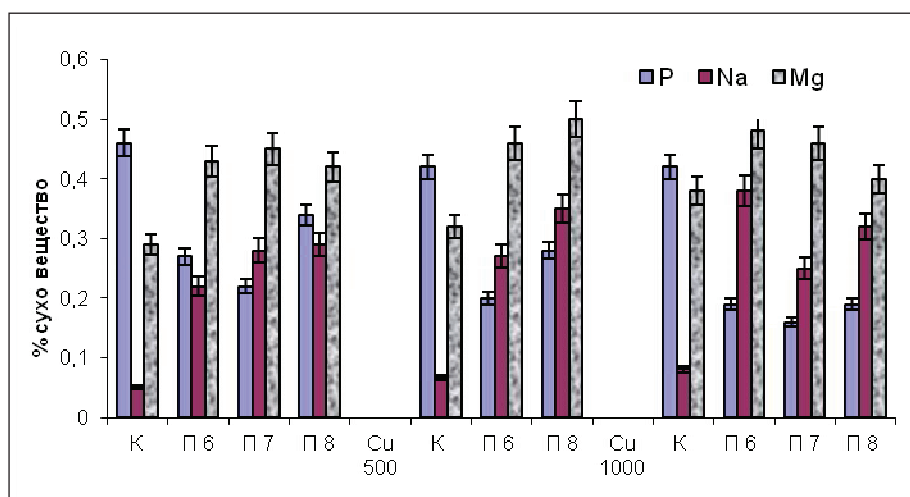
Фиг. 1. Добив от растенията – широколистна рукола (g свежа биомаса/3 растения), отгледани върху техногенно повлияни почви от индустриалната зона на Кремиковци

Fig. 1. Rocket salad yield (g of fresh biomass of 3 plants) on technogenically affected soils from the Kremikovtzi industrial zone



Фиг. 2. Съдържание на N, K и Ca (% в суха маса) в листата на рукола, отгледана на техногенно повлияни почви без и с допълнително внасяне на мед

Fig. 2. Contents of N, K and Ca (% dry biomass) in rocket salad leaves on the technogenically affected soils with and without copper addition



Фиг. 3. Съдържание на P, Na и Mg (% в суха маса) в листата на рукола, отгледана на техногенно повлияни почви без и с допълнително внасяне на Cu

Fig. 3. Contents of P, Na and Mg (% dry biomass) in the rocket salad leaves on technogenically affected soils with and without copper addition

тенията на почвата от Профил 7, а най-високо – при Профил 6. При допълнително замърсяване с мед (1000 mg/kg) отново съдържанието на азот е най-ниско в растенията на почва от Профил 7. Количеството на азота в растенията върху контролната Канелена горска почва е по-ниско от това при техногенно повлияните почви (Профили 6 и 8) при вариантите без допълнителна контаминация с мед, но при вариантите с добавена мед няма изразена тенденция.

В предишно наше изследване (Атанасова и др., 2014) при два вида незамърсени почви

(излужена Смолница и Алувиално-ливадна почва) във вегетационен опит бе установено вариране на количеството на общия азот в руколата между 5,04 и 5,66% в суха маса при варианти с минерално торене и по-ниско съдържание на азот при органично торене (2,70 – 3,68%). Nurzyńska-Wierdak (2009) в торов опит с минерално торене установява съдържание на азот между 5,57 – 5,95% в листата на рукола, т. е. съдържанието на азота при нашия експеримент е близко с установеното от други автори.

Съдържанието на фосфор в сухата маса

на различните култури (изразено като P_2O_5) не надвишава 0,5%, а в много случаи е около 0,2 – 0,3% (Mengel, 2001). Както и при азота, различията зависят от вида и органа на растението. При някои семена стойностите може да надвишават 2%. Изследваните от нас почви имат слаба запасеност с фосфор. Намалено е и съдържанието на фосфора в растенията, отгледани на техногенно повлияните почви в сравнение с контролната почва – почти два пъти (фиг. 3). Най-ниско е количеството на фосфор в растенията при варианта на техногенни почви с 1000 mg/kg добавена мед. Съдържанието на фосфор е най-ниско в растенията върху почвата от Профил 7, т. е. тук постъпването на този елемент е блокирано. Cu–P взаимодействията показват, че високи P-нива в почвата редуцират микризната абсорбция на Cu. От друга страна, високи нива Cu инхибират биодостъпността и ефективността на P (Kabata-Pendias, 2011) поради взаимодействието им в слабо разтворими фосфати.

При калия в растенията не се наблюдават особени различия в съдържанието при контролата и техногените почви с изключение на двете почви – Профили 7 и 8, замърсени допълнително с мед (1000 mg/kg), където калият е най-нисък, т. е. замърсяването с мед не повлиява калиевия режим на руколата (фиг. 2). Cu–Ca взаимодействията са комплексни и зависими от диапазона на рН при вегетацията и се проявяват като антагонистични (Kabata-Pendias, 2011). В нашето изследване не се наблюдава Cu–Ca антагонизъм в резултат от замърсяването с мед и различията в Ca-концентрация на рас-

тително ниво не са доказани. Причината за това може да се дължи на допълнителното киселяване на почвите в резултат от добавяне на Cu ацетат и намаляване на имобилизацията на калция. По-високите стойности на електропроводимостта на почвения разтвор в техногенно повлияните почви също са указание за по-високо съдържание на водоразтворими соли на Na и Ca.

Wyzkowski et al. (2009) също не установяват антагонистичен ефект, а увеличаване на съдържанието на азот, магнезий и най-вече на калций в надземните части на овес при добавяне на замърсител мед в почвата. Аналогично на калция, при техногенно повлияните почви съдържанието на стойностите на магнезия в растенията не се променя съществено при различното количество добавен замърсител. При контролната почва имаме синергичен ефект, също наблюдаван и от други автори (Kabata-Pendias, 2011). В нашите изследвания не се наблюдава понижаване на концентрацията на медта поради т. нар. „ефект на разреждане” в резултат на ускорен растеж и повишаване на добива от рукола в резултат на торенето, а обратно – фитоаккумуляционен ефект (Ненова и др., 2015).

Съществени са разликите в съдържанието на натрий в растенията, отгледани на контролната почва и техногенно повлияните почви (фиг. 3). Съдържанието на този елемент в растенията върху контролната почва е с порядък по-ниско от това на растенията върху техногенните почви, независимо от количеството добавена мед и съответства на по-високите стойности на електропроводимостта, отчетена в техногенно повлияните почви.

Заклучение

Техногенно повлияните почви от индустриалната зона на МК „Кремиковци”, замърсени с тежки метали и с коксов прах, притежават неблагоприятен водно-въздушен режим. Наблюдава се дисбаланс в храненето с макроелементи при тези почви в отсъствието и присъствието на допълнителни количества мед спрямо естествената незамърсена излужена Канелена горска почва. Установено е понижаване на добивите в техногенно повлияните почви спрямо контролата. При тях се наблюдават Cu–P антагонистични взаимодействия поради имобилизация на фосфора. Не се наблюдава Cu–Ca и Cu–Mg антагонизъм в резултат от замърсяване с мед. Високото солево съдържание в техногенно повлияните почви води до повишаване на нивата на Na и Ca в растенията.

Литература

- Атанасова, Е., П. Александрова, А. Микова.** 2013. Отглеждане на рукола при различни норми на торене и почвени условия. –В: „Теория и практика в земеделието”, 22 - 24. 11. 2013 г., Юндола.
- Иванов, П.** 1986. Нов ацетатно-лактатен метод за определяне на достъпните за растенията фосфор и калий в почвата. *Почвознание и агрохимия*, № 4, 88-98
- Ненова, Л., И. Атанасова, Ц. Симеонова, Е. Атанасова, М. Теохаров.** 2015. Подвижност и биодостъпност на тежки метали на фона на високи нива добавена мед в техногенно повлияни почви. *Почвознание агрохимия и екология*, № 1, 43-54
- Нинов, Н., М. Йолевски, П. Кукуларов.** 1975. Екологична характеристика на опитните полета на ИПА „Н. Пушкиров”, София.
- Пенков, М., Ю. Димитрова, И. Христов, Й. Козаров.** 1981. Ръководство по Почвознание. *Техника*, София, 203 с.
- Наредба № 3** от 01. 08. 2008 г. за нормите за допустимо съдържание на вредни вещества в почвите. ДВ, бр. 71.
- Качинский, Н.** 1958. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. *АН СССР*, Москва, 191 с.
- Кононова, М.** 1963. Органическое вещество почвы. Его природа, свойства и методы изучения. *АН СССР*, Москва, 314 с.
- Bianco, V., F. Voari.** 1997. Up-to-date developments on wild rocket cultivation. In: Padulosi, S., Pignone, D. (Eds.) Rocket: a mediterranean crop for the world. Report of a workshop, 13-14 dec. 1996, Legnaro (Padova), Italy. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 41-49
- Bremner, J.** 1965. Inorganic Forms of Nitrogen. In: C. A. Black et al. (Eds.). *Methods of Soil Analyses. Part 2: Chemical and Microbiological Properties.* № 9, Agronomy. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin, USA, p. 1179-1237
- Commision regulation (EU) No 1258/2011** of 2 December 2011 amending regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for nitrates in rocket.
- Filho, E., O., F. Scalize, M. Ferreira., M. Cruz.** 2011. Dry matter and heavy metal content in *Eruca sativa* L. fertilized with urban waste vermicompost.; <http://nates.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp40/2245-r.pdf>.
- Kabata-Pendias, A.** 2011. Trace elements in soils and plants. (Fourth Edition). *CRC Press*, p. 505
- Karimi, R., S. Solhi, M. Salehi, M. Solhi, H. Molahosaini.** 2013. Effects of Cd, Pb and Ni on growth and macronutrient contents of *Vicia faba* L. and *Brassica arvensis* L. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, Vol., 4 (4), 739-744
- Mengel, K., E. Kirkby.** 2001. Principles of plant nutrition. Springer, p. 13
- Nurzyńska-Wierdak, R.** 2009. Growth and yield of garden rocket (*Eruca sativa* Mill.) affected by nitrogen and potassium fertilization. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 8(4), 23-33
- Page, A., Miller R., D. Keeney.** 1982. In: *Methods of Soil Analysis, Part II. Chemical and microbiological properties*, ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA, p. 1159
- Saleh, A.** 2001. Effect of Cd and Pb on growth, certain antioxidant enzymes activity, protein profile and accumulation of Cd, Pb and Fe in *Raphanus sativus* and *Eruca sativa* seedlings. Proc. First International Conference. *Egyptian Journal of Biology*, Vol. 3, p. 131-139
- Woolhouse, H., S. Walker.** 1981. The physiological basis of copper toxicity and copper tolerance in higher plants. In: *Copper in Soils and Plants*. Lonergan, J. F., Robson, A. D., and Graham, R. D. (Eds.) *Academic Press*, New York, p. 235
- Wyszkowski, M., J. Wyszkowska, M. Radziemska.** 2009. Macroelement content in yield of oats (*Avena sativa* L.) cultivated on soils contaminated with copper, zink, tin, cobalt and manganese. *Ecological Chemistry and Engineering*, Vol. 16, 10, p. 1387-1394
- Zhi, Y., Z. Deng, M. Luo, W. Ding, Y. Hu, J. Deng, Y. Li, Y. Zhao, X. Zhang, W. Wu, B. Huang.** 2015. Influence of Heavy Metals on Seed Germination and Early Seedling Growth in *Eruca sativa* Mill. *American Journal of Plant Sciences*, 6, p. 582-590