

## **Проучване ефекта на заразата със синя китка и на микоризни инокуланти върху минералния състав на ориенталски тютюн**

**Радка Божинова**

*ССА, Институт по тютюна и тютюневите изделия, 4108, Марково*

**E-mail:** rbojinova@yahoo.com

### **Резюме**

Проучено е влиянието на инфекцията със синя китка и на микробиални инокуланти (Rhizo-Vam Basic®, Mycoplant® и Funky Fungi®) върху минералния състав на ориенталски тютюн. При условия на съдов опит са заложили осем варианта, разпределени в следните четири групи: (1) контрола; (2) вариант със зараза със синя китка; (3) варианти с микоризни инокуланти и (4) варианти със зараза със синя китка+микоризни инокуланти. Инфекцията със синя китка редуцира сухото тегло на тютюневите листа с 31,4% спрямо контролата. Установена е тенденция към понижаване концентрациите на основни хранителни елементи – P, K, Zn и Cu и отчетливо увеличаване концентрациите на Ca и Mg в листата на тютюна, заразен със синя китка. Количеството на изнесените с листата на заразения тютюн макро- и микроелементи се понижава, като най-силна е тази тенденция за съдържанията на фосфор, цинк и мед. Микробиалните препарати, съдържащи арбускуларни микоризни гъби, увеличават съдържанието на минерален азот, подвижен фосфор и калий в почвата. Микоризните инокуланти, в болшинството от случаите, увеличават концентрацията на P в листата на тютюна с 18,2%-22,7% спрямо контролата. Има повишение на N вследствие на тяхната употреба в интервала от 1,1% до 13,5%, на K – от 4,3% до 32,2% и на Zn – от 9,8% до 21,1%. Няма значим ефект от прилагането на микоризните инокуланти за предотвратяване на редуцията в биомасата на заразените с паразита растения, но частично се намаляват загубите на теглото. Прилагането им също не предотвратява изцяло понижението на основните хранителни елементи на инфектираните със синя китка растения, но подобрява минералния баланс и се отразява положително на азотното и фосфорното хранене.

**Ключови думи:** тютюн, синя китка, микробиални инокуланти, макроелементи, микроелементи, износ на елементи

# Investigation on the effect of broomrape infection and mycorrhizal inoculants on mineral composition of oriental tobacco

**Radka Bozhinova**

*Agricultural Academy, Tobacco and Tobacco Products Institute, 4108 Markovo*

**Corresponding author:** rbojinova@yahoo.com

**Citation:** Bozhinova, R. (2023). Investigation on the effect of broomrape infection and mycorrhizal inoculants on mineral composition of oriental tobacco. *Bulgarian Journal of Soil Science Agrochemistry and Ecology*, 57(3), 38-47 (Bg).

## Abstract

The influence of broomrape infection and microbial inoculants (Rhizo-Vam Basic®, Mycoplant® and Funky Fungi®) on the mineral composition of oriental tobacco was studied in a pot experiment. Eight treatments were tested, distributed in the following four groups: (1) control; (2) treatment with broomrape infection; (3) treatments with mycorrhizal inoculants and (4) treatments with broomrape+mycorrhizal inoculants. Broomrape infection reduced the dry weight of tobacco leaves by 31.4% compared to the control. A tendency towards a decrease in the concentrations of the essential nutritional elements – P, K, Zn and Cu, and a more pronounced increase in the concentrations of Ca and Mg in the leaves of tobacco infected with broomrape was found. Nutrient removal by infected tobacco leaves was also reduced, especially by removing phosphorus, zinc and copper. Microbial inoculants containing arbuscular mycorrhizal fungi increased the content of mineral nitrogen, available phosphorus and potassium in the soil. Application of mycorrhizal inoculants, in most cases, increased the phosphorus concentration in tobacco leaves - by 18.2%-22.7% compared to the control. This was associated with an improvement in N concentrations (+1.1%-13.5%), K concentrations (+4.3%-32.2%), and Zn concentrations (+9.8%-21.1%) in leaves of inoculated plants. Mycorrhizal inoculants did not prevent biomass reduction of broomrape-infected plants, but partially reduced weight losses. The application of a mycorrhizal inoculant did not completely prevent the decrease in the essential nutrient concentration in the plants infected with broomrape, but it improved the mineral balance and had a positive effect on nitrogen and phosphorus nutrition.

**Key words:** tobacco, broomrape, mycorrhizal inoculants, macronutrients, micronutrients, nutrient removal

## Въведение

Специфичен компонент на плевелните асоциации при тютюневата култура в някои райони на страната ни е паразитът синя китка, който при силна степен на зараза причинява значително редуциране на добивите. В тютюневите агроценози у нас систематично доказани са видовете *Phelipanche ramosa* (L.) Pomel и *P. mutelii* (Schultz) Pomel. Синята китка е облигатен коренов паразит, зависим от своите гостоприемници по отношение на въглехидратите, водата и минералните хранителни вещества. Балансът на минералните вещества от заразените и здрави гостоприемници дава информация за критичния хранителен елемент, който нарушава метаболизма на гостоприемника след заразяването (Ernst, 1986). Заразата със синя китка променя по различен начин концентрацията на елементите в нападнатите гостоприемници. Според Singh et al. (1971) инфекцията с *Orobanche cernua* повишава концентрацията на азот, калций и магнезий в листата на домати, което се приписва главно на забавения растеж на инфектираните растения. Съдържанието на тези елементи е много по-ниско в синята китка в сравнение с домати, което предполага по-нисък процент на транслокация от гостоприемника към паразита. Същите автори докладват за понижаване съдържанието на фосфора и калия в инфектираните растения, факт, свързан с по-високата им транслокация към паразита. Alcántara et al. (2006) установяват, че концентрациите на Ca, Mg, Mn и Zn в листата на слънчогледови растения, заразени със синя китка, са по-ниски от тези при контролните, докато разликите между тях са малки по отношение на K, P, Fe и Cu. Предполага се, че наблюдаваните промени са свързани повече с непреки ефекти чрез смущения на физиологията на гостоприемника, отколкото с директната конкуренция за минерални хранителни вещества. Един от факторите за това може да бъде намесата на паразита във водния баланс на гостоприемника. Това влияние се проявява със симптоми на воден стрес при заразените растения, които липсват

при незаразените. В листата на заразените със синя китка тютюн концентрацията на азота, фосфора и медта е без промяна в сравнение със здравите растения, докато тази на калия се понижава с 60%, а останалите елементи (Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn) се увеличават близо два пъти (Ernst, 1986).

Арбускуларните микоризни гъби (АМГ) са облигатни биотрофи. Техните спори се намират в почвата, но за да завършат жизненото си развитие се нуждаят от микоризна симбиоза с растенията. За тази цел спорите реагират на химически сигнали излъчвани от корените на растенията, които са идентифицирани като фитохормони от групата на стриголактоните (Akiyama & Hayashi, 2006). Същият клас молекули играе роля в разпознаването на гостоприемника от паразитни растения от родовете *Striga*, *Orobanche* и *Phelipanche* (Cardoso et al., 2011). Следователно АМ гъби са един от основните биотични фактори в растителните системи с паразитни растения. Колонизацията на корените с АМ гъби има потенциал за подобряване на храненето, растежа и развитието на редица култури (Rouphael et al., 2010; Farzaneh et al., 2011; Begum et al., 2019). АМГ подобряват структурата на почвата и нейното плодородие (Chen et al., 2018). Те увеличават общата абсорбционна повърхност на корените на инокулирани растения и по този начин улесняват достъпа на растенията до хранителни вещества, особено тези, чиито йони са слабо подвижни или такива, които присъстват в ниска концентрация в почвения разтвор (Smith & Read, 2010). Инокулацията с АМГ значително повишава усвояването на азот, фосфор и калий от тютюна в сравнение с неинокулираните растения (Begum et al., 2021). Ефектът от колонизацията с АМ гъби зависи от редица условия като състав на микробиялните инокуланти, растителен вид и сорт, почвени условия (Santos et al., 2008; Rouphael et al., 2010; Ortas, 2012).

Целта на настоящия експеримент беше (а) да се проучи влиянието на инфекцията със синя китка (*Phelipanche ramosa/mutelii*) върху концентрациите на макро- и микроелементи

в ориенталски тютюн; (b) да се изследва ефектът на различни микробиални инокуланти, източници на АМ гъби, върху минералния състав на тютюна и (c) да се направи оценка на промените в храненето на растенията под едновременното въздействие на двата фактора – синя китка и АМ гъби.

## Материали и методи

С цел получаване на информация за влиянието на инфекцията със синя китка и микоризата с АМ гъби върху минералния състав на ориенталски тютюн (сорт Пловдив 7) е заложен съдов опит през 2018 г. Използвани са съдове с вместимост 5 kg с Алувиално-ливадна почва (Mollic Fluvisol), със следната агрохимична характеристика: съдържание на хумус – 1,82%, на общ азот – 0,076%, умерено алкална.

Семената от паразитния вид *Phelipanche ramosa/mutellii* са внасяни в почвата по 150 mg/съд. Като източници на арбускуларни микоризни гъби са използвани три търговски микробиални продукта: Funky Fungi® (Холандия) – съдържа спори от няколко вида АМ гъби: *Entrophospora colombiana*, *Glomus etunicatum*, *G. clarum*, *Glomus spp.*; MycoPlant® (Испания) – мономикоризен, съдържа спори само от вида *G. intraradices*, клей, силициев диоксид, торф, ускорител и Rhizo-Vam Basic® (Германия) – мономикоризен, съдържа спори и хифи от *G. intraradices*, запечатани в глинени гранулки с размер 2-4 mm.

Тютюнът е разсаден през първата десетдневка на май и е отгледан без използване на минерални торове. Микробиалните продукти Rhizo-Vam Basic (5 g/съд), Mycoplant (0,5 g/съд) и Funky Fungi (1 g/съд) са внесени по време на разсаждането на дълбочина на кореновата система.

Заложени са осем варианта в три повторения:

T1 - Без синя китка, без АМГ (контрола);

T2 - Със синя китка;

T3 - Без синя китка, източник на АМ гъби: Rhizo-Vam Basic;

T4 - Със синя китка, източник на АМ гъби: Rhizo-Vam Basic;

T5 - Без синя китка, източник на АМ гъби:

Mycoplant;

T6 - Със синя китка, източник на АМ гъби: Mycoplant;

T7 - Без синя китка, източник на АМ гъби: Funky Fungi;

T8 - Със синя китка, източник на АМ гъби: Funky Fungi.

Така заложените варианти можем да отнесем към четири групи: (1) контрола; (2) вариант със зараза със синя китка; (3) варианти с микоризни инокуланти и (4) варианти със зараза със синя китка+микоризни инокуланти.

За установяване влиянието на микробиалните продукти върху свойствата на почвата е направен агрохимичен анализ на почвени проби, от вариантите без синя китка, взети през периода на бутонизация на тютюна. Определено е съдържанието на минерален азот (чрез дестилация и редукция на нитратите), подвижен фосфор (по Олсен), подвижен калий (в 2N HCl), подвижен калций и магнезий (чрез екстракция с 1M KCl). За извличане на подвижното желязо, манган, цинк и мед от почвата е използван разтвор на 0,005 M ДТРА + 0,1 M ТЕА, рН = 7,3.

Растителни проби от тютюна са анализирани за съдържание на макро- и микроелементи. Листата от всяко растение са измивани с дестилирана вода, фиксирани за 30 min при 80°C, изсушавани при 65°C до въздушно сухо състояние и претегляни. Общото съдържание на азот в тютюна е определено по Келдал, а съдържанието на фосфор, калий, калций, магнезий, желязо, манган, цинк и мед чрез сухо опепеляване на растителния материал при 500°C за 5 часа и разтваряне на пепелта в 3 M HCl. Фосфорът е определен по молибдат-ванадатния метод. Отчитането на съдържанието на K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn и Cu в почвените и растителните проби е направено чрез атомно-абсорбционен спектрометър „SpectrAA 220“ (Varian). Износът на елементите е изчислен чрез количеството суха листна маса и процентното им участие в нея.

Обработката на данните е извършена с помощта на статистическия пакет PSPP for Windows. За определяне ефекта на изследваните фактори са приложени вариационен анализ и тест за

многопосочно сравняване на резултатите по Duncan при ниво на вероятност 0,05.

## Резултати и обсъждане

### *Почвена характеристика*

Влиянието на микробиалните продукти на база АМ гъби върху агрохимичните свойства на почвата от вариантите без синя китка (Т3, Т5 и Т7) е отразено в таблица 1. Съдържанието на минерален азот нараства слабо от приложението на микробиалния продукт *Mycoplant* (с 11,0% спрямо контролата) и по-забележимо при третиране с *Funky Fungi*. Процентното увеличение при него е с 62,7% спрямо неинокулираната контрола. Въпреки отчетено повишение, съдържанието на  $N_{min}$  при този вариант също остава на ниско равнище. Под влияние на микробиалните продукти е регистрирано увеличаване в нивата на подвижния фосфор, най-силно изразено при третиране с *Mycoplant* – 31,7% спрямо контролата. Увеличението при останалите два биопродукта е с 10% под влияние на *Funky Fungi* и с 5,2% при внасяне на *Rhizo-Vam Basic*. Промените в съдържанието на подвижния калий са слаби, в посока увеличаване от порядъка на 5,5% – 6,0% при продуктите *Funky Fungi* и *Mycoplant*. Въпреки че количествата на макроелементите в почвата не са завишени практически значимо, разликите в съдържанието им под влияние на микробиалните инокуланти са в съответствие с получени резултати при други култури, за увеличаване достъпността на основните хранителни елементи в почвата (Wu et al., 2005; Lin et al., 2020). Съдържанието на подвижните калций и магнезий не се променя еднопосочно от микробиалните продукти. Подвижното Fe в почвата се повишава от порядъка на 16% при внасяне на *Mycoplant* и *Funky Fungi*. Слабо нарастване в съдържанието на подвижния Mn се наблюдава при вариантите с *Rhizo-Vam Basic* и *Funky Fungi*. Увеличението на мангана при тях е между 3,6%-5,6%. Експериментиранияте варианти не са създали практически уловима диференциация на почвата по съдържанието на подвижните цинк и мед. Варирането на

подвижните форми на елементите в почвата може да се свърже както с нееднаквите изнесени количества с биомасата, така и с конкретния микробиален продукт.

Изменчивостта на съдържанието на подвижните калий, калций и манган в почвата от микоризната инокулация е слаба. Най-голямо е варирането на  $N_{min}$ , CV е съответно 27,7%.

### *Сухо тегло на листата*

Инфекцията със синя китка намалява сухото тегло на листата (фиг. 1). Отчетеното понижение при варианта със синя китка (Т2) е с 31,4% спрямо контролата. За силно редуциране (с 50%) на теглото на листата на тютюна, нападнат от синя китка съобщават също Benvenuti et al. (2004). При изследване минералното хранене на тютюн, заразен със синя китка е наблюдавано задържане на растежа с 27%-30% (Ernst, 1986).

Влиянието на микробиалните продукти върху сухото тегло на листата не е еднопосочно. Най-високо тегло е формирал тютюнът при внасяне на *Rhizo-Vam Basic* (Т3). Увеличението при този вариант е с 27,5% спрямо контролата. Положителният ефект от останалите продукти е по-малък или липсва. Mitra et al. (2019) свързват по-голямото натрупване на биомаса при инокулация с АМГ с повишената концентрация на различни макро- и микроелементи в растенията, което от своя страна води до нарастване на интензивността на фотосинтезата.

При вариантите с комбинация на двата фактора - синя китка и микробиален продукт (Т4, Т6 и Т8) редуцията на теглото е от 12,3% до 40,2%, най-малка при приложение на *Rhizo-Vam Basic*.

### *Макроелементи*

Резултатите показват, че присъствието на паразита синя китка (Т2) не променя значимо спрямо контролата съдържанието на общ N в листата (таблица 2). Подобни са резултатите, докладвани от Ernst (1986). Според някои автори необходимостта на *Orobanche* от азот е ниска (Singh et al. 1971). За разлика от азота, концентрациите на P и K в листата от същия вариант се понижават статистически доказано - с 45,5% при фосфора, а при калия понижението

**Таблица 1.** Агрохимична характеристика на почвата  
**Table 1.** Agrochemical soil characteristics

Вариант/ Treatment	N mg.kg <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg. 100 g <sup>-1</sup>	K <sub>2</sub> O mg.100 g <sup>-1</sup>	Ca mg.100 g <sup>-1</sup>	Mg mg.100 g <sup>-1</sup>	Fe mg.100 g <sup>-1</sup>	Mn mg.100 g <sup>-1</sup>	Zn mg.100 g <sup>-1</sup>	Cu mg.100 g <sup>-1</sup>
Control (T1)	6,71	2,71	55,18	513,2	40,6	11,53	36,40	15,07	12,32
Rhizo-Vam Basic (T3)	6,08	2,85	53,72	456,1	42,7	10,95	38,45	14,24	13,85
Mycoplant (T5)	7,45	3,57	58,51	495,1	39,1	13,37	35,72	13,06	13,37
Funky Fungi (T7)	10,92	2,98	58,21	522,5	33,4	13,40	37,70	16,27	10,90
CV%	27,73	12,49	4,15	5,91	10,23	10,24	3,33	9,23	10,36

**Таблица 2.** Концентрация на макроелементи в листата на тютюна  
**Table 2.** Macroelement concentrations in tobacco leaves

Вариант/Treatment	N	P	K %	Ca	Mg
Control (T1)	1,78c*	0,22bc	2,30c	4,16d	0,51d
Broomrape infection (T2)	1,84c	0,12d	2,08d	5,05b	0,67b
Rhizo-Vam Basic (T3)	2,02b	0,22bc	3,04a	3,56d	0,48d
Broomrape+Rhizo-Vam Basic (T4)	2,07b	0,20c	2,54b	5,09ab	0,64bc
Mycoplant (T5)	1,80c	0,26ab	2,40bc	3,42de	0,47d
Broomrape+Mycoplant (T6)	2,93a	0,23abc	1,69f	5,28a	0,77a
Funky Fungi (T7)	2,01b	0,27a	2,91a	3,30e	0,48d
Broomrape+Funky Fungi (T8)	1,75c	0,19c	1,88e	4,92b	0,55cd
CV%	19,05	21,79	20,05	19,16	19,30

\* - Different letters within each column indicate that the means are significantly different (P<0.05)

**Таблица 3.** Концентрация на микроелементи в листата на тютюна  
**Table 3.** Micronutrient concentrations in tobacco leaves

Вариант/Treatment	Fe	Mn	Zn	Cu
	mg.kg <sup>-1</sup>			
Control (T1)	210,6b*	45,3bc	73,5cd	19,8cd
Broomrape infection (T2)	220,1b	49,1b	54,5e	15,9e
Rhizo-Vam Basic (T3)	150,2d	44,1bc	89,0a	17,2de
Broomrape+Rhizo-Vam Basic (T4)	162,9cd	45,7bc	60,0e	16,4de
Mycoplant (T5)	170,1cd	45,6bc	84,4ab	22,5c
Broomrape+Mycoplant (T6)	281,3a	57,0a	43,2f	34,1a
Funky Fungi (T7)	175,4c	38,9c	80,7bc	30,4b
Broomrape+Funky Fungi (T8)	171,5cd	43,6bc	70,1d	16,2de

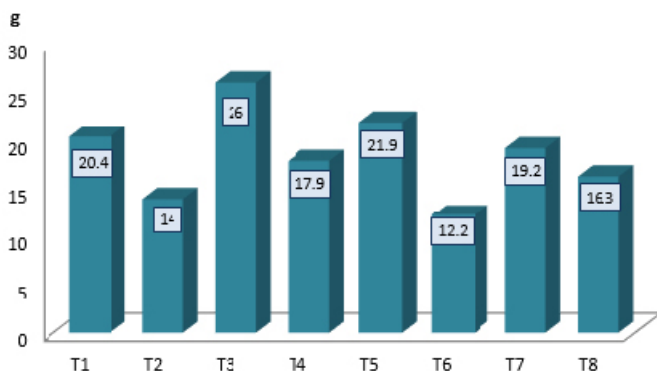
\* - Different letters within each column indicate that the means are significantly different (P<0.05)

**Таблица 4.** Износ на макроелементи с листата на тютюна  
**Table 4.** Macronutrient removal by tobacco leaves

Вариант/Treatment	N	P	K	Ca	Mg
	g plant <sup>-1</sup>				
Control (T1)	0,36	0,04	0,47	0,85	0,10
Broomrape infection (T2)	0,26	0,02	0,29	0,71	0,09
Rhizo-Vam Basic (T3)	0,53	0,06	0,79	0,93	0,12
Broomrape+Rhizo-Vam Basic (T4)	0,37	0,04	0,45	0,91	0,11
Мycoplant (T5)	0,39	0,06	0,53	0,75	0,10
Broomrape+Мycoplant (T6)	0,36	0,03	0,21	0,64	0,09
Funky Fungi (T7)	0,39	0,05	0,56	0,63	0,09
Broomrape+Funky Fungi (T8)	0,29	0,03	0,31	0,80	0,09

**Таблица 5.** Износ на микроелементи с листата на тютюна  
**Table 5.** Micronutrient removal by tobacco leaves

Вариант/Treatment	Fe	Mn	Zn	Cu
	mg plant <sup>-1</sup>			
Control (T1)	4,30	0,92	1,50	0,40
Broomrape infection (T2)	3,08	0,69	0,76	0,22
Rhizo-Vam Basic (T3)	3,91	1,15	2,31	0,45
Broomrape+Rhizo-Vam Basic (T4)	2,92	0,82	1,07	0,29
Мycoplant (T5)	3,73	1,00	1,85	0,49
Broomrape+Мycoplant (T6)	3,43	0,70	0,53	0,42
Funky Fungi (T7)	3,37	0,75	1,55	0,58
Broomrape+Funky Fungi (T8)	2,80	0,71	1,14	0,26



**Фиг.1.** Сухо тегло на листата от растение

**Fig. 1.** Dry weight of leaves per plant

T1: Control; T2: Broomrape infection; T3: Rhizo-Vam Basic;  
T4: Broomrape+Rhizo-Vam Basic; T5: Мycoplant; T6: Broomrape+Мycoplant;  
T7: Funky Fungi; T8: Broomrape+Funky Fungi

спрямо контролата е с 9,6%. Тенденцията за понижаване на Р и К съвпада по посока с данните на Benvenuti et al. (2004), които докладват за доказана редуция в съдържанието на фосфор и калий в тютюна, нападнат от синя китка. Концентрациите на Са и Mg в листата на тютюна, заразен със синя китка, се увеличават съответно с 21,4% и 31,4% спрямо контролата, което е в синхрон с резултатите получени от Ernst (1986).

Приложените микоризни продукти (Т3, Т5, Т7) повишават концентрацията на общ N в тютюна (таблица 2). Азотното съдържание нараства позабележимо при третиране с Rhizo-Vam Basic и Funky Fungi, при които увеличението е с 13%-13,5% спрямо контролата. Концентрацията на фосфор в листата на тютюна нараства при третиране с Mucoplant и Funky Fungi - с 18,2%-22,7% спрямо контролата, статистически доказано при втория инокулант. Най-висока е концентрацията на калия при вариантите с Rhizo-Vam Basic (+32,2% спрямо контролата) и Funky Fungi (+26,5%), а увеличението е слабо, около 4%, и статистически недоказано при внасяне на Mucoplant. Концентрациите на Са и Mg се понижават в инокулираните с АМГ варианти. Резултатите съвпадат в известна степен с установено влияние на АМ гъби при други култури. В литературата е застъпено становището, че основният ефект от микоризната колонизация при храненето на растенията е резултат от хифалното транспортиране на бавно дифундиращи минерални йони като фосфор (Farzaneh et al., 2011; Tsvetkov et al., 2017). Според някои автори фосфорът и калият се повишават в тъканите на микоризираните растения поради изменения в състава на микробната общност и/или кръговрата на хранителните вещества в ризосферата, които улесняват достъпността и транспорта до растенията на тези елементи (Rouphael et al., 2010; Elliott et al., 2021). Обяснението за понижението в концентрациите на останалите макроелементи, вкл. на Са и Mg, е резултат от ефект на разреждане на концентрациите им като следствие от подобрения растеж на микоризираните растения (Baslam et al.,

2011).

Съвместното действие на двата фактора – синя китка и АМ гъби е в посока увеличаване съдържанието на общ азот (таблица 2). То нараства спрямо контролата при вариантите с Rhizo-Vam Basic (Т4) и Mucoplant (Т6), а се понижават с 1,7% при този с Funky Fungi (Т8). Микоризните инокуланти повишават съдържанието на фосфора с 58,3%-91,7% спрямо варианта със синя китка.

Вариането на концентрациите на макроелементите в тютюна от изследваните фактори е средно по сила - VC = 19,1% - 21,8%.

#### *Микроелементи*

В листата на тютюневи растения заразени със синя китка (Т2) концентрацията на Fe и Mn нараства слабо, съответно с 4,5% и с 8,4% спрямо незаразения тютюн, докато концентрацията на Zn и Cu намалява (таблица 3). Това донякъде съвпада с резултатите на Ernst (1986), който също намира, че концентрацията на желязо и манган в заразения тютюн се увеличава, но според него медта не е повлияна, а концентрацията на Zn се повишава от инфекцията със синя китка.

Микоризацията на тютюневото растение (Т3, Т5 и Т7) увеличава спрямо контролата съдържанието на Zn, донякъде и на Cu в листата (таблица 3). При съдържанието на Fe е отчетено намаляване, а при Mn не е регистриран еднопосочен ефект. Резултатите от конкретния опит не съвпадат с докладвани при други култури количествени промени в концентрациите на Fe. Според повечето автори постъпването на Fe в растенията след микоризация се увеличава (Faber et al., 1990; Kothari et al., 1990; Rouphael et al. 2010). Те са в унисон с установена тенденция за увеличаване в концентрациите на Cu в микоризните растения (Baslam et al., 2011).

Взаимодействието на факторите синя китка и АМ гъби променя по специфичен начин концентрацията на микроелементите в тютюна (таблица 3). Микробиялният продукт Mucoplant (Т6) има положителен ефект и увеличава съдържанието на Fe, Mn и Cu спрямо варианта със синя китка и слабо намалява съдържанието на Zn. АМ гъби с източници Rhizo-Vam Ba-



sis (T4) и Funky Fungi (T8) повишават слабо концентрацията на Zn и Cu в листата спрямо вариант T2. Колонизацията на корените с АМГ често води до повишено усвояване на относително слабо подвижни микроелементи, като Cu, Zn и Fe (Faber et al., 1990; Kothari et al., 1990; Rouphael et al., 2010). Непоследователните реакции на микоризните растения в усвояването на микроелементите може да бъдат свързани със силно променливите почвени условия, които влияят върху колонизацията на корените с АМГ и развитието на извънрадиални хифи; АМГ от своя страна влияят върху усвояването на тези метали (Liu et al., 2000).

Варирането на концентрацията на медта от факторите синя китка и микоризна инокулация е силно, а най-слабо е повлияна концентрацията на Mn (VC е 11,3%).

#### *Износ на елементите с листата на тютюна*

Количеството на елементите, изнесени с листата е функция от величината на сухата маса и на концентрацията им в нея (таблици 4 и 5). При заразяване на растенията със синя китка (T2) се наблюдава значително редуциране на макро- и микроелементите, изнесени с листата, което може да се припише главно на пониженото натрупване на биомаса, защото концентрациите на елементите не се променят еднозначно. При вариантите с внасяне на АМ гъби (T3, T5 и T7) се очертава тенденция към нарастване на износа на макроелементите. Тя е по-добре изразена при внасяне на Rhizo-Vam Basic, при който сухото тегло на листата се повишава в най-голяма степен спрямо контролата. Влиянието на АМ гъби върху износа на микроелементи с листата зависи от конкретния продукт. Изнесеното Fe намалява при третиране с микробиалните препарати, което е следствие от понижената концентрация на елемента. Износът на Zn и Cu нараства леко при внасяне на микробиалните продукти. Под влияние на взаимодействието от двата фактора износът, при голяма част от случаите, е по-нисък от контролата, но стойностите обикновено са малко по-високи от тези при варианта само със зараза от синя китка.

## Изводи

Инфекцията със синя китка редуцира сухото тегло на тютюневите листа с 31,4% спрямо контролата. Установена е тенденция към понижаване концентрациите на основни хранителни елементи – P, K, Zn и Cu и отчетливо увеличаване концентрациите на Ca и Mg в листата на тютюна, заразен със синя китка. Количество на изнесените с листата на заразения тютюн макро- и микроелементи се понижава, особено силно на фосфора, цинка и медта.

Микробиалните препарати на база АМ гъби (Rhizo-Vam Basic, Мусoplant и Funky Fungi) увеличават съдържанието на минерален азот, подвижен фосфор и калий в почвата. Микоризните инокуланти, в болшинството от случаите, увеличават концентрацията на фосфор в листата на тютюна с 18,2%-22,7% спрямо контролата. Има повишение на N вследствие на тяхната употреба в интервала от 1,1% до 13,5%, на K – от 4,3% до 32,2% и на Zn – от 9,8% до 21,1%.

Няма значим ефект от прилагането на микоризните инокуланти за предотвратяване на редуцицията в биомасата на заразените с паразита растения, но частично се намаляват загубите на теглото. Прилагането им също не предотвратява изцяло понижението на основните хранителни елементи на инфектираните със синя китка растения, но подобрява минералния баланс и се отразява положително на азотното и фосфорното хранене.

## Литература

**Akiyama, K. & Hayashi, H.** (2006). Strigolactones: Chemical signals for fungal symbionts and parasitic weeds in plant roots. *Annals of Botany*, 97(6), 925-931.

**Alcántara, E., Morales-García, M. & Díaz-Sánchez, J.** (2006). Effects of broomrape parasitism on sunflower plants: growth, development, and mineral nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 29(7), 1199-1206.

**Baslam, M., Garmendia, I. & Goicoechea, N.** (2011). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved growth and nutritional quality of greenhouse-grown lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10), 5504-5515.

**Begum, N., Akhtar, K., Ahanger, M.A., Iqbal, M.,**

- Wang, P., Mustafa, N.S. & Zhang, L.** (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth, essential oil, secondary metabolism, and yield of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) under drought stress conditions. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(33), 45276-45295.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N. & Zhang, L.** (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068.
- Benvenuti, S., Pompeiano, A., Macchia, M. & Miele, S.** (2004). Evaluation of an experimental stimulant for germination induction of hemp broomrape (*Orobancha ramosa* L.) in tobacco crops (*Nicotiana tabacum* L.). *Italian Journal of Agronomy*, 8(1), 17-28.
- Cardoso, C., Ruyter-Spira, C. & Bouwmeester, H.J.** (2011). Strigolactones and root infestation by plant-parasitic *Striga*, *Orobancha* and *Phelipanche* spp. *Plant Science*, 180(3), 414-420.
- Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E. & Reinhardt, D.** (2018) Beneficial services of arbuscular mycorrhizal fungi – from ecology to application. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1270.
- Elliott, A.J., Daniell, T.J., Cameron, D.D. & Field, K.J.** (2021). A commercial arbuscular mycorrhizal inoculum increases root colonization across wheat cultivars but does not increase assimilation of mycorrhiza-acquired nutrients. *Plants, People, Planet*, 3(5), 588-599.
- Ernst, W.H.O.** (1986). Mineral nutrition of *Nicotiana tabacum* cv. Bursana during infection by *Orobancha ramosa*. In: *Proceedings of the workshop on biology and control of Orobancha*. LH/VPO Wageningen, The Netherlands, 80-85.
- Faber, B.A., Zasoski, R.J., Burau, R.G., & Uriu, K.** (1990). Zinc uptake by corn affected by vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Plant and Soil*, 129, 121-130.
- Farzaneh, M., Vierheilig, H., Lössl, A. & Kaul, H.P.** (2011). Arbuscular mycorrhiza enhances nutrient uptake in chickpea. *Plant, Soil and Environment*, 57(10), 465-470.
- Kothari, S.K., Marschner, H., & Römhild, V.** (1990). Direct and indirect effects of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on acquisition of mineral nutrients by maize (*Zea mays* L.) in a calcareous soil. *New Phytologist*, 116(4), 637-645.
- Kumar, V.** (2019). Role of mycorrhiza and its associated bacteria on plant growth promotion and nutrient management in sustainable agriculture. *International Journal of Life Sciences and Applied Sciences*, 1(1), 1-10.
- Lin, C., Wang, Y., Liu, M., Li, Q., Xiao, W. & Song, X.** (2020). Effects of nitrogen deposition and phosphorus addition on arbuscular mycorrhizal fungi of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*). *Scientific Reports*, 10(1), 12260.
- Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R., Ma, B. & Smith, D.** (2000). Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhiza*, 9, 331-336.
- Mitra, D., Uniyal, N., Panneerselvam, P., Senapati, A., Ganeshamurthy, A.N., Jain, D. & Ortas, I.** (2012). Do maize and pepper plants depend on mycorrhizae in terms of phosphorus and zinc uptake?, *Journal of Plant Nutrition*, 35(11), 1639-1656.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Di Mattia, E., Tullio, M., Rea, E. & G. Colla, G.** (2010). Enhancement of alkalinity tolerance in two cucumber genotypes inoculated with an arbuscular mycorrhizal biofertilizer containing *Glomus intraradices*. *Biology and Fertility of Soils*, 46, 499-509.
- Santos, J.G.D., Siqueira, J.O. & Moreira, F.M.D.** (2008). Efficiency of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from bauxite mine spoils on seedling growth of native woody species. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(1), 141-150.
- Singh, J.N., Singh, J.N., & Rai, T.B.** (1971). Studies on the physiology of host-parasite relationship in *Orobancha*. II Growth and mineral nutrition of host and parasite. *Physiologia Plantarum*, 25(3), 425-431.
- Smith, S.E. & Read, D.J.** (2010). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press: Cambridge, MA, USA.
- Tsvetkov, I., Georgieva, L., Tsvetkova, D., Michailova, V. & Georgiev, D.** (2017). Benefits of the micorrhizal fungi *Glomus* spp. for grapevine nutrient uptake, biocontrol and microbial ecology. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, 20(1), 227-250.
- Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C. & Wong, M.H.** (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125(1-2), 155-166.