

Come e perché la coltura del tabacco depauperava i terreni agricoli

Vincenzo Zagà, Francesca Marinangeli, Maria Sofia Cattaruzza

Riassunto

Il perché le colture del tabacco depauperino i terreni dipende dal complesso equilibrio fra pianta e terreno che circonda le radici, ovvero la rizosfera. La rizosfera può essere definita come un vero e proprio "sistema complesso", ed è la parte del terreno in cui si realizzano le interazioni tra le radici della pianta, i microrganismi e le sostanze presenti nel suolo. Le caratteristiche chimico-fisiche della rizosfera sono sostanzial-

mente diverse da quelle del resto del suolo soprattutto per alcuni parametri specifici come acidità, umidità, conducibilità elettrica e potenziale di ossido-riduzione. La popolazione microbica, invece, è essenziale per migliorare la crescita delle radici, la struttura e la qualità del suolo ed è verosimilmente condizionata da sostanze proprie della pianta stessa, come avviene per il tabacco. Infatti, lo sviluppo e la produzione di tabacco sono direttamente proporzionali alla presenza di macro-

nutrienti (N, P, K, S), che vengono solubilizzati e assorbiti grazie alla diversità batterica rappresentata dai *Proteobacteria* e *Actinobacteria* presenti nella rizosfera del tabacco, rispetto al suolo circostante e di colture agrarie. Pertanto, l'impoverimento del suolo a coltivazione di tabacco pone un grosso problema per le colture agricole, soprattutto nei Paesi in via di sviluppo.

Parole chiave: coltivazione di tabacco, rizosfera, microbioma, macronutrienti del terreno.

How and why tobacco cultivation depletes agricultural land

Vincenzo Zagà, Francesca Marinangeli, Maria Sofia Cattaruzza

Summary

The reason why tobacco crops deplete the soil depends on the complex balance between the plant and the soil that surrounds the roots, i.e., the rhizosphere. The rhizosphere can be defined as an actual "complex system", and it is the part of the soil where the interactions between the roots of the plant, the microorganisms and the substances present in the soil take place. The chemical-physical characteristics of the rhizosphere

are substantially different from those of the bulk soil, especially for some specific parameters such as pH, humidity, electrical conductivity, and oxidation-reduction potential. The microbial population, on the other hand, is essential for improving root growth, soil structure and quality and is likely to be conditioned by the plant's own substances, as is the case with tobacco. In fact, the development and production of tobacco is directly proportional to the presence of macronutrients (N, P,

K, S), which are solubilized and absorbed thanks to the bacterial diversity represented by the *Proteobacteria* and *Actinobacteria* present in the tobacco rhizosphere, compared to the circumscribed soil and agricultural crops. Therefore, the depletion of tobacco-growing soils poses a major problem for agricultural crops, especially in developing countries.

Keywords: tobacco cultivation, rhizosphere, microbiome, soil macronutrients.

Introduzione

Il tabacco (*Nicotiana tabacum* L.) è una coltura da reddito diffusa in Asia, America, Africa con superfici inferiori investite in Europa [1]. La coltura del tabacco è considerata una coltura che depaupera la fertilità dei suoli e per tale ragione è utilizzata a rotazione con altre colture, quali mais e altre graminacee [2].

Vari studi [3,4] hanno affrontato questo fenomeno che investe la qualità e la quantità dei prodotti agricoli che per i Paesi più poveri e in via di sviluppo significano povertà fino a toccare livelli di iponutrizione al limite anche della sopravvivenza. Un problema agronomico che con una visione globale diventa anche etico. La rotazione delle colture, infatti, influenza la fertilità del suolo e i microbi della rizosfera [3, 5, 6].

La rizosfera

La rizosfera è la frazione di suolo

che circonda le radici delle piante. Tale definizione è stata introdotta dall'agronomo tedesco Lorenz Hiltner nel 1904. Oggi sappiamo che nella rizosfera vive una vasta varietà di microrganismi (microbiota), funghi, batteri, che possono essere utili o dannosi per la crescita delle piante. Nonostante i positivi progressi nel campo scientifico l'aspetto e il ruolo del 90% delle specie microbiche presenti nel suolo, rimane a oggi ancora poco conosciuto.

In generale, questa ristretta zona di suolo sita attorno alle radici delle piante è caratterizzata da una maggiore attività microbica e dai nutrienti del suolo rispetto al suolo circostante. La rizosfera è indubbiamente influenzata attivamente dalla pianta. Le radici delle piante essudano continuamente una complessa miscela di sostanze organiche e inorganiche capaci di alterare localmente il suolo (tenore di acqua e



Introduction

Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) is a widespread cash crop in Asia, America, and Africa, with less land invested in Europe [1]. Tobacco cultivation is considered to be a crop that depletes soil fertility and, for this reason, it is used in rotation with other crops, such as maize and other grasses [2].

Various studies [3, 4] have tackled this phenomenon, which affects the quality and quantity of agricultural products, which for the poorest and developing countries mean poverty to the point of reaching levels of undernutrition that are even at the limit of survival. An agronomic problem that, with a global vision, also becomes ethical. Crop rotation, in fact, influences soil fertility and rhizosphere microbes [3, 5, 6].

The Rhizosphere

The rhizosphere is the fraction of

soil that surrounds the roots of plants. This definition was introduced by the German agronomist Lorenz Hiltner in 1904. Today we know that a wide variety of microorganisms (microbiota), fungi, bacteria live in the rhizosphere, which can be beneficial or harmful to plant growth. Despite positive advances in science, the appearance and role of 90% of microbial species present in soil remains poorly understood.

In general, this narrow area of soil around plant roots is characterized by greater microbial activity and nutrients in the soil than the surrounding soil. The rhizosphere is undoubtedly actively influenced by the plant that continuously releases a complex mixture of organic and inorganic substances capable of locally altering the soil (water content and pH, oxygen) and better capturing nutrients.

The microbiota of the tobacco rhizosphere

The rhizosphere of plants plays an important role in influencing soil fertility through a particular and modified microbial composition [7]. As shown by various studies, the cultivation of tobacco in the same soil in monoculture reduces its fertility, leading to exhaustion both from a chemical and microbiological point of view. For example, bacteria in the tobacco rhizosphere, belonging to the phyla Proteobacteria, have been shown to solubilise phosphorus (P), potassium (K) and sulphur (S), facilitating their availability for crops, but also depleting the soil for the following crops [7]. It also happens that nitrogen (N) is released in excess as the soil is depleted of nitrogen-fixing bacteria [7]. In fact, tobacco absorbs extra nutrients from the soil, which is thus depleted [4].

pH, ossigeno) e di catturare meglio i nutrienti.

Il microbiota della rizosfera del tabacco

La rizosfera delle piante svolge un ruolo importante nell'influencare la fertilità del suolo attraverso una particolare e modificata composizione microbica [7]. Come dimostrato da vari studi, la coltivazione del tabacco in uno stesso suolo in monocoltura ne riduce la fertilità, portando all'esaurimento sia dal punto di vista chimico che microbiologico. Per esempio è stato dimostrato che i batteri della rizosfera del tabacco, appartenenti al *phyla* dei *Proteobacteria*, solubilizzano fosforo (P), potassio (K) e zolfo (S), facilitandone la disponibilità per la coltura, ma depauperando altresì il suolo per le colture seguenti [7]. Avviene anche che l'azoto (N) venga rilasciato in eccesso poiché il suolo viene depauperato di batteri azoto-fissatori [7]. Il tabacco assorbe infatti nutrienti extra dal suolo che viene così

depauperato [4].

La rizosfera del tabacco è una comunità complessa e solitamente associata a batteri diversi, coinvolti nella stimolazione della crescita della pianta attraverso l'acquisizione di nutrienti, con un conseguente pesante esaurimento del suolo per P, K, S [4, 8, 9]. Il P è il secondo nutriente essenziale dopo N che viene rilasciato lentamente dalle rocce madri e si esaurisce nel tempo attraverso l'assorbimento delle piante, l'immobilizzazione pH dipendente e la rimozione con l'erosione del suolo [10, 11]. Un terzo nutriente essenziale nelle colture è il K, fattore limitante la produzione vegetale poiché la sua solubilità dipende dalle condizioni del suolo [12, 13]. I concimi complessi a base di N-P-K, sono tra i fertilizzanti più utilizzati in agricoltura. Si tratta infatti di una miscela che contiene i tre principali elementi necessari alle piante per crescere.

La pianta del tabacco richiede anche altri nutrienti del suolo, quali calcio (Ca) e magnesio (Mg), che

sono assorbiti in tracce [7]. D'altra parte, alcuni studi riportano che il raccolto di tabacco è associato all'aumento di altri nutrienti, come ferro (Fe) e zinco (Zn), nella rizosfera [9, 14, 15].

Per quanto riguarda la componente biotica del suolo, il ruolo della diversità batterica e fungina nella rizosfera nell'ecosistema è associato al miglioramento della fertilità, tuttavia, questo ruolo è ancora in parte oggetto di studio [16]. I *phyla* batterici, che comprendono *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Actinomycetes*, *Cyanobacteria* e *Bacteroidetes*, sono noti per essere utili per la promozione della crescita delle piante [17-19]. I batteri del suolo svolgono un ruolo significativo nella rizosfera attraverso la solubilizzazione e la mineralizzazione dei nutrienti/materiali organici [13, 20]. Attraverso questo processo, i batteri del suolo contribuiscono in gran parte a ritenzione, riciclo, disponibilità di nutrienti per la crescita delle piante [20].

The tobacco rhizosphere is a complex community and usually associated with different bacteria, involved in stimulating plant growth through nutrient acquisition, resulting in heavy soil depletion for P, K, S [4, 8, 9]. P is the second essential nutrient after N that is slowly released from parent rocks and is depleted over time through plant uptake, pH-dependent immobilization, and removal with soil erosion [10, 11]. A third essential nutrient in crops is K, a limiting factor in plant production since its solubility depends on soil conditions [12, 13]. Complex fertilizers based on N-P-K are among the most widely used fertilizers in agriculture.

In fact, it is a mixture that contains the three main elements necessary for plants to grow.

The tobacco plant also requires oth-

er soil nutrients such as calcium (Ca) and magnesium (Mg) [7]. On the other hand, some studies report that tobacco harvest is associated with the increase of other nutrients such as iron (Fe) and zinc (Zn) in the rhizosphere [9, 14, 15].

Regarding the biotic component of soil, the role of bacterial and fungal diversity in the rhizosphere in the ecosystem is associated with improved fertility, however, this role is still partly being studied [16]. Bacteria *phyla*, which include *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Actinomycetes*, *Cyanobacteria*, and *Bacteroidetes*, are known to be beneficial for promoting plant growth [17-19]. Soil bacteria play a significant role in the rhizosphere through the solubilisation and mineralisation of nutrients/organic materials [13, 20]. Through this process, soil bacteria contribute largely to the retention, recycling,

and availability of nutrients for plant growth [20].

Causes of soil depletion by tobacco

There are various and diverse possible explanations that lead to the impoverishment of tobacco-growing land.

A) Roots

The root system influences the physical fitness, health, and productivity of plants through its phenotypic traits (phens) such as root length, biomass, density, volume, and surface area. Root phens or architecture significantly alter the biophysical and edaphic properties of soil such as aggregation, structure, pH, moisture, temperature, and nutrient stoichiometry (C:N, C:P, and N:P ratios). These traits

Cause di impoverimento dei suoli da parte del tabacco

Varie e diverse sono le possibili spiegazioni che portano all'impoverimento dei terreni a coltivazione di tabacco.

A) Radici

L'apparato radicale influenza la forma fisica, la salute e la produttività delle piante attraverso i suoi tratti fenotipici (feni) come la lunghezza delle radici, la biomassa, la densità, il volume e la superficie. I feni radicali o l'architettura alterano in modo significativo le proprietà biofisiche ed edafiche del suolo come l'aggregazione, la struttura, il pH, l'umidità, la temperatura e la stechiometria dei nutrienti (rapporti C:N, C:P e N:P). Questi tratti influenzano in modo differenziale sul rilascio dal 20 all'80% dei fotosintati totali come essudati radicali. Le strutture interne ed esterne di vari tipi di radici dimostrano un'enorme plasticità fenotipica nella loro struttura cellulare, anatomia, tipi di cel-

lule, forme, metabolismo e profili biochimici. Queste eterogeneità nella rizosfera e nell'endosfera creano microambienti e nicchie ecologiche per diverse specie microbiche per favorire interazioni rizosferiche a beneficio di entrambe le parti microbo-pianta (rapporti di simbiosi mutualistica).

I risultati dei sistemi radicali di alcune piante agricole e forestali suggeriscono che i feni radicali filtrano selettivamente e reclutano diverse comunità microbiche [21]. Alcune piante, tuttavia, tra cui il tabacco, emettono sostanze tossiche dagli apparati radicali, che risultano inibire la germinazione di altre piante, per occuparne le nicchie ecologiche (diserbanti naturali). Questo aspetto limita la crescita di piante in associazione al tabacco ma anche a seguire, nella rotazione colturale. Le conoscenze relative a tali attitudini sono fondamentali nello stabilire una corretta rotazione colturale, sia per questioni ambientali che economiche.

B) pH

Negli appezzamenti con suolo fertile, dopo la coltivazione di tabacco, il valore medio del pH diminuisce del 5,34% (da 7,86 a 7,44); la materia organica da 1,95% a 1,78%; il livello di K da 0,46 meq/100 g a 0,32 meq/100 g; quello di P da 13,98 ppm a 9,10 ppm; il contenuto di S da 16,22 ppm a 10,89 ppm e la concentrazione di Zn da 0,70 ppm a 0,53 ppm, dopo due anni consecutivi di coltivazione. Va considerato che, negli appezzamenti non coltivati a tabacco, ma con altre colture, il valore medio del pH diminuisce del 2,29% (da 7,83 a 7,65), la materia organica da 1,86 a 1,79%, K da 0,42 meq/100 g a 0,36 meq/100 g, P da 14,44 ppm a 11,23 ppm, S da 14,44 ppm a 11,23 ppm, S da 14,01 ppm a 12,42 ppm e Zn da 0,74 ppm a 0,61 ppm dopo due anni consecutivi [4]. Tabella 1 e Figura 1 mostrano i relativi valori percentuali di tali variazioni. È evidente il contributo del tabacco alla riduzione degli elementi K, P, S, e Zn rispetto ad altre coltivazioni, dopo 2 anni di ripetizione.

differentially affect the release of 20% to 80% of total photosynthesis as root exudates. The internal and external structures of various root types demonstrate tremendous phenotypic plasticity in their cell structure, anatomy, cell types, shapes, metabolism, and biochemical profiles. These heterogeneities in the rhizosphere and endosphere create microenvironments and ecological niches for different microbial species to foster rhizospheric interactions for the benefit of both microbe-plant parts (mutualistic symbiosis relationships).

Results from the root systems of some agricultural and forest plants suggest that root phenos selectively filter and recruit different microbial communities [21]. Some plants, however, including tobacco, emit toxic substances from the root systems, which are found to inhibit the

germination of other plants, to occupy their ecological niches (natural herbicides) (reference).

This aspect limits the growth of plants in association with tobacco but also later, in crop rotation. Knowledge of these attitudes is essential in establishing proper crop rotation, both for environmental and economic reasons.

B) pH

In plots with fertile soil, after tobacco cultivation, the average pH value decreases by 5.34% (from 7.86 to 7.44); organic matter from 1.95% to 1.78%; K level from 0.46 meq/100 g to 0.32 meq/100 g; P from 13.98 ppm to 9.10 ppm; S content from 16.22 ppm to 10.89 ppm and Zn concentration from 0.70 ppm to 0.53 ppm, after two consecutive years of cultivation. It should be noted that, in plots not

cultivated with tobacco, but with other crops, the average pH value decreases by 2.29% (from 7.83 to 7.65), organic matter from 1.86% to 1.79%, K from 0.42 meq/100 g to 0.36 meq/100 g, P from 14.44 ppm to 11.23 ppm, S from 14.44 ppm to 11.23 ppm, S from 14.01 ppm to 12.42 ppm and Zn from 0.74 ppm to 0.61 ppm after two consecutive years [4].

Table 1 and Figure 1 show the relative percentage values of these changes.

C) Microbiome

Soil bacteria play a significant role in the rhizosphere through the solubilization and mineralization of nutrients/organic materials [13, 20]. Through this process, soil bacteria largely contribute to the retention, recycling, and availability of nutrients for plant growth. Various stud-

% variazione	% variation
pH TOB	5.34
pH No TOB	2.30
O.M. tob	8.72
O.M. no tob	3.76
K Tob	30.43
K No tob	14.29
P Tob	34.91
P no tob	22.23
S tob	32.86
S no tob	11.35

Tabella 1 Variazione in % dei nutrienti nel suolo dopo 2 anni di coltura di tabacco/non tabacco.

Table 1 Variation % of the nutrient in the soil after 2 year of cultivation of Tobacco/not tobacco.

C) Microbioma

I batteri del suolo svolgono un ruolo significativo nella rizosfera attraverso la solubilizzazione e la mineralizzazione dei nutrienti/materiali organici [13, 20]. Attraverso questo processo, i batteri del suolo contribuiscono in gran parte a ritenzione, riciclo, disponibilità di nutrienti per la crescita delle piante. Vari studi hanno mostrato che la diversità batterica nei suoli della rizosfera del tabacco ap-

partiene al *phylum Proteobacteria*, associata significativamente ($p < 0,05$) con la solubilizzazione di P, K e S, determinando una diminuzione significativa di questi nutrienti nei terreni per la coltura successiva. Pertanto, la diversità dei batteri nella rizosfera del tabacco influenza la solubilità dei macronutrienti e riduce alcuni batteri coinvolti nella fissazione del N, aumenta l'N totale nel suolo [7], con conseguente rischio di lisciviazione e inquinamento delle falde acquifere sotterranee [22-24]. Del perché il microbioma della rizo-

sfera del tabacco sia così diverso da quello delle piante di interesse agrario e così depauperante di macronutrienti non è ancora chiaro. È probabile l'ipotesi che siano uno o più metaboliti secondari del tabacco, come gli alcaloidi emessi dalle radici, a condizionare il pH e la diversità del microbioma [25]. In effetti, è stato dimostrato come *Nicotiana tabacum* abbia effetti allelopatici nella germinazione di *Triticum aestivum* e *Vigna radiata* [26], emettendo nel suolo sostanze che potrebbero anche nell'anno succes-

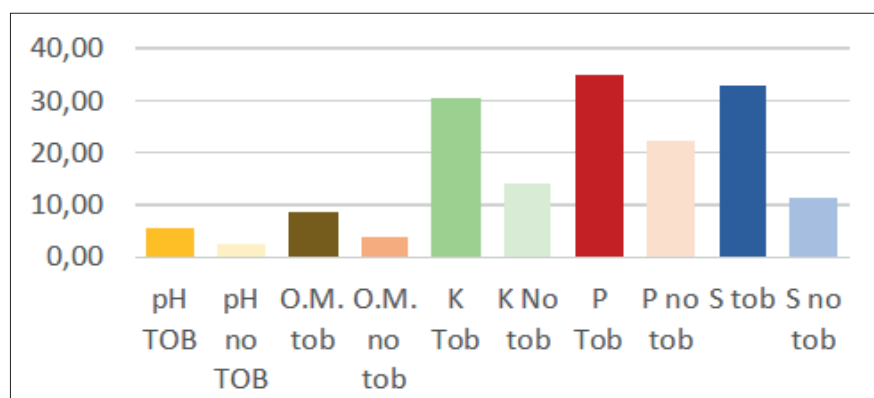


Figura 1 Il contributo del tabacco alla riduzione degli elementi K, P, S e Zn rispetto ad altre colture dopo 2 anni di ripetizione.

Figure 1 The contribution of tobacco to the reduction of K, P, S, and Zn elements compared to other crops after 2 years of repetition.

ies have shown that bacterial diversity in tobacco rhizosphere soils belongs to the phylum *Proteobacteria*, which is significantly associated ($p < 0.05$) with the solubilization of P, K and S, resulting in a significant decrease in these nutrients in the media for the next crop. Thus, the diversity of bacteria in the tobacco rhizosphere affects the solubility of macronutrients and reduces some bacteria involved in N fixation, increases the total N in the soil [7], resulting in a risk of leaching and pollution of groundwater [22-24].

Why the microbiome of the tobacco rhizosphere is so different from that of plants of agricultural interest

and so depleted of macronutrients is still unclear. It is likely that one or more secondary metabolites of tobacco, such as alkaloids emitted by roots, affect the pH and diversity of the microbiome [25].

In fact, it has been shown that *Nicotiana tabacum* has allelopathic effects in the germination of *Triticum aestivum* and *Vigna radiata* [26], emitting substances into the soil that could also inhibit the germination of common wheat and beans in the following year.

Conclusions

In conclusion, it can be said that

the development and production of tobacco is directly proportional to the presence of macronutrients (N, P, K, S), which are solubilized and absorbed thanks to the bacterial diversity represented by *Proteobacteria* and *Actinobacteria* present in the tobacco rhizosphere, compared to bulk soil and agricultural crops. Therefore, the impoverishment of tobacco-growing soils poses a major problem for agricultural crops, especially in developing countries, which suffer from poor and under-fertilized agriculture but with a growing presence of tobacco-growing fields.

sivo inibire la germinazione dei frumenti teneri e dei fagioli.

Conclusione

In conclusione, si può affermare che lo sviluppo e la produzione di tabacco sono direttamente proporzionali alla presenza di macronutrienti (N, P, K, S), che vengono solubilizzati e assorbiti grazie alla diversità batterica rappresentata dai *Proteobacteria* e *Actinobacteria* presenti nella rizosfera del tabacco, rispetto al suolo sfuso e di colture agrarie. Pertanto, l'impoverimento del suolo a coltivazione di tabacco pone un grosso problema per le colture agricole, soprattutto nei Paesi in via di sviluppo, che risentono di una agricoltura povera e ipo-fertilizzata ma con una presenza crescente di campi coltivati a tabacco.

Ringraziamenti

Si ringrazia il professor Giuliano Bonanomi, Dipartimento di Agraria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II per il contributo scientifico dato all'articolo.

[*Tabaccologia* 2023; XXI(3):22-28]
<https://doi.org/10.53127/tblg-2023-A017>

Vincenzo Zagà

Past President Società Italiana di Tabaccologia (SITAB)
 Caporedattore di Tabaccologia
 Pneumologo, Bologna
 ✉ v.zaga@tabaccologia.it

Francesca Marinangeli

Centro Politiche e Bioeconomia (CREA), DSA3, Università degli Studi di Perugia, Perugia
 ✉ francesca.marinangeli@crea.gov.it

Maria Sofia Cattaruzza

Presidente Società Italiana di Tabaccologia (SITAB)
 Dipartimento di Sanità Pubblica e Malattie Infettive, La Sapienza
 Università di Roma

Bibliografia

1. Lisuma JB, Mbega ER, Ndakidemi PA. Influence of nicotine released in soils to the growth of subsequent maize crop, soil bacteria and fungi. *Int J Agric Biol* 2021;22:1-12. <https://doi.org/10.3390/plants10081597>

2. Sauer J, Abdallah JM. Forest diversity, tobacco production and resource management in Tanzania. *For Policy Econ* 2007;9:421-39. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2005.10.007>

3. Bastani S, Hajiboland R, Khatamian M, Saket-Oskoui M. Nano iron (Fe) complex is an effective source of Fe for tobacco plants grown under low Fe supply. *J Soil Sci Plant Nutr* 2018;18:524-41. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005001602>

4. Moula MS, Hossain MS, Farazi MM, Ali MH, Mamun MAA. Effects of consecutive two years tobacco cultivation on soil fertility status at Bheramara Upazilla in Kushtia District. *J Rice Res* 2018;6:1-4. <https://doi.org/10.4172/2375-4338.1000190>

5. Hauchhum R, Tripathi SK. Carbon and nitrogen differences in rhizosphere soil of annual plants in abandoned lands following shifting agriculture in northeast India. *Nutrient Cycl Agroecosyst* 2019;113:157-66. <https://doi.org/10.1007/s10705-019-09972-5>

6. Manpoong C, De Mandal S, Bangaruswamy DK, Perumal RC, Benny J, Beena PS, et al. Linking rhizosphere soil biochemical and microbial community characteristics across different land use systems in mountainous region in Northeast India. *Meta Gene* 2020;23:100625. <https://doi.org/10.1016/j.mgene.2019.100625>

7. Lisuma JB, Zuberi Z, Ndakidemi PA, Mbega ER. Linking rhizosphere bacterial diversity and soil fertility in tobacco plants under different soil types and cropping pattern in Tanzania: a pilot study. *Helyon* 2020;6:e04278. <https://doi.org/10.1016/j.helyon.2020.e04278>

8. Xue ZC, Wang L, Xiao HQ. pH distribution and relationship to soil nutrient in Hunan tobacco lands. *Chin J Eco-Agric* 2008;4:6.

9. Farooq, M., Hussain, T., Wakeel, A., Cheema, Z.A., 2014. Differential response of maize and mungbean to tobacco allelopathy. *Exp Agric* 2014;50:611-24. <https://doi.org/10.1017/S0014479714000106>

10. Dalling JW, Heineman K, Lopez OR, Wright SJ, Turner BL. Nutrient availability in tropical rain forests: the paradigm of phosphorus limitation. In Goldstein G, Santiago LS. *Tropical tree physiology*. Cham: Springer, 2016.

11. Teodoro GS, Lambers H, Nascimento DL, de Britto Costa P, Flores-Borges DN, Abrahão A, et al. Specialized roots of Velloziaceae weather quartzite rock while mobilizing phosphorus using carboxylates. *Funct*

Ecol 2019;33:762-73. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13324>

12. Ahmad M, Nadeem SM, Naveed M, Zahir ZA. Potassium-solubilizing bacteria and their application in agriculture. In Meena VS, Maurya BR, Verma JP, Meena RS. *Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture*. New Delhi: Springer, 2016.

13. Masood S, Bano A. Mechanism of potassium solubilization in the agricultural soils by the help of soil microorganisms. In Meena VS, Maurya BR, Verma JP, Meena RS. *Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture*. New Delhi: Springer, 2016.

14. López-Lefebvre LR, Rivero RM, García PC, Sanchez E, Ruiz JM, Romero L. Boron effect on mineral nutrients of tobacco. *J Plant Nutr* 2002;25:509-22.

15. Zou C, Li Y, Huang W, Zhao G, Pu G, Su J, et al. Rotation and manure amendment increase soil macro-aggregates and associated carbon and nitrogen stocks in flue-cured tobacco production. *Geoderma* 2018;325:49-58. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.017>

16. Camenzind T, Hattenschwiler S, Treseder KK, Lehmann A, Rillig MC. Nutrient limitation of soil microbial processes in tropical forests. *Ecol Monogr* 2018;88:4-21. <https://doi.org/10.1002/ecm.1279>

17. Kyselkov M, Kopecký J, Frapolli M, Défago G, Ságová-Marecková M, Grundmann GL, et al. Comparison of rhizobacterial community composition in soil suppressive or conducive to tobacco black root rot disease. *ISME J* 2009;3:1127. <https://doi.org/10.1038/ismej.2009.61>

18. Kim JJ, Alkawally M, Brady AL, Rijpstra WIC, Damst JSS, Dunfield PF. *Chryseolinea serpens* gen. nov., sp. nov., a member of the phylum Bacteroidetes isolated from soil. *Int J Syst Evol Microbiol* 2013;63:654-60. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.039404-0>

19. Basharat Z, Tanveer F, Yasmin A, Shinwari ZK, He T, Tong Y. Genome of *Serratia nematodiphila* MB307 offers unique insights into its diverse traits. *Genome* 2018;61:469-76. <https://doi.org/10.1139/gen-2017-0250>

20. Bhowmik A, Cloutier M, Ball E, Bruns MA. Underexplored microbial metabolisms for enhanced nutrient recycling in agricultural soils. *AIMS Microbiol* 2017;3:826-45. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2017.4.826>

21. Saleem M, Law AD, Sahib MR, Perwaiz ZH, Zhang Q. Impact of root system architecture on rhizosphere and

root microbiome. *Rhizosphere* 2018; 6:47-51. <https://doi.org/10.1016/j.rhisp.2018.02.003>

22. Camargo JA, Alonso A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environ Int* 2006;32:831-49. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002>

23. Dunn SM, Vinten AJA, Lilly A, De-Groote J, McGehan M. Modelling ni-

trate losses from agricultural activities on a national scale. *Water Sci Technol* 2005;51:319-32.

24. Liu A, Ming J, Ankhumah RO. Nitrate contamination in private wells in rural Alabama, United States. *Sci Total Environ* 2005;346:112-20. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.11.019>

25. Sheng LQ, Ding L, Tong HW, Yong GP, Zhou XZ, Liu SM. Determination of nicotine-related alkaloids in

tobacco and cigarette smoke by GC-FID. *Chroma* 2005;62:63-8. <https://doi.org/10.1365/s10337-005-0567-y>

26. Baek JM, Kawecki OJ, Lubin KD, Song J, Wiens OA, Wu F. Plant warfare: allelopathic effects of *Nicotiana tabacum* on the germination of *Vigna radiata* and *Triticum aestivum*. *WURJHNS* 2017;8. <https://doi.org/10.5206/wurjhns.2017-18.1>



OPEN ACCESS

L'articolo è open access e divulgato sulla base della licenza CCBY-NC-ND (Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 4.0 Internazionale). L'articolo può essere usato indicando la menzione di paternità adeguata e la licenza; solo a scopi non commerciali; solo in originale. Per ulteriori informazioni: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

IPSE DIXIT

“Due piante di grande importanza ci sono giunte dall’America, una per il nostro profitto, l’altra per la nostra rovina. La pianta benemerita è la patata, la pianta maledetta è il tabacco.”

ALEXANDER VON HUMBOLDT

(1769-1859), naturalista,
esploratore e botanico tedesco