

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2020)01-0053-05

综 述

# 腐植酸的农业应用机制及其在马铃薯生产上亟待解决的问题

贾沙沙, 秦永林\*, 樊明寿, 贾立国

(内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘要:** 在土壤-作物生产体系中, 腐植酸因可挖掘产量潜力、提升肥料利用效率而被广泛研究与应用。从腐植酸调控土壤酶活、改良重金属土壤、活化土壤养分、调控植物代谢、促进根系发育、增强植物抗逆性、提升作物产量与改善品质几个方面进行了综述, 并对其在马铃薯上的应用研究进行了总结, 提出了腐植酸应用于马铃薯生产中亟待解决的问题, 为马铃薯高产高效提供支撑。

**关键词:** 腐植酸; 机制; 利用; 马铃薯

## Agricultural Utilization Mechanism of Humic Acid and Its Application Problems in Potato Production

JIA Shasha, QIN Yonglin\*, FAN Mingshou, JIA Ligu

(College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China)

**Abstract:** Humic acid is widely used in soil-plant production system because it can tap the potential of yield and improve the utilization efficiency of fertilizer. Humic acid was reviewed from several aspects, such as regulating soil enzyme activity, improving heavy metal soil, activating soil nutrients, regulating plant metabolism, promoting root development, enhancing plant stress resistance, increasing crop yield and improving quality. Also the researches on potato were summarized, and the problems that need to be solved urgently in the application of humic acid in potato production were put forward to provide supports for high yield and high efficiency potato production.

**Key Words:** humic acid; mechanism; utilization; potato

腐植酸是动植物的遗骸经过微生物的分解和分化以及地球的物理、化学作用形成的一类大分子天然有机酸, 许多文献报道为“腐殖酸”, 2018年中国腐植酸工业协会正式发文《关于国家腐植酸标准化机构和腐植酸标准用“植”字的说明通知》, 确定了中国腐植酸标准化, 统一采用“植”字<sup>[1]</sup>。根据其分子量大小, 腐植酸依次分为黄腐酸、棕腐酸和黑腐酸<sup>[2]</sup>。其

中, 黄腐酸溶于水, 棕腐酸溶于碱, 黑腐酸溶于焦磷酸盐。腐植酸广泛存在于土壤、水体、煤炭中, 还可以通过生物发酵获得“人造腐植酸”<sup>[3,4]</sup>。

国内外大量的研究表明, 腐植酸可以促进植物生长, 提高肥料利用效率, 提高作物产量与改善品质<sup>[5]</sup>。目前, 腐植酸在农业中应用的机理主要集中在两个方面: (1)通过改善土壤环境、土壤微生物与酶

收稿日期: 2019-10-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0200200, 2018YFD0200801); 内蒙古自治区高等学校青年科技英才支持计划(NJYT-20-B16); 内蒙古自然科学基金(2019MS03048)。

作者简介: 贾沙沙(1995-), 女, 硕士研究生, 从事植物营养生理研究。

\*通信作者(Corresponding author): 秦永林, 博士, 实验师, 主要从事植物养分高效利用研究, E-mail: imauqyl@163.com。

活性、养分形态和转化等进而为作物提供优越的生长环境<sup>[6]</sup>; (2)通过刺激根系生长, 促进植株养分吸收, 调控新陈代谢等直接作用于作物而发挥效应。马铃薯是典型的浅根系作物, 根系密度也远低于其他作物, 且广泛被种植在土壤比较贫瘠的地区, 因此, 腐植酸在马铃薯生产中的应用, 有利于土壤养分利用潜力的挖掘, 有助于马铃薯产量水平的提升, 是实现马铃薯绿色发展减肥战略的重要途径之一。本文从腐植酸调控土壤酶活性、改良重金属土壤、活化土壤养分、调控植物代谢、促进根系发育、增强植物抗逆性、提升作物产量与改善品质几个方面进行了综述, 重点总结了腐植酸在马铃薯上的应用研究以及生产中亟待解决的问题, 旨在为马铃薯的高产高效提供参考。

## 1 腐植酸在土壤中的作用

### 1.1 调控土壤酶活性

土壤中具有生物催化能力的一些特殊蛋白质类化合物称之为土壤酶, 土壤酶的活性是反映土壤生物活力和肥力的重要指标。施用腐植酸类物质可调控土壤酶活性, 一方面, 施用腐植酸可提高土壤碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性, 或者允许更高浓度的酶在土壤中持续存在, 一定程度上可降低碱性土壤 pH, 减少土壤磷素和钾素的固定与失活, 提高磷肥与钾肥的利用率<sup>[7]</sup>; 另一方面, 施用腐植酸可降低土壤脲酶活性, 由于腐植酸和尿素可生成腐-脲络合物, 其在土壤中的稳定性远高于尿素, 能抑制尿素快速分解, 降低氮的挥发与淋失, 提高氮肥的利用率<sup>[8,9]</sup>。

### 1.2 改良重金属污染的土壤

腐植酸是由醌类和酚类组成的一种化学性质复杂的物质, 分子量范围很广。腐植酸中功能基团的多样性提供了一系列可能的金属结合位点, 通过范德华力、氢键、静电吸附、阳离子键桥等作用, 可与重金属离子发生作用形成相对稳定的金属-腐植复合物<sup>[10,11]</sup>。腐植酸与金属的结合能力, 可用于去除土壤中的污染金属<sup>[12]</sup>。Halim 等<sup>[13]</sup>研究发现外源添加腐植酸类土壤改良剂可以加速污染土壤重金属的植物修复, 同时阻止重金属的环境迁移; 而 Conte 等<sup>[14]</sup>利用腐植酸溶液洗涤高污染的土壤, 发现可有效减少

有机污染物在土壤中的吸附, 提高洗涤土壤的微生物生物量和活性, 有助于土壤中污染物的衰减, 有利于处理后土壤的恢复。

### 1.3 活化土壤磷素

相比于氮肥与钾肥, 磷肥施入土壤中极易被固定而不能被植物吸收利用, 所以磷肥的当季利用率仅为 10%~25%<sup>[15]</sup>。施用腐植酸可抑制速效磷肥在土壤中的固定, 活化土壤中的磷, 促进土壤中植物难以利用的磷形态向有效性较高的形态转化<sup>[16-20]</sup>, 从而提高作物的磷肥利用效率。其作用机制主要有酸碱溶解作用, 代换吸附效应和络合学说。酸碱溶解作用是指腐植酸或者腐植酸的盐类可以与磷酸盐发生作用, 腐植酸溶于水时可电离出 H<sup>+</sup> 与磷酸钙发生作用, 生成一部分磷酸氢钙。代换吸附的机制是腐植酸作为高分子有机胶体, 在土壤中与粘土、钙形成团聚体的过程中吸附了钙代换了氢。络合学说的内容是腐植酸能与金属、磷酸盐发生络合, 形成 HA-金属-磷酸盐络合物和 HA-磷酸盐络合物。在磷矿粉溶于水时  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \rightleftharpoons 2\text{PO}_4^{3-} + 3\text{Ca}^{2+}$ , 添加腐植酸时, 其能与 Ca<sup>2+</sup> 发生螯合, 使土壤中 Ca<sup>2+</sup> 的浓度降低, 为达成新的平衡, 磷酸根将大大增加, 活化磷矿粉中的磷。

## 2 腐植酸对植物生理功能的调控

### 2.1 调控植物代谢

施用腐植酸可促进种子在萌发期间的呼吸强度, 诱导 α-淀粉酶的合成和增强过氧化氢积累, 抑制 C3 植物的光呼吸<sup>[21]</sup>。有研究发现, 外源添加腐植酸还能有效提高叶绿素的含量, 从而调控光合作用, 促进植物生长<sup>[22]</sup>。

### 2.2 促进植物根系伸长

腐植酸可促进植物根的伸长从而促进植物的生长, 有类似于生长素的作用, 与生长素诱导植物酸生长的机理相似。早在 1997 年, Pinton 等<sup>[23]</sup>利用含有浓度为 10 μg/mL 有机碳的腐植酸处理燕麦幼苗根温育 3~4 h 后, 可以刺激根部, 引起根外部介质的酸化, 而在溶液中加入 0.5 mMol 钒酸盐, 能强烈抑制质子外渗, 这说明腐植酸刺激燕麦幼苗根 H<sup>+</sup> 的外泌过程有 H<sup>+</sup>-ATPase 的参与。接下来在玉米上的研究表明, 腐植酸能够促进玉米根系中 H<sup>+</sup>-ATP 酶编码基

因MHA2的表达<sup>[24]</sup>,同时,腐植酸能够作为质膜上H<sup>+</sup>-ATP酶诱导因子提高细胞活性,诱导质膜表面H<sup>+</sup>-ATP酶数量的增加,酸化非原质体,从而使细胞壁松弛,允许细胞伸长;另外,H<sup>+</sup>-ATP酶活性的增加也使电化学质子梯度增加,促进了通过第二运输系统进行的质子跨膜运输,进而改善了植物的营养,刺激植物根系生长<sup>[6]</sup>。

### 2.3 增强植物抗逆性

当植物受到干旱、盐、低温胁迫时,体内脯氨酸含量增多,几种保护酶(SOD、POD、ASP、CAT)活性也随之发生变化<sup>[25-27]</sup>。很多作物上报道,外源添加腐植酸能明显提高叶片SOD活性,降低丙二醛含量,延缓植株衰老,提高植株抗性。如,干旱胁迫下,施用黄腐酸可增加小麦叶片脯氨酸含量,提高植株抗旱性<sup>[28,29]</sup>;而利用腐植酸钾浸种玉米,也可显著增加幼苗叶片细胞保护酶活性,减少丙二醛的产生,降低膜脂的过氧化程度,增加膜的稳定性,提高玉米的抗旱性<sup>[30]</sup>。

### 2.4 提高作物养分吸收与产量

腐植酸提高养分吸收与产量在很多作物上均有报道,如外源添加腐植酸可促进玉米植株的生长发育,增加玉米根、茎和叶的干物质重<sup>[31]</sup>,促进玉米对磷素的吸收,增加玉米的产量<sup>[32]</sup>;冬小麦施用腐植酸可促进植株的光合作用,提高产量和肥料利用率<sup>[33]</sup>。

## 3 腐植酸在马铃薯上的应用研究

实际生活中,中国对于马铃薯的消费多于玉米,可以说是真正的第三大粮食作物<sup>[34]</sup>。有效合理的应用腐植酸可进一步挖掘中国马铃薯的产量潜力。尽管从二十世纪七八十年代开始,已有腐植酸类物质在马铃薯上应用的研究报道,但研究的深度与广度仍滞后小麦、玉米等作物,多数停留在腐植酸对马铃薯的产量、品质效应方面的研究。如在产量效应方面,多位学者研究表明添加腐植酸能明显增加马铃薯产量,增幅为4.0%~44.1%,同时商品薯率可提高1.1%~13.6%<sup>[35-48]</sup>,特别是旱作马铃薯生产中使用腐植酸保水剂<sup>[43]</sup>、喷施腐植酸液体叶面肥均可显著提高块茎产量<sup>[40,44,45]</sup>;在品质效应方面,施用腐植酸可使马铃薯块茎中淀粉含量增加

2.02%,蛋白质含量增加76.65%~89.72%,蔗糖含量增加7.45%~17.37%,抗坏血酸含量提高8.33%~16.67%<sup>[45]</sup>,而喷施腐植酸叶面肥可使小薯块茎比例下降21.1%,淀粉含量提高18.9%~25.2%,抗坏血酸含量提高68.8%~69.1%<sup>[39]</sup>。

总而言之,腐植酸可直接刺激植物根系生长,增强植株抗性,调控土壤酶活性,调控土壤肥料的有效性从而影响植株的生长发育,而马铃薯上腐植酸对肥料增效及增产机理的原因缺乏深入研究。

## 4 腐植酸在马铃薯生产应用上亟待解决的问题

综上所述,腐植酸在许多作物上的应用已经进行了大量的研究。然而,腐植酸在马铃薯上的研究还较少且不够深入,仍有许多问题待深入研究。

(1)腐植酸在许多作物上被认为可提高肥料的利用率,但腐植酸对马铃薯的增产增效机理没有报道,需进一步研究。

(2)腐植酸可影响植株的代谢、根系发育、土壤微生物等过程而提高作物产量和品质,但是在马铃薯上缺乏系统的研究,探究其作用机制是未来的重要研究方向。

(3)大量研究表明,外源添加腐植酸可提高马铃薯产量,但对腐植酸在大田的合理施用量和施用方式鲜有报道,因此,需要研究腐植酸在马铃薯田的施用量和施用方式,为其指导马铃薯的生产提供依据。

### [参 考 文 献]

- [1] 中国腐植酸工业协会. 关于国家腐植酸标准化机构和腐植酸标准用“植”字说明的通知[J]. 腐植酸, 2018, 180(1): 51-52.
- [2] 茹铁军,王家盛. 腐植酸与腐植酸肥料的发展[J]. 磷肥与复肥, 2007, 22(4): 51-53.
- [3] 曾宪成,成绍鑫. 腐植酸的主要类别[J]. 腐植酸, 2002, 87(2): 4-6.
- [4] 程亮,张保林,王杰,等. 腐植酸肥料的研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2011, 144(5): 1-6.
- [5] Seyedbagheri M M. Influence of humic products on soil health and potato production[J]. Potato Research, 2010, 53(4): 341-349.
- [6] Morsomme P, Boutry M. The plant plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase: structure, function and regulation[J]. Biochimica et Biophysica

- Acta (BBA)-Biomembranes, 2000, 1465(1-2): 1-16.
- [7] Allison S D. Soil minerals and humic acids alter enzyme stability: implications for ecosystem processes [J]. Biogeochemistry, 2006, 81(3): 361-373.
- [8] 彭正萍, 门明新, 薛世川, 等. 腐植酸复合肥料对土壤养分转化和土壤酶活性的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(4): 1-4.
- [9] 李东坡, 武志杰, 陈利军, 等. 长期培肥黑土脲酶活性动态变化及其影响因素 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2208-2212.
- [10] 卢静, 朱琨, 侯彬, 等. 腐植酸与土壤中重金属离子的作用机理研究概况 [J]. 腐植酸, 2006, 114(5): 1-5.
- [11] Livens F R. Chemical reactions of metals with humic material [J]. Environmental Pollution, 1991, 70(3): 183-208.
- [12] Hering J G, Morel F M. Humic acid complexation of calcium and copper [J]. Environmental Science and Technology, 1988, 22(10): 1234-1237.
- [13] Halim M, Conte P, Piccolo A. Potential availability of heavy metals to phytoextraction from contaminated soils induced by exogenous humic substances [J]. Chemosphere, 2003, 52(1): 265-275.
- [14] Conte Pellegrino, Agretto Anna, Spaccini Riccardo, *et al.* Soil remediation: humic acids as natural surfactants in the washings of highly contaminated soils [J]. Environmental Pollution, 2004, 135(3): 515-522.
- [15] 段刚强, 杨恒山, 张玉芹, 等. 提高玉米磷肥利用率的研究进展 [J]. 中国农学通报, 2015, 31(21): 24-29.
- [16] 李杰. 磷素活化剂对红壤磷活化效果研究 [D]. 四平: 吉林师范大学, 2011.
- [17] 李丽, 武丽萍, 成绍鑫. 腐植酸磷肥的开发及其作用机理研究进展 [J]. 磷肥与复肥, 1999, 29(3): 60-63, 80.
- [18] 王永壮, 陈欣, 史奕, 等. 低分子量有机酸对土壤磷活化及其机制研究进展 [J]. 生态学杂志, 2018, 37(7): 2189-2198.
- [19] 杨家和, 潘启中. 腐植酸对磷肥转化机理的探讨 [J]. 腐植酸, 2000, 75(3): 32-33, 35.
- [20] Delgado A, Madrid A, Kassem S, *et al.* Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids [J]. Plant and Soil, 2002, 245(2): 277-286.
- [21] 张辉, 姜文勇, 刘波. 不同来源腐植酸促进植物生长活性及作用机理研究——II. 腐植酸对植物酶活性、呼吸作用及光合作用的影响 [J]. 腐植酸, 2000, 74(2): 16-19, 15.
- [22] Nardi S, Pizzeghello D, Muscolo A, *et al.* Physiological effects of humic substances on higher plants [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34(11): 1527-1536.
- [23] Pinton R, Cesco S, Santi S, *et al.* Soil humic substances stimulate proton release by intact oat seeding roots [J]. Journal of Plant Nutrition, 1997, 20(7-8): 857-869.
- [24] Quaggiotti S, Ruperti B, Pizzeghello D, *et al.* Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.) [J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(398): 803-813.
- [25] 刘娥娥, 宗会, 郭振飞, 等. 干旱、盐和低温胁迫对水稻幼苗脯氨酸含量的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2000, 8(3): 235-238.
- [26] 郭伟, 于立河. 腐植酸浸种对盐胁迫下小麦萌发种子及幼苗生理特性的影响 [J]. 麦类作物学报, 2012, 32(1): 90-96.
- [27] 金平, 刘山莉. 腐植酸与水稻抗冷性的研究初探 [J]. 东北农业大学学报, 1997, 28(1): 91-94.
- [28] 梁太波, 王振林, 刘娟, 等. 灌溉和旱作条件下腐植酸复合肥料对小麦生理特性及产量的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 900-904.
- [29] 王天立, 王栓柱, 王书奇. 加强腐植酸提高作物抗逆机理研究促进腐植酸在农业上的大规模应用 [J]. 腐植酸, 1997, 61(1): 1-3, 40.
- [30] 张小冰, 邢勇, 郭乐, 等. 腐植酸钾浸种对干旱胁迫下玉米幼苗保护酶活性及MDA含量的影响 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(7): 69-72.
- [31] 周丽平, 袁亮, 赵秉强, 等. 不同分子量风化煤腐植酸对玉米植株主要代谢物的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(1): 142-148.
- [32] 李军, 袁亮, 赵秉强, 等. 磷肥中腐植酸添加比例对玉米产量、磷素吸收及土壤速效磷含量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(3): 641-648.
- [33] 袁天佑. 减氮配施腐植酸对冬小麦夏玉米轮作系统的增产效应及机理研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
- [34] 卢肖平. 马铃薯主粮化战略的意义、瓶颈与政策建议 [J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2015, 117(3): 1-7.
- [35] 佚名. 腐植酸类肥料对小麦、马铃薯的增产效果 [J]. 农业科学实验, 1976, 7(6): 26-30.
- [36] 徐毅, 朱宝连, 熊强力. 马铃薯和黄芽白施用腐植酸类肥料的效果 [J]. 江西腐植酸, 1982, 8(2): 26-31.
- [37] 张学智, 魏芝, 杨珍. 腐植酸氮磷钾复合肥料对马铃薯产量、商品率及淀粉含量的影响 [J]. 马铃薯杂志, 1996, 10(2): 90-93.

- [38] 王薇, 李子双, 穆吉珍. 腐植酸复合肥在马铃薯上的应用效果研究 [J]. 山东农业科学, 2016, 48(6): 81-83.
- [39] 何建平, 陶启珍, 易平. 腐植酸液体叶面肥对马铃薯产量和品质的影响 [J]. 腐植酸, 2004, 90(1): 24-26, 37.
- [40] 王建阳, 白云龙, 闫东, 等. 含腐植酸水溶肥对马铃薯产量和效益的影响 [J]. 现代农业, 2017, 490(4): 20-22.
- [41] 李平海, 陈宝芳, 柳新明, 等. 生物腐植酸有机肥在马铃薯上的应用效果 [J]. 内蒙古农业科技, 2004(4): 14-16.
- [42] 汤云川, 陈涛, 桑有顺, 等. 叶面喷施水溶性生物腐植酸有机肥对马铃薯产量的影响 [J]. 腐植酸, 2014, 160(5): 10-14.
- [43] 李建玲. 多功能保水剂对马铃薯产量和水分利用效率(WUE)影响研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [44] Rajendiran Selladurai, Tapan Jyoti Purakayastha, 矫威. 腐植酸多营养肥对马铃薯产量及养分利用效率的影响 [J]. 腐植酸, 2018, 183(4): 54.
- [45] 白雪. 腐植酸对不同水分条件下马铃薯光合、养分及产质量的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [46] 沈宝云, 余斌, 王文, 等. 腐植酸铵、有机肥、微生物肥配施在克服甘肃干旱地区马铃薯连作障碍上的应用研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2011, 141(2): 68-70.
- [47] 魏固守, 任俊林. 腐植酸尿素在宁夏南部山区马铃薯上的施用效果 [J]. 宁夏农林科技, 2017, 58(1): 27-28, 50.
- [48] 高娃, 郜翻身, 赵春晓, 等. 含腐植酸复合肥对马铃薯产量的影响 [J]. 现代农业, 2018, 501(3): 52-53.



辰翔矿业有限公司

## 专业生产马铃薯育种——膨胀蛭石

河北灵寿县辰翔矿业有限公司位于河北省石家庄市灵寿县, 是一家专业生产蛭石片、膨胀蛭石、珍珠岩的企业, 已有30多年的发展历史。辰翔公司根据马铃薯育种特点, 研发了育种专用膨胀蛭石。本公司生产的马铃薯专用膨胀蛭石性价比高, 已在国内十几家马铃薯育种公司应用, 并得到一致好评。本公司蛭石产品型号齐全, 也可根据客户需求订制生产。

如果您对我们的产品感兴趣, 欢迎致电联系, 索要资料、样品。

联系人: 薛刚 15613123526、15833992815

地址: 河北省石家庄市灵寿县燕川工业区

电话: 0311-82616100(传真)