

施用麦根酸对小麦、蚕豆间种和 蚕豆单作吸收红壤中磷的影响*

聂艳丽¹, 汤利², 郑毅^{2**}

(1. 云南省林业技术推广总站, 云南昆明 650204;
2. 云南农业大学资源与环境学院, 云南昆明 650201)

摘要: 通过盆栽试验, 在小麦蚕豆间作、蚕豆单作系统中, 研究小麦缺铁诱导产生的根分泌物——麦根酸对红壤中难溶性磷的活化效果。结果表明: 本试验条件下, 施用麦根酸可以显著增加单作蚕豆对红壤中难溶性磷的吸收; 小麦蚕豆间作时, 麦根酸施用对小麦吸收土壤中的磷有显著促进作用, 但对蚕豆磷的吸收影响不大, 小麦蚕豆间作在作物磷吸收方面是具有极大优势的种植制度。

关键词: 麦根酸; 小麦蚕豆间作; 蚕豆单作; 磷吸收; 红壤

中图分类号: S 156.6; S 143.21 文献标识码: A 文章编号: 1004-390X(2004)02-0202-05

Effects of Applying Mugineic Acids on P Uptake of Red Soil in Wheat-broadbean Intercropping and Broadbean Monoculture System

NIE Yan-li¹, TANG Li², ZHENG Yi²

(1. Yunnan General Agency for Forestry Technology Extension, Kunming 650204, China;
2. College of Resources and Environment, Y A U, Kunming 650201, China)

Abstract: Pot Experiment was conducted to investigate the effects of applying mugineic acids on P uptake of wheat and broadbean grown on red soil. Mugineic acids were collected from root exudates of wheat under iron deficiency stress. The results showed that the application of mugineic acids could significantly increase P uptake of broadbean on red soil. The application of mugineic acids could significantly promote P uptake of wheat, but it had a little effect on P uptake of broadbean in the wheat-broadbean intercropping system.

Key words: mugineic acids; wheat-broadbean intercropped; broadbean monoculture; P uptake; red soil

我国是粮食产量受磷钾资源限制最严重的国家之一。原因之一是施用的大量磷肥和土壤中的磷大部分以难溶性磷的形态存在, 使土壤磷的生物有效性较低, 可被植物吸收利用的有效磷含量较低^[1,2]。酸性土壤特别是酸性红壤, 无机磷主要以难溶性磷酸铁、铝盐和闭蓄态磷存在, 使磷的有效

性较低, 许多研究也同样表明^[3,4], 云南滇中红壤普遍缺磷。因此如何活化土壤中难溶性磷, 提高土壤磷的生物有效性是目前研究的热点之一。

长期以来, 人们从土壤改良、磷肥种类、施肥方法、施肥制度、管理措施和轮作制度等方面探索提高土壤有效磷的途径。近年来, 随着根际微生物系

* 收稿日期: 2003-10-13

** 通讯作者: zj212350@public.km.yn.cn

基金项目: 云南省植物病理重点实验室开放基金。

作者简介: 聂艳丽(1974-), 女, 黑龙江人, 硕士, 助理工程师, 主要从事植物营养学方面的研究。

统物质循环的研究的发展,尤其是一些根分泌物的发现,为提高土壤磷的有效性提供了新的途径。

已有的试验表明^[5]:豆科、禾本科、十字花科和蓼科,在缺磷后都表现出根系有机酸的分泌量显著增加。虽然不同种类植物分泌有机酸的种类及其占全量的百分率有差异,但根系分泌的低分子有机酸种类主要包括是:柠檬酸、草酸、酒石酸和苹果酸,这4种低分子量有机酸在植物根际的富集均能明显促进土壤中难溶性磷的释放,提高作物对磷的吸收,缓解植物的磷胁迫。

而麦根酸(MAs)是缺铁条件下,禾本科作物根系分泌的一类非蛋白组成的氨基酸^[6],对于Fe(Ⅲ)有强烈的亲和力,具有6个螯合铁功能基团,并能形成稳定性较强的八面体三价铁螯合物[Fe(Ⅲ)-MAs],它的稳定常数为 $10^{32.5\sim 33.3}$ ^[7,8],而红

壤中铁磷的稳定常数为 7.7×10^{21} ^[9],因而麦根酸能够活化根际的难溶性铁,提高土壤中铁的有效性^[10],但其对小麦蚕豆单作系统中土壤的难溶性磷是否有活化作用,尚未见报道。

因此,本试验以云南常见的种植作物小麦、蚕豆为研究对象,研究了小麦、蚕豆单作条件下,麦根酸对红壤中磷的影响,以期为提高土壤磷的有效性和明确麦根酸对土壤磷的活化提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤

2001年10月~2002年1月,在云南农业大学植物病理玻璃温室进行。供试土壤为云南滇中地区典型的红壤,肥力中等,前作小麦,过10 mm筛。

表1 盆栽试验供试红壤的基本理化性质

Tab. 1 Physical and chemical properties of red soil in the pot experiment

指标	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	pH 值	有机质/ (g·kg ⁻¹)	土壤 质地
原始土样	1.56	1.82	6.27	107.8	18.34	112.73	6.71	29.74	壤土

1.2 供试品种

小麦为云K5,蚕豆为83324。

1.3 种植规格

采用装8 kg土的花盆,间作蚕豆5株/盆,单作蚕豆10株/盆,间作小麦70株/盆。

1.4 试验设计

试验设4个处理,4次重复,随机区组排列。处理1:小麦||蚕豆+MAs;处理2:小麦||蚕豆;处理3:蚕豆+MAs;处理4:蚕豆。施用麦根酸的处理,每次施入麦根酸的浓度和量是一致的;不施用麦根酸的处理,以等量清水对照。

1.5 施肥情况

分别为:N 150 mg/kg[Ca(NO₃)₂],K 100 mg/kg(KCl),Mg 50 mg/kg(MgSO₄),Zn 5 mg/kg(ZnSO₄·7H₂O),Cu 5 mg/kg(CuSO₄·5H₂O)。在装土时,将肥料与土壤充分混匀,一次性施用,但各处理均不施用磷肥。

1.6 麦根酸的收集

将种子用自来水浮选去除瘪粒,而剩下饱满的种子,加30% H₂O₂ 1~2滴消毒15 min,消毒后,用蒸馏水冲净,再用饱和CaSO₄溶液浸泡种子30

min,播种在托盆里,在20~25℃下放置发芽。待种子萌发至子叶展开时(发芽5 d),将均匀一致的幼苗取出,小心用蒸馏水冲洗,移栽至1/2的营养液中培养2 d,在全营养液中培养3 d。缺铁培养7 d后,根会大量分泌麦根酸类物质,开始收集MA。早上给予光照2 h后,将植株从营养液中取出,用蒸馏水将根冲洗干净,或静置于蒸馏水中5 min。然后放在少量蒸馏水的浅盆中,在光照下生长4 h后取出植株放回缺Fe的营养液中,收集MA,装入密封的塑料瓶内于-18℃进行保存,待备用。

1.7 样品采集

每隔14 d取1次样,一共取4次样,整个生长周期为56 d。每次按土体土壤、地上部植株取样。

1.8 样品分析

分析的指标有:土体土壤的有效磷、全磷、pH值;植株全磷。土壤速效磷采用0.5 mol/L NaHCO₃浸提——钼锑抗比色法测定;土壤全磷采用NaOH熔融——钼锑抗比色法测定;pH值的测定采用pH计法,液土比为2.5:1;植株磷的测定采用H₂SO₄-H₂O₂消煮——钼锑抗比色法。

2 结果与分析

2.1 麦根酸施用对土壤有效磷含量的影响

表 2 结果表明:小麦蚕豆盆栽试验中,生长前中期,各个处理间的土壤有效磷含量差异不显著。但在试验末期(56 d),蚕豆单作种植土壤中有效磷

含量显著高于间作种植;间作条件下,施用麦根酸与不施用麦根酸之间土壤有效磷含量无显著差异;单作条件下,施用麦根酸与否对土壤有效磷含量没有显著差异。

2.2 麦根酸施用对植株磷含量的影响

2.2.1 麦根酸施用对蚕豆磷含量的影响

表 2 施用麦根酸对土壤有效磷含量的影响

Tab. 2 Effects of applying MAs on available P content of red soil in the pot experiment

处 理	植株生长天数/d			
	14	28	42	56
小麦 蚕豆 + MAs	16.88 ± 1.52	15.89 ± 1.51	16.60 ± 0.62	15.38 ± 1.77 b
小麦 蚕豆	16.56 ± 1.21	17.61 ± 3.62	17.36 ± 0.35	18.28 ± 0.74 b
蚕豆 + MAs	16.13 ± 3.20	18.55 ± 3.79	16.85 ± 1.91	21.27 ± 2.32 a
蚕豆	17.02 ± 3.87	17.86 ± 2.27	17.90 ± 1.03	21.41 ± 2.34 a

表 3 施用麦根酸对蚕豆磷含量的影响

Tab. 3 Effects of applying MAs on phosphorus content of broadbean in the pot experiment

处 理	植株生长天数/d			
	14	28	42	56
小麦 蚕豆 + MAs	0.80 ± 0.04 bc	0.77 ± 0.08 ab	0.31 ± 0.06 b	0.60 ± 0.06 a
小麦 蚕豆	0.88 ± 0.05 a	0.66 ± 0.02 bc	0.27 ± 0.02 b	0.59 ± 0.10 a
蚕豆 + MAs	0.72 ± 0.04 c	0.59 ± 0.09 c	0.51 ± 0.09 a	0.68 ± 0.07 a
蚕豆	0.82 ± 0.06 ab	0.79 ± 0.05 a	0.49 ± 0.08 a	0.39 ± 0.06 b

从表 3 可以看出:间作条件下,试验前期(14 d),施用麦根酸的蚕豆磷含量明显低于不施用麦根

酸的;随着作物的生长发育,施用麦根酸的蚕豆磷含量较不施用麦根酸有增加趋势,但差异不显著。

表 4 施用麦根酸对间作系统中小麦磷含量的影响

Tab. 4 Effects of applying MAs on phosphorus content of wheat in the intercropping system

处 理	植株生长天数/d			
	14	28	42	56
小麦 蚕豆 + MAs	0.393 ± 0.024	0.378 ± 0.034	0.204 ± 0.018	0.779 ± 0.100
小麦 蚕豆	0.405 ± 0.101	0.384 ± 0.039	0.207 ± 0.014	0.384 ± 0.050

在单作条件下,试验前期(14 d 和 28 d),不施用麦根酸的蚕豆磷含量显著高于施用麦根酸的处理;至试验中期(42 d),施用麦根酸的蚕豆磷含量比不施用麦根酸的处理有增加的趋势,但差异不显著;试验后期(56 d)施用麦根酸的蚕豆磷含量显著高于不施用麦根酸的。表明,单作条件下,在试验后期施用麦根酸能显著提高蚕豆对磷的吸收,增加

蚕豆中磷的含量。

试验结果表明,在生长后期,小麦蚕豆间作条件下施用麦根酸与否及施用麦根酸的蚕豆单作处理,蚕豆磷含量均无显著差异,但均显著高于不施用麦根酸的蚕豆单作。

2.2.2 施用麦根酸对小麦磷含量的影响

表 4 结果说明,在生长前期,施用麦根酸对间

作系统小麦磷含量无显著影响,但随生长至 56 d 时,施用麦根酸间作种植的小麦磷含量显著高于不施用麦根酸的间作种植。可见,施用麦根酸的间作

种植极显著地促进了小麦对磷的吸收。

2.3 麦根酸施用对土壤 pH 值的影响

表 5 施用麦根酸对土壤 pH 值的影响

Tab. 5 Effects of applying MAs on pH of soil in the pot experiment

pH

处 理	植株生长天数/d			
	14	28	42	56
小麦 蚕豆 + MAs	6.84 ± 0.03	6.90 ± 0.07	6.98 ± 0.16	6.87 ± 0.06 ab
小麦 蚕豆	6.85 ± 0.05	6.92 ± 0.06	7.04 ± 0.04	6.93 ± 0.07 a
蚕豆 + MAs	6.82 ± 0.04	6.86 ± 0.11	6.93 ± 0.06	6.89 ± 0.06 ab
蚕豆	6.80 ± 0.07	6.89 ± 0.06	6.99 ± 0.03	6.83 ± 0.06 b

表 5 结果表明:间作条件下,生长前中期,施用麦根酸对土壤的 pH 值影响不显著;随着生长发育进程,施用麦根酸的土壤 pH 值较不施用麦根酸有降低趋势,但不明显。单作条件下,生长前中期,施用麦根酸对土壤 pH 影响不显著,随着生长发育进

程,施用麦根酸的土壤 pH 值较不施用麦根酸有增加趋势,但不显著。施用麦根酸条件下,单作种植与间作种植之间的土壤 pH 无明显差异。

2.4 麦根酸施用对土壤无机磷形态的影响

表 6 施用麦根酸对土体土无机磷组分的影响

Tab. 6 Effects of applying MAs on inorganic phosphorus fractions in the pot experiment

处 理	Al - P/ (mg·kg ⁻¹)	Fe - P/ (mg·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	铁磷占全 磷百分比
小麦 蚕豆 + MAs	25.24 ± 2.12	263.18 ± 31.15	1.87 ± 0.03	14.09 ± 1.78
小麦蚕豆	25.83 ± 1.95	266.39 ± 13.85	1.82 ± 0.03	14.60 ± 0.52
蚕豆 + MAs	28.56 ± 5.84	245.37 ± 11.08	1.83 ± 0.06	13.38 ± 0.68
蚕豆	26.73 ± 7.80	248.58 ± 20.89	1.84 ± 0.01	13.53 ± 1.24

小麦蚕豆盆栽试验中原始土样的铁磷含量为 253.07 mg/kg,铁磷占全磷的百分比为 13.78%。

从表 6 中的数据可以看出,在小麦蚕豆盆栽试验中,间作条件下,施用麦根酸的铁磷占全磷的百分比与不施用麦根酸之间差异不显著;单作条件下,施用麦根酸的铁磷占全磷的百分比与不施用麦根酸之间差异不显著;施用麦根酸条件下,间作种植的铁磷百分含量与单作种植之间差异不显著。但从平均值上可以看出:施用麦根酸的处理,铁磷百分含量都较不施用麦根酸的,可见,施用麦根酸类物质,它能与铁磷中的铁螯合而把难以被植株吸收利用的磷转化为能被植株吸收利用的磷,从而使土壤中磷含量减少。

3 讨论与结论

以上结果表明,随着作物生长发育的进程(试

验 56 d),施用麦根酸显著提高了单作蚕豆的磷含量,显著促进了蚕豆对磷的吸收,但此时施用麦根酸的土壤速效磷含量与不施用麦根酸之间无显著差异(表 2,表 3)。因而蚕豆磷含量的增加,可能是施用的麦根酸活化了土壤中的难溶性磷所致。间作条件下的试验结果进一步证实,麦根酸确有活化土壤难溶性磷的作用。因为在间作条件下,施用麦根酸与不施用麦根酸对蚕豆体内磷含量无显著影响,且与施用麦根酸的单作处理无显著差异,但 3 处理磷含量均显著高于单作蚕豆不施用麦根酸的处理,而间作蚕豆的磷含量显著高于单作蚕豆(表 3),表明间作显著促进了蚕豆磷的吸收。这是因为小麦蚕豆间作时,小麦根系的分泌物可活化土壤中难溶性的磷,而小麦根分泌物中可能又含有麦根酸,所以处理 2 的间作蚕豆磷含量显著高于处理 4 的单作蚕豆,而所施用的麦根酸对间作蚕豆磷含量

的影响不显著。在蚕豆单作时,由于没有小麦根系分泌物的作用,因而施用麦根酸对磷的活化和吸收影响显著,从而显著提高了单作蚕豆磷的含量。

表 4 的结果也说明,在间作条件下,施用麦根酸能显著促进小麦对磷的吸收,增加小麦磷含量。这是因为麦根酸进一步活化了土壤中难溶性磷,所以施用麦根酸的处理,小麦磷含量显著增加,比不施用麦根酸的处理增加了 1 倍。

本试验条件下,施用麦根酸可以显著增加蚕豆对红壤中难溶性磷的吸收;小麦蚕豆间作时,麦根酸施用对小麦吸收土壤中的磷有显著促进作用,但对蚕豆磷的吸收影响不大。

[参 考 文 献]

- [1] ASE A P E A, KUCEY R M N, STEWART J W B. Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture and soil[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1988, 20: 459 - 464.
- [2] ILLMER P, SCHINNER F. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1992, 24(4): 389 - 395.
- [3] 王文富. 云南土壤[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1996.
- [4] 胡红青, 贺纪正, 李学垣, 等. 有机酸对酸性土壤吸附磷的影响[J]. *华中农业大学学报*, 1997, 16(1): 37 - 42.
- [5] 陈凯, 马敬, 曹一平, 等. 磷亏缺下不同植物根系有机酸的分泌[J]. *中国农业大学学报*, 1999, 4(3): 58 - 62.
- [6] HIGUCHI K, KANAZAWA K, NISHIZAWA N K, et al. Purification and characterization of nicotianamine synthase from Fe-deficient barley roots [J]. *Plant and Soil*, 1994, 165: 173 - 179.
- [7] TAKAGI S. Naturally occurring iron-chelating compounds in oat-and-rice root washings. I: Activity measurement and preliminary characterization[J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 1976, 22: 423 - 433.
- [8] 吴平, 印莉萍, 张立平, 等. 植物营养的分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [9] 北京农业大学主编. 普通化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1988.
- [10] 施卫炯, 刘芷宇. 麦类作物根际麦根酸的分布和难溶性铁的活化[J]. *科学通报*, 1991, 36(1): 64 - 67.
- [1] ASE A P E A, KUCEY R M N, STEWART J W B. Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture and soil[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1988, 20: 459 - 464.
- [2] ILLMER P, SCHINNER F. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1992, 24(4): 389 - 395.
- [3] WAUGH W J, BAKER D A, KASTENS M K. Calibration Precision of Capacitance and Neutron Soil Water Content Gauges in Arid Soils[J]. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1996, 10: 391 - 401.
- [4] HALLIKAIMEN M T, ULABY F T, DOBSON M C, et al. Microwave Dielectric Behavior of Wet-Soil. Part I: Empirical Models and Experimental Observation[J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1985, 23: 25 - 34.
- [5] WANG J R. The Dielectric Properties of Soil-Water Mixtures at Microwave Frequencies[J]. *Radio Science*, 1980, 15: 977 - 985.
- [6] WANG J R, SCHMUGGE T D. An Empirical Model for the Complex Permissivity of Soils as a Function of Water Content [J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1980, 18(4): 288 - 295.
- [7] PALTINEANU, STARR J L. Real-Time Soil Water Dynamics Using Multisensor Capacitance Probes: Laboratory Calibration[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61: 1576 - 1585.
- [8] TOPP G C, DAVIS J L, ANNAN A P. Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines[J]. *Water Research*, 1980, 16: 574 - 582.
- [9] Troxler Electronic Laboratories, Manual of Operation and Instruction, Sentry 200 - AP, Troxler Electronic Laboratories, Research Triangle Park, 1993a, North Carolina.
- [10] DEAN T J, BELL J P, BATY A J B. Soil Moisture Measurement by an Improved Capacitance Technique: Part I. Sensor Design and Performance[J]. *Journal of Hydrology*, 1987, 93: 67 - 78.
- [11] MCKIM H L, BERT R L, R W MCGAW. Development of a Remote-Reading Tensiometer/Transducer System for Use in Subfreezing Temperatures, Proceedings of the Second Conference on Soil-Water Problems in Cold Regions, 1976, 31 - 45, Edmonton, Alberta, Canada.

(上接第201页)