doi：10.11838/sfsc.　1673-6257.23148

腐植酸改良铜污染土壤对小麦生长与吸收利用养分的影响

于伟伟[1]，邓　祎[2，3]，寇太记[2*]，夏东方[2]，刘　鹏[1]，陈常友[1]

（1. 河南省科学院地理研究所，河南　郑州　450052；2. 河南科技大学农学院，河南　洛阳　471023；3. 河南省资源环境调查二院，河南　郑州　450007）

摘　要：为了评价腐植酸对铜污染土壤的改良效果，以冬小麦为研究对象，设置施加铜和腐植酸双因素田间盆栽试验，研究成熟期小麦的干物质积累与分配以及对氮、磷、铜素的吸收与利用。结果表明：（1）铜污染土壤中小麦器官的生长受到抑制，总生物量显著降低 28.7% ～ 66.9%；小麦吸收氮、磷量分别显著降低 18.4% ～ 61.5%、9.6% ～ 65.5%，氮、磷素收获指数显著下降；尽管铜污染使小麦对铜素的吸收量显著增加 40.5% ～ 115.2%，但茎向叶和穗的迁移系数下降，使得收获指数无变化。（2）施用腐植酸明显改善铜污染造成的小麦根、茎、穗生长受到的抑制，缓解小麦吸收氮、磷素减少的不利影响；相比铜污染处理，腐植酸低（20 g/kg 干土）和高（40 g/kg 干土）用量可使小麦生物量分别提高 25.0% 和 115.6%，促进小麦对氮（22.6% ～ 111.9%）、磷（28.3% ～ 161.9%）的吸收并提高氮、磷素的收获指数。高腐植酸用量更有助于小麦抵抗铜污染危害胁迫。（3）增施腐植酸能使小麦铜素收获指数显著降低 7.2% ～ 9.0%，但会显著增加铜素由茎向叶（12.2% ～ 30.7%）和由茎向穗（46.8% ～ 71.9%）的迁移，导致铜在穗中的积累量增加。由此可见，施用腐植酸改良铜污染土壤的农用效果仍需要进一步研究。

关键词：土壤污染；腐植酸；土壤改良；冬小麦

随着经济社会的高速发展，人类活动对土壤施加的影响日益突出，部分农田中重金属富集即为其表现之一。根据我国土壤状况调查公报[1]和中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究[2]的结果显示，铜是农田土壤污染中较常见的重金属元素之一，具有难迁移、难降解、易被植物富集等特点[3-4]，威胁食品安全和人体健康[5]。土壤中铜含量过高将造成植株体内代谢紊乱[6-7]，光合作用降低[8-9]，抑制根系的生长[10-11]，矿质元素吸收紊乱[12-14]，明显毒害植物生产[12，15-16]。治理农田土壤中的重金属污染是当今社会的一大难题，针对农业土壤污染的修复和治理已经成为近些年来研究的热点[17]。腐植酸作为自然界中广泛存在的一类大分子有机物质，其化学式结构复杂，并具有酮基、酚基、酚羟基、羧基等多种活性功能团，这使其广泛应用于环境生态修复[18-19]。农田土壤铜污染的来源[20-21]已基本明确，但腐植酸用于治理铜污染农业土壤的效果研究仍不足。本文利用田间盆栽试验，通过分析冬小麦的生物量积累与分配、养分积累与利用等，研究腐植酸用量对铜污染土壤的改良效果，以期为腐植酸在土壤污染修复和治理方面的应用及其效果评价提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验于 2020—2021 年进行，地点设在河南科技大学开元校区农场（34° 35′ N，112° 24′ E）。试验区年平均温度为 14.86℃，年平均降水量 600 mm 左右，年无霜期 >215 d，年日照时数 >2300 h，属于半湿润、半干旱大陆性季风气候。耕层土壤为褐土，质地中壤，土壤全氮 1.06 g/kg、有效磷 3.46 mg/kg、速效钾 135.8 mg/kg、有机质 10.7 g/kg，容重 1.12 g/cm^3，pH 为 8.14。

1.2　试验设计

本试验设置为土壤铜含量和腐植酸用量双因素田间盆栽试验。土壤铜含量设对照（CK，全铜 6 mg/kg）、铜污染［Cu，全铜 155 mg/kg，依据《土

收稿日期：2023-03-09；**录用日期：**2023-04-20

基金项目：河南省科技攻关项目（222102320019）；河南省科学院人才引育项目（230601068）。

作者简介：于伟伟（1987-），助理研究员，博士，主要研究方向为土壤生态学。E-mail: yuweiwei@igs-has.cn。

通讯作者：寇太记，E-mail: tjkou@haust.edu.cn。

壤环境质量标准》（GB 15618—2018）判定为污染］2 个水平，腐殖质用量设置 F0（0 g/kg 干土）、F1（20 g/kg 干土）和 F2（40 g/kg 干土）3 个水平，共 CK、Cu、F1Cu、F2Cu 4 个处理，重复 3 次。

盆栽用土壤采自始建于 2010 年的河南科技大学开元校区农场铜单因子污染厂地，该厂地是研究重金属污染土壤中重金属迁移行为与修复的试验用地。采集对照和铜污染处理的 0 ~ 20 cm 表层土壤，去除杂物过 4 mm 筛混匀后，按每盆装入干土 35 kg，腐植酸处理先与土充分混匀后再装盆，分别装入 PVC 盆（直径 50 cm、深 60 cm），共 12 盆，将各处理盆钵随机埋入土中，以盆钵上沿高出土表 2 cm 为宜。

供试小麦品种是‘洛旱 11’，2020 年 11 月 11 日播种，每盆按 35 株播种，返青期每盆按 25 株定苗，2021 年 6 月 1 日收获。腐植酸采用纯化腐植酸，平均分子量 3.547×10^4 g/mol，元素含量碳 47.2%、氢 3.3%、氧 44.7%、氮 1.3%、硫 3.6%。施肥总量是按照大田的施肥量折算出每盆需施用尿素 8.6 g（220 kg/hm^2），过磷酸钙 10.9 g（P_2O_5 75 kg/hm^2），硫酸钾 2.4 g（K_2O 75 kg/hm^2）。其中，磷、钾肥全部溶水基施，氮肥分别在播种前、拔节期、抽穗期按 4∶3∶3 施用。其他管理方式与大田相同。

1.3　测定内容与方法

生物量：小麦的生物量是将所有盆栽带回室内破坏性取样，植株分为茎、叶、穗和根，105℃下烘干至恒重后称重，测定每盆（25 株小麦的标准盆）小麦各部位生物量（g/ 盆），地上部生物量为茎、叶和穗生物量之和，总生物量为茎、叶、穗和根生物量之和。

植株养分：全氮采用浓硫酸 –H_2O_2 消解 – 凯氏定氮法测定；全磷采用浓硫酸 –H_2O_2 消解钒钼黄比色法测定；全铜采用酸消解 – 原子吸收光谱仪（PinAAcie900F 火焰原子吸收光谱仪，美国 PE）测定。

1.4　数据计算与处理

小麦各部位氮（磷、铜）积累量（g/ 株）= 各部位干物质积累量（g/ 株）× 含氮（磷、铜）量（g/kg）$\times10^{-3}$

植株氮（磷、铜）素积累总量（g/ 株）为各部位氮（磷、铜）素含量总和。

氮（磷）素收获指数（%）= 籽粒氮（磷）积累总量 / 植株氮（磷）素积累总量 ×100

茎向叶的铜迁移系数 $TF_{叶/茎}=C_{叶}/C_{茎}$

茎向穗的铜迁移系数 $TF_{穗/茎}=C_{穗}/C_{茎}$

根向茎的铜迁移系数 $TF_{茎/根}=C_{茎}/C_{根}$

式中，$C_{叶}$为叶中铜含量（mg/kg），$C_{穗}$为穗中铜含量（mg/kg），$C_{茎}$为茎中铜含量（mg/kg），$C_{根}$为根中铜含量（mg/kg）。

所有数据均使用 Excel 2016 整理，Origin 2018 作图，SPSS 24.0 进行方差分析，选择 Duncan 多重比较法在 $P<0.05$ 时进行差异显著性分析。

2　结果与分析

2.1　施用腐植酸对铜胁迫小麦生物量积累与分配的影响

相比 CK，除 F2Cu 处理的叶生物量（–21.8%，$P=0.112$）变化不显著，土壤铜污染显著降低了成熟期小麦根、茎、叶、穗各部位的生物量（$P<0.05$），造成总生物量显著降低 28.7% ~ 66.9%（表 1）。增施腐植酸具有缓解铜污染造成的小麦根、茎、穗生物量的态势，与铜污染处理相比，低腐植酸用量使茎、穗和总生物量分别显著增加 27.5%、37.8% 和 25.0%，高腐植酸用量使根、茎、穗和总生物量分别显著增加 68.5%、94.9%、155.6% 和 115.6%（$P<0.05$）。高腐植酸施用更有助于小麦抵抗铜污染危害胁迫。

表 1　不同处理下冬小麦成熟期生物量积累及分配　（g / 盆）

处理	根	茎	叶	穗	总生物量
CK	1.97 ± 0.15a	31.05 ± 0.92a	6.95 ± 1.39a	61.80 ± 2.74a	101.77 ± 2.68a
Cu	0.89 ± 0.24c	12.46 ± 0.89d	4.12 ± 0.98bc	16.18 ± 0.78d	33.66 ± 0.93d
F1Cu	0.98 ± 0.11c	15.89 ± 0.39c	3.06 ± 0.20c	22.13 ± 2.75c	42.06 ± 3.22c
F2Cu	1.50 ± 0.20b	24.28 ± 2.20b	5.43 ± 0.88ab	41.35 ± 5.02b	72.56 ± 2.16b

注：同列不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。下同。

2.2　施用腐植酸对铜胁迫小麦氮、磷、铜素积累与分配的影响

与 CK 相比，土壤铜污染显著降低了成熟期小麦对氮（18.4% ~ 61.5%）、磷（9.6% ~ 65.5%）的吸收，却增加了小麦对铜素的吸收量（40.5% ~ 115.2%）（图 1）。增施腐植酸能缓解铜污染下小麦对氮、磷素吸收的抑制效应。与铜污染处理相比，增施腐植酸促进小麦对氮（22.6% ~ 111.9%）、磷（28.3% ~ 161.9%）的吸收，且高腐植酸用量的促进作用更明显：低腐植酸用量显著提高了氮在根（14.7%）和穗（36.7%）中的累积量，高腐植酸用量则显著提高了茎（36.7%）和穗（147.0%）中的氮累积量；施加低用量和高用量腐植酸分别显著提高了根、茎、叶、穗中的磷积累量 16.7% ~ 82.7% 和 125.8% ~ 276.6%。然而，低腐植酸用量可显著降低铜污染下小麦根、茎、叶中的铜积累量 25.2% ~ 47.2% 和小麦总吸收铜素量 22.6%，但低和高腐植酸用量均增加了铜在穗中的积累（28.2% 和 112.8%），并在高腐植酸用量显著促进了小麦吸收铜素量（18.6%）。施加腐植酸改土效果在氮、磷吸收上表现为高用量比低用量显著，但均不利于抑制铜污染土壤中铜素在生殖器官中的富集。

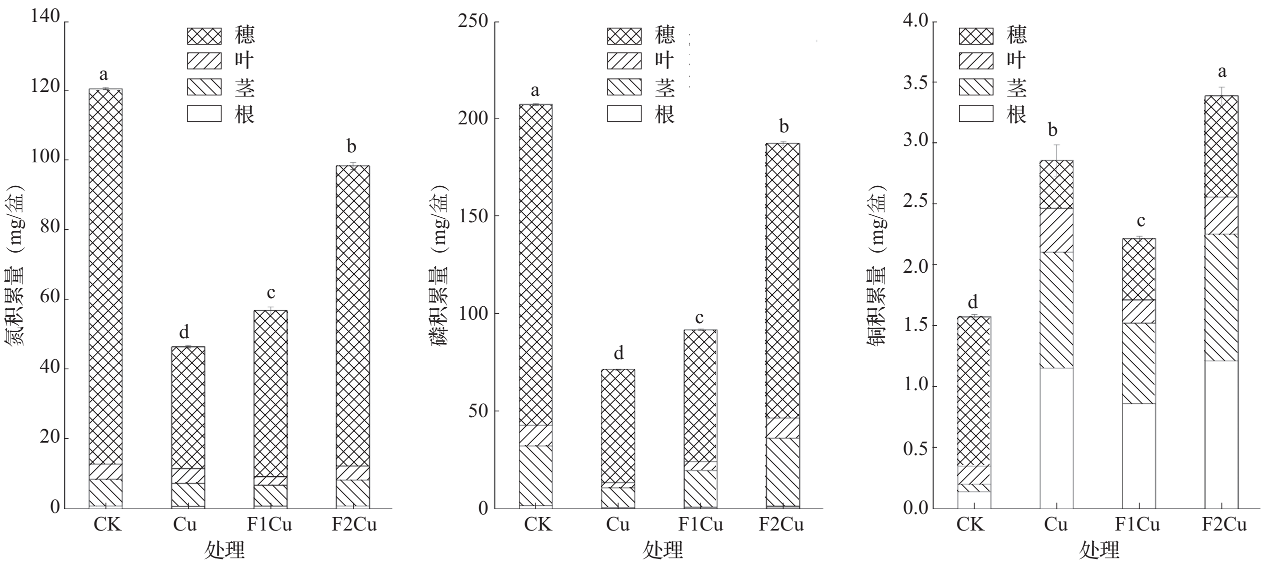

图 1　不同处理对氮、磷、铜素积累量与分配的影响

注：不同小写字母表示不同处理间差异显著（P<0.05）。下同。

2.3　施用腐植酸对铜胁迫小麦氮、磷、铜素农学利用的影响

与 CK 相比，土壤铜污染显著降低小麦的氮（82.2%）、磷（15.9%）素收获指数，但对铜素收获指数无显著影响（图 2）。与铜污染处理相比，增施腐植酸显著提高铜污染土壤小麦的氮（64.6% ~ 77.2%）、磷（11.5% ~ 16.5%）素收获指数，并与腐植酸用量呈正效应。然而，铜污染土壤施用腐植酸显著降低了小麦的铜素收获指数 7.2% ~ 9.0%。

2.4　施用腐植酸对铜胁迫小麦铜迁移系数的影响

由表 2 可知，土壤铜污染影响铜素从根向茎、茎向叶和茎向穗的迁移，尽管铜污染导致铜素由地下向地上茎转移增加态势（66.7% ~ 100.0%，其中 F2Cu 处理 P=0.106），却显著降低了铜素由茎向

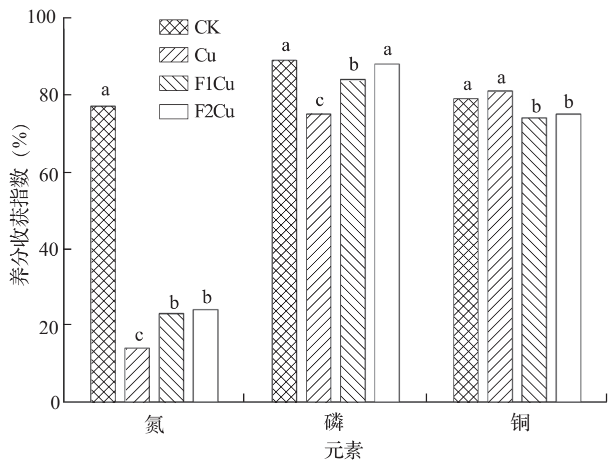

图 2　不同处理对氮、磷、铜素收获指数的影响

叶（86.2% ~ 89.5%）和茎向穗（94.4% ~ 96.7%）的迁移系数。相比铜污染处理，增施腐植酸将有

助于降低铜素由根向茎的转移趋势，却显著增加了铜素由茎向叶（12.2% ~ 30.7%）和由茎向穗（46.8% ~ 71.9%）的迁移。

表 2　腐植酸应用对铜污染下小麦不同组织间铜迁移系数的影响

处理	迁移系数		
	根向茎	茎向叶	茎向穗
CK	0.03 ± 0.001b	10.83 ± 0.037a	9.83 ± 0.053a
Cu	0.06 ± 0.007a	1.14 ± 0.072d	0.32 ± 0.008d
F1Cu	0.05 ± 0.014a	1.49 ± 0.020b	0.55 ± 0.003b
F2Cu	0.05 ± 0.028ab	1.28 ± 0.021c	0.47 ± 0.003c

3　讨论

农田铜污染是近年来粮食生产中面临的一大问题，严重影响作物的产量和安全。有研究发现，铜胁迫显著降低苎麻地上部鲜重、干生物量、株高以及叶片数量[22]。也有研究表明，铜胁迫下植物不同部位的铜含量和积累量也会不同程度地增加，根系会积累更多的铜[23-24]，铜素根向茎、茎向叶及茎向穗转移系数显著降低[25-26]。植物体内铜积累会损伤植物细胞结构，造成代谢紊乱[6-7]，降低光合作用[8-9]，对植物产生一定的毒害作用[15-16]。与前人研究结果相似的是，本试验研究发现，在成熟期，铜污染显著抑制了小麦根、茎、叶、穗各部位的生物量和总生物量的积累，提高了小麦各部位的铜含量和铜积累量，降低了铜素茎向叶、茎向穗的转移系数。氮、磷是植物生长发育必需的营养元素，对光合作用和物质储备影响较大，研究发现，腐植酸能提高冬小麦产量和对氮、磷的吸收[27-28]。本试验研究发现，成熟期小麦生物量以及对氮、磷的吸收均降低，可能源于铜积累造成的毒害作用，也可能与铜污染导致氮、磷积累量显著下降有关[15]，但本试验通过腐植酸的添加缓解了这种下降趋势，高腐植酸用量的缓解效应更大。

土壤中高浓度的铜会导致植物生理和呼吸过程的严重紊乱，阻碍植物生长[29-30]。腐植酸作为主要的炭基材料，因其独特的表面特性及化学性质在生态修复上有重要作用。对植物来说，不同的炭基材料对铜污染的土壤改良效果最重要的一个指标就是植株含铜量。有研究表明，腐植酸对重金属污染物有着良好的吸附或氧化能力，可有效降低植物根、叶和茎中的铜含量，有效减缓植物体内的铜累积效应，显著影响重金属污染物的迁移性及其生物可利用度[18-19, 22, 31]。与前人研究相似，本试验研究发现，铜污染土壤增施不同比例的腐植酸（F1、F2）后，成熟期小麦地上部和总生物量降低程度均减小，小麦根、茎、叶和穗中铜的含量都下降，高腐植酸施加下的减少程度更大。这说明腐植酸能够缓解铜污染土壤造成的小麦穗部铜含量的积累，对改良铜污染土壤有很好的效果，高腐植酸施加的改良效果更佳。

本研究发现，增施腐植酸只能在一定程度上缓解土壤铜污染对小麦生长的不利影响，并没有因为改良土壤铜污染环境而使小麦生物量增加，与 CK 相比，增施腐植酸后小麦地上部和总生物量的积累依然是降低的。有研究表明，施用腐植酸、生物炭等炭基材料改变了土壤的理化性质[32]，如显著提高 pH、电导率和阳离子交换量等。因此推测，小麦生物量的降低可能与增施腐植酸在一定程度上改变了土壤理化性质、孔隙度、土壤容重及必需营养元素的吸收等有关，但具体原因还不清楚，仍需进一步研究。

4　结论

农业土壤铜污染是制约小麦作物生长与吸持养分的环境问题，施用腐植酸改良铜污染土壤，在 20 ~ 40 g/kg 干土的施用范围内，有助于增加小麦作物抵抗铜污染胁迫造成的危害，促进作物生长并提高小麦对氮、磷素的吸收利用。然而，施用腐植酸尽管降低了小麦铜素的收获指数，低用量也有助于降低小麦对铜素的吸持，但高腐植酸用量则会增加小麦对铜的吸收量，而且不同比例腐植酸的施用均会增加铜素由茎向穗的转移，增加铜在穗中的积累量。所以，施用腐植酸改良铜污染土壤不能只考虑作物生长的改善，更需要考虑铜在作物生殖器官中的积累是否会造成作物的铜污染。

参考文献：

[1]　Li C Y，Weng H Y，Gao X Y，et al. Initial investigation of another possible reason to cause global warming［J］. Chinese Journal of Atmospheric Sciences，2003，27（5）：789-797.

[2]　IPCC. Climate Change 2007. Synthesis Report：Summary for Policymakers［EB/OL］.（2007-12-01）［2010-08-08］. http：//www.ipcc.ch.

[3]　闫敏华，陈泮勤，邓伟，等. 三江平原气候变暖的进一步

认识：最高和最低气温的变化［J］．生态环境，2005，14（2）：151-156.
［4］ Easterling D R，Peterson T C，Karl T R．Maximum and minimum temperature trends for the globe［J］．Science，1997，277：364-367.
［5］ 龚继明．重金属污染的缓与急［J］．植物生理学报，2014，50（5）：567-568.
［6］ Liu J，Wang J，Lee S，et al．Copper-caused oxidative stress triggers the activation of antioxidant enzymes via ZmMPK3 in maize leaves［J］．Plos One，2018，13：e0203612.
［7］ 苟本富．铜胁迫对蚕豆种子萌发及幼苗生长的影响［J］．西南师范大学学报（自然科学版），2010，35（5）：116-120.
［8］ Vinit-Dunand F，Epron D，Alaoui-Sossé B，et al．Effects of copper on growth and on photosynthesis of mature and expanding leaves in cucumber plants［J］．Plant Science，2002，163：553-558.
［9］ Li F M，Xiong Z T，Zheng Z H．Research on tolerance and bioaccumulation of seven species（Cultivam）of plants' on lead［J］．Agricultural Systems，1999，18（6）：246-250.
［10］ 田生科，李廷轩，彭红云，等．铜胁迫对海州香薷和紫花香薷根系形态及铜富集的影响［J］．水土保持学报，2005，19（3）：97-100.
［11］ 刘鹏，应小芳，徐根娣．大豆对铝毒抗逆性的研究［J］．农业环境科学学报，2004，23（4）：649-652.
［12］ 殷金梅．Cu胁迫对小麦幼苗生长及金属元素含量的影响［J］．农业科技与信息，2017（9）：71-73.
［13］ Rhoads A，Olson F M．Copper toxicity in tomato plants［J］．Journal of Environmental Quality，1989，18（2）：33-36.
［14］ 赵振纪，刘永厚，黄细花．铜对紫云英固氮作用及养分吸收的影响［J］．中国土壤与肥料，1993（5）：23-27.
［15］ 林义章，徐磊．铜污染对高等植物的生理毒害作用研究［J］．中国生态农业学报，2007，15（1）：201-204.
［16］ 王萌，李杉杉，李晓越，等．我国土壤中铜的污染现状与修复研究进展［J］．地学前缘，2018，25（5）：305-313.
［17］ Karl T R，Jones P D，Knight R W，et al．A new perspective on recent global warming：Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature［J］．Bulletin American Meteorologicl Society，1993，74：1007-1023.
［18］ Zhang T，Huang Y，Yang X．Climate warming over the past three decades has shortened rice growth duration in China and cultivar shifts have further accelerated the process for late rice［J］．Global Change Biology，2013，19（2）：563- 570.
［18］ Wang H L，Gan Y T，Wang R Y，et al．Phenological trends in winter wheat and spring cotton in response to climate changes in northwest China［J］．Agricultural and Forest Meteorology，2008，148：1242-1251.
［19］ 陈雅丽，翁莉萍，马杰，等．近十年中国土壤重金属污染源解析研究进展［J］．农业环境科学学报，2019，38（10）：2219-2238.
［20］ 颜士敏．土壤Cu污染对籼稻品种产量形成的影响［D］．扬州：扬州大学学报，2007.
［21］ Muzammal R．氮肥和生物炭对铜污染土壤苎麻生长和铜吸收及抗逆性影响［D］．武汉：华中农业大学，2019.
［22］ Thounaojam T C，Panda P，Mazumdar P，et al．Excess copper induced oxidative stress and response of antioxidants in rice［J］．Plant Physiology and Biochemistry，2012，53：33-39.
［23］ Mahmud S，Hassan M M，Moniruzzaman M，et al．Study on the accumulation of copper from soil by shoots and roots of some selective plant species［J］．International Journal of Biosciences，2013，3：68-75.
［24］ Alaoui-Sossé B，Genet P，Vinit-Dunand F，et al．Effect of copper on growth in cucumber plants（Cucumis sativus）and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents［J］．Plant Science，2004，166：1213-1218.
［25］ 邓祎，寇太记，赖路宽，等．夜间增温与农田铜污染对小麦吸持铜的影响［J］．中国生态农业学报（中英文），2021，29（5）：903-909.
［26］ 李伟，袁亮，张水勤，等．中低分子量腐植酸提高冬小麦磷吸收和产量的机理［J］．植物营养与肥料学报，2020，26（11）：2043-2050.
［27］ 赵晓燕，朱先哲，吴洪燕，等．腐植酸对小麦生长发育的调控研究［J］．山东农业大学学报（自然科学版），2022，53（2）：197-208.
［28］ Chaffai M A，Elhammadi T N，Seybou B，et al．Altered fatty acid profile of polar lipids in maize seedlings in response to excess copper［J］．Journal of Agronomy and Crop Science，2007，193：207-217.
［29］ Zvezdanovic J，Markovic D，Nikolic G．Different possibilities for the formation of complexes of copper and zinc with chlorophyll inside photosynthetic organelles：chloroplasts and thylakoids［J］．Journal of the Serbian Chemical Society，2007，72：1053-1062.
［30］ 任国玉，初子莹，周雅清，等．中国气温变化研究最新进展［J］．气候与环境研究，2005，10（4）：701-716.
［31］ 裴瑞杰，王俊忠，冀建华，等．腐植酸肥料与氮肥配施对土壤理化性质的影响［J］．江苏农业科学，2018，46（19）：331-334.
［32］ 应永庆，傅庆林，郭彬，等．腐植酸对滨海盐土土壤性质及水稻产量的影响［J］．安徽农学通报，2021，27（22）：121-123，131.

Effects of humic acid modified copper contaminated soil on wheat growth and nutrient uptake

YU Wei-wei[1], DENG Yi[2, 3], KOU Tai-ji[2*], XIA Dong-fang[2], LIU Peng[1], CHEN Chang-you[1]（1. Institute of Geographical Sciences, Henan Academy of Sciences, Zhengzhou Henan 450052; 2. Henan University of Science and Technology College of Agriculture, Luoyang Henan 471023; 3. The Second Institute of Resources and Environment Investigation of Henan Province, Zhengzhou Henan 450007）

Abstract: In order to evaluate the improvement effect of humic acid on copper contaminated soil, the two-factor winter wheat pot experiment of copper and humic acid in the field were set up to study the accumulation and distribution of dry matter and the absorption and utilization of nitrogen, phosphorus and copper elements in winter wheat. The main results were as follows: (1) The copper contaminated soil (CS) restrained the growth of wheat organs and significantly reduced the total biomass by 28.7%–66.9%, and reduced nitrogen and phosphorus uptake by 18.4%–61.5% and 9.6%–65.5%, respectively, and nitrogen and phosphorus harvest index decreased significantly. However, the CS significantly increased copper uptake by 40.5%–115.2%, while dropped the migration coefficient of stem to leaf and wheatear, which made no change in the harvest index. (2) Application of humic acid obviously improved the inhibitory growth of root, stem and wheatear and alleviated the adverse effects of absorption of nitrogen and phosphorus reduction on wheat due to soil copper pollution. Compared with copper pollution treatment, low (20 g/kg dry soil) and high (40 g/kg dry soil) dosage of humic acid significantly increased the biomass by 25.0% and 115.6%, respectively, and promoted the absorption of nitrogen (22.6%–111.9%) and phosphorus (28.3%–161.9%) and harvest index of nitrogen and phosphorus. The application of large dosage of humic acid was more help for wheat resistance to copper pollution hazard stresses. (3) The application of humic acid significantly increased the accumulation of copper by a significant increase in copper migration coefficient from stem to leaf (12.2%–30.7%) and from stem to wheatear (46.8%–71.9%), although it could significantly reduce the copper harvest index of wheat by 7.2% to 9.0%. Unfortunately, this led to an increased accumulation of copper in the spike. Obviously, the agricultural effect of humic acid ameliorant copper contaminated soil requires further analysis.

Key words: soil pollution; humic acid; soil improvement; winter wheat