

腐殖酸与硝化抑制剂配施对油菜生长及品质的影响

高纪超^{1, 2}, 石元亮^{2*}, 魏占波², 张 蕾², 王玲莉², 张 鹰³, 聂宏光³, 张光宇⁴

(1. 中国科学院大学, 北京 100039; 2. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016;
3. 辽宁中科生物工程股份有限公司, 辽宁 本溪 117000; 4. 长春市土壤肥料工作站, 吉林 长春 130033)

摘 要: 腐殖酸与硝化抑制剂在作物生长过程中均会发挥协调养分供应的作用, 但是目前针对二者配施对作物生长及品质影响的研究还较为缺乏。因此, 采用盆栽试验的方法, 探究两种不同来源的腐殖酸 (标记为 Y 和 B) 与硝化抑制剂 DMPP 配施对油菜生长及品质的影响。试验共设 9 个处理, 分别为 (1) 不施肥 (CK)、(2) 单施氮磷钾 (NPK) (U)、(3) NPK 配施 DMPP (UD)、(4 ~ 9) NPK 配施 DMPP 和 3 个浓度梯度腐殖酸 Y 和 B (UDY1, UDY2, UDY4; UDB1, UDB2, UDB4)。结果发现, 与 U 处理相比, DMPP 并没有显著影响油菜鲜重和干重等物理指标, 但是显著降低了 27.5% 的硝酸盐含量 ($P < 0.05$), 增加了 31.1% 的可溶性糖含量 ($P < 0.05$), 而对油菜体内氮、磷、钾含量并没有显著的影响。与 UD 处理相比, 腐殖酸 Y 和 B 的添加可以分别进一步降低油菜硝酸盐含量 30.9% 和 50.9%, 分别增加油菜含氮量 6.1% 和 12.3% ($P < 0.05$), 增加油菜含磷量 35.2% 和 17.9% ($P < 0.05$); 腐殖酸对氮、磷、钾肥的利用效率也具有显著的促进效果, 其中最佳的促进效果分别为 32.3% (UDB1)、53.2% (UDY4)、34.3% (UDY4) ($P < 0.05$)。综合以上研究结果, 可以发现腐殖酸与 DMPP 配施可以在单施 DMPP 的基础上进一步提高油菜肥料的利用率, 改善油菜品质和安全质量。

关键词: 硝化抑制剂; 腐殖酸; 作物生长; 硝酸盐含量

氮素是作物生长所必需的营养元素, 作物体内蛋白质、叶绿素、核酸等物质均含有氮素^[1]。施用氮肥是为作物提供生长所需氮素最直接有效的方式, 然而, 目前中国氮肥的利用率仅为 35% 左右, 除被微生物等固定在土壤中的氮素外, 50% 左右的氮素经硝化-反硝化、氨挥发、淋洗、径流等途径损失进入环境当中, 其中, 经硝化作用形成硝态氮 (NO_3^-) 是氮素损失的主要途径^[2]。 NO_3^- 的大量形成和损失不仅会对生态环境造成显著的负面影响, 还会通过食物链对人体产生危害。在作物生长过程中, 土壤中 NO_3^- 会被作物吸收并且储存在作物体内, 其中, 蔬菜是一种极易富集硝酸盐的作物, 人体摄入的 NO_3^- 70% ~ 80% 来自蔬菜^[3], 因此, 蔬菜的食用安全性及品质与人类的身体健康状况是息息相关的。

为了有效地减少 NO_3^- 在蔬菜内的累积量, 并

且保证蔬菜产量, 很多学者对硝化抑制剂进行了广泛的研究和应用, 硝化抑制剂可以通过抑制硝化过程中相关酶及微生物的活性, 阻碍硝化过程的进行^[4-5], 从而延长铵态氮 (NH_4^+) 在土壤中的保持时间, 减少土壤中 NO_3^- 的含量, 有效地减少蔬菜对 NO_3^- 的吸收, 从而减少作物体内硝酸盐的积累, 提高作物的品质指标^[6-8]。有研究发现, 添加硝化抑制剂虽然可以促进作物对氮素的吸收, 但是对其他营养元素, 如磷、钾等无显著的促进效果^[9-10]。

腐殖酸因含有较多的亲水基团 (羧基 $-\text{COOH}$; 羟基 $-\text{OH}$) 而表现出很高的表面活性反应, 并且由于自身携带负电荷, 可以有效地吸附土壤中的阳离子, 如 NH_4^+ , 因此可以提高土壤中 NH_4^+ 的含量^[11]。另外, 研究发现腐殖酸可以有效活化磷素, 增加作物对磷的吸收^[12]。腐殖酸在改善土壤理化性状方面同样具有一定的促进作用^[13]。由于腐殖酸来源不同, 结构存在显著的差异性。前人研究指出, 不同结构与含量的腐殖酸对活化土壤养分具有显著的差异性^[12-14]。腐殖酸和 3, 4-二甲基吡唑磷酸盐 (DMPP) 均可以调节土壤中有效养分的含量, 但是, 目前关于腐殖酸与抑制剂配施对作物影响的研究仍然较为缺乏。因此, 本文

收稿日期: 2020-05-13; 录用日期: 2020-07-20

基金项目: 新型稳定性复混肥料研制与产业化 (2017YFD0200708-2)。

作者简介: 高纪超 (1989-), 男, 吉林磐石人, 博士研究生, 主要从事硝化抑制剂抑制效果研究。E-mail: gaojichao0918@126.com。

通讯作者: 石元亮, E-mail: shiyl@iae.ac.cn。

假设: (1) 腐殖酸与硝化抑制剂配施可以发挥协同增效作用, 有效地提高作物产量, 改善作物品质; (2) 腐殖酸与硝化抑制剂配施对作物的协同作用会因腐殖酸结构的不同而产生差异性。本文从不同物质当中提取了 2 种结构具有显著差异性的腐殖酸, 通过盆栽试验探讨硝化抑制剂与 2 种腐殖酸配施对蔬菜产量及品质的影响, 验证提出的假设。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与材料

供试土壤为黑钙土, 取自吉林省大安市 ($44^{\circ}51'10''$ N; $125^{\circ}11'3''$ E), 土壤的基本性质为

pH 8.39, 砂粒 62%, 粉粒 20%, 粘粒 18%, 电导率 $78.47 \mu\text{S}/\text{cm}$, 总有机碳 $12.23 \text{ g}/\text{kg}$, 总氮 $1.52 \text{ g}/\text{kg}$, 碱解氮 $26.98 \text{ mg}/\text{kg}$, 有效磷 $17.48 \text{ mg}/\text{kg}$, 速效钾 $111.04 \text{ mg}/\text{kg}$ 。硝化抑制剂选用 DMPP。腐殖酸分别提取自柏树 (Y) 和褐煤 (B) (表 1), 腐殖酸的提取和检测方法主要根据 Brunetti 等^[15] 和 Borghetti 等^[16] 所提出的方法。

1.2 试验设计

盆栽试验于中科新型肥料有限公司温室内进行, 盆栽容器选用上口直径 25 cm, 底部直径 20 cm 的聚乙烯盆, 每盆装入 5 kg 过 5 mm 筛的土壤, 供试蔬菜为油菜, 品种为苏州青, 供试氮肥为尿素、磷肥为过磷酸钙、钾肥为氯化钾。试验共设 9 个处

表 1 供试腐殖酸基本性质

来源	标记	pH	灰分 (g/kg)	含 C 量 (g/kg)	含 N 量 (g/kg)	含 H 量 (g/kg)	C/N	C/H	O/C	O+S (g/kg)	$\Delta \lg K$
褐煤	B	5.86	462.5	311.8	7.8	38.3	40	0.67	1.3	642	0.39
柏树	Y	3.31	491.3	295.1	0.4	61.2	820	0.40	1.6	643	0.93

注: $\Delta \lg K$ 为腐殖物质色调系数, 其值越大, 说明腐殖物质分子结构越简单^[17]。

理, 如表 2 所示。

表 2 试验处理

处理	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg/hm ²)	DMPP (kg/hm ²)	腐殖酸 (C kg/hm ²)
CK	—	—	—
U	150-90-90	—	—
UD	150-90-90	1.5	—
UDY1	150-90-90	1.5	15
UDY2	150-90-90	1.5	30
UDY4	150-90-90	1.5	60
UDB1	150-90-90	1.5	15
UDB2	150-90-90	1.5	30
UDB4	150-90-90	1.5	60

注: 由于本研究目的在于研究腐殖酸的添加是否会对硝化抑制剂的应用效果造成影响, 因此在试验处理中并没有设置腐殖酸与肥料单独配施的处理, 仅设置了硝化抑制剂单独添加和硝化抑制剂与腐殖酸配施的处理。

1.3 作物指标检测方法

植株全 N 采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 氧化镁-戴氏合金蒸馏法; 植株全 P 采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 钒钼黄比色法; 植株全 K 采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 火焰光度法; 植株硝酸盐采用水杨酸比色法; 植株

可溶性糖采用蒽酮比色法^[18]。

1.4 数据计算与统计分析

肥料利用率 = (施肥植株 N/P/K 含量 - 未施肥植株 N/P/K 含量) / (N/P/K 施入量)

采用 Excel 2013 进行数据采集及处理; 利用 SPSS 13.0 软件进行数据间的差异性分析; 利用 Origin 9.0 进行数据的图标处理与表征。

2 结果与分析

2.1 硝化抑制剂与腐殖酸配施对油菜生长的影响

不同处理对油菜生长特征及产量的影响如表 3 所示, 从数据中可以看出, 与 CK 相比, 施肥可以有效地促进作物生长。与 U 相比, UD 虽然对油菜产量表现出了促进作用, 但并没有达到显著的差异水平。与 UD 相比, UDY1 和 UDB1 分别增加了 9.0% ($P < 0.05$) 和 4.2% ($P > 0.05$) 的油菜鲜重, 2.6% 和 2.5% 的含水量 ($P < 0.05$), 另外 UDY1 还增加了 9.3% 的油菜叶片数。随着腐殖酸施入量的增加, UDY2 和 UDY4 对以上指标的促进效果逐渐降低。但是, 与 UD 相比, UDY1 和 UDB1 分别显著降低了 22.2% 和 33.3% 的油菜干重, 随着腐殖酸施入量的增加, 油菜干重也随之增加。

表 3 硝化抑制剂与腐殖酸配施对油菜产量及生长特征的影响

处理	鲜重 (g/棵)	干重 (g/棵)	含水量 (%)	叶片数 (叶/棵)
CK	7.1 (0.2) d	0.6 (0.1) d	91.8 (1.0) d	4.8 (0.5) e
U	14.2 (0.4) b	0.9 (0.1) ab	93.4 (0.2) bc	5.4 (0.2) b
UD	14.4 (0.4) b	0.9 (0.0) ab	93.5 (0.3) bc	5.6 (0.4) ab
UDY1	15.7 (0.3) a	0.7 (0.1) d	95.8 (0.7) a	5.9 (0.1) a
UDY2	14.8 (1.1) b	0.9 (0.2) bc	94.2 (1.5) bc	5.9 (0.1) a
UDY4	14.6 (0.4) b	1.0 (0.0) a	92.9 (0.0) cd	5.7 (0.1) ab
UDB1	15.0 (0.2) ab	0.6 (0.0) d	95.7 (0.2) a	5.7 (0.5) ab
UDB2	14.5 (0.2) b	0.8 (0.0) c	95.5 (0.2) a	5.8 (0.3) ab
UDB4	13.2 (0.3) c	0.9 (0.0) ab	94.2 (0.1) b	5.7 (0.1) ab

注: 同列不同字母表示不同处理间差异达显著水平 ($P<0.05$), 括号内数据为标准差。下同。

2.2 硝化抑制剂与腐殖酸配施对油菜品质指标的影响

表 4 为不同处理下油菜的品质指标, 可以看出与 CK 相比, U 处理显著地提高了油菜中各项品质指标的含量。而与 U 相比, UD 显著地降低了油菜 27.5% 的硝酸盐含量 ($P<0.05$), 显著增加了 31.1% 的可溶性糖含量 ($P<0.05$), 而对油菜 N、P、K 含量并没有显著的影响。

与 UD 相比, 腐殖酸的添加进一步降低了油菜硝酸盐的含量, UDY1、UDY2、UDY4、UDB1、

UDB2、UDB4 的油菜硝酸盐含量分别显著降低了 15.2%、34.7%、42.7%、49.9%、60.0%、74.5%; 油菜可溶性糖的含量也随着腐殖酸的添加而降低, 最为显著的为 UDY4 和 UDB1, 分别降低了 57.0% 和 53.5%; 本试验中腐殖酸 Y 和 B 的添加可以分别平均增加 6.1% 和 12.3% 的油菜含 N 量, 35.2% 和 17.9% 的油菜含 P 量, 腐殖酸 Y 的施用可以平均增加 11.1% 的油菜 K 含量, 而腐殖酸 B 则对油菜 K 含量无显著的促进作用。

表 4 硝化抑制剂及腐殖酸配施对油菜品质的影响

处理	硝酸盐含量 (mg/kg)	可溶性糖含量 (g/kg)	植株含 N 量 (g/kg)	植株含 P 量 (g/kg)	植株含 K 量 (g/kg)
CK	212.9 (15.4) d	33.6 (2.2) f	10.1 (0.4) e	3.0 (0.2) e	16.5 (4.0) d
U	777.3 (56.8) a	86.8 (13.2) cd	17.7 (1.6) d	5.3 (0.9) d	32.3 (4.0) c
UD	563.4 (37.3) b	113.8 (5.6) ab	19.0 (2.3) cd	5.4 (0.3) d	35.0 (2.3) bc
UDY1	477.8 (137.5) b	122.0 (9.5) a	19.4 (2.1) cd	6.0 (1.2) bcd	37.6 (2.3) bc
UDY2	367.8 (49.4) c	102.3 (7.7) bc	21.3 (0.1) abc	7.1 (0.6) ab	38.9 (2.3) ab
UDY4	322.9 (36.8) cd	48.9 (3.1) e	19.8 (0.7) bcd	7.3 (0.2) a	40.2 (0.0) a
UDB1	282.2 (49.8) cd	52.9 (11.2) e	22.6 (0.6) a	5.9 (0.3) cd	32.3 (4.0) c
UDB2	225.1 (7.1) d	74.5 (17.0) d	22.0 (1.0) ab	6.3 (0.2) abc	33.6 (2.3) bc
UDB4	143.6 (42.8) e	100.7 (2.0) bc	19.4 (1.1) cd	6.9 (0.3) abc	36.3 (4.0) abc

2.3 硝化抑制剂及腐殖酸配施对肥料利用率的影响

在肥料利用率方面, 与 U 相比, 硝化抑制剂 DMPP 的添加在一定程度上促进了油菜对 NPK 肥料的吸收, 提高了肥料利用率, 但是, 其促进效果并

没有达到显著的水平 ($P>0.05$) (图 1)。

与 UD 相比, 腐殖酸的添加影响了油菜对肥料的利用效率。在氮肥利用率方面, UDY1 与 UDY2 并没有对油菜的氮肥利用效率产生显著的影响, 并

且 UDY1 还起到一定的负面作用, 随着腐殖酸 Y 添加量的增加, 其对油菜氮肥利用率的促进作用逐渐增强, UDY4 处理中油菜氮肥利用率较 UD 提高了 16.3%, 较 UDY1 显著提高了 32.7%。在腐殖酸施入量相同的条件下, 腐殖酸 B 对油菜氮肥利用率的促进效果要优于腐殖酸 Y (图 1), 但腐殖酸 B 随着施入量的增加, 其对氮肥利用率的促进效果呈现出逐渐减弱的趋势, 与 UD 相比, UDB1、UDB2 和 UDB4 的氮肥利用率分别提高了 32.3%、21.7% 和 12.7%。

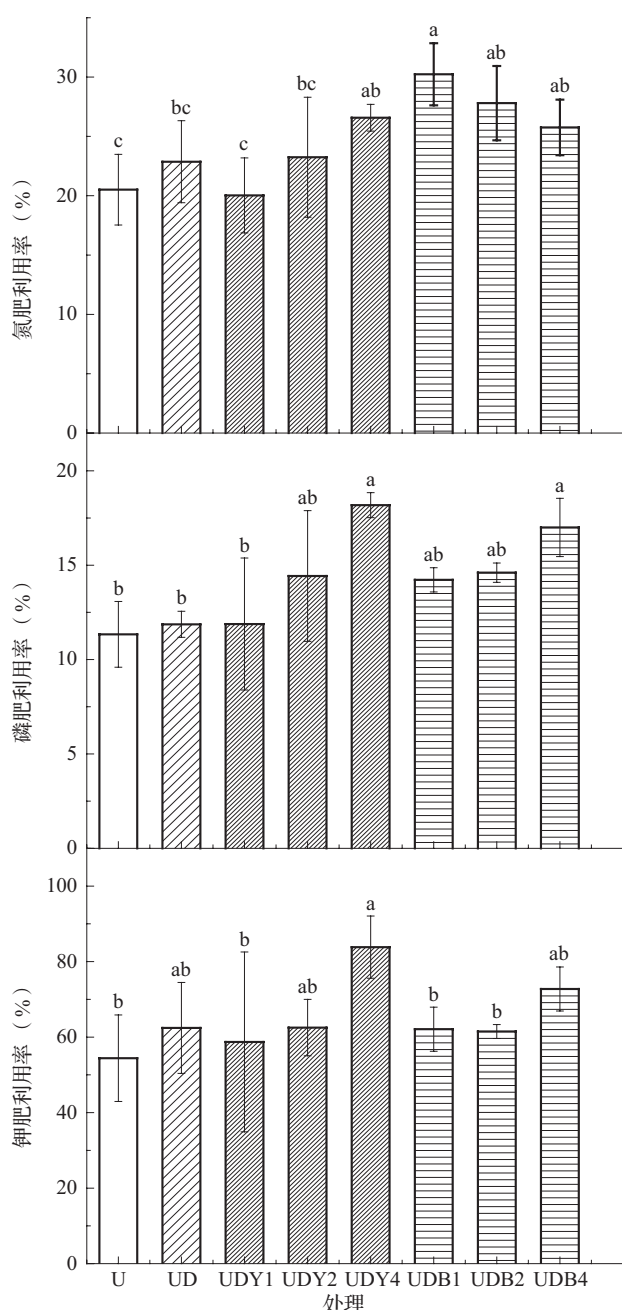


图 1 不同处理对油菜肥料利用率的影响

注: 不同字母表示处理间差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

不同处理对油菜磷肥和钾肥利用率的影响呈现出相同的趋势, 与 U 相比, UD 并没有影响油菜磷肥和钾肥的利用效率 (图 1)。而 DMPP 与腐殖酸配施后, 随着腐殖酸添加量的增加, 油菜磷肥和钾肥的利用效率也逐渐升高, 与 UD 相比, UDY4 和 UDB4 分别提高 53.2% 和 43.2% 的磷肥利用率及 34.3% 和 16.5% 的钾肥利用率。

3 讨论

3.1 硝化抑制剂与腐殖酸配施对油菜生长的影响

施肥可以有效地提高土壤中的养分含量, 因此, 与 CK 相比, U 显著地促进了油菜的生长。孙志梅等^[19]研究发现, 硝化抑制剂的施入对油菜的鲜重和干重虽然具有一定的促进作用, 但是效果并不显著, 这与本文的研究结果相似 (表 3)。腐殖酸与 DMPP 配施之后, 并没有对油菜的鲜重产生显著的促进效果, 这个结果否定了在进行研究之前所提出的关于腐殖酸与 DMPP 影响作物产量的科学假设, 这可能是由于腐殖酸对土壤养分的吸附与作物对养分的吸收之间产生的一定的竞争关系, 而诸如菠菜、油菜等属于生长期较短、养分需求较高的作物^[20], 因此, 腐殖酸的添加可能限制了此类作物的生长, 如果试验作物选用小麦、玉米等生长期较长的作物, 可能会具有较为明显的增产效果。

3.2 硝化抑制剂与腐殖酸配施对油菜品质的影响

硝化抑制剂 DMPP 与不同种类腐殖酸的添加显著地影响了油菜的品质指标 (表 4)。腐殖酸的施用对油菜可溶性糖的积累并没有起到促进作用, 反而表现出了一定的抑制作用, 这与刘方春^[20]的研究结果是完全相反的, 可能是由于腐殖酸影响了油菜的光合作用, 但是具体原因需要进一步的研究证明。

作物对土壤中 NH_4^+ 的吸收属于主动吸收^[21], 需要消耗的能量较低, 理论上来看, 植物吸收 1 mol 的 NH_4^+ , 仅需消耗 296 个光子, 并且 NH_4^+ 进入植株体内后可直接合成氨基酸, 而 NO_3^- 在植物同化的过程中, 要先进行还原反应, 而且在 NO_3^- 同化过程中, 耗能最低的过程也需要 305 个光子^[22]。硝化抑制剂 DMPP 进入土壤之后, 可以有效抑制土壤中的硝化作用, 在增加土壤中 NH_4^+ 含量的同时抑制 NO_3^- 的产生。因此, 在本研究中, 硝化抑制剂 DMPP 的施入显著降低了油菜体内

NO_3^- 的含量,同时提高了植株的含氮量。

本试验中,与 UD 相比,2 种不同种类的腐殖酸均进一步降低了油菜硝酸盐的含量,油菜硝酸盐的含量均随着腐殖酸施入量的增加而降低,并且腐殖酸 B 的效果要强于腐殖酸 Y (表 4),这一结果验证了所提出的腐殖酸与 DMPP 之间协同效应会因其结构的不同而产生差异的科学假设。刘方春^[20]研究发现,腐殖酸可以有效增加作物体内硝酸还原酶的活性,因此,腐殖酸的添加,在 DMPP 的基础上进一步降低了油菜体内硝酸盐的含量。从腐殖酸的基本性质(表 1)上可以看出,腐殖酸 Y 和 B 在结构上存在较为显著的差异性(C/H, O/C, $\Delta \lg K$),腐殖酸 Y 具有较高的 $\Delta \lg K$ 、O/C 和较低 C/H,说明其脂族特性较强、结构较为简单,相反,腐殖酸 B 的结构则相对较为复杂^[17]。研究发现,不同结构的腐殖酸对土壤中有有机物质的吸附和释放特性存在显著的差异性^[23],根据该研究结果推测,不同结构腐殖酸对油菜硝酸盐含量的不同作用可能是不同腐殖酸对硝酸还原酶活性的作用不同导致的,但是具体原因需要进一步的试验证明。

DMPP 是一种具有针对靶向性的硝化抑制剂,不会影响除了硝化微生物以外的微生物及酶^[24],因此,DMPP 并没有影响油菜对磷和钾的吸收,这与之前的研究结果相符合^[9-10]。研究发现,磷肥施入土壤之后,植物对其的利用效率仅为 10% ~ 20%,主要有两个方面的原因,第一是土壤中铁、铝、钙等物质对磷具有固定作用,降低了磷元素的有效性;第二则是由于磷在土壤中的移动性较弱,限制了作物根系对其的吸收^[25]。本试验中,腐殖酸的加入有效地提高了油菜体内磷的含量(表 4),这主要是由于腐殖酸表面的阴离子可以有效地吸附土壤铁、钙、铝等阳离子,减弱阳离子对磷元素的固定作用^[25]。另外,研究表明,腐殖酸的添加可以有效地提高磷在土壤中的移动性^[26],进而促进作物对磷素的吸收。腐殖酸对土壤中被固定的钾元素也具有一定的活化作用,可以促进缓效钾向速效钾的转化^[27],因此,本试验中,腐殖酸的添加在油菜对钾元素的吸收上也表现出了一定的促进作用。

3.3 硝化抑制剂及腐殖酸配施对肥料利用率的影响

作物的肥料利用率主要取决于作物对肥料中养分吸收的含量,其与作物体内氮磷钾的含量呈现出正相关的关系(表 4,图 1)。硝化抑制剂和腐殖酸

的施入有效地增加了油菜体内的养分含量,促进了油菜对养分的吸收,因此,提高了油菜的肥料利用率。

4 结论

(1) 硝化抑制剂 DMPP 对油菜的产量并没有显著的促进作用,但是却有效地降低了油菜硝酸盐的含量,提高了可溶性糖的含量,有效地改善了油菜的品质,提高了油菜的食用安全性。

(2) 腐殖酸配施硝化抑制剂可以进一步降低油菜硝酸盐的含量,在施用硝化抑制剂的基础上进一步提高油菜的食用安全性。另外,腐殖酸还可以提高油菜对磷、钾养分的吸收,提高肥料的有效性,与 DMPP 之间产生明显的协同增效作用。

(3) 不同结构和含量的腐殖酸对作物生长调节具有显著的差异性,应根据需求选择最为合适的腐殖酸类型和施入量。

参考文献:

- [1] 陆景陵.植物营养学[M].北京:中国农业大学出版社,2003.
- [2] 朱兆良.中国土壤氮素研究[J].土壤学报,2008,45(5):778-783.
- [3] 温庆放,薛珠政,李大忠,等.不同氮肥种类及用量对菠菜硝酸盐积累的重要性[J].上海农业学报,2005,21(4):71-74.
- [4] 武志杰,史云峰,陈立军.硝化抑制作用机理研究进展[J].土壤通报,2008,39(4):962-970.
- [5] McCarty G W. Modes of action of nitrification inhibitors[J]. Biology and Fertilizer of Soils, 1999, 29: 1-9.
- [6] 伍少福,吴良欢,石其伟.硝化抑制剂对降低蔬菜硝酸盐积累的影响及其影响因素的研究进展[J].土壤通报,2006,37(6):1236-1242.
- [7] 元文田,李彦,刘兆辉,等.氮肥配施硝化抑制剂对菠菜安全品质及土壤氮素的影响[J].江西农业学报,2016,28(7):58-62.
- [8] 许超,吴良欢,张立民,等.含硝化抑制剂 DMPP 氮肥对小白菜硝酸盐积累和营养品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2005,11(1):137-139.
- [9] 串丽敏,赵同科,安志装,等.添加硝化抑制剂双氰胺对油菜生长及品质的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(5):870-874.
- [10] 黄东风,李卫华,邱孝焯.硝化抑制剂对小白菜产量、硝酸盐含量及营养积累的影响[J].江苏农业科学,2009,25(4):871-875.
- [11] 魏世勇,谭文峰,刘凡.土壤腐殖质-矿物质交互作用的机制及研究进展[J].中国土壤与肥料,2009(1):1-6.
- [12] 刘文璐,杨丽辉,郭书利,等.不同腐殖酸含量的复合肥料对茄子产量和养分利用率的影响[J].化肥工业,2017,44

- (6): 77–82.
- [13] 王宇涵, 姜存仓, 吕波, 等. 不同浓度腐殖酸对油菜苗期生长及生理特性的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34 (6): 19–24.
- [14] 吴炳孙, 韦家少, 何鹏, 等. 不同来源腐殖酸对香蕉园土壤理化性状及抗逆酶活性的影响[J]. 热带农业工程, 2017, 41 (5–6): 26–31.
- [15] Brunetti G, Plaza C, Clapp C E, et al. Compositional and functional features of humic acids from organic amendments and amended soils in Minnesota, USA [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39 (6): 1355–1365.
- [16] Borghetti C, Gioacchini P, Marzadori C, et al. Activity and stability of urease–hydroxyapatite and urease hydroxyapatite–humic acid complexes [J]. Biology and Fertility of Soils, 2003, 38 (2): 96–101.
- [17] 窦森. 土壤有机质[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [19] 孙志梅, 张阔, 刘建涛, 等. 氮肥调控剂对潮褐土中不同氮源转化及油菜生长的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23 (9): 2497–2503.
- [20] 刘方春. 褐煤腐殖酸肥料的养分缓释机理及其肥效研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2008. 86–91.
- [21] Zaman M, Saggat S, Blennerhassett J D, et al. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41: 1270–1280.
- [22] Raven J A. Regulation of pH and generation of osmolality in vascular plants: A cost–benefit analysis in relation to efficiency of use and water [J]. New Phytologist, 1985, 101 (1): 25–77.
- [23] 周岩梅, 张琼, 汤鸿霄. 多环芳香烃类有机物在腐殖酸上的吸附行为研究[J]. 环境科学学报, 2010, 30 (8): 1564–1571.
- [24] Kong X, Duan Y, Schramm A, et al. 3, 4–Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) reduces activity of ammonia oxidizers without adverse effects on non–target soil microorganisms and functions [J]. Applied Soil Ecology, 2016, 105: 67–75.
- [25] 周爽, 其力莫格, 谭钧, 等. 腐植酸提高土壤氮磷钾养分利用效率的机制[J]. 腐植酸, 2005 (2): 1–8.
- [26] 张宏伟, 陈港, 唐爱民, 等. 腐殖酸共聚物改良后土壤中磷肥有效性研究[J]. 土壤肥料, 2002 (6): 39–40.
- [27] 王振振, 张超, 史春余, 等. 腐植酸缓释钾肥对土壤钾素含量和甘薯吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (1): 249–255.

Effects of co-application of humic acid and nitrification inhibitor on rape growth and qualities

GAO Ji-chao^{1, 2}, SHI Yuan-liang^{2*}, WEI Zhan-bo², ZHANG Lei², WANG Ling-li², ZHANG Ying³, NIE Hong-guang³, ZHANG Guang-yu⁴ (1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039; 2. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang Liaoning 110016; 3. Liaoning Zhongke Bio-engineering Co. Ltd., Benxi Liaoning 117000; 4. Changchun Soil Fertilizer Workstation, Changchun Jilin 130033)

Abstract: Both humic acids and nitrification inhibitors play important roles in adjusting nutrient supply during plant growth. While the specific study on investigating the effects of co-application of humic acids and nitrification inhibitors on plant growth and qualities is still missing. Thus, a pot experiment was carried out to investigate the synergistic effect of humic acid and nitrification inhibitor on crop growth and qualities. Rape was selected as experimental crop variety and two different sources of humic acids (labeled Y and B) and nitrification inhibitor DMPP were selected. A total of 9 treatments were set up in this experiment: (1) No fertilizers (CK); (2) Only NPK fertilizer (U); (3) NPK with DMPP (UD); (4–9) NPK with DMPP and humic acids Y and B in three application gradients (UDY1, UDY2, UDY4, UDB1, UDB2, UDB4). Results indicated that compared with U, UD had no significant effect on either fresh and dry weight or nitrogen, phosphorus, potassium content of rape, but significantly reduced nitrate content in rape by 27.5% ($P < 0.05$) and increased soluble sugar by 31.1% ($P < 0.05$). Compared with UD, humic acids Y and B co-applied with DMPP decreased rape nitrate content further by 30.9% and 50.9% averagely, increased rape N content by 6.1% and 12.3% ($P < 0.05$), P content by 35.2% and 17.9% ($P < 0.05$), respectively; N, P, K fertilizer use efficiencies were improved by humic acids addition as well, and the best promotion effects of humic acids on N, P, K fertilizer use efficiencies were found in 32.3% (UDB1), 53.2% (UDY4) and 34.3% (UDY4). According to these results, the co-application of humic acid and DMPP further enhanced fertilizer use efficiencies and rape qualities in contrast with DMPP single addition.

Key words: nitrification inhibitor; humic acid; crop growth; nitrate content