

硝化抑制剂和微生物菌剂对甜瓜产量及氮素利用的影响

张春楠¹, 张瑞芳^{2,3}, 王鑫鑫^{2,3}, 张弛^{2,3}, 李建军⁴, 王红^{2,3}

(1.河北农业大学资源与环境科学学院,河北 保定 071001;2.河北省山区农业工程技术研究中心,河北 保定 071001;3.国家北方山区农业工程技术研究中心,河北 保定 071001;4.定州市农业农村局,河北 保定 071001)

摘要: 通过大田试验及室内分析,研究2种硝化抑制剂(3,4—二甲基吡唑磷酸盐(DMPP)和双氰胺(DCD))和微生物菌剂等肥料增效剂单独及两两组合施用对沙地壤土甜瓜生长、产量及氮素利用的影响,旨在解决设施甜瓜生产中的氮素利用问题,为设施甜瓜增产及氮素管理措施提供科学依据。结果表明:添加硝化抑制剂和微生物菌剂的处理均能够促进甜瓜生长。甜瓜生长的各个时期,增效剂的施用调节了土壤氮素供应状态,减弱了设施菜地根际土壤pH下降幅度;其中硝化抑制剂和微生物菌剂与化肥配施处理(C+DMPP+J)对甜瓜生长和土壤氮素利用促进效果最显著,与常规施肥C处理相比,甜瓜产量增加21.7%,甜瓜生育期内株高和茎粗最多提高13.6%(定植后40天)和8.9%(定植后65天);铵态氮最多提高96.9%(定植后90天;20—40 cm),降低土壤中硝态氮含量;显著提高甜瓜氮肥偏生产力(21.6%)、氮肥农学效率(60.7%)以及氮肥生理利用率(40.3%),在所有处理中效果最佳。硝化抑制剂和微生物菌剂与化肥配施对土壤氮素转化表现出明显的抑制效果,使甜瓜生育期内维持较高的 NH_4^+-N 含量,延长了土壤氮素供应时间。可见,硝化抑制剂和微生物菌剂与化肥配施可以延长氮素释放周期,对于减少氮素流失、提高作物产量具有重要意义。

关键词: 甜瓜; 产量; 硝化抑制剂; 微生物菌剂; 氮素利用

中图分类号: S143.1; S652 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2020)06-0281-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.06.039

Effects of Nitrification Inhibitors and Microbial Agents on Yield and Nutrient Utilization of Melon

ZHANG Chunnan¹, ZHANG Ruifang^{2,3}, WANG Xinxin^{2,3},

ZHANG Chi^{2,3}, LI Jianjun⁴, WANG Hong^{2,3}

(1.College of Resources and Environment Science, Hebei Agricultural University,

Baoding, Hebei 071001; 2.Agricultural Engineering Technology Research Center of Hebei Province Mountainous

Area, Baoding, Hebei 071001; 3.Agricultural Engineering Technology Research Center of National North

Mountainous Area, Baoding, Hebei 071001; 4.Dingzhou Agricultural and Rural Bureau, Baoding, Hebei 071001)

Abstract: In agricultural production, nitrification inhibitors and microbial agents are often used as fertilizer synergist to coordinate soil nutrients and promote crop growth. In order to solve the problem of nitrogen utilization in facility melon production, two kinds of nitrification inhibitors, 3, 4—dimethylpyrazole phosphate (DMPP) and dicyandiamide (DCD), and microbial agent were selected as test materials to study the effects of their single application or combination of inhibitors and microbial agent on melon growth and soil nitrogen utilization through a field experiment. The results showed that the addition of nitrification inhibitors and microbial agents could promote melon's growth. During the growth period of melon, the application of synergist regulated the supply state of soil nitrogen and reduced the pH of rhizosphere soil. Among all treatments, C+DMPP+J treatment had the most significantly positive effect on melon growth and soil nitrogen utilization. Compared with conventional fertilization treatment, C+DMPP+J led to that melon production was increased by 21.7%; during the growth period, the plant height and stem diameter were increased by 13.6% (40 days after transplanting) and 8.9% (65 days after transplanting) at most, and

收稿日期: 2020-05-21

资助项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0800405)

第一作者: 张春楠(1993—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事土壤水肥调控及资源利用与植物保护研究。E-mail: 1475242106@qq.com

通信作者: 王红(1976—), 女, 研究员, 硕士生导师, 主要从事土壤水肥调控研究及农业资源利用研究。E-mail: wanghong@hebau.edu.cn

the ammonium nitrogen was increased by 96.9% (90 days after transplanting, 20—40 cm), the nitrate nitrogen in soil decreased. It significantly improved the partial productivity of nitrogen fertilizer (21.6%), agronomic efficiency of nitrogen fertilizer (60.7%) and physiological utilization rate of nitrogen fertilizer (40.3%). The combination of nitrification inhibitor and microbial bacteria agent with chemical fertilizer showed obvious inhibition effect on soil nitrogen transformation, the content of ammonium nitrogen was higher during the growth period of melon, which extended the supply time of soil nitrogen. It could be seen that nitrification inhibitors and microbial agents combined with chemical fertilizers could prolong the nitrogen release cycle, which should be of great significance for reducing nitrogen loss and increasing crop yield.

Keywords: melon; yield; nitrification inhibitor; microbial agents; nitrogen utilization

施肥是保证作物产量和粮食安全必不可少的措施之一^[1],不合理施用化肥不仅造成土壤肥料肥效低的问题^[2],还会带来严重的环境污染问题^[3],如地表水富营养化^[4]、地下水硝酸盐污染^[5]等。肥料利用率低、土壤连作障碍等都是农业生产中急需解决的问题。然而在农业生产过程中,为了追求高效高产,农民通常以大水大肥的方式给土壤补充养分和水分,尤其是设施蔬菜中肥水投入过量现象十分普遍,导致硝态氮和铵态氮在土壤中大量累积,最终造成氮肥利用率低、土壤质量下降、环境质量恶化^[6]等问题。因此,保证设施蔬菜生产过程中高效、合理施肥,对于提高氮肥利用率、促进农业高效优质生产以及改善农业土壤环境质量具有重要意义。

农业生态系统中氮素转化、循环过程复杂,氮素损失常常发生^[7],需要通过科学合理的农田氮肥管理措施提高氮肥利用率。近年来,硝化抑制剂作为提高氮肥利用率的“良药”被广泛关注^[8-9],硝化抑制剂不仅能抑制氮素在土壤中的硝化过程,还能减少反硝化作用,是众多农田管理措施中减少氮素损失^[10]、提高氮肥利用率的重要增效剂^[11]。双氰胺(DCD)和 3,4—二甲基吡唑磷酸盐(DMPP)是目前广泛应用的硝化抑制剂,发展和研究已经比较成熟^[12]。双氰胺(DCD)可以有效减少 NO₃⁻淋溶^[13],在不同作物整个生长季可以显著降低土壤中 N₂O 排放^[14],近年来被大量应用于农田及室内培养试验^[15]。DMPP 用量仅为 DCD 的 1/10 时,其抑制效果便能高于 DCD,且一次施用的效果可持续 4~10 周^[16]。

微生物菌剂对微生物群落结构和活性有调节和促进作用,是含有大量有益活菌和多种天然活性物质

的新型环保肥料^[15],能在根部土壤繁殖形成利于作物生长的微生物群落^[17],通过微生物活动活化土壤中被固定的养分供作物吸收利用^[18],在改良土壤、保护生态环境方面具有重要意义。

甜瓜是我国重要的水果作物,具有丰富的营养价值。目前,关于硝化抑制剂和微生物菌剂减少氮肥施用量、保证甜瓜正常生长的报道较少。为此,本试验通过大田试验,研究硝化抑制剂和微生物菌剂单独及联合施用对设施甜瓜产量和土壤氮素利用的影响,探讨硝化抑制剂和微生物菌剂增效机理,以揭示甜瓜生产中有效施肥组合配施方案,为高效合理施肥、提高氮肥利用率及作物生长提供理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

(1)供试土壤:沙质壤土,前季种植作物为番茄。土壤基本理化性状见表 1。

(2)供试作物:甜瓜,品种“瑞红”。

(3)供试肥料:供试基肥为有机肥(猪粪为主,233.33 kg/hm²),其中氮(N)磷(P₂O₅)钾(K₂O)含量分别为 0.58%,0.25%,0.29%,有机质含量为 15%;追肥为大量元素水溶性肥料,大量元素含量为 N、P₂O₅、K₂O 含量之和,其中 NPK 含量比例为 11:5:34。

(4)硝化抑制剂:供试硝化抑制剂为 3,4—二甲基吡唑磷酸盐(3,4—dimethylpyrazole phosphate,DMPP)和双氰胺(dicyandiamide,DCD),分析纯,含量分别为 97%和 98%,施用量分别是纯氮的 1%和 8%。

(5)微生物菌剂:复合微生物菌剂,属粉剂,有效活菌数 1 200 亿/g。

表 1 供试土壤理化性状

土层 深度/cm	pH	铵态氮/ (mg·kg ⁻¹)	硝态氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)
0—20	8.75	7.13	29.83	93.12	176	13.88
20—40	8.81	5.04	28.19	41.02	147	6.18

1.2 试验设计与田间管理

试验于 2019 年 3 月 13 日至 6 月 26 日于河北省廊

坊市安次区蔬菜大棚内进行(116°37′46″E, 39°26′55″N)。试验设置 7 个试验处理,3 次重复,共 21 个小区,随

机区组排列(试验小区见图 1)。试验设置不施肥处理(CK)、常规施肥处理(C)、常规施肥+硝化抑制剂处理(C+DMPP、C+DCD)、常规施肥+微生物菌剂处理(C+J)、常规施肥+硝化抑制剂+微生物菌剂处理(C+DMPP+J、C+DCD+J)5 种施肥方式,其中硝化抑制剂和微生物菌剂在追肥时按比例人工配施(表 2)。

甜瓜种植方式为畦栽法,其中株、行距分别为 60,80 cm,每个小区种植甜瓜 20 株,甜瓜于 2019 年 3 月 13 日定植,直至 6 月 26 日拉秧收获。定植时大水漫灌 1 次,灌水量为 40 m³/667 m²;以后的灌水方式为滴灌(滴灌时使用大力夹将不施肥 CK 处理与其他处理之间小区分界处的 PVC 管夹住,以阻止肥料的相互渗透),分别

于 3 月 28 日、4 月 22 日、5 月 17 日、6 月 11 日进行 4 次灌水,单次灌水量为 27 m³/667 m²,灌水同时追肥,田间管理与当地农民田间管理习惯保持一致。

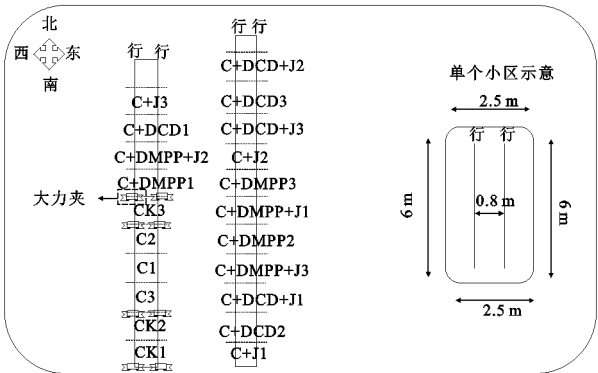


图 1 试验小区示意

表 2 试验处理及施肥量

处理	养分及添加剂用量/(kg·hm ⁻²)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	DMPP	DCD	J
不施肥(CK)						
常规施肥(C)	558	285	486			
常规施肥+DMPP(C+DMPP)	558	285	486	5.58		
常规施肥+DCD(C+DCD)	558	285	486		44.64	
常规施肥+菌剂(C+J)	558	285	486			93
常规施肥+DMPP+菌剂(C+DMPP+J)	558	285	486	5.58		93
常规施肥+DCD+菌剂(C+DCD+J)	558	285	486		44.64	93

1.3 样品测定

甜瓜定植 15 天后,生长过程中每隔 25 天测定 1 次甜瓜生长指标(株高和茎粗),每个小区随机选取 3 株甜瓜植株进行测量,取其平均值。使用卷尺测量土壤表面至甜瓜顶部生长点的自然高度,为株高(cm);用游标卡尺测量土壤表面上部 1 cm 左右部位甜瓜的粗度,为茎粗(mm);于甜瓜收获期在每个小区随机选取 3 株进行单株测产,取平均值,并折算甜瓜亩产量。

在其生长过程中每隔 25 天对甜瓜进行追肥,并对 0—20,20—40 cm 土层土壤取样,对土壤 pH、硝态氮和铵态氮含量进行测定,并计算相关的氮肥利用参数。双波长紫外分光光度法测定土壤中 NO₃⁻—N 含量,分别在 210,275 nm 处测定吸光度;靛酚蓝比色法测定土壤中 NH₄⁺—N 含量,在 625 nm 处测定吸光度^[19]。pH 采用 pH 测试仪以土水比为 1:2.5 进行测量。

1.4 相关指标计算方法

当季肥料硝态氮残留量=当季施肥处理硝态氮残留量—当季不施肥处理硝态氮残留量

氮肥偏生产力(PFPN)(kg/kg)=施氮肥所获得的作物产量/化肥的投入量,指单位投入的肥料氮所获得的作物籽粒产量;

氮肥农学效率(AEN)(kg/kg)=(施氮肥区作物

产量—无氮肥区作物产量)/施氮量,指单位施氮量相对于无氮区增加的作物产量;

氮肥生理利用率(PEN)(kg/kg)=(施氮肥产量—无氮肥产量)/(施肥吸氮量—不施肥吸氮量),指作物地上部吸收单位肥料中的氮能够增加籽粒产量的数量。

1.5 数据分析

所获数据通过 Microsoft Excel 2010、SPSS 22.0 及 Origin 2018 软件进行数据处理和统计分析,差异性分析采用 Duncan(P≤0.05)检验。

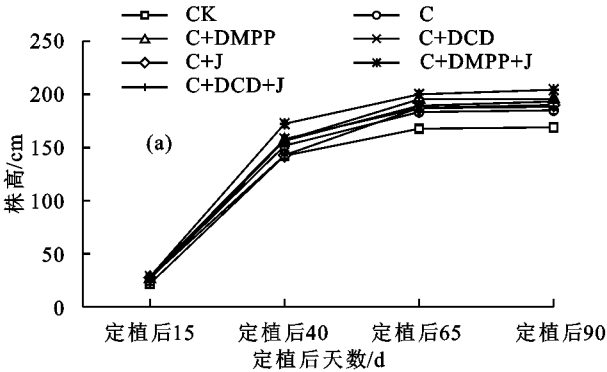
2 结果与分析

2.1 硝化抑制剂和微生物菌剂对甜瓜生长及产量的影响

株高和茎粗是反映植株生长状况及健壮程度的重要指标。由图 2 可以看出,土壤中添加硝化抑制剂(DMPP 和 DCD)和微生物菌剂均有利于甜瓜株高和茎粗生长。从不同时期甜瓜生长变化来看(图 2(a)),定植后 15~40 天株高增长较快,平均由 26.9 cm 增长到 154.3 cm,增长幅度达到 82.5%;定植 65 天以后,株高增幅趋于平缓,基本不再变化。在甜瓜定植后第 65 天,添加硝化抑制剂和微生物菌剂处理株高显著高于常规施肥 C 和不施肥 CK 处理的株高。其中,C+DMPP+J 处理对甜瓜株高影响最大,增幅最明显,与 C 处理相比,株高增加 9.1%;在甜瓜生长

末期,即定植 65 天以后,不同处理之间株高差异不显著。由图 2(a)可以看出,不同处理对甜瓜株高影响效果依次为 C+DMPP+J>C+DMPP>C+DCD+J>C+J>C+DCD>C>CK。

由图 2(b)可以看出,甜瓜茎粗增长最快在定植 40



天以后。定植 40~65 天茎粗平均由 4.9 mm 增长到 12.5 mm,增幅达到 60.8%;定植 65 天以后,茎粗增幅趋于平缓,基本不再变化。从图 2 可以看出,C+DMPP+J 处理对茎粗影响最大,茎粗在定植第 90 天达到最大值 13.8 mm,与 C 处理相比,茎粗增加 7.6%。

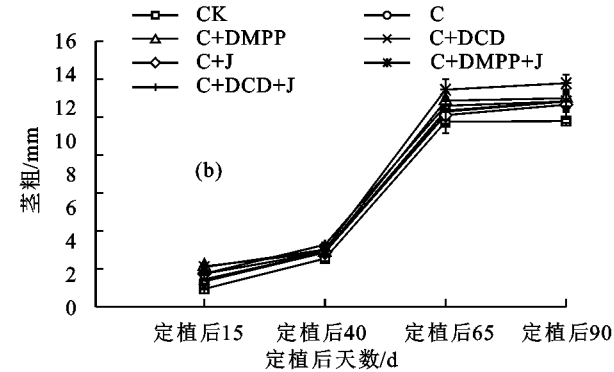


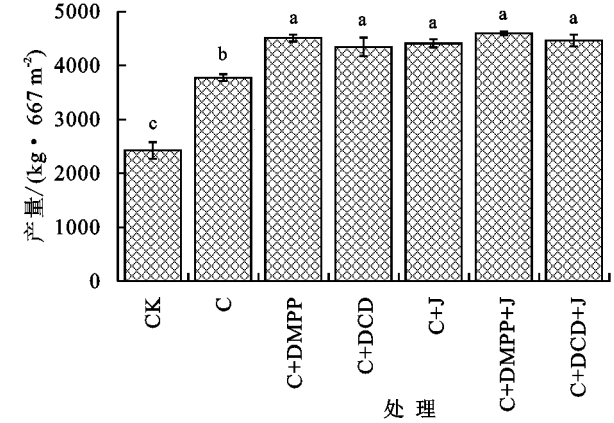
图 2 不同处理对甜瓜株高和茎粗的影响

由图 3 可以看出,硝化抑制剂和微生物菌剂的施用显著提高了甜瓜产量,其中 C+DMPP+J 处理产量最高,比 C 处理增产 21.7%,其次为 C+DMPP、C+DCD+J、C+J、C+DCD 处理,分别比 C 处理增产 19.5%,18.3%,16.8%,15.1%,施用增效剂的处理间差异不显著。硝化抑制剂和微生物菌剂同时与化肥配施,使土壤养分活化,同时硝化抑制剂还可以抑制土壤中 NH_4^+-N 向 NO_3^--N 的转化,使土壤中可利用养分维持在较高含量,供作物吸收利用,在一定程度上提高了甜瓜产量。

2.2 硝化抑制剂和微生物菌剂对土壤硝态氮和铵态氮的影响

硝态氮是作物吸收的主要氮素形态,过量施用氮肥不一定提高作物产量,反而造成土壤中硝态氮大量残留。由图 4 可以看出,C 处理土壤中硝态氮含量显著高于其他处理土壤中硝态氮含量,施用增效剂的各

处理间硝态氮含量差异不显著,但与 C 处理相比,增效剂的施用显著降低土壤中硝态氮含量,其中 C+DMPP 处理的效果最显著,0—20 cm 土壤降低幅度达到 79.8%,20—40 cm 土层降低幅度达到 80.3%。



注:不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同。

图 3 不同施肥处理对甜瓜产量的影响

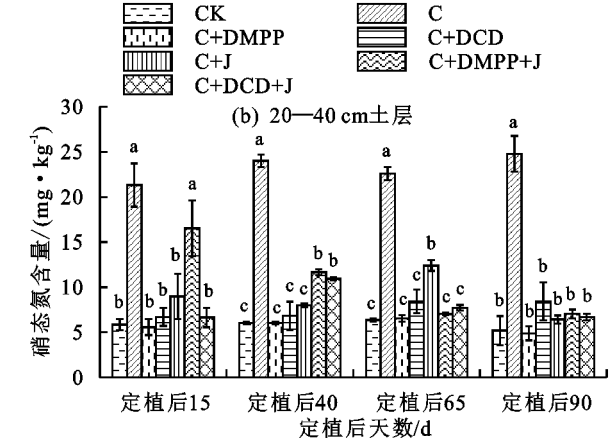
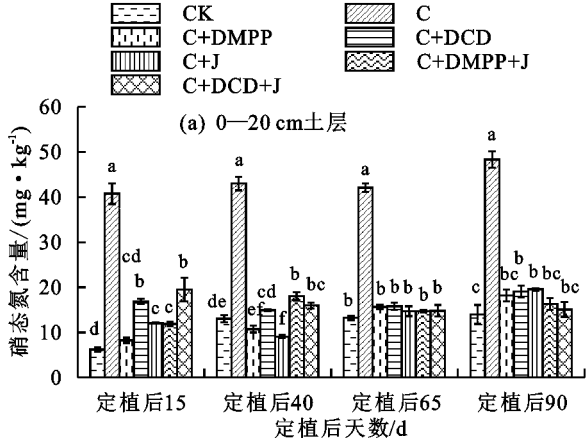


图 4 不同处理对土壤硝态氮含量的影响

当季硝态氮残留主要来源于施入土壤中的氮肥、大气干湿沉降和土壤有机氮矿化^[12]。以不施肥 CK 处理为经过一个生长季大气干湿沉降和土壤有机氮

矿化造成的硝态氮残留,当季肥料硝态氮残留量可由施肥处理与不施肥处理当季残留量的差值得求^[20]。当季肥料硝态氮残留量见表 3。

表 3 当季土壤硝态氮残留量

土层 深度/cm	单位:mg/kg					
	C	C+DMPP	C+DCD	C+J	C+DMPP+J	C+DCD+J
0—20	34.4	4.2	5.1	5.6	2.3	1.5
20—40	19.6	0.7	3.3	1.2	1.8	1.1

在研究土壤氮素淋失状况时,土壤铵态氮含量问题成为人们关注的焦点。由图 5(a)可以看出,在施基肥后,在氮肥增效剂的作用下土壤铵态氮含量增加,定植后 15 天 0—20 cm 土层中铵态氮含量最高,定植后 90 天 0—20 cm 土层中铵态氮含量最低,而定植后 40,65 天 0—20 cm 土层中铵态氮含量变化处于

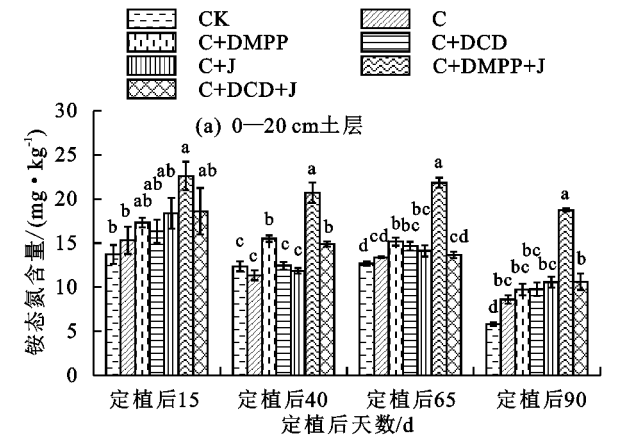


图 5 不同处理对土壤铵态氮含量的影响

综合来看,不同处理对甜瓜生长的每个时期土壤硝、铵态氮有显著影响,与 C 处理相比,添加硝化抑制剂和微生物菌剂的土壤中硝、铵态氮含量变化百分比见表 4。硝化抑制剂和微生物菌剂的施用提高了土壤中铵态氮含量,降低了硝态氮含量,使大部分氮素以 NH_4^+ 形式存在于土壤中,降低了氮素淋失风险。增效剂主要通过延缓氮肥水解后产生的铵态氮向硝态氮的转化过程,使更多的氮以铵态氮的形式存在于土壤,从而减少硝态氮淋失以及 N_2O 排放等产生的氮损失。

2.3 硝化抑制剂和微生物菌剂对土壤氮素效应参数的影响

氮肥效应参数不仅可以说明氮肥对作物产量与品质的影响,还能表示氮肥对土壤肥力相关因子的影响以及对环境的影响^[21]。由表 5 可以看出,添加硝化抑制剂和微生物菌剂的 5 个处理氮肥偏生产力、氮肥农学效率以及氮肥生理利用率差异均不显著,但都高于 C 处理,且均以 C+DMPP+J 处理最高。与 C 处理相比,C+DMPP+J 处理的氮肥偏生产力、氮肥农学效率以及氮肥生理利用率分别提高 21.6%,60.7%和 40.3%。

较稳定时期,原因是前期硝化过程底物较多,在微生物的作用下 NH_4^+ 能够迅速氧化成 NO_3^- , NO_3^- 又进一步淋失和反硝化^[11];20—40 cm 土层变化趋势与 0—20 cm 土层一致(图 5(b))。每个处理所测得的土壤铵态氮含量有所差异,化肥与硝化抑制剂和微生物菌剂配施处理 C+DMPP、C+DCD、C+J、C+DMPP+J、C+DCD+J 均高于 C 处理,其中 C+DMPP+J 处理铵态氮含量最高,0—20 cm 土层较 C 处理平均高出 72.5%,20—40 cm 土层较 C 处理平均高出 112.2%。可见,硝化抑制剂和微生物菌剂的施入有效抑制了土壤中 NH_4^+ 的氧化,使土壤在一段时间内保持较高的铵态氮含量,延长土壤氮素供应时间。

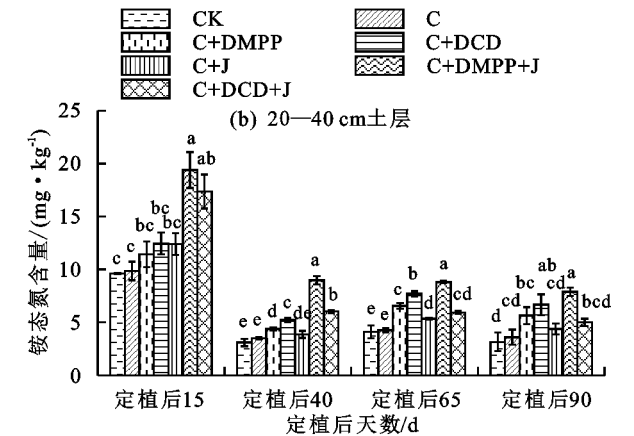


表 4 添加硝化抑制剂和微生物菌剂相对于常规施肥的土壤中硝、铵态氮含量变化百分比对比 单位: %

施肥处理	硝态氮			铵态氮		
	定植天数	0—20 cm	20—40 cm	定植天数	0—20 cm	20—40 cm
C+DMPP	15	−79.8	−73.9	15	13.2	16.1
	40	−75.1	−74.9	40	36.7	24.5
	65	−62.9	−71.0	65	13.3	54.2
	90	−62.4	−80.3	90	13.0	56.6
C+DCD	15	−58.6	−68.6	15	6.7	26.4
	40	−65.3	−71.6	40	9.7	48.5
	65	−62.5	−62.7	65	9.5	81.1
	90	−60.6	−66.0	90	13.6	85.3
C+J	15	−70.5	−57.9	15	20.0	25.7
	40	−79.0	−66.8	40	4.5	10.0
	65	−65.1	−45.2	65	5.5	25.7
	90	−60.0	−74.1	90	22.8	21.5
C+DMPP+J	15	−70.9	−22.5	15	47.7	96.6
	40	−58.1	−51.5	40	82.6	95.1
	65	−65.1	−68.9	65	63.2	96.9
	90	−66.3	−71.6	90	87.9	88.6
C+DCD+J	15	−52.2	−68.8	15	21.5	76.0
	40	−62.9	−54.4	40	31.2	71.4
	65	−64.9	−65.9	65	20.4	39.7
	90	−68.8	−73.0	90	23.3	39.1

表 5 硝化抑制剂和微生物菌剂对氮肥偏生产力、农学效率及生理利用率的影响

单位: kg/kg			
处理	氮肥偏生产力	氮肥农学效率	氮肥生理利用率
C	67.7±1.2b	24.2±1.2b	28.8±0.9b
C+DMPP	80.8±1.2a	37.4±1.2a	33.9±0.8ab
C+DCD	77.9±3.1a	34.4±3.1a	31.1±0.5b
C+J	79.1±1.3a	35.6±1.3a	27.4±3.5b
C+DMPP+J	82.3±0.6a	38.9±0.6a	40.4±4.6a
C+DCD+J	80.0±1.9a	36.5±1.9a	32.2±2.3ab

注:表中数据为平均值±标准差;不同小写字母表示各处理间差异显著($P<0.05$)。

2.4 硝化抑制剂和微生物菌剂对根际土壤 pH 的影响

土壤 pH 是衡量土壤物理性质的一个重要指标。图 6 为甜瓜收获期(定植 90 天后)各处理根际土壤 pH,各处理根际土壤 pH 随着土层深度增加表现出升高趋势。在 0—20 cm 土层,硝化抑制剂和微生物菌剂处理的根际土壤 pH 显著高于 C 处理。C+DMPP、C+DCD、C+J 处理的根际土壤 pH 与 C 处理相比增幅分别为 3.89%,6.49%,3.24%;硝化抑制剂和微生物菌剂同时与化肥配施 C+DMPP+J、C+DCD+J 处理的 pH 与 C 处理差异不显著。在 20—40 cm 土层,添加硝化抑制剂和微生物菌剂的 5 个处理根际 pH 均高于 C 处理,增幅为 0.97%~2.80%,与 C 处理之间不存在显著性差异。

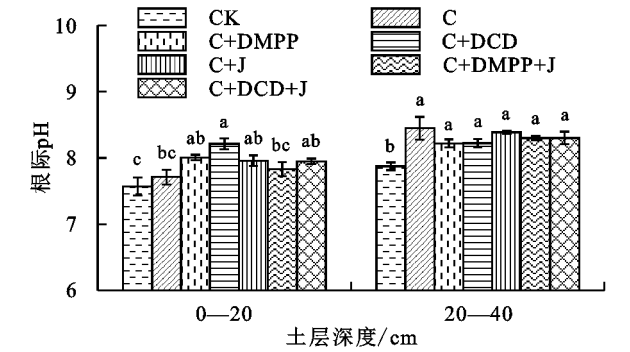


图 6 不同处理对根际土壤 pH 的影响

3 讨论

在 pH 较高的土壤上,土壤硝化活性一般较高。北方土壤 pH 普遍偏高,有利于硝化抑制剂抑制效果的发挥^[22],硝化抑制剂施入土壤后可以抑制 NH_4^+-N 的转化,使土壤中氮素主要存在形态为 NH_4^+-N ,而未施加硝化抑制剂处理 NH_4^+-N 快速进行硝化反应,作物只能吸收硝化产物,从而导致作物中硝酸盐积累严重^[23];倪红等^[24]研究表明,硝化抑制剂对 N_2O 排放有明显的抑制作用。目前大部分研究^[25-27]结果表明,硝化抑制剂的施用可以减少氮素损失,提高氮肥利用率,提高作物产量。但也有研究^[28]表明,硝化抑制剂对作物产量没有显著影响,这可能与硝化抑制剂种类、氮肥施用量、作物种类、土壤质地

等有关。本试验中硝化抑制剂施入土壤能够延缓硝化,使土壤中大部分氮素以铵态氮形式存在,降低了同时期硝态氮含量,提高了甜瓜产量及相关土壤氮素效应参数,尤其以 C+DMPP+J 处理效果最显著。

微生物菌剂是由一种或多种微生物细菌经发酵而成的生物性肥料,具有无毒害无污染的性能^[29]。菌肥施用提高了植株生长及土壤养分含量和养分有效性^[30]。本试验结果表明,微生物菌剂的施用有助于植株株高和茎粗的增长,这与崔曾杰等^[31]的研究结果一致。微生物菌剂的施用显著提高甜瓜各生育期土壤 NH_4^+-N 含量,提高了土壤氮素利用率,达到促进植株生长和增产的效果,与前人^[32]研究结果一致。

刘雅文等^[33]研究结果表明,硝化抑制剂和微生物菌剂等增效剂的施用均提高了植株生长及氮磷等的含量和土壤 pH。本试验结果表明,C+DMPP+J 处理在所有处理中施用效果最好,甜瓜长势以及氮素利用效应显著高于 C 处理。这是因为硝化抑制剂和微生物菌剂共同施用产生了正协同作用,有利于甜瓜生长季及收获后土壤有效养分含量的增加,为后续作物生长提供养分。

本试验中,硝化抑制剂和微生物菌剂的施用均促进了甜瓜生长,使土壤中氮素含量维持在最佳状态。尽管 DMPP 施用量是 DCD 的 1/8,但其对土壤养分和甜瓜产量产生的效果高于 DCD,这可能由于 DMPP 相对于 DCD 具有吸附力强、降解速度慢^[34]的优点。根际土壤 pH 与甜瓜种植之前相比,所有处理均表现降低的趋势。这是因为根系分泌物的变化影响了植物根际周围土壤环境^[35],甜瓜根系分泌物对根际土壤有一定酸化作用,经过一季的种植,缓解了土壤的碱性环境,降低了根际土壤 pH。但本试验并未对挥发氨进行测定,无法说明增效剂对土壤氨挥发的影响。所以在土壤中施加增效剂时,尤其是在北方碱性较高的土壤中应该充分考虑环境与作物产量之间的平衡,明确各增效剂之间的施用量,在提高作物产量的同时,又能减少对环境的污染,这才是施用增效剂的目的所在。因此,对这一矛盾的解决,还有待进一步的研究和探索。

4 结论

(1)2 种硝化抑制剂对土壤氮素利用效应和甜瓜产量都有促进作用,DMPP 对甜瓜土壤氮素效应参数及作物生长的促进效果显著高于 DCD。

(2)硝化抑制剂和微生物菌剂的施用调节了土壤氮素供应状态,减少了氮素淋失风险,降低了长期施用化肥的设施菜地根际土壤 pH 下降幅度。与 C 处理相比,硝化抑制剂和微生物菌剂的施用提高了根际土壤 pH,但经过一季的种植,各处理土壤根际 pH 相

比于甜瓜种植之前均有所下降。

(3)综合来看,C+DMPP+J 处理对甜瓜生长和氮素利用效果最好,与 C 处理相比,产量增加 21.7%,甜瓜生育期内株高和茎粗最多提高 13.6%(定植后 40 天)和 8.9%(定植后 65 天),铵态氮最多提高 96.9%(定植后 90 天;20—40 cm),降低了土壤硝态氮含量,显著提高了甜瓜氮肥偏生产力(21.6%)、氮肥农学效率(60.7%)以及氮肥生理利用率(40.3%);对土壤氮素供应状态调节效果最显著,有效降低了甜瓜生育期内氮素流失风险,维持了土壤肥力,在所有处理中效果最佳,对提高氮素利用率,减少氮素流失、提高产量具有重要意义。

参考文献:

[1] 巨晓棠,谷保静.我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.

[2] 陶玥玥,王海候,金梅娟,等.小麦产量与土壤养分对水生植物源有机氮替代率的响应[J].土壤学报,2019,56(1):156-164.

[3] 郝小雨,马星竹,陈苗苗,等.氮肥配施增效剂实现寒地水稻增产、提质与增效[J].水土保持学报,2019,33(4):175-179.

[4] 夏永秋,颜晓元.太湖地区麦季协调农学、环境和经济效益的推荐施肥量[J].土壤学报,2011,48(6):1210-1218.

[5] 王德建,林静慧,孙瑞娟,等.太湖地区稻麦高产的氮肥适宜用量及其对地下水的影响[J].土壤学报,2003,40(3):426-432.

[6] 朱兆良,金继运.保障我国粮食安全的肥料问题[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.

[7] 鲁艳红,聂军,廖育林,等.氮素抑制剂对双季稻产量、氮素利用效率及土壤氮平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(1):95-104.

[8] 陈浩,李博,熊正琴.减氮及硝化抑制剂对菜地氧化亚氮排放的影响[J].土壤学报,2017,54(4):938-947.

[9] Wu D, Senbayram M, Well R, et al. Nitrification inhibitors mitigate N₂ O emissions more effectively under straw-induced conditions favoring denitrification[J].Soil Biology and Biochemistry,2017,104:197-207.

[10] 张文学,孙刚,何萍,等.脲酶抑制剂与硝化抑制剂对稻田氨挥发的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(6):1411-1419.

[11] 周旋,吴良欢,戴锋.生化抑制剂组合对黄泥田土壤尿素态氮转化的影响[J].水土保持学报,2015,29(5):95-100.

[12] 张苗苗,沈菊培,贺纪正,等.硝化抑制剂的微生物抑制机理及其应用[J].农业环境科学学报,2014,33(11):2077-2083.

[13] 王雪薇,刘涛,褚贵新.三种硝化抑制剂抑制土壤硝化作用比较及用量研究[J].植物营养与肥料学报,2017,23(1):54-61.

[14] 赵颖,张金波,蔡祖聪.添加硝化抑制剂、秸秆及生物炭

对亚热带农田土壤 N₂O 排放的影响[J].农业环境科学学报,2018,37(5):1023-1034.

[15] 周旋,吴良欢,董春华,等.氮肥配施生化抑制剂组合对黄泥田土壤氮素淋溶特征的影响[J].生态学报,2019,39(5):1804-1814.

[16] Di H J, Cameron K C. How does the application of different nitrification inhibitors affect nitrous oxide emissions and nitrate leaching from cow urine in grazed pastures? [J].Soil Use and Management,2012,28(1):54-61.

[17] 柳晓磊,齐钊,闫臻,等.复合微生物菌剂与氨基酸水溶肥组合施用对香蕉土壤理化性质及微生物群落的影响[J].中国土壤与肥料,2019(1):151-158.

[18] 李国,易强,许世武,等.微生物菌剂对新疆棉花连作障碍的消减研究[J].中国土壤与肥料,2020(1):202-207.

[19] 鲍士旦.土壤氨化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.

[20] 王西娜,王朝辉,李生秀.施氮量对夏季玉米产量及土壤水氮动态的影响[J].生态学报,2007,27(1):197-204.

[21] 田昌玉,左余宝,赵秉强,等.解释与改进差减法氮肥利用率的计算方法[J].土壤通报,2010,41(5):1257-1261.

[22] 孙志梅,武志杰,陈利军,等.硝化抑制剂的施用效果、影响因素及其评价[J].应用生态学报,2008,19(7):1611-1618.

[23] 赖睿特,杨涵博,张克强,等.硝化/脲酶抑制剂和生物炭联合施用对养殖肥液滴灌土壤氮淋失及油菜品质的影响[J].农业环境科学学报,2019,38(12):2808-2815.

[24] 倪红,杨宪龙,王刚,等.施氮及添加硝化抑制剂对苜蓿草地 N₂O 排放的影响[J].中国生态农业学报,2020,28(3):317-327.

[25] 宋燕燕,赵秀娟,张淑香,等.水肥一体化配合硝化/脲酶抑制剂实现油菜减氮增效研究[J].植物营养与肥料学报,2017,23(3):632-640.

[26] 赵自超,韩笑,石岳峰,等.硝化和脲酶抑制剂对华北冬小麦—夏玉米轮作固碳减排效果评价[J].农业工程学报,2016,32(6):254-262.

[27] Cookson Wr C I. Dicyandiamide slows nitrification in dairy cattle urine patches: Effects on soil solution composition, soil pH and pasture yield[J].Soil Biology and Biochemistry,2002,34:1461-1465.

[28] Li Q Q, Yang A L, Wang Z H, et al. Effect of a new urease inhibitor on ammonia volatilization and nitrogen utilization in wheat in north and northwest China[J]. Field Crops Research,2015,175:96-105.

[29] 吴建峰,林先贵.我国微生物肥料研究现状及发展趋势[J].土壤,2002,34(2):68-72.

[30] Zhao J, Ni T, Li J, et al. Effects of organic-inorganic compound fertilizer with reduced chemical fertilizer application on crop yields, soil biological activity and bacterial community structure in a rice-wheat cropping system[J].Applied Soil Ecology,2016,99:1-12.

[5] 褚琳琳,康跃虎,陈秀龙,等.喷灌强度对滨海盐碱地土壤水盐运移特征的影响[J].农业工程学报,2013,29(7):76-82.

[6] 孙兆军,赵秀海,王静,等.脱硫石膏改良龟裂碱土对枸杞根际土壤理化性质及根系生长的影响[J].林业科学研究,2012,25(1):107-110.

[7] 陈小兵,杨劲松,杨朝晖,等.渭干河灌区灌排管理与水盐平衡研究[J].农业工程学报,2008,12(4):59-65.

[8] 路晓筠,项卫东,郑光耀,等.盐碱地改良措施研究进展[J].江苏农业科学,2015,43(12):5-8.

[9] 李颖,陶军,钞锦龙,等.滨海盐碱地“台田—浅池”改良措施的研究进展[J].干旱地区农业研究,2014,32(5):154-160,167.

[10] 刘小京.环渤海缺水盐碱地改良利用技术研究[J].中国生态农业学报,2018,26(10):1521-1527.

[11] 王帅,王楠,张溪,等.改良方式对盐碱地稻田总有机碳及腐殖质组成的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(11):43-50.

[12] 南江宽,陈效民,王晓洋,等.不同改良剂对滨海盐渍土盐碱指标及作物产量的影响研究[J].土壤,2013,45(6):1108-1112.

[13] 王倩姿,王玉,孙志梅,等.腐植酸类物质的施用对盐碱地的改良效果[J].应用生态学报,2019,30(4):1227-1234.

[14] Shaaban M, Abid M, Abou-Shanab R A I. Amelioration of salt affected soils in rice paddy system by application of organic and inorganic amendments[J]. Plant, Soil and Environment, 2013, 59(5): 227-233.

[15] 孙在金,黄占斌,陆兆华.不同环境材料对黄河三角洲滨海盐碱化土壤的改良效应[J].水土保持学报,2013,27(4):186-190.

[16] 庄振东,李絮花.腐植酸氮肥对玉米产量、氮肥利用及氮肥损失的影响[J].植物营养与肥料学报,2016,22(5):1232-1239.

[17] García A C, Berbara R L L, Farias L P, et al. Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress[J]. African Journal of Biotechnology, 2012, 11(13): 3125-3134.

[18] Damin G E, Micle, Valer, et al. Mobilization of Cu and Pb from multi-metal contaminated soils by dissolved humic substances extracted from leonardite and factors affecting the process[J]. Journal of Soils and Sediments, 2019, 19(7): 2869-2881.

[19] Ondrasek G, Romic D, Rengel Z, et al. Interactions of humates and chlorides with cadmium drive soil cadmium chemistry and uptake by radish cultivars[J]. Science of The Total Environment, 2020, 702: 134887.

[20] 孙在金.脱硫石膏与腐植酸改良滨海盐碱土的效应及机理研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2013.

[21] Philip J R. The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution[J]. Soil Science, 1957, 83(5): 345-357.

[22] Wang Q, Horton R, Shao M. Algebraic model for one-dimensional infiltration and soil water distribution[J]. Soil Science, 2003, 168(10): 671-676.

[23] 顾文兰.施用腐殖酸对土壤—维入渗和蒸发的影响试验研究[D].西安:西安理工大学,2017.

[24] 章智明,黄占斌,单瑞娟.腐植酸对土壤改良作用探讨[J].环境与可持续发展,2013,38(3):109-111.

[25] 田一良,刘艳升,张海兵.盐碱地改良与腐植酸应用技术探讨[J].腐植酸,2018(3):42-46.

[26] Du J, Jing C, Duanc J, et al. Removal of arsenate with hydrous ferric oxide coprecipitation: Effect of humic acid[J]. Journal of Environmental Sciences, 2014, 26(2): 240-247.

[27] 单瑞娟,黄占斌,柯超,等.腐植酸对土壤重金属镉的淋溶效果及吸附解吸机制研究[J].腐植酸,2015(1):12-17.

[28] 刘志雄,张佳丽,洪许言,等.CuO/腐植酸复合材料的制备及其吸附性能[J].化工进展,2018,37(10):4060-4067.

[29] 李艳红,庄锐,张政,等.褐煤腐植酸的结构、组成及性质的研究进展[J].化工进展,2015,34(8):3147-3157.

(上接第 287 页)

[31] 崔曾杰,耿艳秋,范丽丽,等.生物菌肥对盐碱地水稻生长发育及产量的影响[J].吉林农业科学,2013,38(5):32-35.

[32] 梁运江,许广波,郑哲,等.生物菌肥对水稻营养特性及增产效果的初步研究[J].土壤通报,2001,32(2):88-89.

[33] 刘雅文,马资厚,潘复燕,等.不同土壤添加剂对太湖流域水稻产量及氮磷养分利用的影响[J].农业环境科学学报,2017,36(7):1395-1405.

[34] Fettweis U M W, Schimansky C, Fuhr F. Lysimeter experiments on the translocation of the carbon-14-labelled nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate(DMPP) in a gleyic cambisol[J]. Biology and Fertility of Soils, 2001, 34: 126-130.

[35] 朱丽霞,章家恩,刘文高.根系分泌物与根际微生物相互作用研究综述[J].生态环境,2003,12(1):102-105.