

有机无机肥料配合施用对设施黄瓜产量、氮素累积及硝酸盐淋溶的影响

高伟¹,李明悦¹,高宝岩¹,李伟²

(1. 天津市农业资源与环境研究所,天津 300192;2. 河北省农林科学院 旱作农业研究所,河北 衡水 053000)

摘要:在不同的施肥模式下,探讨有机无机配合施用对设施黄瓜产量、氮素吸收、硝态氮在土壤中的累积和淋溶的影响,明确在设施条件下黄瓜种植过程中有机肥和氮肥的最佳配施量。通过田间小区试验,结合原位土渗漏装置,进行植株、土壤和渗漏水采集和测定进行研究。结果表明,采用有机无机肥料配合施用,黄瓜产量平均增加12.1%,增收7.1%,其中施用低量氮肥处理(OM + N₁PK)的增产和增收效果更佳;采用有机无机配合施肥处理可显著增加果实中氮的累积量,单纯增加氮肥的施用只会增加植株中氮的累积量,果实中未见增加;有机无机肥料配合施用能显著降低灌溉水和硝态氮的渗漏量,在氮肥用量相同的条件下,分别可降低14.2%和26.6%;施氮量较高的处理(OM + N₂PK),硝态氮在各土层出现了明显的累积。因此,有机无机肥料配合施用应适当减少化学氮肥的用量,在本试验条件下采用OM + N₁PK施肥模式为最佳。

关键词:设施黄瓜;有机无机肥料配合施用;产量;硝态氮淋溶;硝态氮残留

中图分类号:S147.34;S642.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2015)04-0188-06

doi:10.7668/hbxb.2015.04.032

Effects of Combined Application of Organic Manure and Chemical Fertilizers on Yield and Nitrate Accumulation of Cucumber and Nitrate Leaching under Greenhouse Condition

GAO Wei¹, LI Ming-yue¹, GAO Bao-yan¹, LI Wei²

(1. Tianjin Institute of Agricultural Resources and Environment, Tianjin 300192, China; 2. Dryland Farming Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Hengshui 053000, China)

Abstract: In this paper, influence of different fertilization mode on yield of cucumber and nitrogen accumulation and leaching of soil nitrate was systematically studied to explicit the optimum combined application of organic manure and chemical fertilizers under greenhouse condition. Based on a lysimeter experiment with undisturbed soil layers, plants, soil and leakage water were collected and detected. The results showed that compared with the chemical fertilizer application pattern, the yield and economic benefits increased by 12.1% and 7.1% under the combined application of organic manure and chemical fertilizers, with the highest yield and income for the combines application pattern of N₁PK in chemical fertilizer and organic manure. At the same time, the combined application patterns of organic manure and chemical fertilizers significantly increased nitrogen accumulation, the increase of nitrogen fertilizer would only increase the accumulation of nitrogen in plant, no increase in fruit; The combined application patterns of organic manure and chemical fertilizers could significantly reduce the amount of leakage of irrigation water and nitrate nitrogen, the amount of leakage of irrigation water and the NO₃⁻-N leakage rates in the leakage water significantly decreased by 14.2% and 26.6% under the same chemical nitrogen application; Treatment of nitrogen application amount higher (OM + N₂PK), the soil nitrate nitrogen appeared obvious accumulation. Thus, the combined application patterns of organic manure and chemical fertilizers could increase the yield and income, but

收稿日期:2015-04-26

基金项目:中国-国际植物营养研究所(IPNI)合作项目;农业部植物营养与肥料学科群开放基金项目(2014JZDKFKT001)

作者简介:高伟(1978-),女,黑龙江佳木斯人,助理研究员,博士,主要从事菜田土壤养分管理方面研究。

通讯作者:李伟(1981-),男,河北安平人,助理研究员,主要从事节水农业管理研究。

also should be applied properly to reduce the chemical N fertilizer application;the pattern of combined application of N₁PK in chemical fertilizer and organic manure under this experimental condition was the best.

Key words: Greenhouse cucumber; Combined application of organic manure and chemical fertilizers; Yield; Nitrate leaching; Nitrate accumulation

氮素是蔬菜必需的大量元素之一,适当施用氮肥可提高作物的产量和品质,因此,在蔬菜生产中,农民为了追求高产大量施用氮肥,造成氮肥过量施用的现象普遍存在^[1-2]。在山东省蔬菜种植地区,每年氮肥的用量已经达到了 2 220 kg/hm²^[3]。然而,菜地中施肥量增大,养分循环强度大,造成氮素的损失也增强^[4]。在河北省永年县日光温室硝铵追施量一般为 10 500 ~ 20 000 kg/hm²,其中仅有 10% 能被作物吸收,而 90% 将残留在土壤中^[4]。Sun 等^[5]研究发现,温室番茄施肥中有 43% ~ 67% 的氮淋溶流失,3% ~ 14% 的氮挥发。杜会英等^[6]研究发现,氮肥的大量施用导致氮磷钾施用比例严重失调,氮肥的当季利用率仅在 3.3% ~ 14.5% 之间。刘兆辉等^[7]研究表明,山东寿光市设施菜田土壤硝态氮的平均含量是粮田的 6.5 倍,硝态氮发生了明显的淋洗。针对天津市设施菜田土壤调查发现,土壤硝态氮的含量随种植年限的增加不断增加,种植年限超过 10 年的设施土壤耕层硝态氮的含量是粮田的 10 倍^[8]。设施菜田土壤中大量的硝态氮对生态环境构成了严重威胁。肥料的过量和不合理施用所带来的经济损失和环境风险已经成为限制我

国蔬菜种植可持续发展的重要因素^[9]。

有机肥的施用可以培肥土壤、提高土壤生产力^[10-11],大量研究表明,采用有机无机肥料配合施用可减少土壤中硝态氮的累积^[12-13],同时也能实现蔬菜的高产优质^[12,14]。笔者通过田间试验,研究了有机肥和化肥配合施用对设施黄瓜产量、氮素吸收以及土壤中硝态氮的残留和淋溶的影响,以探讨有机肥和氮肥的最佳用量,为建立黄瓜安全高效生产技术体系提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地点

本试验于 2013 年 3 - 6 月在天津市西青区辛口镇第六埠村日光温室进行。试验区域属暖温带半湿润大陆气候,全年平均温度 11.6 ℃,全年日照总量 2 810.4 h,全年无霜期 203 d,自然降雨总量 586 mm,生长季(10 月 - 次年 2 月)降雨量占全年的 25% 左右。供试土壤类型为潮土、中壤土,地下水埋深为 1 m。上茬作物为芹菜。黄瓜种植前土壤基本性状见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性状
Tab.1 Basic properties of the tested soil

土层/cm Soil depth	pH	有机质/(g/kg) Organic matter	硝态氮/(mg/kg) NO ₃ ⁻ -N	速效磷/(mg/kg) Available P	速效钾/(mg/kg) Available K
0 ~ 20	8.25	46.0	78.6	151.8	154.9
20 ~ 40	-	-	67.7	52.7	113.5
40 ~ 60	-	-	62.5	14.7	79.8
60 ~ 80	-	-	58.5	7.4	56.0
80 ~ 100	-	-	60.5	6.9	72.8

1.2 试验材料

供试黄瓜品种为津优 35。于 2013 年 2 月 15 日育苗,3 月 20 日定植,4 月 21 日收获,6 月 24 日拉秧。
化肥:尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)、磷酸二铵(含 N 18%,含 P₂O₅ 46%)、氯化钾(含 K₂O 60%)。

有机肥为商品有机肥,其养分含量为 N-P₂O₅-K₂O = 1.53% - 3.53% - 2.52% (干基),有机质含量为 30.45%,水分含量 32.6%。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 试验共设 5 个处理,3 次重复,随机排列,小区面积为 16.0 m² (宽 2.0 m × 长 8.0

m),株、行距分别 0.4,0.5 m,种植密度为 50 000 株/hm²。具体试验设计和施肥量见表 2。

每个处理根据作物需肥规律进行施肥,即 20% N、100% P₂O₅ 和 30% K₂O 基施,其余部分的 N、K₂O 分 6 次追施,追施时间分别在 2013 年 4 月 19 日、4 月 25 日、5 月 5 日、5 月 13 日、5 月 22 日、5 月 29 日进行。有机肥全部基施,施用量为 18 000 kg/hm²。整个生育期灌溉量为 4 500 m³/hm²。

1.3.2 测定项目及方法 记录黄瓜采收阶段每个小区果实的产量。在盛瓜期采集黄瓜果实样品,在盛瓜后期采集黄瓜植株样品,烘干后测定黄瓜果实和植株中氮、磷、钾含量。收获后采集 0 ~ 20,20 ~

40,40 ~ 60,60 ~ 80,80 ~ 100 cm 土壤样品,风干后测定其硝态氮含量。土体中硝酸盐的淋溶监测装置采用原位土淋溶技术^[15-16],在每个小区中间位置安装一个长 0.5 m、宽 0.4 m、高 0.1 m 的渗漏水收集盘,在渗漏水收集盘中装满细沙后覆盖 0.25 mm 的纱网,以便对渗漏水起到过滤作用。渗漏水收集盘

埋设深度为 0.9 m,用于收集灌溉水在 0.9 m 深处的渗漏水,与渗漏水收集盘相连的为 0.3 m × 0.3 m × 0.3 m 接收渗漏水的盒子,盒子上安装 0.1 m 粗的管子与地上部连接,每次灌溉前,使用自吸泵抽出盒子中上次灌溉的渗漏水,测定其硝态氮含量。

表 2 试验处理设计
Tab.2 Experimental treatments

Tab.2 Experimental treatments							kg/hm ²
编号 Code	处理 Treatment	养分用量 Nutrient content					
		化肥 Chemical fertilizer			有机肥 Organic manure		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	CK	0	0	0	0	0	0
2	OM	0	0	0	186	428	306
3	N ₁ PK	300	150	350	0	0	0
4	OM + N ₁ PK	300	150	350	186	428	306
5	OM + N ₂ PK	450	150	350	186	428	306

注:OM. 有机肥。表 3 ~ 5 同。
Note:OM. Organic matter. The same as Tab. 3 ~ 5.

植株茎、叶中氮含量采用硫酸-过氧化氢消煮,消煮液碱化后用蒸馏定氮法测定;土壤有机质测定采用重铬酸钾-浓硫酸氧化(外加热法),硫酸亚铁溶液滴定法测定;土壤 pH 值采用 2.5:1 的水土比悬液电位法测定;土壤硝态氮采用 2 mol/L KCl 溶液浸提-双波长紫外分光光度法测定^[17];渗漏水中硝态氮采用双波长紫外分光光度法测定^[18]。

本研究采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 13.0 统计软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对黄瓜产量及经济效益的影响

由表 3 可见,不同的施肥处理之间,黄瓜果实产量差异较大,其中 OM + N₁PK 处理黄瓜产量为 92 813 kg/hm²,显著高于其他处理;不施用肥料处理,黄瓜产量仅为 67 813 kg/hm²。施用肥料可以在一定程度上提高产量,其中施用有机肥可实现增产

25.8%,而施用化学肥料可实现增产 18.3%。与单施化肥相比(N₁PK),采用有机无机肥料配合施肥处理,平均增产 12.1%,在施用有机肥的基础上,当氮肥施用量为 300 kg/hm²时,可实现增产 8.8%,而氮肥施用量为 450 kg/hm²,增产仅为 2.1%,可见化学氮肥施用较多时,增产效果并不明显。

在黄瓜种植过程中采用 OM + N₁PK 施肥处理经济效益最高,可达到 19.13 万元/hm²,显著高于其他处理;不施用肥料处理,其纯收益最低,仅为 14.92 万元/hm²,显著低于其他处理;仅施用有机肥或仅施用化肥,与不施用肥料相比,其纯收益分别增加了 19.8% 和 15.7%;与单施化肥相比(N₁PK),采用有机无机肥料配合施肥处理,其经济效益平均增加 7.1%,在施用有机肥的基础上,施用氮肥,当氮肥施用量为 300 kg/hm²时,可实现增收 7.1%,而当施肥量为 450 kg/hm²,由于肥料的投入增加,其经济效益减少了 0.4%。

表 3 有机无机肥配合施用对黄瓜产量及经济效益的影响
Tab.3 Effect of different fertilizers on cucumber yield and income

处理 Treatment	肥料成本 /(万元/hm ²) Fert. input	收入 /(万元/hm ²) Income	产量 /(kg/hm ²) Yield	增产率/% Increase rate			增收率/% Income rate		
				与 CK 相比	与 OM 相比	与 N ₁ PK 相比	与 CK 相比	与 OM 相比	与 N ₁ PK 相比
				Comp. to CK	Comp. to OM	Comp. to N ₁ PK	Comp. to CK	Comp. to OM	Comp. to N ₁ PK
CK	0.00	14.92 ± 0.07d	67 813 ± 313d	—			—		
OM	0.90	17.87 ± 0.30b	85 313 ± 1 362b	25.8	—		19.8	—	
N ₁ PK	0.39	17.26 ± 0.32c	80 209 ± 1 477c	18.3		—	15.7		—
OM + N ₁ PK	1.29	19.13 ± 0.36a	92 813 ± 1 654a		8.8	15.7		7.1	10.8
OM + N ₂ PK	1.35	17.81 ± 0.14b	87 084 ± 651b		2.1	8.6		-0.4	3.2

注:不同小写字母差异达 5% 显著水平。表 4 ~ 5 同。
Note:Different letters mean significant at 5% level. The same as Tab. 4 ~ 5.

2.2 不同施肥处理黄瓜氮含量及累积量

由表 4 可见,不同施肥处理中黄瓜果实和植株氮含量略有差别,植株中的氮含量为 2.02% ~ 2.75%,不施用肥料处理,黄瓜植株中的氮含量为 2.75%,高于其他处理,仅施用有机肥处理,黄瓜植株中氮含量最低(2.02%);黄瓜果实中的氮含量为 2.17% ~ 2.97%,其中不施用肥料处理,果实中氮含量最低,仅为 2.17%,可见,施用氮肥可增加植株和果实中的氮含量。

从氮素的累积量上看,不施肥处理黄瓜植株氮吸收量最低,为 59.6 kg/hm²,黄瓜果实氮吸收量也最低,为 83.5 kg/hm²。与对照相比,仅施用有机肥对植株氮素累积量影响不大,但是可以明显增加黄瓜果实对氮素的吸收量。单施化肥处理黄瓜植株和

果实氮素吸收量均有提高。有机肥和化肥的配合施用以及增施氮肥处理,对黄瓜植株和果实的氮素吸收量有明显的促进作用。OM + N₁PK 处理黄瓜果实中氮的累积量显著高于其他处理,为 159.3 kg/hm²; OM + N₂PK 处理黄瓜植株氮素吸收量为 87.6 kg/hm²,显著高于其他处理;从氮素总累积量上看,施肥量较大的 OM + N₂PK 处理氮的累积量为 234.5 kg/hm²,显著高于其他处理;而不施用肥料处理,黄瓜对氮素的累积量最低,仅为 143.1 kg/hm²。从以上分析可见,增加氮肥的施用量仅可以提高植株中氮素累积量,并不能提高氮素在果实中的累积量,只有采用合理的有机无机配合比例,才能有效地提高果实中氮的累积量。

表 4 不同施肥处理黄瓜氮含量及其累积量

Tab.4 Effect of different fertilizers on N content and accumulation in cucumber

处理 Treatment	氮含量/% N content		氮累积量/(kg/hm ²) N accumulation		氮总累积量/(kg/hm ²) Total N
	植株 Plant	果实 Fruit	植株 Plant	果实 Fruit	accumulation
CK	2.75 ± 0.01a	2.17 ± 0.02c	59.6 ± 3.5c	83.5 ± 3.6e	143.1 ± 6.6e
OM	2.02 ± 0.08b	2.63 ± 0.09b	60.2 ± 7.9c	107.6 ± 7.8d	167.8 ± 15.1d
N ₁ PK	2.46 ± 0.39ab	2.94 ± 0.19ab	63.1 ± 0.7bc	124.1 ± 11.7c	187.3 ± 11.7c
OM + N ₁ PK	2.51 ± 0.55ab	2.97 ± 0.20a	67.7 ± 1.1b	159.3 ± 1.5a	227.0 ± 0.4b
OM + N ₂ PK	2.59 ± 0.20a	2.97 ± 0.19a	87.6 ± 1.4a	146.9 ± 1.3b	234.5 ± 2.4a

2.3 不同施肥处理对土壤硝态氮淋溶的影响

在黄瓜不同生育期每次施肥浇水后,采集土壤淋溶液收集装置中的淋溶液,称其质量,并取样测定其硝态氮含量。对黄瓜全生育期土壤硝态氮淋溶损失量进行了统计。由图 1 可见,随着黄瓜的生长发育,渗漏水中的硝态氮含量逐渐降低,这主要是由于随着黄瓜的生长对土壤中的硝态氮吸收量增加,减少了硝态氮的向下淋溶。在底肥施用后第一次抽取渗漏水中硝态氮含量为 80.3 ~ 111.0 mg/L,其中 OM + N₂PK 处理硝态氮含量最高,而不施用肥料处理,渗漏水中硝态氮含量仅为 43.1 mg/L。之后随种植时间的延长不同处理渗漏水中硝态氮的含量均

water in different fertilizers

呈下降趋势,其中不施用有机肥的 N₁PK 处理,渗漏水中硝态氮含量降低最快,从 91.2 mg/L 降低到 29.1 mg/L,降低了 68.1%;施用有机肥处理,渗漏水中的硝态氮含量降低稍微缓慢,OM + N₁PK 和 OM + N₂PK 分别降低了 39.5% 和 34.7%。到了收获结束时,各施肥处理渗漏水中硝态氮含量为 15.8 ~ 52.9 mg/L,其中仅施用有机肥处理渗漏水中硝态氮含量最低,不施用肥料处理,渗漏水中硝态氮含量仅为 6.3 mg/L。

由表 5 可见,在黄瓜种植中,采用漫灌的方式进行灌溉,其灌溉水的渗漏量非常高,可达到灌溉量的 44.6% ~ 52.0%。在灌溉量相同的条件下,不施用有机肥处理灌溉水的渗漏量显著高于其他处理,其渗漏量可占灌溉水的 51.4% ~ 52.0%,而施用有机肥的处理,渗漏水 的量占灌溉水 44.6% ~ 46.2%。在施氮量相同的条件下,采用有机无机肥料配合施肥处理,灌溉水的渗漏量可降低 14.2%。单一施用化肥处理,土壤硝态氮淋溶损失量显著高于其他处理(除 OM + N₂PK),达到 204.9 kg/hm²,比对照处理高了 157.6 kg/hm²,占总氮肥施入量(300 kg/hm²)的 52.5%。单一施用有机肥处理土壤硝态氮淋溶

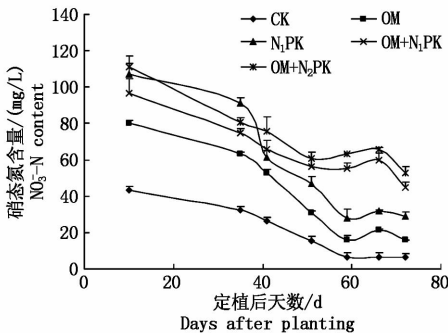


图 1 不同施肥处理淋溶水中硝态氮含量的动态变化
Fig.1 The dynamics of NO₃⁻-N content in leaching

量为 108.7 kg/hm²,比对照处理高了 61.4 kg/hm²,占总氮施用量的 33%。OM + N₁PK 处理土壤硝态氮淋溶量为 150.4 kg/hm²,占氮肥总施入量的 21.2%,OM + N₂PK 处理土壤硝态氮淋溶量为 195.5 kg/hm²,占氮肥总施用量的 23.3%,施用有机肥处理比单一

施用化肥处理低了 29.2~31.3 个百分点,在施氮量相同的条件下,采用有机无机配合施肥处理,硝态氮的渗漏量可降低 26.6%。由此可见,合理的有机无机配合施用,可以减少土壤硝态氮的淋溶,但是增加氮肥的施用,土壤硝态氮的淋溶量也随之增加。

表 5 不同施肥处理对硝态氮淋溶的影响

Tab.5 Effect of different fertilizers on irrigation water leakage and NO ₃ ⁻ -N leakage					
处理 Treatment	灌溉量 /(m ³ /hm ²) Irrigation water	渗漏量 /(m ³ /hm ²) Leakage water	渗漏比例/% Leakage rate	NO ₃ ⁻ -N 淋溶量 /(kg/hm ²) NO ₃ ⁻ -N leakage	NO ₃ ⁻ -N 淋溶量占施用量比例/% NO ₃ ⁻ -N leakage amount accounted for the proportion of fertilizer
CK	4 500	2 311.9 ± 21.1a	51.4	47.3 ± 1.6d	—
OM	4 500	2 008.6 ± 86.0b	44.6	108.7 ± 7.1c	33.0
N ₁ PK	4 500	2 341.9 ± 22.7a	52.0	204.9 ± 5.1a	52.5
OM + N ₁ PK	4 500	2 008.4 ± 61.1b	44.6	150.4 ± 7.5b	21.2
OM + N ₂ PK	4 500	2 078.7 ± 72.0b	46.2	195.5 ± 3.9ab	23.3

2.4 不同施肥处理对土壤硝态氮累积量的影响

由图 2 可见,不同施肥处理土壤硝态氮累积量各不相同,但累积趋势比较明显,且各处理的累积趋势基本一致。土壤硝态氮累积量基本集中在土壤 0~20 cm 表层,以 OM + N₂PK 处理最高,达到了 389.7 kg/hm²,比 CK 处理高 191.5%。OM + N₁PK 处理和 N₁PK 处理相比,0~20 cm 土壤硝态氮累积量差别不大,比 CK 分别高 119.0%和 128.8%。全部施用有机肥处理,在 0~20 cm 土层硝态氮也出现了一定的累积。OM + N₂PK 处理在 60~80,80~100 cm 土层硝态氮出现了明显的累积,明显高于其他处理,与 CK 相比分别增加了 205.0%和 237.0%。

产优质的最佳施肥模式^[20]。本研究结果表明,采用有机无机肥料配合施用黄瓜产量平均增加 12.1%,增收 7.1%,其中施用低量氮肥处理(OM + N₁PK)增产效果和效益最佳,分别达到了 92 813 kg/hm²和 19.13 万元/hm²,显著高于其他处理,而采用高氮处理(OM + N₂PK)其产量和经济效益都有所下降。

有机无机肥料配合施用是培肥土壤的有效措施,可降低土壤容重,提高土壤孔隙度,调节土壤 pH 值,减轻因化肥氮大量施用造成的土壤酸化,使土壤疏松,有利于作物对养分的吸收,减少养分流失^[21]。本研究结果表明,增加氮肥的施用仅可以提高植株中的氮累积量,并不能提高氮素在果实中的累积量,只有采用合理的有机无机配合比例,才能有效提高果实中氮的累积量。土壤中硝态氮的淋溶程度和数量由土壤中硝态氮的含量和土壤水分含量决定^[14]。本研究结果表明,在灌溉量相同的条件下,施氮量较高的处理(OM + N₂PK),硝态氮在 0~100 cm 深的土体内发生了累积现象,尤其是 60~100 cm 土层。随着作物的生长,淋溶水中的硝态氮含量不断呈下降趋势,采用有机无机配合施用,灌溉水的渗漏量平均降低了 14.2%,而在化学氮肥施用量相同的条件下,采用有机无机配合施用,硝态氮的淋溶量可减少 26.6%。可见采用有机无机配合施用可显著降低灌溉水的渗漏和硝态氮的淋溶,这与 Gairola 等^[22]和 Ehiokhilen 等^[23]的研究结果相同。在山东省主要设施蔬菜种植区,在 80 cm 土层以下的氮累积量高达 120 kg/hm²,并且以硝态氮为主^[24]。有机肥的施用可提高土壤阳离子代换量,降低土壤中硝化反硝化微生物活性,增加土壤中硝态氮的吸附作用和抑制硝态氮的生成,从而减少硝态氮的淋溶^[16,25]。Ca-

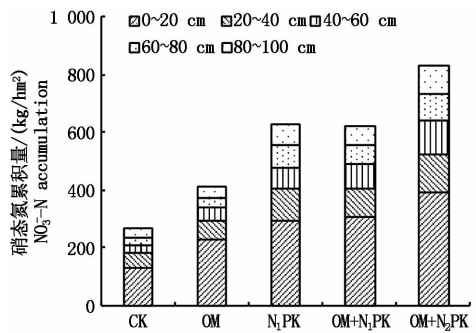


图 2 不同施肥处理对土壤硝态氮累积的影响
Fig.2 Effect of different fertilizers on
soil NO₃⁻-N accumulation

3 结论与讨论

在设施蔬菜种植过程中,氮肥的过量和不合理施用将引起作物中硝酸盐的累积以及土壤中硝态氮的累积和淋溶,甚至对土壤和地下水造成污染。Es-sawy 等^[19]研究发现,增加氮肥施用量并不能提高黄瓜的产量,而采用有机肥和化肥配合施用,在减少化肥施用量的同时可以提高土壤肥力,是实现作物高

bello 等^[26]研究发现,适当减少氮肥和灌溉水的用量对甜瓜产量和品质没有影响,而且可以减少氮素的淋溶损失。

由此可见,有机无机配合施用不仅可以提高作物产量,增加农民收入,而且还是一项节能、环保的生产技术。但是在实际生产中,应根据作物的养分需求规律进行不同量的有机肥和无机肥的配合施用。本研究认为,在设施黄瓜种植过程中 OM + N₁PK 为最佳施肥模式。

参考文献:

- [1] Rather K, Schenk M K, Everaarts A P, et al. Response of yield and quality of cauliflower varieties (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) to nitrogen supply[J]. Hort Sci Biotech, 1999, 74(5): 658 – 664.
- [2] 闵 炬, 施卫明, 王俊儒. 不同施氮水平对大棚蔬菜氮磷钾养分吸收及土壤养分含量的影响[J]. 土壤, 2008, 40(2): 226 – 231.
- [3] He F F, Chen Q, Jiang R F, et al. Yield and nitrogen balance of greenhouse tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) with conventional and site-specific nitrogen management in northern China[J]. Nutr Cycl Agroecosyst, 2007, 77(6): 1 – 14.
- [4] 杜连凤, 赵同科, 安志装, 等. 菜地氮素循环途径及其环境效应综述[J]. 土壤农学通报, 2008, 124(2): 414 – 418.
- [5] Sun Y, Hu K L, Fan Z B, et al. Simulating the fate of nitrogen and optimizing water and nitrogen management of greenhouse tomato in North China using the EU-Rotate_N model[J]. Agricultural Water Management, 2013, 128(6): 72 – 84.
- [6] 社会英, 冀宏杰, 徐爱国, 等. 太湖和滇池流域保护地蔬菜氮肥去向研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(7): 1410 – 1416.
- [7] 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 等. 氮、磷、钾在设施蔬菜土壤剖面中的分布及移动研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 537 – 542.
- [8] 高 伟, 朱静华, 高宝岩, 等. 天津市设施蔬菜不同种植年限土壤及地下水养分特征[J]. 华北农学报, 2010, 25(2): 206 – 211.
- [9] 黄绍文, 王玉军, 金继运, 等. 我国主要菜区土壤盐分、酸碱性及肥力状况[J]. 植物营养肥料学报, 2011, 17(4): 906 – 918.
- [10] 宇万太, 姜子绍, 马 强, 等. 施用有机肥对土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5): 1057 – 1064.
- [11] 杨兴明, 徐阳春, 黄启为, 等. 有机(类)肥料与农业可持续发展 and 生态环境保护[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 925 – 932.
- [12] 王立河, 赵喜茹, 王喜枝, 等. 有机肥与氮肥配施对日光温室黄瓜和土壤硝酸盐含量的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(3): 472 – 476.
- [13] 张 迪, 牛明芬, 王少军, 等. 不同有机肥处理对设施菜地土壤硝态氮分布影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(5): 156 – 161.
- [14] 郭 颖, 赵牧秋, 吴 蕊, 等. 有机肥对设施菜地土壤-植物系统硝酸盐迁移累积的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(5): 1831 – 1835.
- [15] 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 国家环境保护总局南京环境科学研究所. 全国种植业污染源普查排污系数测算实施方案-地下淋溶监测技术规程[S]. 2007.
- [16] 高 伟, 朱静华, 李明悦, 等. 有机无机肥料配合施用对设施条件下芹菜产量、品质及硝酸盐淋溶的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 657 – 664.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [18] 孙宝盛, 单金林. 环境分析检测理论与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 114 – 116.
- [19] Esawy M, Nasser A K, Paul R, et al. Effects of different organic and inorganic fertilizers on cucumber yield and some soil properties[J]. World J Agric Sci, 2009, 5(4): 408 – 414.
- [20] Azeez J O, Averbek W V, Okorogbona A O M. Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.) to the application of three animal manures[J]. Bioresource Tech, 2010, 101(7): 2499 – 2505.
- [21] Abul-Soud M, Abdrabbo M A, Farag A A. Increasing soil organic matter content as a key factor for sustainable production of sweet pepper[J]. International Journal of Plant & Soil Science, 2014, 3(6): 707 – 723.
- [22] Gairola S, Umar S, Suryapani S. Nitrate accumulation, growth and leaf quality of spinach beet (*Beta vulgaris* Linn.) as affected by NPK fertilization with special reference to potassium[J]. J Sci Tech, 2009, 2(2): 35 – 40.
- [23] Ehiokhilen K E, Samson U R. The effects of inorganic fertilizer on the yield of two varieties of cucumber (*Cucumis sativus* L.)[J]. Rep Opin, 2009, 1(5): 74 – 80.
- [24] 李晓林, 张福锁, 刘兆辉. 山东设施蔬菜氮肥施用现状及其对环境的影响[C]//季国亮. 氮素循环与农业和环境学术研讨会论文集. 北京: 科学出版社, 2001.
- [25] 黄东风, 王 果, 李卫华, 等. 不同施肥模式对蔬菜生长、氮肥利用及菜地氮流失的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 631 – 638.
- [26] Cabello M J, Castellanos M T, Romojaro F, et al. Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates[J]. Agric Water Manag, 2009, 96(5): 866 – 874.