

王大凤,王思瑶,侯琨,等.夏填闲作物不同密度种植对设施土壤磷素的吸收与磷风险阻控[J].江苏农业科学,2019,47(11):286-289.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.11.064

夏填闲作物不同密度种植对设施土壤磷素的吸收与磷风险阻控

王大凤,王思瑶,侯琨,余晨,张宇,裴志强,卢树昌

(天津农学院农学与资源环境学院,天津 300384)

摘要:降低设施菜田磷面源污染对提升菜田土壤质量意义重大。以甜玉米为供试材料,设计常规密度(TZ)、高等密度(TG)、超高密度(TC)3个不同栽培密度处理,研究不同种植密度处理对设施菜田土壤磷素吸收与风险阻控的影响。试验结果表明,TC处理总生物量显著高于TZ处理,总生物量达24 485.50 kg/hm²。TC、TG处理的总吸磷量显著高于TZ处理,TC处理吸磷量最高,达92.56 kg/hm²。在0~30 cm土层,与种植前期相比,后期TG处理的表层土壤有效磷含量的降幅最大,为18.1%,且对下层土壤有效磷含量降低更为明显。在常规休闲期种植高密度填闲甜玉米可作为缓解和阻控设施菜田土壤磷面源污染的有效途径。

关键词:填闲作物;栽培密度;设施;土壤磷;吸收与阻控

中图分类号: X53;S513.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)11-0286-04

随着农业产业结构不断调整,设施菜田面积不断增加。相应地,设施农田氮磷素投入量越来越高,进而土壤磷素积累日益明显^[1]。研究表明,天津市集约化设施菜田土壤有效磷含量达到150 mg/kg,远超过农田磷素环境风险阈值^[2-3]。设施农田磷素面源污染问题凸显,严重制约着设施农业可持续发展。近些年来,填闲作物成为控制设施菜田面源污染的一个有效生物途径^[4]。填闲作物是指在设施蔬菜生产过程中,利用上茬蔬菜收获后的闲暇时间种植短季作物,以保持土壤质量,改善后茬作物的生长发育^[5]。基于此,本研究通过在设施菜田休闲期间,种植不同栽培密度的填闲作物吸收土壤中的磷素,以降低土壤磷的环境负荷,阻控土壤磷向下运移,旨在为设施农田磷素污染控制提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况及供试材料

研究位于天津市武清区北部的设施蔬菜生产基地。该基

地的设施温室大棚建于2002年,棚室均为有后墙的设施大棚,大棚占地面积为666.7~1 333.4 m²。设施大棚生产模式以冬春茬种植果菜类、秋冬茬种植叶菜类为主,7—8月份为休闲季,歇棚。冬春茬蔬菜施肥量大,尤其是有机肥投入量较高,秋冬茬蔬菜施肥量较低。试验大棚土壤类型为潮土,质地为中壤,土壤地力较高,其中土壤有效磷含量为570 mg/kg,该土壤磷环境存在高风险。

填闲材料为超甜玉米,品种为夏王先锋,由北京中科裕丰种子有限公司生产,生育期为85 d,常规种植密度为45 000株/hm²。

1.2 试验处理与管理

本试验于冬春茬番茄收获后进行,同设3个不同种植密度处理:常规密度(TZ),株行距44 cm×50 cm,种植密度45 000株/hm²;高等密度(TG),株行距30 cm×50 cm,种植密度67 500株/hm²;超高密度(TC),株行距22 cm×50 cm,种植密度90 000株/hm²。每个处理3次重复,试验小区面积为63 m²(6.0 m×10.5 m)。

试验过程不施用任何肥料。2017年5月27日播种,次日灌水,6月18日定植。分别在生长过程的前期和后期进行2次长势调查,于9月9日收获,测定生物量,同时采集土样与植物样,以测定磷素等指标。

1.3 测试方法

1.3.1 长势的测定 在试验开始后分别在2017年7月9日(前期)、9月9日(后期)测定株高、茎粗、叶长、叶宽、叶绿素

收稿日期:2018-03-03

基金项目:天津市大学生创新训练计划(编号:201710061002);国家重点研发计划(编号:2016YFD0801006);天津市重点研发计划农业科技成果转化项目(编号:16YFNZNC00010)。

作者简介:王大凤(1995—),女,天津人,从事农田土壤与作物生长环境关系的研究。E-mail:1340005705@qq.com。

通信作者:卢树昌,博士,教授,从事农田土壤质量与植物营养的研究。E-mail:lsc9707@163.com。

[18]李小宁.定边县地膜玉米高产栽培技术的调研与探究[J].陕西农业科学,2012,58(6):177-178,230.

[19]杨明金,张勃,王海军,等.聚丙烯酰胺和磷石膏对土壤导水性能的影响研究[J].土壤通报,2009,40(4):747-750.

[20]王立志,陈明昌,张强,等.脱硫石膏及改良盐碱地效果研究[J].中国农学通报,2011,27(20):241-245.

[21]Baumhardt R L, Wendt C W, Moore J. Infiltration in response to water quality, tillage, and gypsum[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(1): 261-266.

[22]郑普山,郝保平,冯悦晨,等.不同盐碱地改良剂对土壤理化性质、紫花苜蓿生长及产量的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(9):1216-1221.

含量 (SPAD 值)、净光合速率。每个试验小区随机选取 5 株长势与小区玉米平均长势一致的样株进行测定。其中,株高为茎基部至顶叶的高度,茎粗为从地表开始玉米茎第 1 节间中部的直径(用游标卡尺测定),叶片选取顶部倒三叶,分别测定叶长、叶宽、叶色、净光合速率,叶长、叶宽用于计算叶片的叶面积(叶面积 = 叶长 × 叶宽 × 0.75^[6-7]),叶绿素含量用叶绿素仪测定,净光合速率采用光合速率仪测定。

1.3.2 不同部位生物量的测定 收获时,分区测定小区鲜植株和果穗总产量,再随机取出 4~8 株大小一致的玉米果穗,脱粒后混匀,取 20~30 g(精确到 0.000 1 g)在 105 ℃ 下烘干,计算含水量和干籽粒产量。同时随机取小区平均长势玉米植株 3 株,将根、茎、叶、果穗外皮、籽粒、果轴分开分别称质量,计算不同部位的鲜质量比,以折算成小区的玉米不同部位的总鲜质量,同时在 105 ℃ 下烘干 1 h 杀青,再于 75 ℃ 烘干至恒质量制备相应的样品,测定不同部位含水量,最后计算不同部位干生物量。

1.3.3 植物全磷、土壤有效磷和水溶性磷含量的测定 植物

全磷含量采用浓硫酸-H₂O₂ 消煮、钒钼黄比色法测定;土壤有效磷含量采用 NaHCO₃ 溶液浸提、钼蓝比色法测定;土壤水溶性磷含量采用 CaCl₂ 溶液浸提、钼蓝比色法测定。

1.3.4 数据处理 采用 Excel 2007 进行数据处理,采用 DPS 7.05 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对填闲作物生长的影响

由表 1 可知,株高以 TC 处理最高,为 157.67 cm,TZ 处理最低,为 143.30 cm。茎粗以 TZ 处理最大,为 3.66 cm,其次是 TG 处理,最小的为 TC 处理。可见,随着种植密度的增加,植株高度未受影响,但茎粗的增长受到了抑制。不同处理的叶面积随密度的增大而增加,TC 处理最高,为 576.65 cm²,TZ 处理最低,为 532.79 cm²。不同处理的叶绿素和光合速率指标在 TZ 处理下均较高,而在 TC 处理下有所降低,但差异均不显著。从前期整体长势看,在所有处理中,超高密度处理的株高和叶面积均最高,长势略优,其次为高密度处理。

表 1 不同处理玉米生长前期的长势状况

处理	株高 (cm)	茎粗 (cm)	叶面积 (cm ²)	叶绿素含量 (SPAD 值)	净光合速率 [μmol/(m ² ·s)]
TZ	143.30 ± 9.18a	3.66 ± 0.17a	532.79 ± 83.89a	50.61 ± 2.47a	53.36 ± 10.48a
TG	153.00 ± 5.62a	3.56 ± 0.13ab	572.27 ± 29.55a	52.31 ± 0.87a	45.85 ± 7.45a
TC	157.67 ± 6.02a	3.32 ± 0.18b	576.65 ± 39.85a	49.03 ± 1.34a	47.47 ± 10.47a

注:同列数值后不同小写字母表示在 0.05 水平下差异显著,下表同。

由表 2 可知,不同处理间的株高长势与生长前期相同,均为 TC 处理最高(300.67 cm),TZ 处理最低(292.63 cm)。不同处理的茎粗、叶面积、叶绿素含量均表现为 TZ > TG > TC 处理,其中 TZ 处理的茎粗显著高于 TG、TC 处理。作物生长后

期净光合速率以 TC 处理最高,为 47.77 μmol/(m²·s),不同处理间没有显著差异。总体来看,试验后期超高密度处理的株高虽最高,但茎粗增长明显较慢,叶面积的增长也低于常规密度和高密度处理,可见,超高密度处理植株长势趋缓。

表 2 不同处理玉米生长后期的长势状况

处理	株高 (cm)	茎粗 (cm)	叶面积 (cm ²)	叶绿素含量 (SPAD 值)	净光合速率 [μmol/(m ² ·s)]
TZ	292.63 ± 5.59a	4.26 ± 0.22a	670.04 ± 45.95a	57.30 ± 0.63a	37.76 ± 6.37a
TG	299.43 ± 2.35a	3.54 ± 0.06b	668.86 ± 14.87a	55.83 ± 1.49a	47.20 ± 5.52a
TC	300.67 ± 4.10a	3.37 ± 0.13b	660.96 ± 9.11a	54.43 ± 2.28a	47.77 ± 5.78a

2.2 不同处理对填闲作物生物量的影响

如表 3、图 1 所示,TZ 和 TG 处理生物量均表现为茎 > 果穗 > 叶 > 根。TZ 处理茎部生物量最高,为 7 036.53 kg/hm²,占总生物量的 37.4%,果穗、叶的生物量分别占总生物量的 26.2%、23.8%,根部生物量最低,占总生物量的 12.5%。TG 处理茎部生物量较高,为 9 441.62 kg/hm²,占总生物量的 39.2%,果穗、叶、根的生物量分别占总生物量的 25.2%、21.6%、14.1%。TC 处理不同部位生物量表现为茎 > 叶 > 果穗 > 根。茎部生物量最高,为 9 658.54 kg/hm²,占总生物量的 39.4%,叶、果穗的生物量分别占总生物量的 24.9%、22.7%,根部生物量最低,占总生物量的 13.0%。随着种植密度增加,茎叶生物量逐渐增加,果穗生物量在超高密度处理下出现下降。TC、TG 处理的根、茎、叶、果穗总量和总生物量均显著高于 TZ 处理。从果穗来看,3 个处理均是籽粒的生物量最高,占果穗生物量的 50% 左右。不同处理的籽粒产量以 TG 处理最高,显著高于 TZ 处理,但 TZ 与 TC 处理差异不显

著(表 4)。不同处理中,总生物量以 TC 处理最高,为 24 485.50 kg/hm²,比 TG 处理高 1.57%,但 TC 与 TG 之间差异不显著。

2.3 不同处理对设施土壤磷素吸收的影响

填闲作物磷的吸收量是跟据作物生物量和磷含量计算的。如表 4、图 2 所示,TZ、TG 处理不同部位对磷元素的吸收均表现为茎 > 果穗 > 叶 > 根。TZ 处理茎部吸磷量为 23.77 kg/hm²,约占总吸磷量的 34.0%,果穗、叶的磷素吸收量分别占总吸磷量的 27.3%、24.5%,根部吸磷量最低,为 9.87 kg/hm²,约占吸磷总量的 14.1%;TG 处理茎部吸磷量较高,为 29.16 kg/hm²,占吸磷总量的 31.7%,果穗、叶和根的磷素吸收量分别占总吸磷量的 26.2%、23.2%和 18.9%;TC 处理不同部位吸磷量表现为茎 > 叶 > 果穗 > 根。茎部吸磷量最高,为 29.28 kg/hm²,占吸磷总量的 31.6%,根部吸磷量最低,为 14.98 kg/hm²,约占吸磷总量的 16.2%,叶、果穗的磷素吸收量分别占总吸磷量的 26.6%、25.6%。随着种植密度

表 3 不同处理填闲玉米不同部位的生物量

kg/hm²

处理	根生物量	茎生物量	叶生物量
TZ	2 353.08 ± 224.42b	7 036.53 ± 726.20b	4 482.40 ± 914.76b
TG	3 395.06 ± 159.40a	9 441.62 ± 627.23a	5 204.12 ± 1 882.08a
TC	3 187.32 ± 268.11a	9 658.54 ± 812.45a	6 086.57 ± 1 391.22a

处理	果穗生物量				总生物量
	合计	果穗外皮	籽粒	果轴	
TZ	4 936.22 ± 283.08b	1 032.53 ± 260.08b	2 553.78 ± 316.70b	1 349.92 ± 138.05b	18 808.22 ± 1 160.67b
TG	6 066.26 ± 1 204.80a	1 318.37 ± 30.99b	2 943.01 ± 971.16a	1 804.89 ± 427.39a	24 107.06 ± 3 693.01a
TC	5 553.08 ± 1 223.53a	1 627.43 ± 483.77a	2 698.35 ± 910.07b	1 227.30 ± 396.06b	24 485.50 ± 1 525.31a

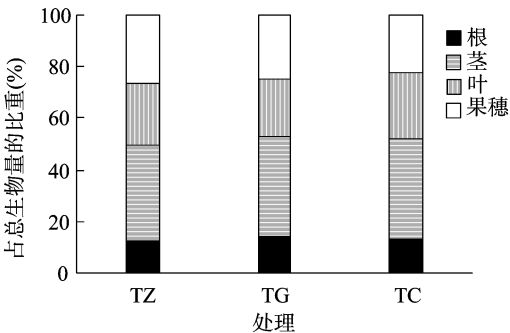


图1 不同处理填闲玉米各部位生物量占总生物量的比重

的增加,茎、叶的吸磷量逐渐增加,果穗吸磷量在超高密度处理下出现下降。TC 和 TG 处理的茎、根吸磷量均显著高于 TZ 处理。对于果穗来说,籽粒的吸磷量最高,占果穗总吸磷量的 60% 左右。不同处理中,TC 处理吸磷总量最高,为 92.56 kg/hm²,TZ 处理最低,为 69.83 kg/hm²,吸磷总量随种植密度增加而增加,且 TC、TG 处理吸磷总量显著高于 TZ 处理。总体来看,TC 处理吸磷量最多,作物吸磷量随着密度的增加而增加,与生物量的变化基本保持一致。

2.4 不同处理对设施土壤磷素运移风险的影响

如图 3、图 4 所示,种植填闲玉米后,不同土层的有效磷、水溶性磷含量均有所降低。不同处理在不同土层的有效磷、

表 4 不同处理填闲玉米的不同部位对磷元素的吸收状况

kg/hm²

处理	根吸磷量	茎吸磷量	叶吸磷量	果穗吸磷量				总吸磷量
				合计	果穗外皮	籽粒	果轴	
TZ	9.87 ± 2.60b	23.77 ± 0.97b	17.10 ± 3.60b	19.08 ± 2.77b	3.63 ± 0.86b	12.80 ± 3.15b	2.65 ± 0.50b	69.83 ± 6.71b
TG	17.40 ± 1.76a	29.16 ± 0.76a	21.33 ± 6.58a	24.14 ± 5.81a	4.39 ± 0.37a	15.39 ± 4.65a	4.37 ± 1.31a	92.04 ± 12.97a
TC	14.98 ± 1.26a	29.28 ± 1.14a	24.65 ± 6.40a	23.65 ± 5.25a	5.82 ± 2.02a	14.75 ± 5.13a	3.08 ± 0.87a	92.56 ± 8.78a

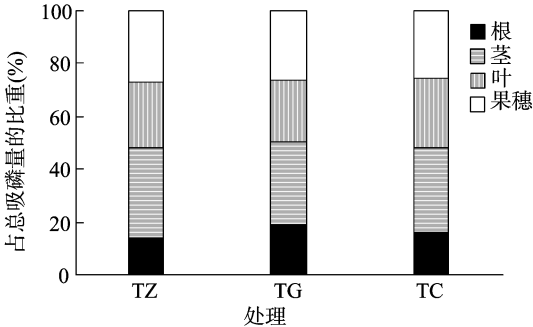


图2 不同处理填闲玉米的各部位吸磷量占总吸磷量的比重

水溶性磷含量在种植填闲玉米后期与前期相比均有所降低。0~30 cm 土层的有效磷含量较前期降幅最大的是 TG 处理,为 18.1%,其次是 TZ 处理,降低 17.8%,TC 处理降幅最小,为 17.0%;水溶性磷含量较前期降幅最大的是 TZ 处理,为 90.0%,TC 处理降幅最小,为 76.1%。30~60 cm 土层的有效磷含量较前期降幅最大的是 TZ 处理,为 50.3%,其次是 TG 处理,降低 47.0%,TC 处理最小,为 39.2%;水溶性磷含量较前期降幅最大的是 TG 处理,为 86.5%,TC 处理最小,为 81.7%。60~90 cm 土层有效磷含量较前期降幅最大的是 TC 处理,为 63.4%,其次是 TG、TZ 处理;水溶性磷含量较前期降幅最大的是 TG 处理,为 93.3%。

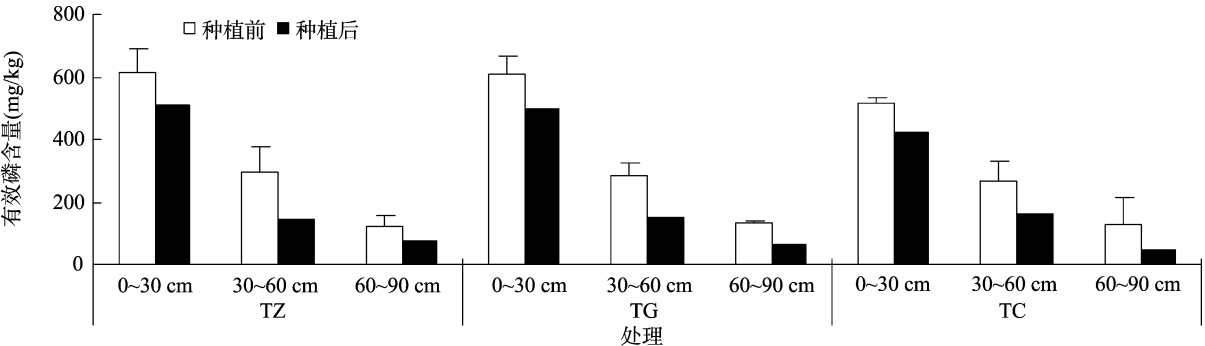


图3 不同处理填闲玉米种植前、后期对不同土层有效磷含量的影响

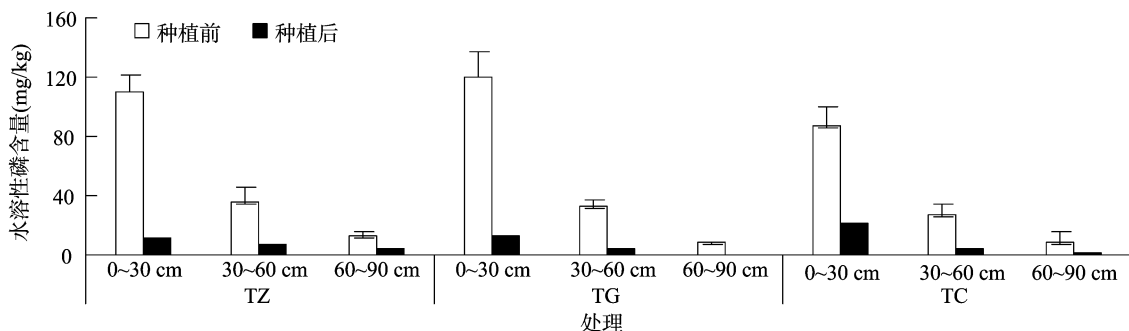


图4 各处理填闲玉米种植前、后期对不同土层水溶性磷含量的影响

3 讨论与结论

3.1 讨论

磷元素在土壤中易固定、移动性差、利用率低,在很多情况下成为影响作物生长的限制因子^[8]。而设施大棚施用的有机肥和磷肥含量过高,导致设施土壤磷素积累,并引起环境污染^[9]。C4作物甜玉米作为填闲作物具有短期生物量大、耐高温的特点,在休闲期种植,可以显著降低积累在土壤中的磷素养分^[10]。本试验不同种植密度处理填闲玉米的生物量为18 800~24 500 kg/hm²,且对设施土壤中的有效磷含量均有明显的降低作用,总生物量和吸磷量随种植密度的增加而增加,虽然超高密度处理与高密度处理已没有明显差异,但未达到设计理想的试验结果,并没有出现峰值。主要原因因为试验设计的种植密度是按大田方案设计的,还需要进一步增大种植密度。玉米为深根作物,刘晶森等研究表明,玉米根系可深达230 cm,0~120 cm土层中分布有90%的根系;种植玉米后,土壤30~60、60~90 cm土层有效磷与水溶性磷含量均有显著下降,其原因与玉米根系深层次分布吸收土壤磷素有关^[11]。本研究中,不同处理的甜玉米,TC处理的根、茎吸磷量显著高于TZ处理,TC处理的磷素吸收表现为茎>叶>果穗>根。试验结果表明,随种植密度的增加,总吸磷量逐渐增加,但并没又出现峰值;种植填闲作物后,产生的根系分泌物对下茬蔬菜生长初期土壤磷素释放的影响,本试验未涉及,可作为后续研究内容。

3.2 结论

在常规休闲期种植甜玉米使不同土层有效磷含量明显降低,对减轻和控制磷素运移带来的环境风险有重要意义。本试验结果表明:(1)超高密度种植的甜玉米长势最好,但生长强度趋缓;(2)不同处理的闲甜玉米总生物量表现为超高密度>高等密度>常规密度,最高为24 485.50 kg/hm²,但超高密度与高等密度处理间差异不显著;(3)不同处理填闲甜玉米对磷的总吸收量表现为超高密度和高密度处理显著高于常

规密度处理,超高密度处理总吸磷量为92.56 kg/hm²;(4)不同处理填闲甜玉米对设施土壤中的0~30 cm土层有效磷含量有明显降低,高等密度处理有效磷含量后期比前期的减少量最多,为109.71 mg/kg,降低率为18.1%,而在60~90 cm土层中超高密度处理的有效磷含量的降低率最高。总体来看,超高密度和高密度处理对设施土壤磷素的吸收和阻控作用明显好于常规密度处理。

参考文献:

- [1] 卢树昌,新楠,王小波. 天津市农田土壤肥力质量现状及演变分析[J]. 湖北农业科学,2013,52(7):1546-1548.
- [2] 肖建中,卢树昌. 菜田土肥水高效综合管理技术与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2013.
- [3] 新楠,卢树昌,王小波,等. 不同施肥方式对设施番茄产量和土壤氮及磷累积的影响[J]. 北方园艺,2013(6):183-186.
- [4] 田永强,高丽红. 填闲作物阻控设施菜田土壤功能衰退研究进展[J]. 中国蔬菜,2012(18):26-35.
- [5] 李光,司力珊,张雪艳,等. 填闲作物对日光温室土壤环境作用效果比较研究[J]. 农业工程学报,2008,24(1):224-229.
- [6] 郑洪兵,齐华,刘武仁,等. 不同耕层构造对玉米叶面积和SPAD值的影响[J]. 农业与技术,2014,34(10):1-2.
- [7] 柳家友,董家璞,张运栋,等. 玉米叶向值、叶片面积与产量关系的研究初报[J]. 河南农业科学,1994(5):4-6.
- [8] Singh G T, Erik N N. Rhizosphere research: a tool for creating phosphorus efficient crop varieties[C]//17th World Congress of Soil Science, August 14-21, Bangkok, Thailand; The International Union of Soil Sciences, 2002.
- [9] 杜育梅,刘国道. 植物利用磷素的有效性研究进展[J]. 华南热带农业大学学报,2007,13(2):41-47.
- [10] 文芳芳,韩宝,于跃跃,等. 4种填闲作物对设施菜田土壤次生盐渍化的改良效果[J]. 中国农技推广,2015,31(4):44-46.
- [11] 刘晶森,安顺清,廖荣伟,等. 玉米根系在土壤剖面中的分布研究[J]. 中国生态农业学报,2009,17(3):517-521.