

有机氮不同替代量对辣椒产量·品质及土壤矿质态氮的影响

江波¹, 薛贞明¹, 王静², 徐济春¹, 陈梦玲¹, 武际^{2*}

(1. 安徽省庐江县农业技术推广中心, 安徽庐江 231500; 2. 安徽省农业

科学院土壤肥料研究所, 养分循环与资源环境安徽省重点实验室, 安徽合肥 230031)

摘要 研究不同有机氮替代量对辣椒产量、品质及土壤矿质态氮含量的影响, 为该地区辣椒优质高产生产提供科学依据。结果表明, 有机替代能够不同程度地提高辣椒产量和品质。相较于全量化肥, 有机替代处理的辣椒产量增加 2.3%~13.1%。辣椒果实中硝酸盐含量降低 17.4%~31.2%, 维生素 C 和还原糖含量则分别提高 4.4%~11.5% 和 23.9%~63.5%。有机替代能够显著降低设施土壤中铵、硝态氮的累积, 相较于全量化肥处理, 有机替代处理 0~10 和 10~20 cm 土层硝态氮含量分别减少 24.6%~34.7% 和 6.7%~18.4%, 铵态氮含量分别降低 44.6%~55.7% 和 22.7%~40.8%。该试验条件下, 有机氮替代 50% 时最有利于提高辣椒产量、品质以及减少土壤矿质态氮积累。

关键词 有机替代; 辣椒; 产量; 品质; 硝态氮; 铵态氮

中图分类号 S641.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)05-0162-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.05.045



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Substitution Proportion of Organic Nitrogen on Pepper Yield, Quality and Soil Mineral Nitrogen

JIANG Bo¹, XUE Zhen-ming¹, WANG Jing² et al (1. Agricultural Technology Popularization Center of Lujiang County, Lujiang, Anhui 231500; 2. Institute of Research for Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Anhui Key Laboratory of Nutrient Cycling, Resources and Environment, Hefei, Anhui 230031)

Abstract The effects of different substitution proportion of organic nitrogen on pepper yield, quality and the contents of mineral nitrogen in soils were studied to provide scientific basis for higher production of pepper. The results showed that organic substitution could improve the yield and quality of pepper. Compared with the total chemical fertilizer treatment, the yield of pepper increased by 2.3% - 13.1%. The contents of nitrate decreased by 17.4% - 31.2%, while the contents of vitamin C and reducing sugar increased by 4.4% - 11.5% and 23.9% - 63.5% respectively. Organic substitution could significantly reduce the accumulation of ammonium and nitrate nitrogen in facility soil. Compared with the total chemical fertilizer, the contents of nitrate in 0-10 and 10-20 cm soil layers decreased by 24.6% - 34.7% and 6.7% - 18.4% respectively, and the contents of ammonium was 44.6% - 55.7% and 22.7% - 40.8% lower respectively. Under the condition of this experiment, replacing 50% of chemical nitrogen with organic nitrogen is the optimal proportion to improve the yield and quality of pepper and reduce the accumulation of mineral nitrogen in soils.

Key words Organic substitution; Pepper; Yield; Quality; Nitrate nitrogen; Ammonium nitrogen

近年来,随着农药和化肥使用量的不断增加,而有机肥供应不足,造成土壤肥力不断下降、养分比例严重失调,使蔬菜品质降低,从而影响人体健康^[1]。长期施用化肥,各种形态的氮素会转化成硝酸盐类物质而被植物吸收,且过高的化肥施用量会导致氮素不能被植物有效利用而造成肥料利用率的降低^[2]。化肥减量施用并以有机肥替代减少的化肥是提高肥料利用率的有效途径^[3]。有机物料因其含有大量植物所需矿质元素,且释放缓慢,常用来和化肥配施,替代部分化肥,减少化肥的施用量,保证植物生长后期的养分供应^[4]。研究表明,有机复混肥替代减施氮含量 15% 的化肥可不同程度地促进番茄生长,增加产量,改善土壤环境^[5]。黄壤土上的相关研究发现,50% 化肥+50% 有机肥是促进辣椒栽培增产提质的推荐施肥措施^[6]。研究指出,化肥减施 20% 的条件下配施 6 000 kg/hm² 生物有机肥可增强莴笋叶片光合能力,提高产量和改善可食用部分品质,是实现肥料资源合理配置的良好施肥模式^[7]。可见,有机替代量的适宜比例因作物种类、有机肥类型及土壤性质等不同而不同,探索最佳替代量是实施有机肥替代部分化肥措施的前提。

辣椒属于茄科辣椒属,维生素 C 和辣椒素含量丰富,是一种营养价值非常高的蔬菜,有很高的开发和加工潜力^[8]。我国辣椒种植面积超过 133.33 万 hm², 占世界辣椒种植面积

的 35%, 平均年产量约 2 800 万 t, 占世界辣椒总产量的 46%; 每年产值超过 700 亿元, 占世界蔬菜总产值的 16.67%, 辣椒产业已成为国内最大的蔬菜产业, 在农民增收中发挥重要作用^[9]。笔者研究不同有机氮替代量对辣椒产量、品质及不同土层土壤铵态氮和硝态氮含量的影响, 筛选出适宜供试区域辣椒生产的有机肥替代量, 为该地区辣椒优质高效绿色生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料 所选辣椒品种为“皖椒 10 号”, 有机肥为安徽祥丰肥业有限公司生产的鸡粪有机肥, N、P₂O₅ 和 K₂O 含量分别为 2.2%、6.8% 和 3.5%; 尿素来自中盐安徽红四方股份有限公司, 含 N 46.4%; 磷肥为铜陵市金磷复合肥有限责任公司生产的过磷酸钙, P₂O₅ 含量 12%; 硫酸钾来自安徽省司尔特肥业股份有限公司, K₂O 含量 60%。

1.2 试验地概况 试验在安徽省庐江县北圩农作物种植专业合作社大棚内进行, 前茬为甘蓝型蔬菜, 试验前 0~10 cm 表层土壤 pH 4.43, 电导率 5.46 mS/cm。

1.3 试验设计 试验共设置 5 个处理: ①不施氮肥(PK); ②全量化肥(NPK); ③化肥 70%+有机肥 30%(以氮计, 下同, 30%M); ④化肥 50%+有机肥 50%(50%M); ⑤化肥 30%+有机肥 70%(70%M)。

各处理 N、P₂O₅、K₂O 施入量分别为 300.0、70.9 和 346.4 kg/hm², 有机氮替代处理磷钾不足时用化学肥料补足, 各处理具体养分施入量见表 1。采用随机区组设计, 3 次重

作者简介 江波(1966—), 男, 安徽庐江人, 高级农艺师, 从事土壤肥料、农业环保和农产品检测研究。* 通信作者, 研究员, 从事土壤培肥及绿肥研究。

收稿日期 2020-05-11; **修回日期** 2020-06-04

复。小区面积 17.6 m², 畦长 8.0 m, 畦宽 2.2 m 包沟, 每畦栽 4 行, 行株距 0.45 m×0.45 m, 每小区 80 穴。

表 1 辣椒有机肥替代化肥试验各处理小区养分用量

Table 1 Nutrient dosage of each treated plot in the experiment of replacing chemical fertilizer with organic fertilizer of pepper kg/hm²

处理 Treatment	化肥 Chemical fertilizer			有机肥 Organic fertilizer			总量 Total amount		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
PK	0.0	70.9	346.4	0.0	0.0	0.0	0.0	70.9	346.4
NPK	300.0	70.9	346.4	0.0	0.0	0.0	300.0	70.9	346.4
30%M	210.0	0.0	203.2	90.0	277.4	143.2	300.0	277.4	346.4
50%M	150.0	0.0	107.7	150.0	462.3	238.6	300.0	462.3	346.4
70%M	90.0	0.0	12.3	210.0	647.2	334.1	300.0	647.2	346.4

1.4 测定指标与方法 辣椒收获后测定产量,同时采集 0~10 和 10~20 cm 土壤样品,保存于 4℃ 冰箱,采用氯化钾浸提-紫外分光光度法测定土壤矿质态氮含量;同时采集辣椒植株,测定可食部位还原糖、硝酸盐、维生素 C 等品质指标,其中还原糖含量采用 3,5-二硝基水杨酸法测定,硝酸盐采用水浸提-紫外分光光度法测定,维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定。

2 结果与分析

2.1 有机氮不同替代量对辣椒产量的影响 由图 1 可知,有机氮替代 50%~70% 时辣椒总果数和单果重较全量化肥有不同程度的提高,提高幅度分别在 5.9%~6.8% 和 5.1%~5.6%。有机替代处理的辣椒产量在 33 504.0~37 048.5 kg/hm²,相较于全量化肥处理提高 2.3%~13.1%,其中有机替代 50% 时产量增加幅度最大。

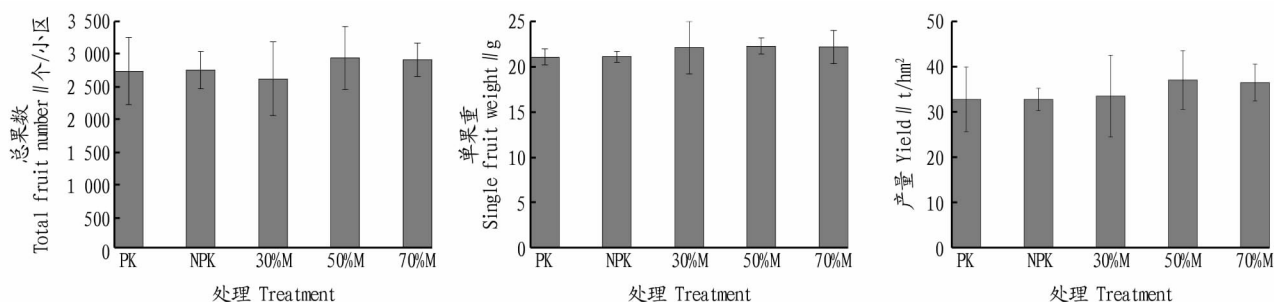


图 1 有机氮不同替代量对辣椒总果数、单果重和产量的影响

Fig. 1 Effects of different substitutions of organic nitrogen on total fruit number, single fruit weight and yield of pepper

2.2 有机氮不同替代量对辣椒品质的影响

2.2.1 硝酸盐含量。硝酸盐是衡量蔬菜安全的重要指标,世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)规定蔬菜中硝酸盐的 I 级限量标准(可生食)为 432.0 mg/kg,此含量以下对人体健康的影响较小^[10]。由图 2 可知,各处理辣椒硝酸盐含量在 872.1~1 268.4 mg/kg,均在限量标准以上,表明试验大棚蔬菜硝酸盐含量超标较为严重,亟待采取有效措施降低蔬菜质量风险。

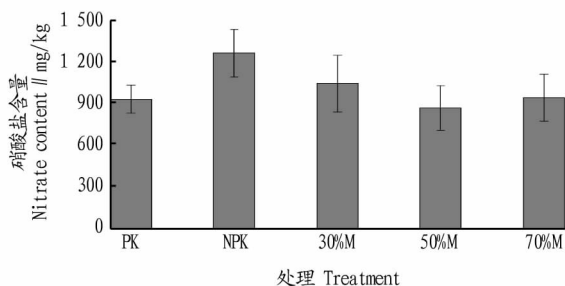


图 2 有机氮不同替代量对辣椒硝酸盐含量的影响

Fig. 2 Effects of different substitutions of organic nitrogen on nitrate content of pepper

相较于全量化肥处理,有机替代处理的辣椒硝酸盐含量降低 17.4%~31.2%,表现出随有机替代比例增加硝酸盐含量逐渐降低的趋势。

2.2.2 维生素 C 含量。维生素含量是评价农产品品质的重

要指标之一。图 3 表明,有机氮替代能够不同程度地提高辣椒果实中维生素 C 含量,增加幅度在 4.4%~11.5%;其中有机氮替代量在 30% 时最有利于辣椒还原型维生素 C 含量的提高,相较于全量化肥处理增加 11.5%。

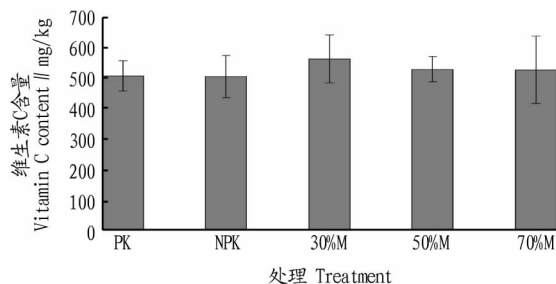


图 3 有机氮不同替代量对辣椒维生素 C 含量的影响

Fig. 3 Effects of different substitutions of organic nitrogen on the content of vitamin C of pepper

2.2.3 还原糖含量。图 4 表明,相较于全量化肥处理,不同比例的有机替代能够明显提高辣椒可食部位还原糖含量,增加幅度在 23.9%~63.5%,其中有机替代量在 70% 时增加幅度最大。

2.3 有机氮不同替代量对土壤矿质氮的影响

2.3.1 土壤铵态氮含量。由图 5 可知,0~10 和 10~20 cm 土层中土壤铵态氮含量分别为 23.3~52.6 和 3.9~9.8 mg/kg,表层土壤铵态氮含量显著高于下层。相较于全

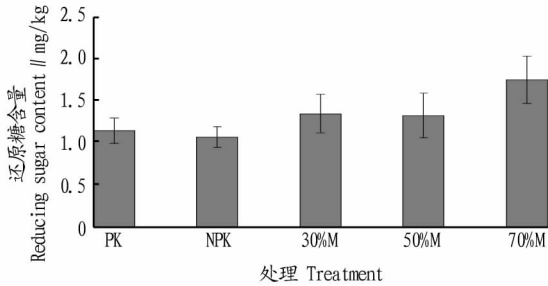


图4 有机氮不同替代量对辣椒还原糖含量的影响

Fig. 4 Effects of different substitutions of organic nitrogen on the content of reducing sugar in pepper

量化肥处理,有机替代处理0~10 cm 土层土壤铵态氮含量明显降低,降幅在44.6%~55.7%,且表现为随替代量增加表层土壤铵态氮含量逐渐降低的趋势;10~20 cm 土层土壤铵态氮含量也有不同程度的减少,降幅在22.7%~40.8%,其中替代30%处理的降低幅度较大。表明有机替代可显著降低0~10和10~20 cm 土层土壤铵态氮含量。

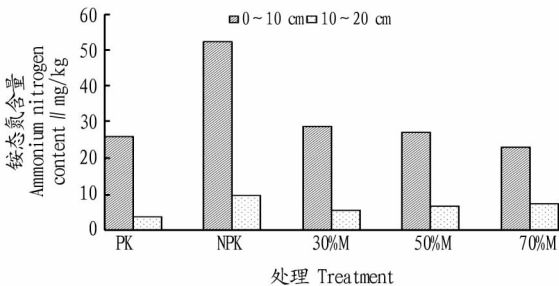


图5 有机氮不同替代量对土壤铵态氮含量的影响

Fig. 5 Effects of different substitutions of organic nitrogen on soil ammonium nitrogen content

2.3.2 土壤硝态氮含量。由图6可知,供试菜地土壤硝态氮含量远高于铵态氮,0~10和10~20 cm 土层土壤硝态氮含量分别在446.0~643.9和78.7~121.7 mg/kg,随土层深度的增加土壤硝态氮含量明显降低。有机替代能够显著降低土壤中硝态氮的累积,相较于全量化肥处理,0~10和10~20 cm 土层土壤硝态氮含量分别减少24.6%~34.7%和6.7%~18.4%;且表现出随替代比例的增加,硝态氮含量逐渐降低的趋势。

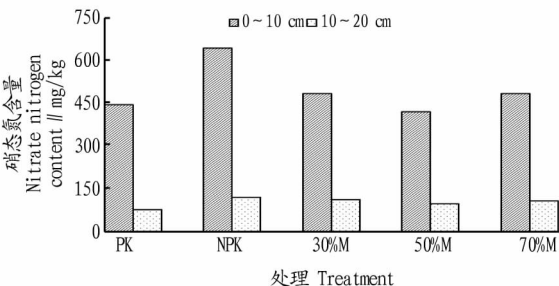


图6 有机氮不同替代量对土壤硝态氮含量的影响

Fig. 6 Effects of different substitutions of organic nitrogen on soil nitrate nitrogen content

3 结论与讨论

该试验中,有机替代能够不同程度地提高辣椒产量,相

较于全量化肥增产幅度在2.3%~13.1%,其中有机替代50%时最有利于辣椒生长,从而提高产量。杨润新等^[11]研究发现,有机无机混肥能提高辣椒的产量和改善辣椒果实的性状(果长、果宽和单果重)。这可能与有机肥富含有机质、有机酸和糖类养分,不仅可为作物提供生长所需养分、改良土壤,还能改善作物品质、提高产量、促进高产稳产、保持土壤肥力等有关^[12]。

随有机替代量的增加,辣椒品质表现出提高的趋势。相较于全量化肥,有机替代能够使辣椒果实中硝酸盐含量降低17.4%~31.2%,而维生素C和还原糖含量则分别提高4.4%~11.5%和23.9%~63.5%。化学氮肥的施用是导致蔬菜可食部位硝酸盐含量增加的主要原因,过量施用氮肥能导致硝酸盐在作物和土壤中的累积,同时对地下水造成污染。有机替代能够不同程度地减少辣椒果实中硝酸盐的积累,是增加土壤肥力、提高蔬菜产量和品质、降低氮肥用量的最佳管理方式^[13],该试验条件下有机替代50%时硝酸盐含量最低。

土壤矿质态氮包括铵态氮和硝态氮两部分,主要来源于施入氮肥的残留和土壤中有肥的矿化。尽管矿质态氮占土壤中全氮含量的比例不高(1%~10%),却最容易被植物吸收^[14]。因此,在农业生产中具有重要意义。有机替代能够显著降低设施土壤中铵、硝态氮的累积,从而增加矿质态氮的固定,减少氮素损失。相较于全量化肥处理,有机替代处理0~10和10~20 cm 土层硝态氮含量分别减少24.6%~34.7%和6.7%~18.4%,铵态氮含量分别降低44.6%~55.7%和22.7%~40.8%。该试验所用有机肥为畜禽粪肥,C/N较低,含有大量的可溶性有机物^[15],既可以提供碳源,又可补充有效氮源,最大程度地促进微生物生长和繁衍,从而增加矿质态氮的固定,减少氮素损失。

综上所述,有机肥部分替代化肥氮能够使土壤中微生物固定无机氮的能力增强,同时调节土壤C/N,不仅保持土壤中原有的氮素,对施入的化学氮肥也有较好的固持作用。特别是在设施土壤长期处于高度集约化、高复种指数和高肥料使用的生产状态下,有机替代技术对于减少氮素损失、缓解环境压力具有重要意义。

参考文献

- [1] 金慧. 不同来源有机肥及其配施对辣椒生长发育及品质的影响[D]. 长春:吉林农业大学,2007.
- [2] 梁玉芹,董畔,刘云,等. 水肥耦合对基质栽培辣椒产量及品质的影响[J]. 河北农业大学学报,2018,41(1):49-52,69.
- [3] 黄璐璐,金海洋,王站付,等. 化肥减量配施有机肥对水稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 安徽农业科学,2021,49(1):138-142.
- [4] 张国显,白银霞,范永怀,等. 化肥减量配施有机物料对设施番茄氮素积累、分配与利用率的影响[J]. 北方园艺,2019(3):6-13.
- [5] 李英楠,白亚丽,杜南山,等. 有机复混肥替代化肥减施对日光温室番茄生长及土壤环境的影响[J]. 中国瓜菜,2019,32(11):43-47.
- [6] 余高,陈芬,谢英荷,等. 化肥减施,有机肥配施对辣椒产量及品质的影响[J]. 北方园艺,2020(4):47-53.
- [7] 张迎春,颜建明,郁继华,等. 生物有机肥部分替代化肥对莴笋生长、产量及品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2020,38(1):66-73.
- [8] 刘易伟,胡文忠,姜爱丽,等. 辣椒的营养价值及其加工品的研发进展[J]. 食品工业科技,2014,35(15):377-381.
- [9] 杨媛茹,王朝云,易永健,等. 大棚内麻地膜覆盖栽培下辣椒的营养生长和产量研究[J]. 中国农学通报,2017,33(25):64-69.

表7 不同磷肥水平对不同小麦品种根系干重影响的方差分析

Table 7 Variance analysis of effect of different phosphate fertilizer levels on the root dry weight of different wheat varieties

变异来源 Sources of variation	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F
区组间 Intergroup	0.007 9	3	0.002 6	0.846 8
磷肥因素间 Nitrogen fertilizer factors	0.552 9	2	0.276 4	88.724 0**
品种因素间 Variety factor	0.102 4	11	0.009 3	2.987 6**
磷肥×品种 Phosphate fertilizer × Variety	0.100 9	22	0.004 6	1.472 2
误差 Error	0.327 2	105	0.003 1	
总变异 Total variation	1.091 3	143		

表8 不同磷肥水平对不同小麦品种根系干重的影响

Table 8 Effects of different phosphate fertilizer levels on root dry weight of different wheat varieties

处理 Treatment	品种 Variety	根系干重 Root dry weight/g
高 P	豆麦	0.319 0 aA
高 P	豫麦 34	0.293 5 abAB
高 P	扬 16	0.291 7 abAB
高 P	周 8425B	0.275 3 abABC
低 P	豫麦 34	0.2714 abABCD
高 P	周麦 16	0.242 5 abcABCDE
低 P	周 8425B	0.241 8 abcABCDE
低 P	周麦 16	0.233 9 abcABCDE
高 P	荔垦 4 号	0.222 6 bcABCDEF
高 P	矮抗 58	0.220 1 bcABCDEF
低 P	豆麦	0.217 4 bcdABCDEF
低 P	中麦 895	0.212 4 bcdeABCDEF
高 P	中麦 895	0.212 3 bcdeABCDEF
高 P	石 4185	0.207 6 bcdeABCDEF
高 P	轮选 987	0.206 2 bcdeABCDEF
低 P	荔垦 4 号	0.204 9 bcdeABCDEF
高 P	京冬 8	0.176 1 cdefBCDEFG
低 P	京冬 8	0.175 9 cdefBCDEFG
低 P	中麦 1062	0.169 6 cdefBCDEFG
低 P	轮选 987	0.161 9 cdefgCDEFGH
高 P	中麦 1062	0.156 1 cdefgCDEFGH
低 P	石 4185	0.151 9 cdefghCDEFGH
低 P	扬 16	0.148 3 cdefghCDEFGH
低 P	矮抗 58	0.146 7 cdefghCDEFGH
无 P	中麦 895	0.124 3 defghEFGHIJK
无 P	豆麦	0.120 4 efghEFGHIJK
无 P	京冬 8	0.098 5 fghFGHIJK
无 P	轮选 987	0.096 5 fghGHIJK
无 P	周麦 16	0.092 5 fghHIJK
无 P	石 4185	0.090 3 fghIJK
无 P	矮抗 58	0.085 0 fghIJK
无 P	周 8425B	0.082 3 fghJK
无 P	荔垦 4 号	0.073 0 ghK
无 P	扬 16	0.068 9 ghK
无 P	豫麦 34	0.067 6 ghK
无 P	中麦 1062	0.060 4 hK

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)

Note: Different lowercases in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level; different capital letters indicated extremely significant difference at 0.01 level

(上接第 164 页)

- [10] 汪李平, 向长萍, 王运华. 我国蔬菜硝酸盐污染状况及防治途径研究进展(上)[J]. 长江蔬菜, 2000(4): 1-4.
- [11] 杨润新, 邹雪峰, 肖光明, 等. 有机无机复混肥对辣椒产量和品质的影响[J]. 现代农业科技, 2013(3): 79-80.
- [12] 李英楠, 白亚丽, 杜南山, 等. 有机复混肥替代化肥施对日光温室番茄生长及土壤环境的影响[J]. 中国瓜菜, 2019, 32(11): 43-47.

3 讨论

3.1 小麦不同基因型对氮磷肥反应差异的变化规律 在无氮或无磷条件下, 小麦不同基因型的幼苗干重和根系干重差异不显著; 低氮或低磷条件下小麦基因型间幼苗干重和根系干重差异小, 高氮或高磷条件加大了小麦基因型间幼苗干重和根系干重的差异。说明随着氮肥或磷肥施入量的增加, 小麦植株地上部分和根系部分的生长品种间差异会加大。这与施磷对小麦籽粒产量和生物产量-基因型间的变化规律相反^[13]。

3.2 不同氮磷肥水平对小麦幼苗和根系干重的影响 在无氮或无磷条件下, 小麦植株的幼苗和根系干重均比低氮或低磷条件下幼苗和根系干重低, 而高磷条件下普遍较高, 说明合理地施用氮磷肥对小麦植株生长起到积极的作用。

3.3 不同基因型小麦对氮磷肥反应敏感性比较 对高氮、高磷水平下不同基因型小麦的幼苗干重和根系干重进行比较, 中麦 895、周 8425B、扬麦 16、周麦 16、豆麦、豫麦 34 这 6 个品种的幼苗干重和根系干重处于领先位置, 说明这 6 个品种对氮磷肥的反应较其他品种敏感。

由于该试验条件的限制, 仅对不同小麦品种的氮磷敏感性差异进行了分析, 还未从深层次上揭示小麦氮磷效率差异的机理, 有关不同氮磷效率基因型小麦对氮磷的吸收规律及生理机制的研究尚有待深入研究。

参考文献

- [1] 刘敏娟, 李秧秧, 张岁岐. 小麦进化材料氮、磷养分利用效率间的关系[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(3): 34-37.
- [2] 徐霞, 赵亚南, 黄玉芳, 等. 不同地力水平下的小麦施肥效应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(21): 4076-4086.
- [3] 李子涵. 我国粮食生产中的化肥过量施用研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(16): 245-247.
- [4] ZHU X K, GUO W S, DING J F, et al. Enhancing nitrogen use efficiency by combinations of nitrogen application amount and time in wheat[J]. Journal of plant nutrition, 2011, 34(12): 1747-1761.
- [5] 赵亚南, 宿敏敏, 吕阳, 等. 减量施肥下小麦产量、肥料利用率和土壤养分平衡[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 864-873.
- [6] 裴雪霞, 王姣爱, 党建友, 等. 耐低氮小麦基因型筛选指标的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 93-98.
- [7] VINOD K K, HEUER S. Approaches towards nitrogen-and phosphorus-efficient rice[J]. AoB Plants, 2012, 2012: 1-18.
- [8] LE GOUIS J, BE' GHIN D, HEUMEZ E, et al. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilisation efficiencies in winter wheat[J]. European journal of agronomy, 2000, 12(3/4): 163-173.
- [9] 李淑文, 王文达, 周彦珍, 等. 不同氮效率小麦品种氮素吸收和物质生产特性[J]. 中国农业科学, 2006, 39(10): 1992-2000.
- [10] 李法计, 肖永贵, 金松灿, 等. 京 411 及其衍生系苗期氮和磷利用效率相关性状的遗传分析[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(6): 737-746.
- [11] 高翔, 陈磊, 云鹏, 等. 不同基因型小麦侧根生长对硝态氮的响应差异[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 1013-1019.
- [12] 陈磊. 磷素供应及过氧化氢对小麦根系形态的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011: 28-29.
- [13] 黄润, 茹思博, 张安恢, 等. 新疆春小麦品种的磷营养差异研究[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(5): 824-829.

- [13] 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.
- [14] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1990: 3-7.
- [15] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 等. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4): 374-378.