

# 不同有机肥氮替代化肥氮比例对马铃薯根系吸收能力和形态的影响

何万春 黄凯 令鹏 陈子雄 王景才 潘晓春 张娟宁 李鹏程

(定西市农业科学研究院, 743000, 甘肃定西)

**摘要** 针对甘肃定西地区马铃薯生产长期大量施用化肥造成马铃薯产量降低、品质下降以及环境污染等问题, 通过大田试验, 研究了不同有机肥氮替代化肥氮比例处理对旱地覆膜马铃薯根系吸收能力和形态的影响。结果表明: 不同施用量有机肥氮替代化肥氮处理显著增加了马铃薯根系活力、活跃吸收面积和总吸收面积, 且随着替代比例的增加逐渐增加, 在有机肥氮替代化肥氮比例达到 30% 时达到最大值, 而后降低; 不同施用量有机肥氮替代化肥氮处理对马铃薯根系总根长、根体积、总根尖数和主根直径有显著影响, 特别是增加了 0~0.50、0.51~1.00 和 1.01~1.50mm 直径范围内马铃薯根系的总根长; 施用有机肥的处理显著增加了马铃薯块茎产量, 与纯施化肥相比分别提高了 11.32%、16.04%、23.53% 和 12.69%。综上所述, 在定西地区, 施氮量为纯氮 180kg/hm<sup>2</sup>, 氮、磷、钾配比为 4:3:3 (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O), 有机肥氮替代化肥氮比例为 30% 是最佳施肥模式。

**关键词** 有机肥; 马铃薯; 根系形态; 吸收能力

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



马铃薯是世界第四大粮食作物, 是全世界公认的全价食品<sup>[1-3]</sup>, 是甘肃省第三大粮食作物, 特别是在甘肃定西地区, 马铃薯是重要的经济作物, 年种植面积约 6.67 万 hm<sup>2</sup>, 是定西地区经济发展、农业增效和农民增收的重要战略性产业。然而, 为提高马铃薯单产, 化肥的大量投入施用已成为增产的关键, 但是化肥的过量施用一方面造成了肥料资源的浪费, 另一方面也造成了非常严重的土壤和生态环境问题, 如肥料利用率下降、土壤板结和水体富营养化等。因此, 为实现定西地区马铃薯产业和生态环境的持续健康发展, 合理配合施用有机肥和化肥已成为主要任务。

马铃薯根的直径和根序为根系的重要结构特征<sup>[4]</sup>, 有研究认为, 细根为直径≤2mm 或 5mm 的根系, 在结构和生理方面与中根和粗根基本相同<sup>[5-8]</sup>。但也有一些学者认为, 不同径级的细根功能有所差异, 将细根又分为 0~0.5、0.5~1.0、1.0~1.5 和 1.5~2.0mm 或 0~1.0、1.0~2.0 和 2.0~5.0mm 等不同直径等级<sup>[6-7]</sup>。采用上述径级分类方法在研究细根形态

特征时, 尤其是研究细根的生产和周转时相对简便, 在很多研究中得到应用。

目前, 有关不同施用量有机肥氮替代化肥氮对马铃薯的影响研究大多集中在对马铃薯农艺性状和产量方面<sup>[9-10]</sup>, 对马铃薯根系吸收能力和形态, 尤其是不同直径范围内根系形态特征的研究鲜见报道。因此, 本研究在定西市农业科学研究院科技创新基地进行试验, 研究了有机肥氮部分替代化肥氮对马铃薯根系吸收能力和形态的影响, 以期对定西地区马铃薯产业的健康持续发展提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2018 年 4 月~10 月在定西市农业科学研究院科技创新基地进行。试验地海拔 2 109m, 年均辐射量 592.85kJ/cm<sup>2</sup>, 年均气温 6.4℃, ≥10℃ 积温 2 239.1℃, 年均降水量 415.2mm, 年蒸发量 1 531mm。试验地土壤类型为黄绵土, 肥力均匀, 有机质 19.5g/kg, 全氮 0.9g/kg, 碱解氮 87.3mg/kg,

作者简介: 何万春, 主要从事马铃薯栽培技术研究, E-mail: hewanchun1988@126.com

李鹏程为通信作者, 主要从事小麦及马铃薯栽培研究, E-mail: 714631793@qq.com

基金项目: 有机肥替代部分氮素的作用机理研究 (GSXFL-2018-02); 定西市农业科学研究院专项经费; 甘肃省农业科学院科技创新专项计划 (2018GAAS02); 甘肃省农业科学院科技自主创新专项现代生物育种项目 (2019GAAS08)

收稿日期: 2019-09-23; 修回日期: 2019-12-30; 网络出版日期: 2020-04-30

速效磷 25.1mg/kg，速效钾 220.6mg/kg，pH 值为 8.0。

1.2 供试品种

试验品种为陇薯 10 号，由定西市农业科学研究院提供。

1.3 试验设计

试验共设 6 个处理：不施肥料（CK，T1）；单施化肥氮，施氮量为纯氮 180kg/hm<sup>2</sup>（T2）；10% 有机肥氮替代 10% 化肥氮（T3）；20% 有机肥氮替代 20% 化肥氮（T4）；30% 有机肥氮替代 30% 化肥氮（T5）；40% 有机肥氮替代 40% 化肥氮（T6）。

氮、磷、钾配比为 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=4:3:3。供试有机肥为生物有机肥，由甘肃大行农业科技开发有限公司生产，化肥分别为尿素（N≥46%）、过磷酸钙（P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>≥12%）和氯化钾（K<sub>2</sub>O≥24%）。各施肥处理分别扣除有机肥 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 含量后用尿素、过磷酸钙和氯化钾补充。有机肥和氮、磷、钾肥作基肥一次性施入。各处理重复 3 次，随机区组排列，60 000 株/hm<sup>2</sup>，株距 31cm，行距 70cm。小区面积 55m<sup>2</sup>（5.5m×10m），田间管理同大田一致。

1.4 样品采集与处理

在马铃薯盛花期（出苗后 65d），尽量完整地挖出马铃薯植株，用剪刀将根系剪下，先用自来水冲洗 2~3 次，再用蒸馏水冲洗 2 次，用滤纸吸干表面水分，测定根系相关生理及形态指标。

1.5 测定指标

采用氯化三苯基四氮唑（TTC）法测定马铃薯根系活力，采用甲烯蓝吸附法测定根系吸收面积。

用数字化扫描仪 Epson Scanner 对各处理的根系进行扫描，扫描完成后用 Win-RHIZOTM 2008a 根系图像分析软件对扫描后的根系图像进行形态指标分析，根系形态指标取根系总长度、根直径、总表面积、总体积和根尖数。

收获时按小区面积测定产量。

1.6 数据处理

使用 Excel 2010 对试验数据进行统计汇总，并使用 SPSS 19 对各处理数据进行方差分析和最小显著性检验（LSR 法）。

2 结果与分析

2.1 不同处理对马铃薯根系吸收能力的影响

由表 1 可以看出，施用有机肥处理显著增加了马铃薯根系活力、根系活跃吸收面积和总吸收面积，

随着有机肥施用量的增加，马铃薯根系活力、根系活跃吸收面积和总吸收面积逐渐增加，均在 T5 处理达到最大值，而后随着有机肥用量的增加逐渐降低。与 T1 相比，T3、T4、T5 和 T6 处理根系活力分别增加了 69.29%、86.47%、112.36% 和 76.81%，根系活跃吸收面积分别增加了 92.16%、121.57%、198.04% 和 117.65%，根系总吸收面积分别增加了 92.23%、133.98%、178.64% 和 105.83%；与 T2 相比，T3、T4、T5 和 T6 处理根系活力分别增加了 17.20%、29.10%、47.02% 和 22.41%，根系活跃吸收面积分别增加了 36.11%、56.94%、111.11% 和 54.17%，根系总吸收面积分别增加了 28.57%、56.49%、86.36% 和 37.66%。其原因可能是增施有机肥改变了土壤理化性状，使土壤疏松多孔，有利于土壤中水分和养分的运移，同时也改善了土壤生物性状，增加了土壤微生物和酶的活性，因此更有利于马铃薯根系的生长，进一步为块茎产量的提高打下坚实基础；但当有机肥氮替代化肥的比例超过 30% 时，根系活力、根系活跃吸收面积和根系总吸收面积反而下降，可能是由于有机肥养分释放缓慢，养分供应不足所致。

表 1 不同处理对马铃薯根系吸收能力的影响  
Table 1 Effects of different treatments on root absorptive capacity of potato

处理 Treatment	根系活力 Activity of root [μg/(g·h) FW]	根系活跃吸收面积 Root active absorbing area (m <sup>2</sup> )	根系总吸收面积 Total root absorbing area (m <sup>2</sup> )
T1	136.62d	0.51d	1.03d
T2	197.34c	0.72c	1.54cd
T3	231.28b	0.98bc	1.98c
T4	254.76b	1.13b	2.41b
T5	290.13a	1.52a	2.87a
T6	241.56b	1.11b	2.12bc

注：数据为 3 次重复的平均值±标准差，同列的不同字母表示在相同生育时期内不同处理间差异为 5% 显著水平。下同  
Note: Data are means ± SD (n=3), and values within the same column followed by different letters are significant difference at 5% level. The same below

2.2 不同处理对马铃薯根系形态指标的影响

马铃薯根系形态指标有总根长、根体积、总根尖数和主根直径等，可反映根系的结构特征。由表 2 可以看出，增施有机肥显著提高了马铃薯根系总根长、根体积、总根尖数和主根直径，且随着有机肥氮替代化肥氮比例的增加，总根长、根体积、总根尖数和主根直径均逐渐增加，T5 处理达到最大

值，而后随着有机肥施用量的增加而减少。与 T1 相比，T3、T4、T5 和 T6 处理总根长分别增加了 28.40%、36.60%、46.00% 和 24.89%，根体积分别增加了 62.52%、83.94%、111.97% 和 66.61%，总根尖数分别增加了 49.50%、71.58%、93.70% 和 56.07%，主根直径分别增加了 49.46%、58.06%、74.19% 和 55.91%；与 T2 相比，T3、T4、T5 和 T6 处理总根长分别增加了 10.48%、17.54%、25.63%

和 7.46%，根体积分别增加了 19.86%、35.66%、56.33% 和 22.88%，总根尖数分别增加了 10.59%、26.93%、43.29% 和 15.45%，主根直径分别提高了 11.20%、17.60%、29.60% 和 16.00%。主要原因可能是增施有机肥改善了土壤理化性状和生物性状，同时，有机肥平衡了养分释放过程，促进了根系的生长发育，但有机肥用量过多导致养分供应不足，影响根系生长。

表 2 不同处理对马铃薯根系形态指标的影响  
Table 2 Effects of different treatments on root morphological indexes of potato

处理 Treatment	总根长 Total root length (cm)	根体积 Root volume (cm <sup>3</sup> )	总根尖数 Number of root tips	主根直径 Root diameter (mm)
T1	364.25c	6.35c	913.45c	0.93c
T2	423.31b	8.61b	1 234.79b	1.25b
T3	467.68ab	10.32ab	1 365.58b	1.39ab
T4	497.57a	11.68ab	1 567.34ab	1.47ab
T5	531.79a	13.46a	1 769.35a	1.62a
T6	454.88ab	10.58ab	1 425.61b	1.45ab

2.3 不同处理对不同直径范围内马铃薯根系生长的影响

由表 3 可以看出，施用有机肥对 0~0.50、0.51~1.00 和 1.01~1.50mm 直径范围内马铃薯根系总根长具有显著影响，且随着施肥量的增加 0~0.50、0.51~

1.00 和 1.01~1.50mm 直径范围内总根长明显增加，T5 处理 0~0.50、0.51~1.00 和 1.01~1.50mm 直径范围内总根长达到最大值，而后随着有机肥施用量的增加而减少，与 T1 相比，T3、T4、T5 和 T6 处理 0~0.50mm 范围内总根长分别增加了 36.80%、

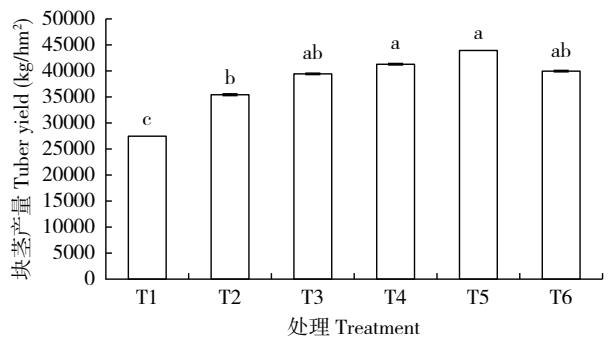
表 3 不同处理对不同直径范围内马铃薯根系生长的影响  
Table 3 Effects of different treatments on root diameter of potato

处理 Treatment	根直径 Root diameter (mm)									
	0~0.50	0.51~1.00	1.01~1.50	1.51~2.00	2.01~2.50	2.51~3.00	3.01~3.50	3.51~4.00	4.01~4.50	>4.50
T1	183.45c	60.15c	34.68c	23.24b	16.11b	13.31a	11.56b	6.03a	6.08a	16.64b
T2	218.44bc	67.48bc	38.69bc	25.63ab	18.64ab	13.28a	12.35ab	7.12a	6.97a	18.71ab
T3	250.96ab	71.46ab	40.35b	27.68ab	19.35ab	13.34a	12.35ab	7.68a	5.23a	19.28ab
T4	263.36a	75.89ab	43.68ab	29.31a	21.36ab	15.65a	13.67ab	8.17a	6.36a	20.12ab
T5	274.60a	80.06a	51.06a	31.25a	23.45a	15.62a	15.86a	8.68a	7.69a	21.52a
T6	232.49b	72.34ab	41.35b	28.64ab	20.06ab	14.71a	13.01ab	7.64a	5.26a	19.38ab

43.56%、49.69% 和 26.73%；与 T2 相比，T3、T4、T5 和 T6 处理 0~0.50mm 范围内总根长分别增加了 14.89%、20.56%、25.71% 和 6.43%。主要是由于施用有机肥改善了土壤理化性状和营养条件所致，这与前面根系吸收能力和根系形态的结果相对应。

2.4 不同处理对不同马铃薯块茎产量的影响

由图 1 可知，施用有机肥显著增加了马铃薯块茎产量，随着有机肥用量的增加马铃薯产量随之增加，T5 处理马铃薯块茎产量达到最大值，而后随着有机肥施用量的增加而降低。与 T1 相比，T3、T4、T5 和 T6 处理块茎产量分别增加 44.17%、50.28%、



不同小写字母表示在 0.05 水平下差异显著  
Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level

图 1 不同处理对马铃薯块茎产量的影响

Fig.1 Effects of different treatments on tuber yield of potato



59.99% 和 45.94%; 与 T2 相比, T3、T4、T5 和 T6 处理块茎产量分别增加 11.32%、16.04%、23.53% 和 12.69%。由此可见, 30% 有机肥氮替代化肥氮是适合定西地区马铃薯生产的施肥方式。

### 3 讨论

施肥量和方式是马铃薯生产管理的关键, 长期以来, 马铃薯的生产主要以施用大量化学肥料为主, 因此也造成了一系列生态环境问题。根系作为马铃薯地下部吸收、合成和储存等代谢中心, 与马铃薯整体的生长发育密不可分, 而根系活力作为根系吸收、合成和氧化还原能力的综合体现<sup>[11-12]</sup>, 可以客观反映根系的生命活动。李艳平等<sup>[11]</sup>对烤烟的研究表明, 增施有机肥可以提高烤烟的根系活力, 进一步提高烤烟的生物产量; 宋以玲等<sup>[12]</sup>对油菜的研究表明, 施用生物有机肥可以改善土壤生物酶的活性, 提高根系活力。本研究表明, 施用生物有机肥能够显著提高马铃薯根系吸收能力。

本试验结果表明, 施用有机肥显著影响了 0~0.50、0.51~1.00 和 1.01~1.50mm 直径范围内马铃薯根系总根长, 随着有机肥施用量的增加, 0~0.50、0.51~1.00 和 1.01~1.50mm 直径范围内马铃薯根系总根长逐渐增加, 当有机肥氮替代化肥氮的比例达到 30% 时总根长达到最大值, 而后随着有机肥施用量的增加而减少。潘艳花等<sup>[5]</sup>研究表明, 不同直径范围根系的吸收能力存在差别, 一般认为细根的吸收能力强于粗根。本研究施用有机肥促进了马铃薯根系的生长发育, 施用有机肥

处理块茎产量显著高于对照和纯施化肥处理, 在有机肥氮替代化肥氮的比例达到 30% 时, 块茎产量达到最大值, 为 43 818.9kg/hm<sup>2</sup>。

### 4 结论

在干旱半干旱定西地区, 施氮量为纯氮 180kg/hm<sup>2</sup>, 氮、磷、钾配比为 4:3:3 (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O), 有机肥氮替代化肥氮比例为 30% 是最佳施肥方式。

#### 参考文献

- [1] 吴正强, 岳云, 赵小文, 等. 甘肃省马铃薯产业发展研究. 中国农业资源与区划, 2008, 32(6): 67-72.
- [2] 谢从华. 马铃薯产业的现状与发展. 华中农业大学学报 (社会科学版), 2012, 97(1): 1-4.
- [3] 卢肖平. 马铃薯主粮化战略的意义、瓶颈与政策建议. 华中农业大学学报 (社会科学版), 2015, 117(3): 1-7.
- [4] 宋晓巍, 吕杰, 武慧, 等. 植物根系研究进展. 北方园艺, 2012(18): 206-209.
- [5] 潘艳花, 马忠明, 吕晓东, 等. 不同供钾水平对西瓜幼苗生长和根系形态的影响. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 536-541.
- [6] 蔡自新, 张岁岐. 根系发育的营养调控及其对生境的影响. 西北植物学报, 2003, 23(10): 1818-1828.
- [7] 张望望, 刘冰洋, 王一凡, 等. 植物根系研究进展. 天津农业科学, 2016, 2(11): 11-18.
- [8] 丁红, 张智猛, 戴良香, 等. 干旱胁迫对花生根系生长发育和生理特性的影响. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1586-1592.
- [9] 高怡安, 程万莉, 张文明, 等. 有机肥替代部分化肥对甘肃省中部沿黄灌区马铃薯产量、土壤矿质氮水平及氮肥效率的影响. 甘肃农业大学学报, 2016, 51(2): 54-60, 68.
- [10] 李双喜, 沈其荣, 郑宪清, 等. 施用微生物有机肥对连作条件下西瓜的生物效应及土壤生物性状的影响. 中国生态农业学报, 2012, 20(2): 169-174.
- [11] 李艳平, 刘国顺, 丁松爽, 等. 混合有机肥用量对烤烟根系活力及根际土壤生物特性的影响. 中国烟草科学, 2016, 37(1): 32-36, 44.
- [12] 宋以玲, 于建, 陈士更, 等. 化肥减量配施生物有机肥对油菜生长及土壤微生物和酶活性影响. 水土保持学报, 2018, 32(1): 352-360.

## Effects of Different Ratio of Organic Fertilizer Nitrogen to Fertilizer Nitrogen on the Absorption Capacity and Morphology of Potato Roots

He Wanchun, Huang Kai, Ling Peng, Chen Zixiong, Wang Jingcai,  
Pan Xiaochun, Zhang Juanning, Li Pengcheng

(Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Dingxi 743000, Gansu, China)

**Abstract** Focusing on the problems of long-term large-scale application of chemical fertilizers in potato production in Dingxi region, which caused potato yield reduction, quality decline and environmental pollution, the effects of different ratio of organic nitrogen fertilizer to chemical nitrogen fertilizer on the root absorption capacity and morphology of potato mulching in dryland were studied through field experiments. The results showed that different ratio of organic

nitrogen fertilizer to chemical nitrogen fertilizer significantly increased potato root activity, active absorption area & total absorption area and gradually increased with the increase of substitution ratio reaching the maximum value when the ratio of organic nitrogen fertilizer to chemical nitrogen fertilizer reached 30%, and then decreased; different ratios of organic nitrogen fertilizer to chemical fertilizer nitrogen had significant effects on the total root length, root volume, the number of root tips and main root diameter of potato, especially increasing the total root length of potato within the diameter ranges of 0-0.50, 0.51-1.00 and 1.01-1.50mm; the application of organic fertilizer significantly increased the tuber yield of potato. Compared with the pure fertilizer treatment, the tuber yield of treatment increased by 11.32%, 16.04%, 23.53% and 12.69%. To sum up, in Dingxi area, the nitrogen application amount is 180kg/ha, the ratio of nitrogen, phosphorus and potassium is 4:3:3 ( $N:P_2O_5:K_2O$ ), and the ratio of organic fertilizer nitrogen to fertilizer nitrogen is 30%.

**Key words** Organic fertilizer; Potato; Root morphology; Absorption capacity