

不同氮肥用量对春玉米幼苗生长和根系形态的影响

马星竹,周宝库,郝小雨,李一丹

(黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室/黑龙江省肥料工程技术研究中心/黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为促进玉米幼苗根系发育,提高氮素的吸收能力,从而提高氮素积累量和利用效率,通过田间试验,研究不同氮肥用量对春玉米幼苗生长、根系形态及氮素吸收利用效率的影响。结果表明:在一定氮素范围内施氮量的增加玉米苗期生物重增加,而高量施氮(N180)导致根冠比下降;优化施氮(N150)处理提高了土壤速效氮、磷以及钾含量;由扫描图片可得不同施氮处理玉米根系形态差异不大,优化施氮处理具有很好的根系形态;减量施氮(N120)和优化施氮处理能够增加苗期玉米根系长度、体积、平均直径以及表面积指标;随着施氮量的增加,苗期春玉米植株氮素吸收效率呈下降趋势,而氮素生理利用效率先增加后降低,减量施氮处理玉米氮吸收效率较高,优化施氮处理具有较高的氮素生理利用效率。

关键词:氮肥;春玉米;根系形态;氮素吸收

中图分类号:S513.062 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2016)07-0027-05 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.07.0027

根系是植物吸收水分和养分的主要器官,是作物物质生产的基础,直接决定养分的吸收能力和抗倒能力^[1-2];根系形态和空间分布是影响养分吸收的重要因素,在很大程度上决定着作物获取养分的能力,并且具有支持、贮存合成有机物质的作用^[3-4]。氮素是限制植物生长发育以及产量形成的首要因素^[2]。在低氮胁迫条件下,植物通常调节体内干物质的分配方式,将更多的物质分配到根系,相对促进根系生长,增加根冠比。在相对较低的氮素供应范围内,苗期根系形态直接与氮效率相关^[5];植物氮的累积量是限制氮效率的主导因素^[6]。相关研究表明不同施氮水平下玉米、水稻以及小麦的根系生长与氮素吸收关系密切^[7-9]。玉米(*Zea mays* L.)作为三大粮食作物之一,近年来,在世界粮食作物生产及国民经济中占有重要的地位。氮素水平对不同玉米品种的根系生长影响不同,适量供氮有促进根体积增加的作用,过量供氮则会对品种根系体积的发育有一定的抑制作用或者无作用^[7]。有关氮素对玉米根系形态影响的研究国内外已有一些报道,而关于东北春玉米苗期生长、根系形态与氮素之间关系的研究结果鲜见报道,为保证粮食安全,氮肥的合理

施用尤为重要。本文通过对不同氮肥施用下春玉米苗期生长和根系形态以及氮素吸收利用效率的研究,揭示玉米根系在氮素吸收中的作用,进而丰富玉米苗期氮素营养理论,为玉米科学合理施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2014年进行,田间试验地位于中储粮北方公司农业科技园区,属于嫩江县联兴乡境内,该地区属中温带大陆性季风气候。年平均气温-1℃左右,冬季极端最低气温-45.6℃,无霜期95~110 d,≥10℃有效积温在2 100℃左右,处于黑龙江省第四、第五积温带之间,年均降水量450 mm左右。供试土壤类型为草甸黑土,试验土壤基础地力pH为5.8,有机质45.6 g·kg⁻¹,全氮1.92 g·kg⁻¹。试验区为雨养农业区,无灌溉。

1.2 材料

供试玉米品种为德美亚1号。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验共设4个处理,即:对照(N0)、减量施氮(N120)、优化施氮(N150)和高量氮肥(N180),其中氮肥1/2基施,玉米拔节期追施1/2,磷、钾肥一次性底施,3次重复,共12个小区,小区面积10 m×4.2 m,小区随机排列。氮肥为普通尿素(含氮46%);磷肥为磷酸二铵和重过磷酸钙(含P₂O₅ 46%);钾肥为氯化钾(含K₂O 60%)(见表1)。

收稿日期:2016-04-24

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2013BAD07B01)、公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201303126);黑龙江省留学回国人员资助项目

第一作者简介:马星竹(1980-),女,黑龙江省哈尔滨市人,博士,副研究员,从事土壤肥力与植物营养研究。E-mail: maxingzhu@163.com。

表 1 试验处理及施肥量
Table 1 Fertilizer application rate and experimental treatment

| 处理 Treatments | 纯养分用量/(kg·hm ⁻²) Pure nutrient application | | | 氮肥基追比 Ratio of basal and topdressing applications of nitrogen fertilizer |
|------------------|---|-------------------------------|------------------|---|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | |
| N0 | 0 | 75 | 60 | 0 |
| N120 | 120 | 75 | 60 | 1:1 |
| N150 | 150 | 75 | 60 | 1:1 |
| N180 | 180 | 75 | 60 | 1:1 |

1.3.2 测定项目及方法 生物量的测定:玉米样品采集后将植株地上部和根系剪断,分别在 105℃下杀青 30 min,然后放置于 70~80℃烘箱内,烘干至恒重并称重,即为生物量。

幼苗根系形态测定:运用根系扫描仪(WinRHIZO)进行测定,将清洗后的玉米根系样品分别放置在 30 cm×40 cm 树脂玻璃槽内,槽内注水 10~15 mm 深,待根系充分散开,双面光源扫描根系,扫描出的根系图片经数字化软件(WinRHIZO-2007a)分别对玉米根系总长、根系直径、根表面积以及根体积进行分析。

幼苗含氮量:植株全氮量的测定采用 H₂O₂-H₂SO₄ 消煮,半微量定氮法测定。

土壤碱解氮测定:用碱解-扩散法,土壤有效磷测定 Olsen 法。

土壤速效钾测定:用 1 mol·L⁻¹ NH₄OAc 浸提-火焰光度法。

1.3.3 数据分析 采用 Microsoft Excel 2010、SPSS15.0 软件对数据进行统计分析。

氮吸收效率用植株全株(地上部和根系)氮积累量表示,mg;氮素生理利用效率用全株(地上部和根系)干重与全株氮积累量比值表示,g·g⁻¹。

2 结果与分析

2.1 不同氮素水平对苗期玉米生物量的影响

不同施肥处理苗期玉米植株鲜重和干重结果见图 1,表 2。随着施氮量的增加,不同处理间玉米地上部和根系的鲜重、干物质积累表现出不同的趋势。由图 1 可知,不同施氮处理苗期玉米植株鲜重顺序依次为:N150>N120>N180>N0,随着施氮量的增加,玉米植株鲜重先增加后降低,优化施肥处理(N150)玉米生物量最高,不施氮肥处理(N0)最低;不同施肥处理苗期玉米植株干重变化趋势与植株鲜重变化一致(见表 2),N150 处理玉米地上部干重显著高于 N0 处理;随着施氮量的增加根冠比降低。因此,施氮量对玉米地上

部干重及根干重均无显著影响,说明合理施用氮肥可以满足玉米生物量积累的正常需求。

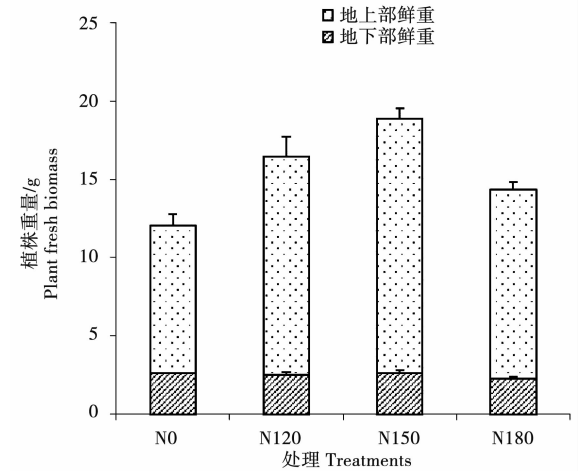


图 1 不同氮肥用量下玉米苗期植株鲜重
Fig.1 Fresh weight of maize in seedling stage under different amounts of nitrogen fertilizer

表 2 不同氮肥用量下玉米苗期地上部和根系干物质的积累

Table 2 Dry biomass of shoot and root of maize in seedling stage under different amounts of nitrogen fertilizer

| 处理 Treatments | 地上部干重/g Shoot dry biomass | 根干重/g Root dry biomass | 根冠比 Ratio of root and shoot |
|------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| N0 | 0.97 b | 0.41 a | 0.42 a |
| N120 | 1.50 ab | 0.62 a | 0.41 a |
| N150 | 1.85 a | 0.58 a | 0.31 a |
| N180 | 1.23 ab | 0.45 a | 0.36 a |

不同小字母表示不同处理间差异达到 5%显著水平。下同。
Different lowercases mean significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 不同氮素水平对土壤速效养分含量的影响

由图 2 可知,不同施氮处理下土壤速效磷含量差异不显著;与不施氮处理相比,施氮处理土壤碱解氮含量显著高于 N0,含量差异表现为高量施氮处理高于减量施氮处理;速效钾含量的变化顺序依次为:N150>N120>N180>N0,随着施氮量的增加,土壤速效钾含量先增加后降低,N0 处理最低。因此,不同施氮量对土壤速效养分含量的影响各不相同,其中对土壤有效磷含量无显著影响,对碱解氮和速效钾含量影响显著,其中优化施氮处理能够提高土壤速效养分含量。说明不同施氮量可以调节苗期玉米土壤速效养分供给。

2.3 不同氮素水平对玉米根系形态特征的影响

玉米根的表型由总长、表面积、直径和体积等

因素构成,这些因素与植物吸收土壤中的水分和矿质元素、营养元素的运输、有机化合物的合成和贮藏具有一定相关性。

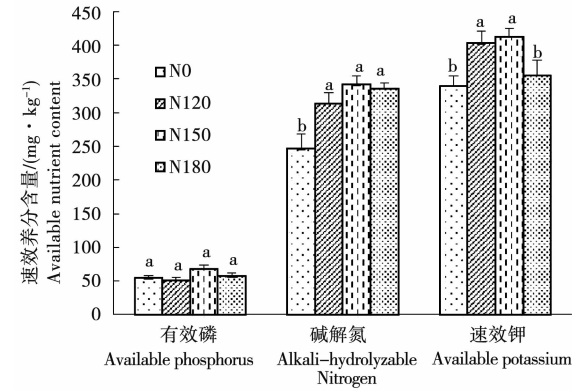


图2 不同氮肥用量下土壤速效养分含量

Fig. 2 Soil available nutrient contents under different amounts of nitrogen fertilizer

2.3.1 不同氮素水平条件下玉米根系形态变化

运用根系扫描仪对不同施氮处理玉米苗期的根系进行扫描,获得了玉米根系形态特征图(见图3),苗期玉米根系分布均匀,少量根系直径较大;不同施肥处理玉米根系形态差异不大,其中N0处理根系发育正常,N150处理根系数量、长度指标较其它处理高。

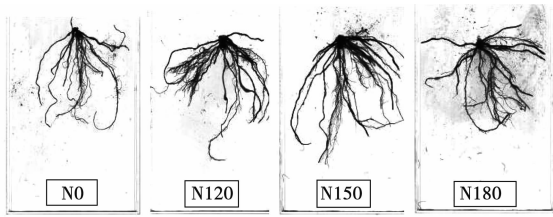


图3 不同氮肥用量下玉米苗期根系形态

Fig. 3 Root morphology of maize in seedling stage under different amounts of nitrogen fertilizer

2.3.2 不同氮素水平条件下玉米根系指标变化

由图4可知,不同施肥处理苗期玉米根系长度依次为N150>N120>N180>N0,范围大致为80~120 cm,其中优化施氮处理玉米根系长度显著高于其它处理;根系体积变化趋势为N150>N120>N180>N0,与根系长度一致(见图5),N150处理显著高于不施氮肥处理,与其它两个处理差异不显著;根系平均直径为N120>N150>N180>N0,范围为0.7~1.20 mm,其中不施氮肥处理玉米根系平均直径显著低于N120和N150处理;玉米根系表面积变化趋势与根系体积一致(见图6)。不施氮肥处理玉米根系长度、根系体积、根系平均直径以及根系表面积等指

标均为最低。合理施肥以及减量施肥处理玉米根系各项指标均为最高。

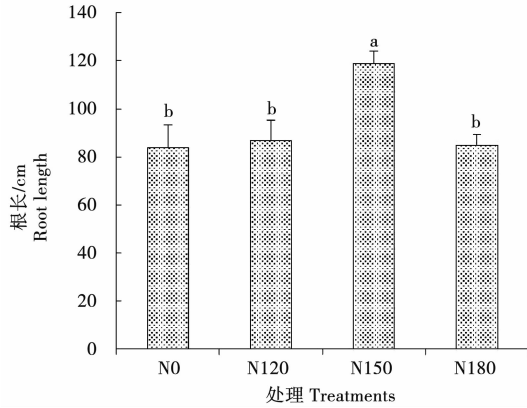


图4 不同氮肥用量下玉米苗期根系长度

Fig. 4 Root length of maize in seedling stage under different amounts of nitrogen fertilizer

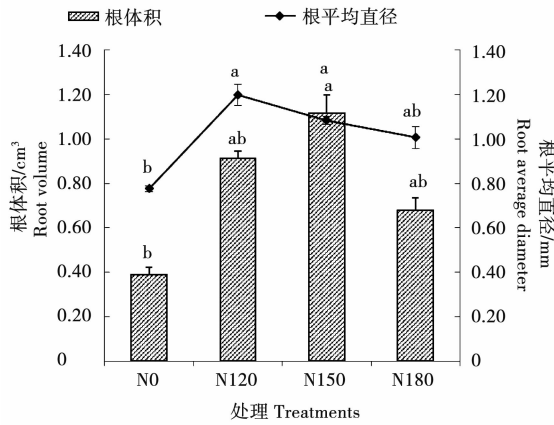


图5 不同氮肥用量下玉米苗期根系体积和根系平均直径

Fig. 5 Root volume and average diameter of maize in seedling stage under different amounts of nitrogen fertilizer

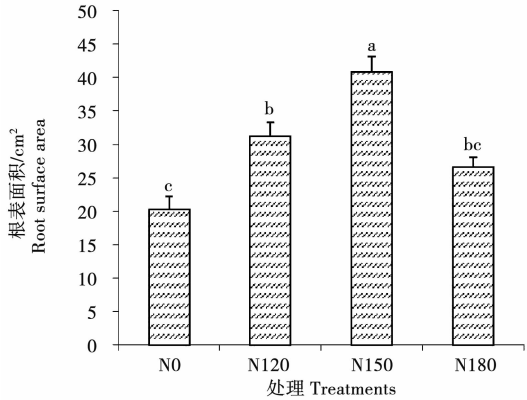


图6 不同氮肥用量下玉米苗期根系表面积

Fig. 6 Root surface area of maize in seedling stage under different amounts of nitrogen fertilizer

2.4 不同氮素水平对玉米氮素吸收和利用效率的影响

氮吸收效率用植株全株氮积累量表示,氮素生理利用效率用全株干重与全株氮积累量比值表示。表3中结果表明,在一定肥料用量范围内随施氮量的增加玉米植株氮含量总体呈下降趋势,N120处理玉米氮吸收效率最高,其它处理降幅最高达14.9%,即高量施氮条件下植株含氮量降低;玉米氮素生理利用效率随施氮量的增加呈现先增加后降低的趋势,N150处理氮素生理利用效率最高,与减量和高量施氮处理相比,平均提高24.02%。

表3 不同氮肥用量下玉米氮素吸收利用效率
Table 3 Nitrogen absorption of maize under different amounts of nitrogen fertilizer

| 处理 Treatments | 氮素生理利用效率/(g·g ⁻¹) Physiological N use efficiency | 氮吸收效率/% N uptake efficiency |
|------------------|---|--------------------------------|
| N120 | 35.61 | 60.28 |
| N150 | 43.22 | 51.29 |
| N180 | 34.12 | 53.42 |

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究结果表明,优化施氮处理可以增加苗期玉米植株鲜重、干重;随着施氮量的增加根冠比降低,高量施氮会抑制玉米幼苗根系的生长,导致根冠比下降;不同氮肥用量能够显著影响土壤碱解氮和速效钾含量,对土壤有效磷含量影响不显著;优化施氮处理能够提高土壤速效养分含量;优化施氮、减量施氮处理能够增加苗期玉米根系长度、体积、平均直径以及表面积,不施氮肥处理各项根系指标值最低;减量施氮处理和优化施氮处理分别具有最高的玉米氮吸收效率和氮素生理利用效率,而高量施氮条件下玉米植株氮吸收效率和含氮量降低。

3.2 讨论

根系性状是影响玉米氮素吸收的重要因素^[10]。相关研究表明不同氮素水平影响作物地上部和地下部生长,例如低氮水平下玉米根系干重明显高于高氮水平,与本研究结果一致,说明少量供氮对根系生长有促进作用,而供氮水平提高,则对根系生长起到抑制作用^[7,11]。根冠比的影响因素较多,本研究中随着施氮量的增加,玉米根冠比降低,表明低氮条件下作物根系的生长优于地

上部,使根冠比显著增加^[7,12-13];反之,研究结果表明,在各供氮水平下不同品种间根冠比值相对恒定,根冠比在各品种间均无显著差异^[14];有研究表明在高氮条件下根冠比增加,这可能是由于玉米对氮素敏感,高氮抑制了地上部和根系的生长,对地上部的抑制程度大于根系^[7]。

土壤速效养分含量是评价土壤供肥能力的主要指标,体现着生态环境条件下土壤养分的转化能力和人们的施肥与管理水平等^[15]。关于种植玉米条件下土壤速效养分变化的相关研究较多,包括不同耕作方式、不同肥料类型以及不同时空条件等^[15-17],其中姬景红等研究结果表明:与不施氮肥处理相比,氮肥的投入显著增加土壤速效氮含量^[17],与本研究结果中施氮处理土壤碱解氮含量显著高于不施氮肥处理一致。本研究中不同施氮量对土壤有效磷含量无显著影响,而减量施氮和优化施氮处理显著提高土壤速效钾含量,可见,氮肥调节对土壤磷素含量的影响较小,对氮和钾的影响较大,说明合理施肥可以有效调节苗期玉米土壤速效养分供给。

对于氮素吸收而言,决定作物吸氮量的另一个重要因素是根系形态,即根系的大小及分布^[6]。已有研究表明,低氮胁迫下玉米根长呈现增长趋势,相对根数和根体积减少,这可能与低氮胁迫下植株尽可能寻找氮源而产生的补偿效应有关^[5,18-19]。本研究中,玉米根系直径随施氮量的增加呈先增加后降低的趋势,其中施氮量为150 kg·hm⁻²水平下,苗期玉米根系长度、直径以及表面积均较高,说明适当供氮对根系生长具有促进作用,与姜琳琳等研究结果一致^[7]。除了氮素用量影响玉米根系生长,不同品种也是影响玉米根系形态的一个因素^[7,20]。相关研究表明低氮胁迫下耐低氮品种根系比不耐低氮品种能维持较稳定的生长,对低氮胁迫的耐性较强。同时,随着低氮胁迫程度的增大,耐低氮品种对低氮胁迫的响应能力增大,表现为根系伸长变细以增加对氮素的吸收面积^[21]。

植株从介质中吸收氮的总量和相对氮吸收量反映了植株吸收介质中氮素能力的强弱^[22]。本研究中高量施氮条件下玉米植株含氮量降低,说明在一定的施氮量范围内,提高施氮量没有提高玉米植株对氮素的吸收量,吸收量降低的主要原因可能是由于玉米的干物重降低^[7];玉米氮素生理利用效率均随施氮量的增加先增加后降低,说

明合理施氮可以影响对玉米对氮素的吸收与利用,施肥可以影响玉米品质。

参考文献:

- [1] 赵久然,孙世贤.对超级玉米育种目标及技术路线的再思考[J].玉米科学,2007,5(1):21-23.
- [2] 刘弋菊,孔箐铤,苏胜宝.玉米氮素代谢机制的研究进展[J].玉米科学,2009,17(1):135-138.
- [3] 鄂玉江,戴俊英,顾慰连.玉米根系的生长规律及其产量关系的研究 I. 玉米根系的生长和吸收能力与地上部分的关系[J].作物学报,1988,14(2):149-154.
- [4] 朱德峰,林贤青,曹卫星.超高产水稻品种的根系分布特点[J].南京农业大学学报,2000,23(4):5-8.
- [5] 王艳,米国华,陈范俊,等.玉米氮素吸收的基因型差异及其与根系形态的相关性[J].生态学报,2003,23(2):297-302.
- [6] 米国华,陈范俊,春亮,等.玉米氮高效品种的生物学特性[J].植物营养与肥料学报,2007,13(1):155-159.
- [7] 姜琳琳,韩立思,韩晓日,等.氮素对玉米幼苗生长、根系形态及氮素吸收利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(1):247-253.
- [8] Ladha J K, Kirk G J D, Bennett J, et al. Opportunities for increased nitrogen use efficiency from improved low land rice germplasm[J]. Field Crops Res., 1998, 56(1-2): 41-71.
- [9] 张定一,张永清,杨武德,等.不同基因型小麦对低氮胁迫的生物学响应[J].作物学报,2006,32(9):1349-1354.
- [10] Brinkman M A, Rho Y D. Response of three oat cultivars to N fertilizer[J]. Crop Sci., 1984, 24(5): 973-977.
- [11] 黄高宝,张恩和,胡恒觉.不同玉米品种氮素营养效率差异的生态生理机制[J].植物营养与肥料学报,2001,7(3):293-297.

- [12] 春亮.玉米氮高效品种选育及根系形态对低氮反应得遗传分析[D].北京:中国农业大学,2004.
- [13] 孙虎威,王文亮,刘尚俊,等.低氮胁迫下水稻根系的发生及生长素的响应[J].土壤学报,2014,51(5):1096-1102.
- [14] 孙年喜.玉米氮素效率及其生理特性研究[D].重庆:西南农业大学,2005.
- [15] 徐海,王益权,石宗琳,等.关中地区夏玉米全育期土壤速效养分时空分布规律[J].土壤通报,2011,42(3):603-606.
- [16] 杨云马,贾树龙,孟春香,等.免耕玉米田土壤速效养分变化研究[J].华北农学报,2008,23(增刊):201-203.
- [17] 姬景红,李玉影,刘双全,等.控释掺混肥对春玉米产量、光合特性及氮肥利用率的影响[J].土壤通报,2016,46(3):669-675.
- [18] 齐红志,刘天学,杜成凤,等.玉米苗期对氮、磷、钾亏缺的响应及基因型差异[J].河南农业大学学报,2011,45(2):142-148.
- [19] 武永军,沈玉芳,颜秦峰,等.缺氮复氮处理对玉米根系生长、根系活力、硝态氮及氨基酸含量的影响[J].西北农业学报,2012,21(12):61-64.
- [20] 慕自新,张岁岐,郝文芳,等.玉米根系形态性状和空间分布对水分利用效率的调控[J].生态学报,2005,25(11):2895-2900.
- [21] 谢孟林,李强,查丽,等.低氮胁迫对不同耐低氮性玉米品种幼苗根系形态和生理特征的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(8):946-953.
- [22] 宗学风,孙年喜,王三根.玉米苗对氮素吸收和利用效率的研究[J].西南农业大学学报:自然科学版,2004,26(2):206-209.

Effects of Different Amounts of Nitrogen Fertilizer on Growth and Root Morphological Traits of Spring Maize Seedlings

MA Xing-zhu, ZHOU Bao-ku, HAO Xiao-yu, LI Yi-dan

(The Key Lab of Soil Environment and Plant Nutrition, Research Center of Fertilizer Engineering and Technology of Heilongjiang Province, Institute of Soil Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086)

Abstract: In order to promote the root growth of corn seedling, increase the ability of nitrogen absorption, and improve the efficiency of nitrogen accumulation and utilization, the effects of nitrogen on seedling growth, root morphological traits and nitrogen (N) uptake and N use efficiency of spring maize were studied through field experiments. The results showed that with N fertilizer amount increasing in a certain range, biomass of spring maize seedlings increased, whereas treatment of higher amounts of N fertilizer (N180) led to the decreasing of root / shoot ratio. Treatment of optimized N fertilizer (N150) increased contents of soil available N, phosphorus and potassium. There was no significant differences of root morphological traits of spring maize among different treatments from the scanning pictures, treatment of N150 had better root morphology. Treatment of reducing N fertilizer (N120) and N150 could increase root length, volume, average diameter and surface area of spring maize seedling; with the increasing of N fertilizer amount, the N uptake efficiency decreased, whereas physiological N use efficiency increased first and then decreased, N120 had higher N uptake efficiency, N150 had higher physiological N use efficiency. The appropriate N supply could coordinate the growth of root and shoot, advance the root morphology, improve the ability of N uptake, therefore the N accumulation and use efficiency increased.

Keywords: nitrogen fertilizer; spring maize; root morphology; nitrogen uptake