

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20553

不同氮肥施用方式下春玉米根系时空分布特征

展文洁^{1, 2}, 陈一昊^{1#}, 曾子豪¹, 张 畅¹, 张水梅¹, 程 松¹, 梁 尧¹,
袁静超¹, 任 军¹, 刘剑钊^{1*}, 蔡红光¹

(1. 吉林省农业科学院 / 农业农村部东北植物营养与农业环境重点实验室, 吉林 长春 130033; 2. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: 通过剖析不同氮肥施用方式下, 玉米根系系统随生育进程在 0 ~ 60 cm 不同土层内分布特征及地上部产量和氮累积量的变化, 以期氮肥合理施用提供理论依据。以先玉 335 为供试品种, 进行了 4 年田间定位试验。设 3 个处理: 无氮区 (N0); 氮肥一次性基施 200 kg/hm² (N1); 氮肥分次施用 (N2), 基肥 50 kg/hm², 拔节期 150 kg/hm²。于试验起始后第 3 和第 4 年测定了 0 ~ 60 cm 土层根系干重、根长、根表面积、根系平均直径等指标动态变化及地上部干物质和氮素累积, 并于成熟期测定籽粒产量。增施氮肥显著提高玉米产量、干物质累积和吸氮量。与无氮区相比, 两年间施肥处理下的产量增幅为 122.0% ~ 177.9%, 生物量增幅为 76.3% ~ 127.8%, 吸氮量增加 191.0% ~ 272.4%。低氮促进了根系的生长, 使根冠比增大。2013 年, N0 处理比 N1 和 N2 处理的根冠比分别增加 62.5% 和 79.3%; 2014 年, N0 处理比 N1 和 N2 处理分别增加 75.8% 和 75.8%。随着生育进程的推进, 与 N0 处理相比, N1 处理对根系生长产生抑制作用, 但年际间差异显著; 降雨丰沛年份, 在 12 展叶期根系生长即出现抑制情况, 0 ~ 50 cm 土层的根长和根表面积受到抑制, 降幅为 10.4% ~ 43.0%; 雨量正常年份, 在开花期各土层根系生长受到抑制, 降幅为 1.3% ~ 47.6%。与 N2 处理相比, N1 处理氮肥一次性基施在土层 0 ~ 40 cm 的根系动态生长均受到抑制, 其中在花后 20 d 至成熟期, 0 ~ 40 cm 土层的根系干重、根长和根表面积分别减少 15.3%、7.9% 和 8.2%。N2 处理下, 根系在各生育期的空间分布上均显著优于 N1 处理, 且在开花后 20 d 表现最为显著。氮肥分次施用优化了根系形态, 促进根系的纵深分布, 更有利于养分的吸收, 且在年际间表现稳定, 是获得春玉米高产稳产的合理施肥方式。

关键词: 氮肥施用方式; 玉米; 根系; 产量

玉米是重要的粮食作物之一, 不仅可直接供人类食用, 也是保障国家粮食安全的重要途径^[1-2], 同时在饲料、医药学及生物质能源等方面具有重要地位。东北是我国最大的春玉米生产区^[3], 玉米种植面积占全国的 40.4%, 产量占全国的 43.3%^[4]。玉米的有效供给是持续的需求^[5], 但通过扩大种植面积来提高玉米产量来实现有效供给是不现实的。依靠施肥技术上的改进来提高玉米产量, 是促进玉米生

产发展的有效途径之一。

氮肥对玉米的产量和品质起着重要作用, 合理施用氮肥对于提高春玉米产量和氮肥利用率、减缓环境压力具有重要意义^[6-8]。近年来, 为了降低劳动力成本, 玉米简化施肥或一次性施肥成为一种趋势^[9-10], 高强等^[11]研究表明吉林省玉米一次性施肥面积占全省玉米总面积的 62.5%。氮肥一次性基施会造成土壤残留硝态氮淋失, 降低肥料利用率, 加重环境负担^[12-14]。近年来, 有学者提出了氮肥后移技术^[15], 即分次施用氮肥, 以更好地起到养分供应与作物吸收同步的作用^[16]。关于一次性施肥与分次施肥的比较, 前人研究得出的结论不一^[17]。葛均筑等^[18]研究表明, 玉米氮肥一次性基施相对于氮肥分次施用, 在降水充足的年份产量并无差异, 在干旱年份其产量有所降低, 氮肥一次性基施会显著降低玉米生育前期养分积累量^[19-20]。氮肥分次施用, 能显著减少氮肥的田间

收稿日期: 2020-09-02; 录用日期: 2020-11-04

基金项目: 吉林省农业科技创新工程 (CXGC2017ZD001); 吉林省科技发展计划项目 (20200702008NC); 国家现代农业产业技术体系 (CARS-07-G-6)。

作者简介: 展文洁 (1994-), 博士研究生, 主要研究方向为养分资源高效管理。E-mail: 17854266737@163.com。陈一昊 (1982-), 助理研究员, 硕士, 研究方向为养分资源综合管理。E-mail: cheniyihao1982@126.com。陈一昊与展文洁共同为第一作者。

通讯作者: 刘剑钊, E-mail: justin0117@yeah.net。

表观损失^[21],更加适应玉米的养分吸收需求。在已发表的研究中,多围绕玉米产量^[13, 16-17]、氮肥利用效率^[13, 18]、碳氮代谢^[15]等方面,而关于氮肥一次性基施对春玉米根系生长的影响鲜有报道。作为植株吸收养分和水分的重要器官,根系形态在土层中的分布对肥料的响应至关重要。本研究基于多年田间定位试验,对不同氮肥施用方式下春玉米根系生长动态及空间分布进行了剖析,以为东北春玉米区氮肥的合理施用提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验起始于2011年,在吉林省公主岭市吉林省农业科学院试验田(43°29′55″N, 124°48′43″E)进行。试验田为玉米连作区,玉米生育期间平均气温19.6℃左右,无霜期125~140 d,有效积温2600~3000℃,总日照时数1220 h左右。供试土壤为黑土,0~20 cm耕层土壤主要性状为:有机质2.1%,碱解氮111.8 mg/kg、有效磷31.5 mg/kg、速效钾185.9 mg/kg、pH值6.0。2013和2014年玉米生育期内降水量分别为642.9、422.5 mm(图1)。

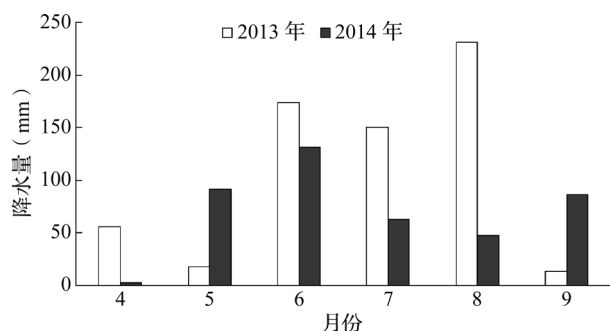


图1 2013和2014年公主岭市玉米生育期内降水量

1.2 试验设计

试验设3个处理,分别为不施氮对照(N0)、氮肥一次性基施(N1)、氮肥分次施用(N2),每个处理重复3次,随机区组排列,小区面积为50 m²。氮肥为尿素(N 46%)。具体氮肥用量及施肥时期见表1。磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 12%)和磷酸二铵(N 18%, P₂O₅ 46%),用量均为75 kg/hm²(P₂O₅);钾肥为氯化钾(K₂O 60%),用量均为82.5 kg/hm²(K₂O)。基肥和追肥均采用沟施,其中基肥施肥深度为10 cm,追肥施肥深度为7 cm。种植品种为先

玉335,播种密度为5.0万株/hm²。其它管理方式均同一般大田。

表1 不同施肥模式下的氮肥用量 (kg/hm²)

氮水平	基肥	拔节肥	抽雄肥	氮肥总量
N0	0	0	0	0
N1	200	0	0	200
N2	50	150	0	200

1.3 测定项目与方法

在玉米播种前采集0~20 cm耕层土壤样品,采用常规方法测定土壤养分。分别于2013和2014年在玉米12展叶(V12)、开花期(VT)、花后20 d(VT+20)、花后40 d(VT+40)、生理成熟期(R6)5个生育时期对植株地上部和根系取样,每个处理选取有代表性的植株3株,分别将植株叶、茎(鞘)、籽粒、穗轴器官分开,烘干,粉碎,采用凯氏定氮法测定植株全氮。

根系样品采用土壤剖面挖掘法,具体如下:垂直于垄的方向,每个小区以植株为中心挖掘1/2行距(30 cm)×1/2株距(10 cm)范围内深度为60 cm土体(V6时期根系样品采集深度为40 cm土体)的根系2株,每10 cm为1层,由取根刀切断。每层土体中的所有可见根系由人工挑出,将根系上附着的土和杂质去除,用清水冲洗干净。用扫描仪(Epson V700)扫描后获得根系图片,利用WinRhizoPro 5.0(Pro2004b, Canada)分析获得根长、根表面积、根系平均直径等指标,将根系烘干后采用称重法测定根系干重。从VT期开始,在采集根系样品的同时取相应土层土壤样品,放入冰盒,带回实验室用0.01 mol/L CaCl₂浸提,TRACCS2000型连续流动分析仪测定土壤硝态氮。

成熟期收获中间2行玉米,装入尼龙网袋,晒干脱粒称重,以含水量14%的重量折算小区产量。

1.4 数据分析

采用Excel 2007对数据进行处理和作图,采用SAS 8.0进行方差分析和多重比较(LSD法)。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥施用方式对产量、生物量、吸氮量和根冠比的影响

由于本试验始于2011年,随着地力的消耗,增施氮肥后对产量的增产效果显著提高。由

表2可以看出,施用氮肥后大幅提高了春玉米的产量、生物量和吸氮量 ($P<0.05$)。从单株籽粒产量来看,2013年,N1和N2处理分别比N0处理增产175.5%和177.9%;2014年,N1和N2处理分别比N0处理增产122.0%和154.9%。从单株生物量来看,2013年,N1和N2处理分别比N0处理增加125.4%和127.8%,2014年,N1和N2分别比N0处理增加76.3%和95.1%,其处理间差异达显著水平 ($P<0.05$)。从吸氮量来看,2013年,N1和N2处理分别比N0处理增加242.6%和272.4%,2014

年,N1和N2处理分别比N0处理增加191.0%和210.1%。从根冠比来看,两年均表现为N0处理显著高于N1和N2处理 ($P<0.05$),2013年,N0处理比N1和N2处理分别增加62.5%和79.3%;2014年,N0处理比N1和N2处理分别增加75.8%和75.8%。由此可见,施氮处理显著增加了春玉米的产量、生物量和吸氮量 ($P<0.05$),其中以N2处理最优。可见,增施氮肥后,地上部的生长比根系的生长减小更多,致使根冠比增加,而适当地增加根冠比更有利于后期产量的形成。

表2 不同氮肥施用方式下的籽粒产量、生物量、吸氮量及根冠比

年份	处理	籽粒干重 (g/株)	干物质 (g/株)	吸氮量 (g/株)	根冠比
2013	N0	77.1 ± 16.7b	180.3 ± 21.1c	1.24 ± 0.23b	0.052 ± 0.008a
	N1	212.5 ± 20.5a	406.3 ± 18.6b	4.23 ± 0.45a	0.032 ± 0.004b
	N2	214.4 ± 14.6a	410.5 ± 16.8a	4.60 ± 0.41a	0.029 ± 0.002b
2014	N0	89.4 ± 24.3b	214.3 ± 36.5b	1.23 ± 0.25b	0.058 ± 0.011a
	N1	198.4 ± 47.8a	377.9 ± 25.7a	3.57 ± 0.34a	0.033 ± 0.003b
	N2	227.8 ± 26.8a	418.2 ± 39.3a	3.80 ± 0.30a	0.033 ± 0.006b

注:同列不同小写字母表示同一年度不同氮肥处理在0.05水平上差异显著。

2.2 不同氮肥施用方式下根系时间分布特征

不同氮肥施用方式下玉米根系干重的生育期动态变化如图2A所示。随着生育进程的推进,玉米的根系干重呈先增加后降低的变化趋势,在VT期或花后20d达到最大值。不同处理方式对各生育期玉米的根系干重有显著影响。2013年,N1和N2处理各生育时期根系干重均高于N0处理,其中N1处理在花后40d和成熟期分别比N0处理增加了35.0%和15.2% ($P<0.05$),N2处理在花后20d、花后40d和成熟期增幅显著 ($P<0.05$),增幅为25.8%~27.7%;2014年,N1处理的根系干重在开花期之后均低于N0处理,降幅为2.9%~14.2%,而N2处理在各生育时期的根系干重均属最高,在开花期和花后20d分别比N0处理增加了52.2%和34.2% ($P<0.05$)。进一步分析发现氮肥一次性基施受年际间的影响较大,而氮肥分次施用处理在年际间表现相对稳定,尤其在花后20d和成熟期等关键生育时期,其根系干重增幅显著 ($P<0.05$)。

随着生育进程的推进,玉米的根长和根表面积均呈先增后降的单峰曲线变化,根系平均直径整体变化趋势不明显 ($P>0.05$)。从各根系指标的年际间差异来看,2014年的根长和根表面积均高于

2013年,同一处理间的根长在年际间增加46.2%以上,同一处理间的根表面积在年际间增加47.0%以上。2013年,各处理的根长和根表面积均在开花期达到最大值,与N0处理相比,N1处理降低了12展叶期和开花期的根长和根表面积,降幅为3.5%~29.1%;N2处理均增加了各生育时期的根长和根表面积,在开花期、花后20d和成熟期增幅为18.6%~30.3%。2014年,N1处理在多个生育时期的根长和根表面积高于N0处理 ($P>0.05$),但在成熟期,N1处理略低于N0处理,降幅分别为0.6%和6.7%。N2处理促进了多个生育时期的根长和根表面积,其中在开花期和花后20d增加显著 ($P<0.05$),增幅为27.4%~37.3%。从根系平均直径来看,在成熟期,无氮区比施肥处理平均增加11.94%。研究表明,相对于氮肥一次性基施,氮肥分次施用更有利于根系形态的建成,显著增加了开花期和花后20d的根长和根表面积 ($P<0.05$)。

2.3 不同氮肥施用方式下根系空间分布特征

2013年,从玉米根系干重来看,随着土层深度的增加,根系干重呈下降趋势(图2A)。与N0处理相比,N1处理在各生育期0~10cm土层的

根系干重均增加明显, 平均增幅为 6.7% ~ 38.6%, 而在开花期 20 ~ 60 cm 土层、花后 20 d 20 ~ 40 cm 土层、花后 40 d 10 ~ 20 cm 土层的根系干重均低于 N0 处理, 降幅为 2.0% ~ 73.0%, 其他土层均高于 N0 处理。N2 处理在 12 展叶期 0 ~ 10、30 ~ 40 和 50 ~ 60 cm 土层, 开花期、花后 20 d 和成熟期 0 ~ 10 cm 土层, 花后 40 d 0 ~ 20、30 ~ 50 cm 土层的根系干重均明显高于 N0 处理, 增幅为 10.2% ~ 59.9%, 而在开花期 20 ~ 60 cm 土层的根系干重均低于 N0 处理, 减少了 15.1% ~ 43.7%。这表明不施氮肥促进了植株在开花期的根系干物质

积累。

图 2B、3C 显示, 不同氮肥施用方式对各生育时期玉米根系的垂直分布有显著影响。从 N1 处理的根长和根表面积来看, 与 N0 处理相比, 其在 12 展叶期 0 ~ 10 和 30 ~ 50 cm 土层、开花期 30 ~ 40 cm 土层、花后 20 d 40 ~ 50 cm 土层、花后 40 d 10 ~ 40 cm 土层均有所降低, 降幅为 2.8% ~ 37.8%; 而 N1 处理增加了花后 20 d 10 ~ 40 cm 土层和成熟期 0 ~ 10、20 ~ 30 和 40 ~ 50 cm 土层的根长和根表面积, 增幅为 3.6% ~ 99.8%; 从 N2 处理的根长和根表面积来

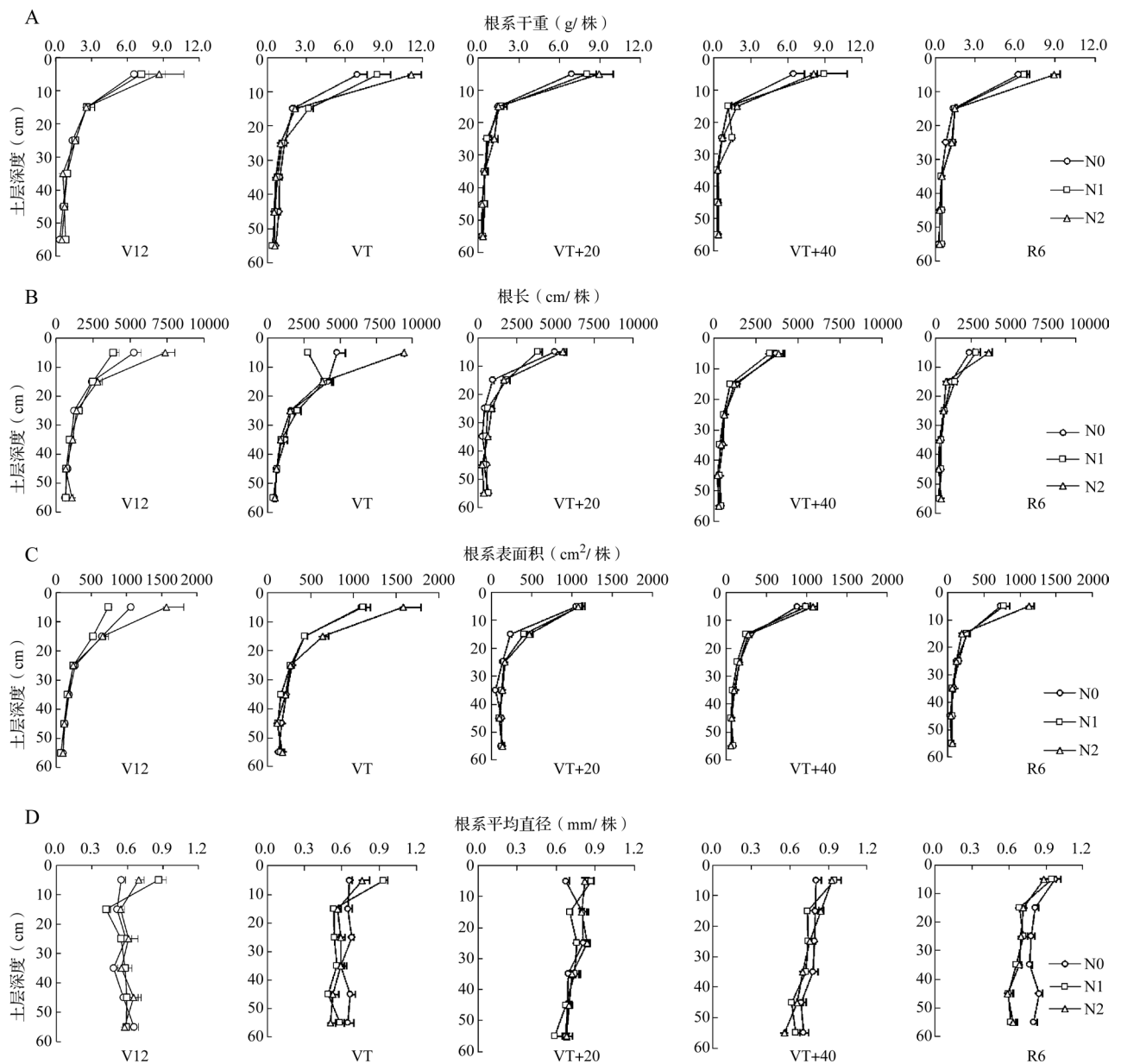


图 2 不同氮肥施用方式下玉米根系形态特征的空间分布 (2013 年)

看, 其在 12 展叶期、开花期和成熟期 0 ~ 10 cm 土层、花后 20 d 10 ~ 40 cm 土层均高于 N0 处理, 增幅为 24.7% ~ 173.8%, 而在花后 40 d 10 ~ 20、30 ~ 40 和 50 ~ 60 cm 土层和成熟期 10 ~ 20 和 30 ~ 40 cm 土层的根长和根表面积均有所降低, 降幅为 9.7% ~ 54.7%。综合分析表明, N2 处理促进了根系在表层土壤中的生长, 但随着土壤层次的加深, 其根长和根表面积则显著低于 N0 处理, 这与根干重的反应相一致。

2014 年各处理下根系形态与 2013 年稍有不同。N1 处理增加了 12 展叶期 0 ~ 30 cm 土层和开花期 0 ~ 10 cm 土层的根系干重, 增幅为

8.0% ~ 48.8%, 但在各生育期的其它土层, N1 处理均低于 N0 处理, 降幅为 1.3% ~ 47.6%; N2 处理与 N1 处理不同, N2 处理增加了 12 展叶期、花后 20 d 和成熟期 0 ~ 10 cm 土层的根系干重, 增幅为 19.4% ~ 57.2%, 开花期 0 ~ 40 cm 土层、花后 40 d 0 ~ 20 和 30 ~ 40 cm 土层的根系干重增加明显, 增幅为 2.2% ~ 75.1%。同时, 在 12 展叶期的 20 ~ 60 cm 土层、花后 20 d 10 ~ 30 cm 土层、花后 40 d 20 ~ 30 cm 土层和成熟期 10 ~ 20 cm 土层的根系干重均有所降低, 降幅为 8.4% ~ 30.8%。这表明在 12 展叶期, 氮肥一次性基施处理对根系的生长产生了抑制作用 (图 3A)。

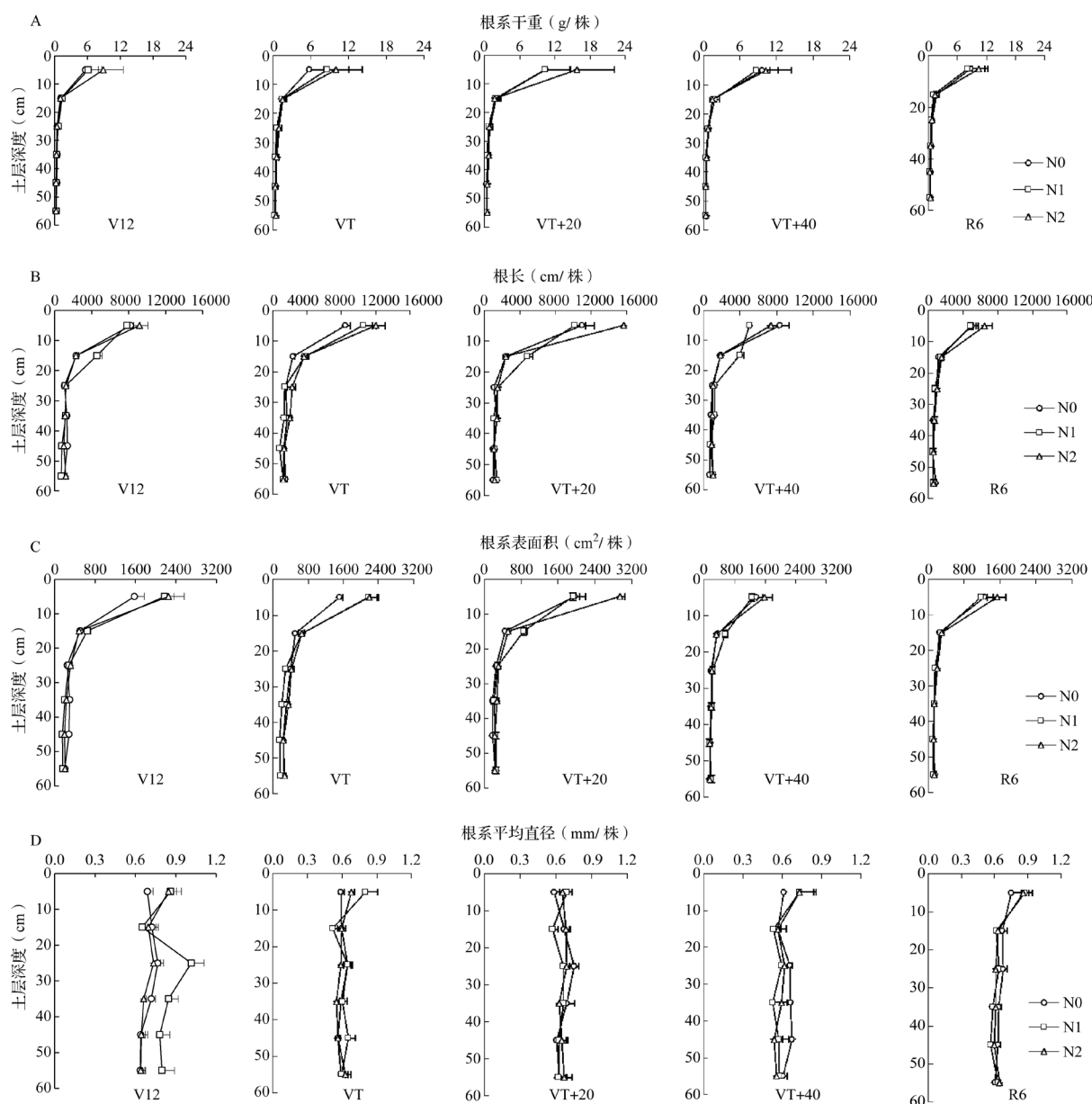


图 3 不同氮肥施用方式下玉米根系形态特征的空间分布 (2014 年)

从根长和根表面积来看(图3B, 4C), 与N0处理相比, N1处理在各生育时期土壤表层的根长和根表面积均有所增加, 在12展叶期和花后20 d 10 ~ 30 cm土层增加了9.8% ~ 98.0%, 在开花期0 ~ 20 cm土层、花后40 d 10 ~ 40 cm土层、成熟期10 ~ 20 cm土层增加了11.6% ~ 110.2%。N2处理提高了各生育时期土壤表层的根长和根表面积, 增幅为1.8% ~ 56.3%。不同处理下的根系平均直径在成熟期10 ~ 50 cm土层有较大差异(图3D), 表现为N0处理高于N1和N2处理, 增幅为4.5% ~ 11.2%。综上所述, 施氮处理均有利于表层土壤的根系建成, 但氮肥一次性基施处理对玉米成熟期0 ~ 10和20 ~ 30 cm土层的根系建成产生了抑制作用。

2.4 不同氮肥施用方式对土壤硝态氮的影响

如图4所示, 2013年降水较为丰沛, 施肥处理下0 ~ 60 cm土层硝态氮总含量均显著高于无氮区($P<0.05$)。随生育进程的推进, 在开花后期, N2处理硝态氮总含量显著高于N1处理, 增幅为110.9%, 其它生育时期无明显差异。从土层剖面硝态氮含量来看, N1处理在开花期40 ~ 60 cm土层、花后20 d 30 ~ 50 cm土层、成熟期0 ~ 30 cm土层的土壤硝态氮含量均高于N0和N2处理, 尤其在开花期40 ~ 50 cm土层, N1处理的平均硝态氮含量为14.3 mg/kg, 而N0处理的平均土壤硝态氮含量为0.5 mg/kg, 差异达显著水平($P<0.05$)。

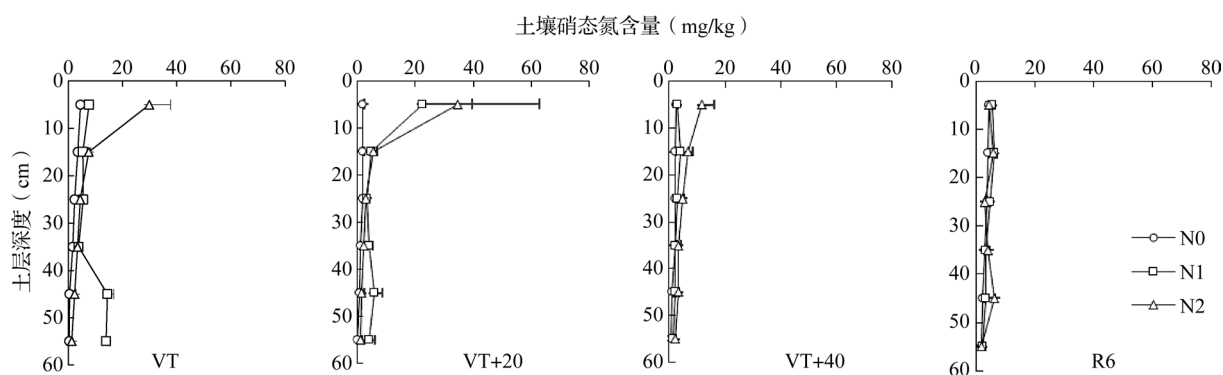


图4 不同氮肥施用方式对土壤硝态氮含量的影响(2013年)

如图5所示, 2014年降水较正常, 施肥处理在不同生育时期下的硝态氮总量均显著高于无氮区($P<0.05$)。在花后20 d, N2处理硝态氮总含量显著高于N1处理, 增幅为92.6%, 而在其他生育时期, N1处理硝态氮总含量均高于N2处理。从土层剖面硝态氮含量来看, N1处理在开花期20 ~ 60 cm、花后20 d和40 d 10 ~ 60 cm土层、成熟期0 ~ 60 cm

土层明显高于N2处理, 增幅在28.0%以上。N2处理在开花期、花后20 d和40 d 0 ~ 10 cm土层、成熟期10 ~ 20 cm土层的硝态氮含量高于N1处理, 增幅为8.6% ~ 530.2%。综合分析表明, N1处理在开花之后土壤中下层的硝态氮含量显著增加, 这可能与其前期氮肥一次性施入有关。

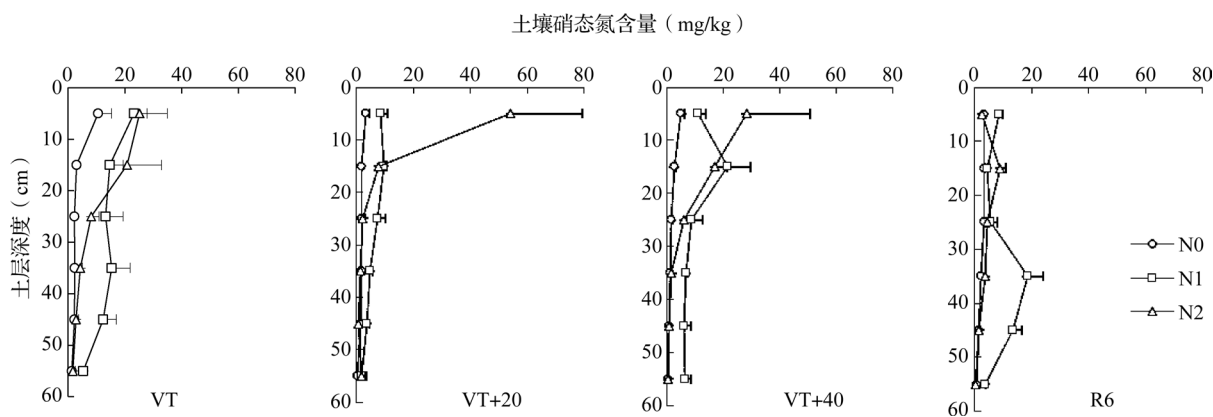


图5 不同氮肥施用方式对土壤硝态氮含量的影响(2014年)

3 讨论

3.1 不同氮肥施用方式对玉米根系生长的影响

良好的根系构建与发育是获得高产的关键因素^[22]。刘培利等^[23]研究表明,发育良好的根系表现为根系干重、根长、根表面积较大,且根系的发育动态更加合理,根系更易下扎,深层土壤的根量较多。寇太记等^[24]研究表明,拔节期至乳熟期玉米根系的根长和根表面积均随生育进程的推进呈单峰曲线变化,在抽雄吐丝期达最大值。本研究中,随着生育进程的推进,玉米的根系干重、根长和根表面积均呈先增加后降低的变化趋势,在开花期或花后 20 d 达到最大值。氮肥一次性基施受年际间的影响较大,而氮肥分次施用处理在年际间表现相对稳定,相对于氮肥一次性基施,氮肥分次施用处理在花后 20 d 和成熟期,其总根系干重、总根长和总根表面积增幅显著。从不同剖面的根系形态来看,N1 处理在 12 展叶期便对根系生长产生了抑制作用,而 N2 处理促进了根系在表层土壤的生长,但随着土层深度的增加,其根系干重、根长和根表面积低于 N0 处理。低氮促进根系生长,低氮条件下碳同化产物向根系分配比例明显增加,使地上部更多的碳向根系运输,根冠比变大^[25];本研究中,从根冠比来看,两年均表现为 N0 处理显著高于 N1 和 N2 处理 ($P<0.05$);从根系平均直径来看,在成熟期,无氮区比施氮处理平均增加 11.94%。可能是无氮区一直受到养分胁迫,再加上根部比地上部有着更有效的养分吸收作用,促进根系平均直径增大,造成过多的碳水化合物用于根系的生长,使根的绝对重量增加^[26]。

3.2 玉米根系对氮肥一次性施用和分次施用的响应

养分对根系生长的促进作用与生育期有关^[27],因此确定最佳施肥时期至关重要。在唐拴虎等^[28]的研究中,一次性施用肥料较常规分次施肥明显提高根系活力,而较高的根系活力能吸收深层土壤养分吸收并带到上层土壤中,且分次施肥的养分与作物生育需求较吻合^[29],可以提供持续的养分供应^[30]。在不同试验年份,氮肥分次施用处理在各生育时期的根系形态均优于氮肥一次性基施处理,其各生育时期的总根系干重、总根长和总根表面积比氮肥一次性基施处理平均增加了 17.1%。本研究中,与氮肥分次施用处理相比,在各生育时期,

氮肥一次性基施处理在土层 0 ~ 40 cm 的根系生长均受到抑制,其中在花后 20 d 和成熟期,0 ~ 40 cm 土层的根系干重、根长和根表面积分别减少 15.3%、7.9% 和 8.2%。结合袁静超等^[31]的研究,氮肥一次性基施使苗期施肥过量,且不能满足玉米后期氮素养分的需求,根系的生长量因此降低,从而减弱根系向深层土壤下扎的能力。氮肥施入方式对根系的影响受年际间变化影响显著。在雨量丰沛的年份,氮肥一次性投入后,氮肥一次性基施处理抑制了 12 展叶期和开花期的总根长和总根表面积,从不同土层剖面来看,主要是降低了 12 展叶期 30 ~ 50 cm 土层和开花期 30 ~ 40 cm 土层的根长和根表面积,降幅为 9.5% ~ 30.1%;在降雨正常的年份,氮肥一次性基施处理从花期开始,对玉米根系干重的积累产生了抑制作用,各土层的根系干重均低于无氮区,降幅为 1.3% ~ 47.6%。氮肥一次性基施处理抑制了成熟期的总根长和总根表面积,具体表现为在成熟期 0 ~ 30 cm 土层,降幅为 3.8% ~ 12.3%。与氮肥分次施用处理相比,氮肥一次性基施处理受年际间变化影响较大,氮肥分次施用处理在年际间表现稳定,均改善了根系总干重、总根长和总根表面积,利于根系建成。

4 结论

增施氮肥显著提高玉米产量、干物质累积量和吸氮量。2013 和 2014 年,施肥处理下的产量增幅为 122.0% ~ 177.9%,生物量增幅为 76.3% ~ 127.8%,吸氮量增幅为 191.0% ~ 272.4%。低氮促进了过多碳水化合物用于根系的生长,使根冠比增大;随着生育进程的推进,氮肥一次性基施对根系生长产生抑制作用,但年际间差异显著,降雨丰沛年份,在 12 展叶期根系生长即出现抑制情况。氮肥分次施用处理下根系在各生育期的空间分布上均显著优于氮肥一次性基施。综合分析表明,氮肥分次施用年际间表现稳定,促进根系的纵深分布,更有利于养分的吸收,进而实现玉米高产稳产。

参考文献:

- [1] 郭庆法,王庆成,汪黎明. 中国玉米栽培学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004. 1-3.
- [2] 李少昆. 当前玉米生产中存在的主要问题与对策 [J]. 中国农业信息, 2008 (6): 37-38.
- [3] 郭庆海. 吉林省玉米产业发展面临的问题及对策 [J]. 玉米

- 科学, 2011, 19 (5): 128-133.
- [4] 国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [5] 叶盛. 粮食金融化与粮食价格: 影响关系与传导路径 [D]. 重庆: 西南大学, 2019.
- [6] 蔡红光, 米国华, 张秀芝, 等. 不同施肥方式对东北黑土春玉米连作体系土壤氮素平衡的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (1): 89-97.
- [7] Nyiraneza J, Dayegamiye A N, Chantigny M H, et al. Variations in corn yield and nitrogen uptake in relation to soil attributes and nitrogen availability indices [J]. Soil Science Society of America Journal, 2009, 73: 317-327.
- [8] 吕殿青, 同延安, 孙本华, 等. 氮肥施用对环境污染影响的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4 (1): 8-15.
- [9] 王宜伦, 李潮海, 何萍, 等. 超高产夏玉米养分限制因子及养分吸收积累规律研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (3): 559-566.
- [10] 王宜伦, 李潮海, 谭金芳, 等. 超高产夏玉米植株氮素积累特征及氮肥一次性基施效果研究 [J]. 中国农业科学, 2010, 43 (15): 3151-3158.
- [11] 高强, 李德忠, 黄立华, 等. 吉林玉米带玉米氮肥一次性基施现状调查分析 [J]. 吉林农业大学学报, 2008, 30 (3): 301-305.
- [12] 高强, 蔡红光, 黄立华, 等. 吉林省半干旱地区春玉米连作体系氮素平衡研究 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2009, 37 (8): 1-6.
- [13] 刘占军, 谢佳贵, 张宽, 等. 不同氮肥管理对吉林春玉米生长发育和养分吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17 (1): 38-47.
- [14] 王激情, 马文奇, 江荣凤, 等. 我国水稻、小麦、玉米基肥和追肥用量及比例分析 [J]. 土壤通报, 2008, 39 (2): 329-334.
- [15] 吕鹏, 张吉旺, 刘伟, 等. 施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响 [J]. 生态学报, 2013, 33 (2): 576-585.
- [16] 安景文, 汪仁, 包红静, 等. 不同肥料配方氮肥一次性基施对玉米产量和养分吸收的影响 [J]. 土壤通报, 2008, 39 (4): 874-877.
- [17] 高强, 李德忠, 汪娟娟, 等. 春玉米氮肥一次性基施效果研究 [J]. 玉米科学, 2007 (4): 125-128.
- [18] 葛均筑, 展茗, 赵明, 等. 氮肥一次性基施对长江中游春玉米产量及养分利用效率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19 (5): 1073-1082.
- [19] Hernán R, Sainz R, Hernán E, et al. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize [J]. Agronomy Journal, 2004, 96 (6): 1622.
- [20] 李文娟, 何萍, 金继运. 钾素营养对玉米生育后期干物质和养分积累与转运的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (4): 799-807.
- [21] 战秀梅, 李亭亭, 韩晓日, 等. 不同施肥方式对春玉米产量、效益及氮素吸收和利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17 (4): 861-868.
- [22] 黄建军, 赵明, 刘娟, 等. 不同抗倒能力玉米品种物质生产与分配及产量性状研究 [J]. 玉米科学, 2009, 17 (4): 82-88, 93.
- [23] 刘培利, 林琪, 隋方功, 等. 紧凑型玉米根系高产特性的研究 [J]. 玉米科学, 1994, 2 (1): 59-63.
- [24] 寇太记, 郭金瑞, 宋振伟, 等. 不同种植密度下东北春玉米根系特征及其干物质积累的差异比较 [J]. 玉米科学, 2013, 21 (1): 51-56.
- [25] 吴秋平, 陈范骏, 陈延玲, 等. 1973-2009 年中国玉米品种演替过程中根系性状及其对氮的响应的变化 [J]. 中国科学 (生命科学), 2011, 41 (6): 472-480.
- [26] Anderson E L. Tillage and N fertilization effects on maize root growth and root: shoot ratio [J]. Plant and Soil, 1988, 108 (2): 245-251.
- [27] 陈磊, 宋书会, 云鹏, 等. 连续三年减施氮肥对潮土玉米生长及根际土壤氮素供应的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (9): 1482-1494.
- [28] 唐拴虎, 徐培智, 陈建生, 等. 一次性施用控释肥对水稻根系活力及养分吸收特性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (4): 591-596.
- [29] 高佳妮, 周怀平, 杨振兴, 等. 长期施肥对褐土剖面水溶态磷分布特征的影响 [J]. 山西农业科学, 2020, 48 (10): 1617-1620, 1675.
- [30] 唐拴虎, 谢春生, 孙小文, 等. 水稻施用控释肥料生长效应研究 [J]. 中国农学通报, 2004 (1): 149-151, 164.
- [31] 袁静超, 刘剑钊, 闫孝贡, 等. 春玉米连作体系高产栽培模式优化研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24 (1): 53-62.

Characteristics of temporal and spatial distribution for root morphology in maize under different nitrogen application conditions

ZHAN Wen-jie^{1, 2}, CHEN Yi-hao^{1#}, ZENG Zi-hao¹, ZHANG Chang¹, ZHANG Shui-mei¹, CHENG Song¹, LIANG Yao¹, YUAN Jing-chao¹, REN Jun¹, LIU Jian-zhao^{1*}, CAI Hong-guang¹ (1. Key Laboratory of Plant Nutrition and Agro-Environment in Northeast Region, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun Jilin 130033; 2. Agricultural Resources and Environment Institute College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing Jiangsu 210095)

Abstract: The distribution characteristics of maize root system in different soil layers of 0 ~ 60 cm with different nitrogen fertilizer application modes, as well as the changes of overground yield and nitrogen accumulation were analyzed, so as to provide theoretical basis for rational nitrogen fertilizer application. Four years of field experiment was conducted with Xianyu 335 as the experimental variety. Three treatments were set up: no nitrogen application (N0), the single basal application of 200 kg/hm² nitrogen fertilizer as base fertilizer (N1), 50 kg/hm² nitrogen fertilizer as base fertilizer and 150 kg/hm² applied at jointing phase, with a total of 200 kg/hm² (N2). The dynamic changes of dry weight, root length, root surface area and average diameter of root and the accumulation of dry matter and nitrogen in the mature period were measured. The yield, dry matter accumulation and nitrogen uptake of maize were significantly increased by nitrogen application. The yield, biomass and nitrogen uptake increased by 122.0% ~ 177.9%, 76.3% ~ 127.8%, 191.0% ~ 272.4%, respectively. Low nitrogen promoted root growth and increased root to shoot ratio, in 2013 and 2014, and the root to shoot ratios of N0 increased by 62.5% and 79.3%, 75.8% and 75.8%, respectively, compared with N1 and N2 treatments. With the development of the growth process, compared with N0, N1 had an inhibitory effect on root growth, but the difference between years was significant: in years with abundant rainfall, root growth was inhibited at the 12-leaf stage, root length and root surface area of 0 ~ 50 cm soil layer were inhibited, with a decrease of 10.4% ~ 43.0%; In normal rainfall years, root growth in all soil layers was inhibited at the flowering stage, with a decrease of 1.3% ~ 47.6%. Compared with N2, the dynamic growth of roots in the 0 ~ 40 cm soil layer was inhibited under N1, and the dry weight, root length and root surface area of roots in the 0 ~ 40 cm soil layer were reduced by 15.3%, 7.9% and 8.2%, respectively, at 20 days after flowering and maturity stage. The spatial distribution of roots in each growth stage in N2 was significantly better than that in N0 and N1, and the root showed the most significant effect at 20 days after flowering. The divided application of nitrogen fertilizer optimized the root morphology, promoted the deep distribution of the root system, and was more conducive to the absorption of nutrients. Moreover, it showed a stable interannual performance, which was a reasonable fertilization method to obtain high and stable yield of spring maize.

Key words: nitrogen fertilizer application; maize; root system; yield