

施氮量对滴灌超高产春玉米根系 时空分布及产量的影响

楚光红¹, 章建新¹, 高 阳¹, 傅积海¹, 唐长青², 王 娜³

(1.新疆农业大学农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2.阿克苏地区农业技术推广中心, 新疆 阿克苏 843000;

3.伊宁县农业技术推广中心, 新疆 伊宁 835100)

摘 要: 为探究不同施氮量对北疆滴灌超高产春玉米根系生长时空分布特征的影响, 采用土壤剖面取样法大田研究了0、150、300、375和450 kg·hm⁻² 5个施氮水平对春玉米0~60 cm土层根系生长及产量的影响。结果表明, 滴灌超高产春玉米根干重和根长度主要集中在0~20 cm土层, 且生育期内表现为先升高而后降低变化, 吐丝期达到峰值。增加施氮量显著提高各土层根干重密度和根长密度。大喇叭口期配合吐丝期施氮可明显延缓春玉米各土层根系衰老, 特别是显著提高灌浆期20~60 cm土层根系活力。当施氮量在300 kg·hm⁻²左右时, 春玉米根系长势相对较好, 此时农学利用率为13.8 kg·kg⁻¹, 籽粒产量为17 117 kg·hm⁻², 较缺氮处理增产32.10%。若继续增加施氮量, 各土层根系参数表现为降低变化趋势, 且增产不显著, 农学效率明显降低。综合考虑, 该地区春玉米获取超高产的适宜施氮量可确定为拔节期结合大喇叭口期配合吐丝期施氮300 kg·hm⁻²。

关键词: 施氮量; 春玉米; 根系; 时空分布; 产量

中图分类号: S513.062 **文献标志码:** A

Effects of nitrogen application rate on temporal and spatial distribution characteristics of super-high yield spring maize root and yield under drip irrigation

CHU Guang-hong¹, ZHANG Jian-xin¹, GAO Yang¹, FU Ji-hai¹, TANG Chang-qing², WANG Na³

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

2. Center of Spreading Agricultural Technique of Aksu Prefecture, Aksu, Xinjiang 843000, China;

3. Center of Spreading Agricultural Technique of Yining County, Yili, Xinjiang 835100, China)

Abstract: To explore the effect of different nitrogen fertilizer on root distribution law of super-high-yield spring maize under drip irrigation. Five nitrogen levels (0, 150, 300, 375, 450 kg·hm⁻²) were used in the experiment to investigate the effect of root growth in 60 cm soil depth and yield of Spring Maize by soil profile sampling method. The results showed that, root dry weight and root length of super-high-yield spring maize were mainly concentrated in the 0~20 cm soil layer, and decreased after the first increase in the whole growth period, while the maximum was reached at the silking stage. Dry weight density and root length density of each layer significantly increased with nitrogen increase. Applying nitrogen can delay root senescence of Spring Maize in different soil layers significantly during booting with silking stage, especially the root activity increased significantly during grain filling period in 20~60 cm soil layer. When the amount of nitrogen fertilizer was 300 kg·hm⁻², the root growth of spring maize was better, and the agronomic efficiency was up to 13.8 kg·kg⁻¹, meanwhile, the grain yield was 17 117 kg·hm⁻², and the yield increased by 32.10%. When we continued to increase the amount of nitrogen fertilizer, the yield increase was not significant, and the root trait of each soil parameter showed a decrease trend of change. Comprehensive consideration, the suitable nitrogen amount would be 300 kg·hm⁻² at booting and silking stage, so that high

yield can be achieved.

Keywords: nitrogen rate; spring maize; root system; temporal and spatial distribution; yield

根系是作物生长的重要器官,与产量形成密切相关。庞大的根系结构和较高的根系活力往往是作物获得高产的前提^[1-2]。根系对作物的作用不仅取决于其生物总量的多少,还取决于它们的空间分布特征^[3-5]。玉米栽培生产中,其根系生长不仅取决于自身品种特性,还受到土壤、气候、地理位置等生态因子,以及耕作过程中灌水和施肥等方式的影响^[6-8]。前人研究发现,玉米生产中合理施用氮肥可显著提高玉米根干重、根长、根系吸收面积,有效延缓根系衰老,延长根系养分吸收活跃期,提高根系对土壤养分和水分的吸收能力,协调根系与茎叶籽粒之间的功能平衡,促进叶片进行光合物质生产、积累和转运,提高籽粒产量^[9-11]。因此,明确氮肥对玉米根系生长的影响规律对玉米生产意义重大。

近年来,随着滴灌技术的快速发展与推广,水肥一体化的栽培技术在玉米生产中得到了广泛应用。与此同时,相关滴灌模式下的玉米施肥技术研究得以全面展开。就目前而言,对于玉米滴灌施肥技术的研究大多着重于地上部分光合生理变化、干物质积累转运和产量相关的研究,而对于玉米根系生长特性的研究相对较少,特别是对滴灌超高产春玉米根系生长的研究相对缺乏。本文以氮肥为试验因子,分析了不同施氮量对滴灌超高产春玉米根系生长时空分布特征的影响,旨在为滴灌超高产春玉米生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2014 年在新疆伊犁哈萨克自治州伊宁县萨地克于孜乡进行(半干旱性气候)。供试土壤为壤土,0~20 cm 土层基础肥力:有机质 20.3 g·kg⁻¹,碱解氮 73.92 mg·kg⁻¹,速效磷 11.5 mg·kg⁻¹,速效钾 97 mg·kg⁻¹,pH 8.5。播前随翻耕施入重过磷酸钙 150 kg·hm⁻²。

1.2 试验设计

试验共设置 5 个氮素水平(肥料为尿素)详见表 1,随机区组排列,3 次重复。小区面积 32 m²,8 行,行长 8 m,株距 20 cm,行距 50 cm。供试材料为紧凑型春玉米品种新引 KWS 2564。4 月 24 日人工拉线点播,5 叶期中耕定苗,理论留苗 10×10⁴株·

hm⁻²。灌水方式为滴灌,毛管按“一管两行”铺设在两行中间,全生育期不覆盖地膜。生育期内共滴水 4 次(6 月 17 日、7 月 3 日、7 月 18 日和 8 月 3 日),滴水总量为 3 075 m³·hm⁻²。其它管理措施同大田。

表 1 氮肥用量设计

处理 Treatment	纯氮用量及施用时期/(kg·hm ⁻²) Fertilizer rate and stage			
	拔节期 V5 (6 月 17 日)	大喇叭口期 V12 (7 月 2 日)	吐丝期 R1 (7 月 17 日)	总合 Total
N ₀	0	0	0	0
N ₁₅₀	150	0	0	150
N ₃₀₀	150	150	0	300
N ₃₇₅	150	150	75	375
N ₄₅₀	150	150	150	450

1.3 测定项目与方法

分别于拔节期(V5)、大喇叭口期(V12)、吐丝期(R1)、乳熟期(R3)、成熟期(R6)进行取样,每小区选取有代表性植株 3 株,将地上部取下后进行根系取样。地上部分按器官分样,105℃杀青 30 min,80℃烘至恒重并称重。根系取样采用土壤剖面法,将土层划分为 0~20、20~40 cm 和 40~60 cm 三个层次,以植株为中心取长 0.5 m×0.2 m 面积内全部土壤,土壤挖出后装入网袋低压水枪冲洗根系,剔除杂质,迅速吸干根系样品表面水分,并采用李合生的 TTC 法测定各层根系活力,同时测定根系长度。将根样烘干称重并计算根干重密度和根长密度。成熟时每小区去除边行及两端 2 m 后,选取中间 4 行 4 m 长的玉米果穗全部收获测定产量,另选连续 20 果穗进行考种(籽粒产量按含水率 14%折算成实际产量)。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2013 和 DPS 7.05 软件进行数据处理和统计分析,并绘制成图表。

2 结果与分析

2.1 施氮量对春玉米根干重及根干重密度的影响

由图 1 可知,春玉米根干重主要集中在 0~20 cm 土层,其次是 20~40 cm 土层,40~60 cm 土层最少,分别占总根干重的 87.37%,10.56%和 2.07%。增加施氮量显著增加春玉米各土层根干重密度。乳熟期时处理间 0~20 cm 土层根干重密度表现为 N₃₀₀>N₁₅₀>N₀,处理 N₃₀₀根干重密度显著高于 N₀ 和

N_{150} , 分别高出 62.00% 和 45.58%, 而 N_{300} , N_{375} 和 N_{450} 间无显著差异, 说明当施氮量超过 $300\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时对春玉米灌浆期的根系干物质积累量增加无显著效果。

2.2 施氮量对春玉米根长及根长密度的影响

由图 2 可知, 春玉米各土层根系长度分布规律同根干重分布规律基本一致, 即 $0\sim20\text{ cm}>20\sim40\text{ cm}>40\sim60\text{ cm}$, 分别占到总根长的 57.41%、25.44% 和 17.15%。施氮量不同导致处理间根系长度差异

显著。乳熟期时以处理 N_{375} 各土层根长密度数值最大, 显著高于处理 N_0 和 N_{150} , $0\sim20$ 、 $20\sim40\text{ cm}$ 和 $40\sim60\text{ cm}$ 的根长密度较处理 N_0 分别高出 142.37%、121.35% 和 123.36%, 但与处理 N_{300} 和 N_{450} 之间无显著性差异。说明, 增加施氮量可以显著提高春玉米各土层根系长度, 当施氮量超过 $300\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 氮肥对根系的伸长无显著促进作用。

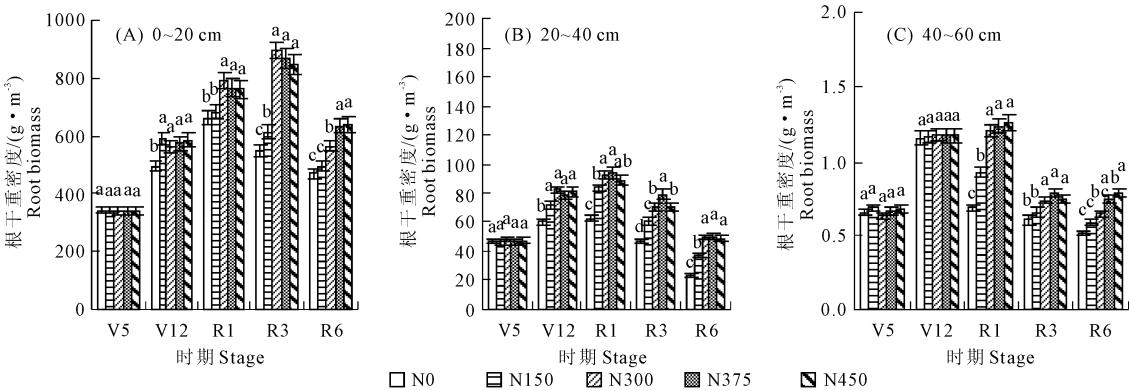


图 1 春玉米不同处理不同土层根系干重密度动态变化

Fig.1 Change of spring maize root dry weight density among all treatments in different soil layer

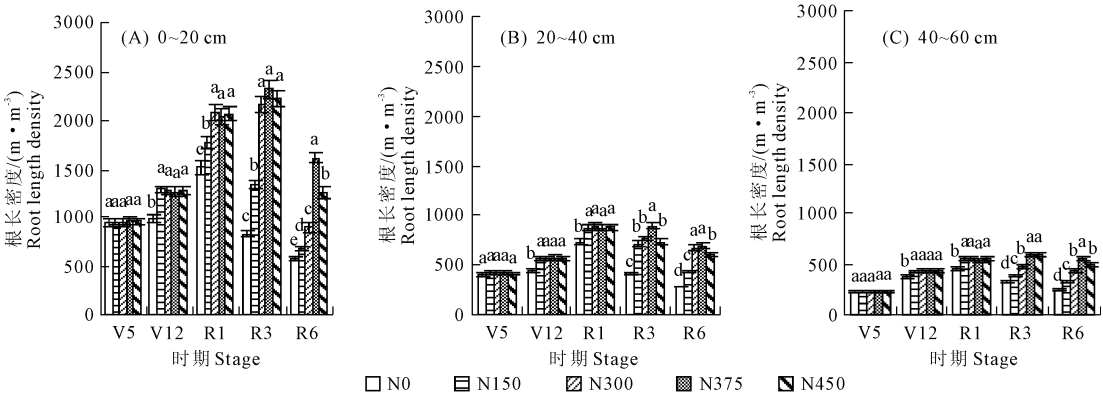


图 2 春玉米不同处理不同土层根长密度动态变化

Fig.2 Change of spring maize root length density among all treatments in different soil layer

2.3 施氮量对春玉米根系活力的影响

由图 3 可知, 增加施氮量显著提高春玉米生育期内各土层根系活力。乳熟期时 $0\sim20\text{ cm}$ 土层根系活力以处理 N_{300} 数值最高, 三个土层根系活力较处理 N_0 分别高 532.76%、129.96% 和 81.91%, 且明显高于处理 N_{375} 和 N_{450} 。 $20\sim40\text{ cm}$ 、 $40\sim60\text{ cm}$ 土层根系活力均以处理 N_{375} 数值最高, 显著高于处理 N_0 和 N_{150} , $0\sim20$ 、 $20\sim40\text{ cm}$ 和 $40\sim60\text{ cm}$ 的根系活力较处理 N_0 分别高出 52.58%、41.04% 和 113.71%, 但与处理 N_{300} 和 N_{450} 之间无显著性差异。虽然处理 N_{375} 对 $20\sim60\text{ cm}$ 土层根系活力的促进作用明显高于处理 N_{300} , 但在 $20\sim60\text{ cm}$ 土层根干重水平相对 0

$\sim20\text{ cm}$ 土层根干重较低情况下, 处理 N_{375} 对整个根系活力的促进作用就不如处理 N_{300} 那么明显。说明, 施氮量为 $300\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时更有利于提高春玉米根系对养分和水分的吸收能力。

2.4 施氮量对春玉米总根干重及根冠比的影响

由表 2 可知, 春玉米生育期内总根干重呈先升高后降低变化。施氮显著提高春玉米各时期总根干重, 明显推迟其峰值出现的时间, 处理 N_0 和 N_{150} 总根干重在吐丝期达峰值, 处理 N_{300} 、 N_{375} 和 N_{450} 总根干重在乳熟期达峰值。随施氮量的增加, 春玉米总根干重呈递增变化, 当施氮量超过 $300\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 增加不再显著, 乳熟期时处理间总根干重表现

为 $N_{300}(N_{375}, N_{450}) > N_{150} > N_0$ 。处理 N_{300} 总根干重显著高于 N_0 和 N_{150} , 分别高出 55.06% 和 36.88%。生育期内春玉米根冠比值呈下降变化, 增加施氮量对春玉米根冠比值无太大影响, 同一生育期处理间根冠比值均无显著差异。说明施氮对春玉米根系和地上的促进作用是同步的, 较大的根系生物量和较高的根系活力是地上部旺盛生长的基础。

2.5 施氮量对春玉米产量及氮肥利用效率的影响

由表 3 可知, 增加施氮量显著增加春玉米穗粒数、千粒重和产量, 且处理 N_{450} 、 N_{375} 和 N_{300} 均显著高于 N_{150} 和 N_0 。处理 N_{450} 、 N_{375} 和 N_{300} 穗粒数分别较

N_0 增加 10.2%、9.9%、9.0%, 千粒重分别较 N_0 增加 13.5%、11.6%、9.8%, 产量分别较 N_0 增加 39.9%、33.0%、32.2%。但随着施氮量的增加, 氮肥农学利用效率和氮肥偏生产力呈现降低趋势。当施氮量为 $300\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时产量为 $17\ 000\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 此时农学效率、氮肥偏生产力和氮肥利用率均较高, 分别为 $13.79\text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $56.68\text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 50.05%, 若继续增加施氮量, 穗粒数、千粒重和产量增加不显著, 且农学利用效率、氮肥偏生产力和氮肥利用率持续降低, 不利于农业生产。

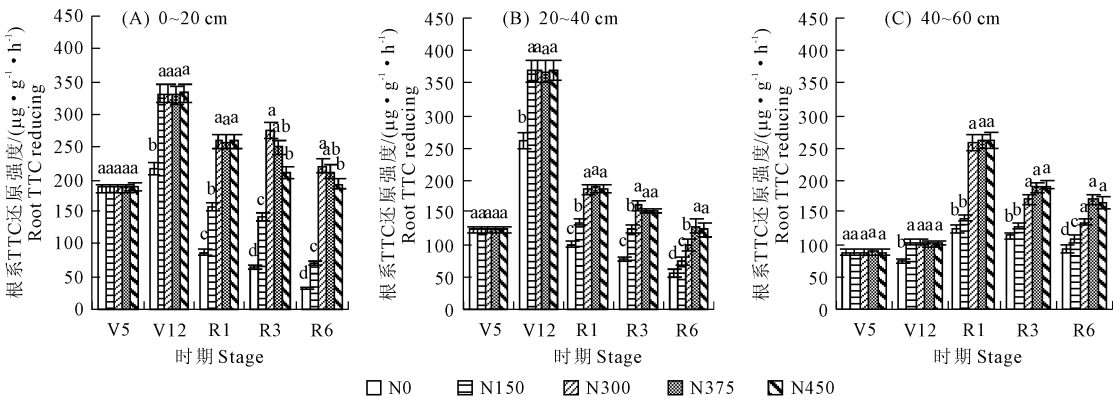


图 3 春玉米不同处理不同土层根系活力动态变化
Fig.3 Change of spring maize root activity among all treatments in different soil layer

表 2 春玉米根干重及根冠比动态变化

处理 Treatment	总根干重/(g · plant ⁻¹) Total dry root weight					根冠比 Root to top radio				
	V5	V12	R1	R3	R6	V5	V12	R1	R3	R6
N ₀	8.40a	12.35b	15.87b	12.95c	10.25d	0.35a	0.14a	0.12a	0.07b	0.04a
N ₁₅₀	8.39a	14.43a	15.91b	14.67b	11.29c	0.35a	0.14a	0.11a	0.07b	0.04a
N ₃₀₀	8.33a	14.15a	18.49a	20.08a	11.98b	0.35a	0.14a	0.12a	0.09a	0.04a
N ₃₇₅	8.38a	14.29a	18.04a	19.68a	14.45a	0.35a	0.13a	0.11a	0.08b	0.04a
N ₄₅₀	8.33a	14.53a	17.79a	19.12a	14.60a	0.35a	0.14a	0.11a	0.07b	0.04a

注:不同的小写字母表示在 5%水平上差异显著。下同。
Note: Different lowercase letters meant significant difference at 0.05 level. The same as below.

表 3 产量构成因素及氮肥利用效率

处理 Treatment	穗数 Spike No. /(穗 · hm ⁻²)	穗粒数 Kernel No /粒	千粒重 1000-Weight /g	产量 Yield /(kg · hm ⁻²)	氮肥农学效率 NAE /(kg · kg ⁻¹)	氮肥偏生产力 NPEP /(kg · kg ⁻¹)	氮肥利用率 NUE /%
N ₀	96486.0a	553.7c	269.4c	12865.7c	—	—	—
N ₁₅₀	97285.0a	577.7b	274.8b	15390.7b	16.8a	102.6a	55.087a
N ₃₀₀	97375.0a	603.6a	295.9a	17002.6a	13.8b	56.7b	51.46b
N ₃₇₅	97390.0a	608.5a	300.6a	17117.2a	11.3c	45.7c	50.05bc
N ₄₅₀	97372.0a	610.4a	305.7a	18002.7a	11.4c	40.0c	43.13c

3 讨 论

作物产量与根系生长发育密切相关,发达的根

系总是伴随着地上部的旺盛生长并获得高产。张玉芹等^[12]研究发现,超高产春玉米深层根系占总根重比例较大,最大根幅明显下移,下层土壤根条数

增加,且随土层深度增加与对照的差异增大。齐文增等^[13]研究发现,吐丝期和乳熟期是玉米干物质积累和产量形成的关键时期。因此,通过增加深层土壤中的根系分布有利于玉米干物质积累而获得超高产。本研究结果表明,滴灌条件下春玉米根干重主要集中在 0~20 cm 土层,占到总量的 80%左右,且随施氮量的增加总根重呈上升趋势。同时本研究还表明,吐丝前施氮是构建春玉米根系结构的关键时期,而吐丝后施氮对根系的影响不如吐丝前明显,当施氮量超过 300 kg·hm⁻²时,处理间各土层根干重密度和根长密度均未表现出显著性差异。

根系活力及其生理活性是衡量作物根系对养分吸收能力的重要指标。根系活力大,生理活性强,意味着根系对养分吸收能力强,特别是在春玉米生育后期有利于地上部分维持正常的生理功能,保证籽粒灌浆充分。然而,不同时期和不同深度的根系活力和活性对籽粒生产的作用不同。王启现等^[14]研究发现,施氮较不施氮显著增加春玉米根系活力,且以施氮量和施氮期时期处理效果显著。追加施氮量对根系活力的影响主要是上层土层的根系(0~40 cm),而推迟施氮期,粗根系活力降低,但细根活力增加,且上层(0~40 cm)土层根系活力增加,而 40 cm 以下土层根系活力不受施氮期影响。本研究表明,施氮量 300 kg·hm⁻²作用时,春玉米 0~60cm 深各土层根系活力均显著得到提高,吐丝期增施氮肥,底层(40~60 cm)根系活力提高尤为明显,显著高于处理 N₀ 和 N₁₅₀,说明滴灌模式下适当增加吐丝期施氮量也是实现春玉米超高产的关键^[14]。

增加密度和优化施氮是实现玉米超高产的 2 个关键技术。本试验为高密(10×10⁴株·hm⁻²)种植,在不施基肥的情况下,利用滴灌施肥技术分别于春玉米拔节期、大喇叭口期和吐丝期追施不等量氮肥,成熟期籽粒产量依然达 17 002.65~18 002.71 kg·hm⁻²。其原因是合理分配氮肥施用时期和用量,保证了春玉米吐丝前建立良好的根系结构,灌浆期 0~60 cm 根系具有较高的吸收活力,有效延缓了根系过度衰老,增强根系对水分和养分的吸收,维持了地上部正常的光合物质生产和转运。并且本研究还发现,处理 N₄₅₀ 的根系活力在灌浆期受到抑制作用,尤其是吸收较活跃的 20~40 cm 土层根系抑制作用尤为明显,这说明,吐丝期过多的增加氮肥比例并不利于超高产春玉米根系的生长。

4 结 论

各施氮春玉米根干重密度和根长密度随生育

进程推移表现先增加后降低变化,且根干重主要集中在 0~20 cm 土层。增加施氮量显著提高春玉米根干物质积累量,拔节期和大喇叭口期施氮主要促进春玉米构建合理的冠层结构和根系结构,而吐丝期施氮显著提高春玉米灌浆期深层(20~60 cm)根系对养分和水分的吸收能力。当施氮量为 300 kg·hm⁻²左右时春玉米根系长势最好,农学利用率较高为 13.8 kg·kg⁻¹,籽粒产量达 17 002 kg·hm⁻²,较不施氮处理增产显著,平均增产 32.10%。如继续增加施氮量,各施氮处理间的根干重和根系活力均无显著性差异,当施氮量增加到 450 kg·hm⁻²时,根系生长表现出抑制作用;且农学利用效率及氮肥偏生产效率均明显下降。因此本试验地区滴灌春玉米种植施肥方式可确定为拔节期结合大喇叭口期配合吐丝期施氮 300 kg·hm⁻²。

参 考 文 献:

[1] 王玉贞,李维岳,尹枝瑞.玉米根系与产量关系的研究进展[J].吉林农业科学,1999,24(4):6-8,21.

[2] 鄂玉江,戴俊英,顾慰连.玉米根系的生长规律及其与产量关系的研究 I.玉米根系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.

[3] 管建慧,刘克礼,郭新宇.玉米根系构型的研究进展[J].玉米科学,2006,14(6):162-166.

[4] 刘胜群,宋风斌,王 燕.玉米根系性状与地上部性状的相关性研究[J].吉林农业大学学报,2007,29(1):1-6.

[5] 米国华,陈范骏,吴秋平,等.玉米高效吸收氮素的理想根构型[J].中国科学:生命科学,2010,40(12):1112-1116.

[6] 戚廷香,梁文科,阎素红,等.玉米不同品种根系分布和干物质[J].玉米科学,2003,11(3):76-79.

[7] 张旭丽,李 洪.玉米根系与环境条件的关系[J].山西农业科学,2010,38(7):120-122,126.

[8] 吴春胜,宋 日,李健毅,等.栽培措施对玉米根系生长状况影响[J].玉米科学,2001,9(2):56-58.

[9] 漆栋良,吴 雪,胡田田.施氮方式对玉米根系生长、产量和氮素利用的影响[J].中国农业科学,2014,47(14):2804-2813.

[10] 张 玉,秦华东,伍龙梅,等.玉米根系生长特性及氮肥运筹对根系生长的影响[J].中国农业大学学报,2014,19(6):62-70.

[11] Jing J, Zhang F, Rengel Z, et al. Localized fertilization with P plus N elicits an ammonium-dependent enhancement of maize root growth and nutrient uptake[J]. Field Crops Research, 2012, 133:176-185.

[12] 张玉芹,杨恒山,高聚林,等.超高产春玉米的根系特征[J].作物学报,2011,37(4):735-743.

[13] 齐文增,刘惠惠,李 耕,等.超高产夏玉米根系时空分布特性[J].植物营养与肥料学报,2012,18(1):69-76.

[14] 王启现,王 璞,杨相勇,等.不同施氮时期对玉米根系分布及其活性的影响[J].中国农业科学,2003,36(12):1469-1475.