

冀保毅,李传保,雷振山,等.单株限域定量施肥条件下施氮量对夏玉米产量及氮效率的影响[J].江苏农业科学,2018,46(12):52-55.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.12.011

单株限域定量施肥条件下施氮量对夏玉米产量及氮效率的影响

冀保毅,李传保,雷振山,李跃伟,卫云飞,胡汉升

(信阳农林学院,河南信阳 464000)

摘要:以玉米品种浚单 20 为材料,通过 2 年的大田试验研究单株限域定量施肥条件下不同施氮量对夏玉米产量和氮肥利用效率的影响。试验设置 6 个施氮量水平,采用单因素随机区组设计开展大田试验。结果表明,在单株限域定量施肥条件下,合理施氮能够显著提高玉米籽粒产量;2016 年夏玉米产量随着施氮量增加呈现出先增加后降低的趋势;施氮量为 210 kg/hm^2 时,夏玉米产量最高,为 $6\,817.64 \text{ kg/hm}^2$;施氮量为 269.83 kg/hm^2 时,夏玉米植株氮素积累量最高,为 162.91 kg/hm^2 ;夏玉米的氮肥利用效率随着施氮量的增加而下降。在该试验条件下,夏玉米的氮素推荐量应控制在 $180 \sim 240 \text{ kg/hm}^2$ 之间,比当地习惯施氮量减少 $20\% \sim 40\%$ 。

关键词:夏玉米;单株限域定量施肥;施氮量;氮素利用率

中图分类号:S365;S513.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)12-0052-03

玉米是我国的主要粮食作物之一,自 2007 年起玉米播种面积超过水稻成为我国播种面积最大的粮食作物。中国种植业信息网农作物数据库中的信息表明,2015 年我国玉米播种面积为 $3\,811.9 \text{ 万 hm}^2$,总产量达 $22\,463.16 \text{ 万 t}$ 。在中国粮食生产面临生产和环境双重成本约束的条件下,种植户亟需新型夏玉米高效施肥技术来实现当前的“减肥减药”行动目标。夏玉米产量高低与施氮量多少相关^[1],随着施氮量的增加,其产量会随之增加^[2]。但是施氮量过高,夏玉米的氮素利用率和产量将会降低^[3],甚至带来环境污染^[4]。为提高氮素利用效率,前人提出了分次施肥^[5]、氮肥深施^[6]、水肥一体化^[7]等氮肥施用方法。但是在玉米生产上,多数种植户仍然采用一次性施肥方式。吉林省 62.5% 的玉米田均采用一次性施肥方式,虽然这种施肥方式会导致玉米在生育后期因氮素缺乏而产量降低^[8]。便于操作的分次施肥方式能够提高氮肥的利用率,但是在玉米生长季节开沟追肥有时会给玉米带来机械损伤^[9]。玉米生长季节气温较高,可能是个别种植户将尿素在降雨前后直接撒在农田表面的一个不可忽略的因素。因此,在玉米施肥上,种植户需要的是一种一次施肥并能够减少大田工作量的施肥方式。考虑到玉米的根系在耕层土壤中分布不均匀,并且能够在土壤养分不均的环境中找到并吸收自身所需养分^[10]的特点,笔者根据玉米的需肥特点提出了单株限域定量施肥技术思路。单株限域定量施肥技术即根据作物根系向肥性特点,将施入农田的肥料限定在一定的空间内,限制氮肥随水下渗,以相对封闭的空间确保玉米在全生育期内能够吸收到足够的养分,从而实现提高肥料利用效率、

降低施肥量的目标。当前玉米生产的最高或最佳施肥量多与氮肥深施和分次施肥等施肥技术相配套。在单株限域定量施肥条件下,关于夏玉米适宜施肥量的研究尚未见报道。本研究在单株限域定量施肥条件下,开展长期定位试验,探索夏玉米的适宜施氮量,以期为实现玉米生产中减肥增效目标提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试验地概况

本试验所用玉米品种为浚单 20,由鹤壁市农业科学院提供。试验于 2015—2016 年在河南省邓州市罗庄镇肖营村玉米种植基地进行。该区属于亚热带季风气候,年降水量为 723 mm ,降水季节分布不均。本试验田土壤的沙粒、粉粒和黏粒含量分别为 24%、52% 和 24%,依照国际制土壤质地分类标准,该土壤质地为粉质黏壤土。耕层土壤的有机质、全氮、有效磷和速效钾含量分别为 6.62 g/kg 、 1.13 g/kg 、 14.05 mg/kg 和 135.71 mg/kg 。

1.2 试验设计

本试验设 6 个处理,分别为 N_0 (含氮 0 kg/hm^2)、 N_1 (含氮 60 kg/hm^2)、 N_2 (含氮 120 kg/hm^2)、 N_3 (含氮 180 kg/hm^2)、 N_4 (含氮 240 kg/hm^2)、 N_5 (含氮 300 kg/hm^2),其中不施氮肥处理作为对照。各处理均用单株限域定量施肥方法施肥,首先将每株玉米所需的肥料全部装入塑料杯中,然后往塑料杯内装入 80 mL 细土,将细土和肥料混匀,再用适量土壤将塑料杯填满。在农田中将要播种玉米的位置开挖土穴,土穴的长、宽、深分别为 10 、 10 、 18 cm 。把装满土壤和肥料的塑料杯垂直向上放入土穴中,用土壤填满塑料杯周围并在塑料杯上方覆盖约 3 cm 厚的土壤。玉米种子的播种深度为 $3 \sim 5 \text{ cm}$,在横向距离塑料杯口边沿大约 $2 \sim 3 \text{ cm}$ 处,然后用土壤填满整个土穴。播种时行距为 60 cm ,株距为 25 cm ,种植密度为 $67\,500 \text{ 株/hm}^2$ 。除氮肥外各处理中磷肥 (P_2O_5) 和钾肥

收稿日期:2017-03-02

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(编号:16A210040)。

作者简介:冀保毅(1979—),男,河南邓州人,博士,讲师,从事作物生理生态方向的研究。E-mail:xyjy@163.com。

通信作者:李传保,讲师,从事作物栽培方向的研究。E-mail:417179255@qq.com。

(K₂O)施用量分别为 100、100 kg/hm²,其中氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾。试验为随机区组设计,每个处理设 3 次重复,小区面积为 7 m×8 m=56 m²。试验期间夏玉米分别于 2015 年 6 月 5 日和 2016 年 6 月 8 日播种,于 2015 年 10 月 2 日和 2016 年 10 月 7 日收获。

1.3 测定项目及方法

播前在试验田用 5 点取样法采集 0~20 cm 耕层混合土壤样品,风干后混匀过 20 目和 60 目筛,用于测定土壤常规养分。土壤有机质含量用重铬酸钾容量法-外加加热法测定;土壤速效磷含量用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提-钼蓝比色法测定;土壤速效钾含量用乙酸铵浸提-火焰光度法测定;土壤全氮含量用凯氏定氮法测定。玉米成熟期在每个小区采集有代表性的玉米植株样品 3 株,分根、茎、叶和穗烘干称质量,在 105 ℃下杀青 15 min,再于 75 ℃烘干至恒质量。将烘干后的样品粉碎,用于测定不同器官养分含量。植株全氮含量用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-蒸馏定氮法测定;植株全磷含量用钼黄比色法测定;植株全钾含量用火焰光度计法测定^[11]。

1.4 考种与测产

每个小区随机收获玉米 50 穗,装入网袋带回实验室,晒干后考种并折算产量。随机从 50 穗玉米中取 10 穗用于考种,调查千粒质量和穗粒数,然后将每个小区的玉米籽粒干质量按 14% 的含水量折算玉米产量。

1.5 试验数据处理

养分吸收利用的相关计算公式如下:氮肥农学利用效率(AE)=(施氮肥区产量-不施氮肥区产量)/施氮肥量;

氮肥利用率(NRE)=(施氮肥区植株地上部氮素积累量-不施氮肥区植株地上部氮素产量)/施氮肥量×100%;氮素积累量=干物质质量×植株地上部氮含量;氮肥偏生产力(NPFP)=籽粒产量/氮素投入量;氮肥生理利用率(PE)=(施氮区产量-不施氮区产量)/(施氮区氮积累量-不施氮区氮积累量)^[12]。采用 Excel 2003 进行数据处理,平均值和标准误由每个处理的 3 个重复数据计算而来。利用 SPSS 19.0 软件进行方差分析(ANOVA)和处理间显著性检验(Duncan's),差异显著性分析均在 0.05 水平。

2 结果与分析

2.1 不同施氮量对夏玉米产量及其构成因素的影响

表 1 结果表明,施氮能显著改变果穗的穗粒数、千粒质量、籽粒产量和干物质量,该结果受年份因素影响较大。从 2016 年的试验数据可以看出,在施氮量 0~180 kg/hm² 范围内,夏玉米产量及其构成因素均随着施氮量的增加而增加,最高产量比不施氮处理产量增加 18.0%;在施氮量 180~300 kg/hm² 范围内,夏玉米产量及其构成因素随着施氮量的增加,增加不显著或略有下降。表明施氮量过低,穗粒数和千粒质量下降使夏玉米的库容量受限,施氮量过高也会带来库容量下降的结果。在单株限域施肥条件下,夏玉米产量随着施氮量的增加而逐步提高,施氮量达到 240 kg/hm² 时夏玉米的产量最高,继续增加施氮量,夏玉米产量将会降低。2015 年各处理夏玉米产量和干物质量均高于 2016 年。

表 1 不同施氮量对夏玉米产量及其构成因素的影响

年份	处理	籽粒产量 (kg/hm ²)	穗粒数 (粒)	千粒质量 (g)	干物质量 (kg/hm ²)
2015	N ₀	6 798.6±69.3a	420±9b	275.4±6.4ab	12 917.3±281.5a
	N ₁	6 809.2±81.9a	426±11ab	280.3±5.8a	12 937.5±279.4a
	N ₂	6 795.2±100.5a	433±13ab	273.4±6.1a	13 182.7±311.6a
	N ₃	6 817.3±77.1a	435±10a	273.1±7.6ab	12 884.7±245.9ab
	N ₄	6 862.2±95.2a	428±9ab	274.5±7.3a	13 106.8±269.1a
	N ₅	6 877.6±84.6a	439±14a	270.2±8.2ab	13 273.7±190.3a
2016	N ₀	5 674.9±83.2c	411±8b	245.4±7.3b	10 725.5±278.3c
	N ₁	6 578.2±97.1ab	429±14ab	260.3±9.1ab	12 498.5±200.8ab
	N ₂	6 589.9±88.6ab	435±9ab	269.4±6.6a	12 520.8±159.4ab
	N ₃	6 697.5±81.4a	451±9a	271.1±8.0a	12 792.2±221.5a
	N ₄	6 734.1±76.5a	449±11a	268.5±5.9a	12 996.8±197.6a
	N ₅	6 700.4±69.3a	437±10ab	259.2±8.2ab	12 998.7±253.2a

注:同列数据后标有不同小写字母表示在 0.05 水平上具有显著差异。下表同。

2.2 不同施氮量对夏玉米植株养分积累量的影响

从表 2 可以看出,在磷肥和钾肥用量相同的条件下,施用氮肥能够显著增加夏玉米植株体内的氮磷钾养分的积累量,年份对夏玉米植株养分积累量影响明显。从 2016 年的试验数据可以看出,随着施氮量的增加,夏玉米植株体内氮素养分的积累量逐渐增加。玉米整株氮素积累量与施氮量符合一元二次函数关系(Y=-0.000 6X²+0.323 8X+119.23,r²=0.982 2)。根据该函数可知,当施氮量达到 269.83 kg/hm² 时,夏玉米植株体内氮素养分的积累量最高,为 162.91 kg/hm²。

2.3 不同施氮量对夏玉米氮肥利用率的影响

从表 3 可以看出,不同施氮处理的氮肥农学利用效率、氮

肥利用率、氮肥偏生产力和氮肥生理利用率变化范围分别为 3.42~15.07 kg/kg、14%~33%、22.3~109.6 kg/kg 和 26.75~50.93 kg/kg,同时这些指标基本上随着施氮量的增加而下降。从提高氮肥利用效率考虑,在单株限域定量施肥条件下,夏玉米的施氮量以 180~240 kg/hm² 为宜。

2.4 施氮量对夏玉米产量的关系

由图 1 可知,在单株限域定量施肥条件下,夏玉米产量与施氮量的关系符合一元二次函数关系。在氮磷钾分施用量不变的条件下,当施氮量在 0~210 kg/hm² 范围内时,夏玉米产量随着施氮量的增加而增加;当施氮量在 210~300 kg/hm² 范围内时,夏玉米的产量随着施氮量的继续增加而下降。当

表 2 不同施氮量对夏玉米植株氮磷钾积累量的影响

年份	处理	玉米植株积累量 (kg/hm ²)		
		N	P	K
2015	N ₀	156.29 ± 12.4a	17.52 ± 2.9ab	166.35 ± 11.6b
	N ₁	151.54 ± 10.9a	15.68 ± 2.8ab	169.91 ± 10.5b
	N ₂	145.01 ± 13.7ab	16.93 ± 2.0ab	183.61 ± 12.9ab
	N ₃	141.73 ± 15.0ab	18.52 ± 1.7ab	174.09 ± 10.4ab
	N ₄	158.59 ± 11.2a	20.38 ± 1.9a	194.34 ± 13.0a
	N ₅	160.61 ± 12.8a	20.64 ± 3.1ab	187.93 ± 12.7ab
2016	N ₀	117.98 ± 11.9b	12.62 ± 2.1c	132.47 ± 10.3c
	N ₁	137.48 ± 12.2ab	15.15 ± 1.9b	164.15 ± 12.7b
	N ₂	151.50 ± 9.4a	16.98 ± 1.7ab	169.17 ± 11.9ab
	N ₃	154.78 ± 14.2a	19.59 ± 1.5a	178.17 ± 13.3ab
	N ₄	157.26 ± 11.7a	20.21 ± 2.0a	192.71 ± 14.5a
	N ₅	160.14 ± 13.5a	20.20 ± 1.8a	184.04 ± 13.9a

表 3 不同施氮量对夏玉米氮肥利用效率的影响

处理	氮肥农学利用效率 (kg/kg)	氮肥利用率 (%)	氮肥偏生产力 (kg/kg)	氮肥生理利用率 (kg/kg)
N ₀	—	—	—	—
N ₁	15.07a	32.50a	109.6a	50.93a
N ₂	7.63b	27.93a	54.9b	30.02b
N ₃	5.68bc	20.44ab	37.2c	30.56b
N ₄	4.42c	16.37b	28.1cd	29.66b
N ₅	3.42d	14.05b	22.3d	26.75b

施氮量为 210 kg/hm² 时,夏玉米理论产量的最高值可达 6 817.64 kg/hm²。因此,在单株限域定量施肥技术条件下,夏玉米适宜的施氮量范围在 180 ~ 240 kg/hm²。与当地 300 kg/hm² 的习惯施氮量相比,采用单株限域定量施肥技术可将夏玉米生产中的氮肥用量降低 20% ~ 40%。由此可见,在单株限域施肥条件下,施氮量为 240 kg/hm² 是获得夏玉米高产的最佳施肥量,该施肥量比当地 300 kg/hm² 的夏玉米习惯施氮量低 20%。

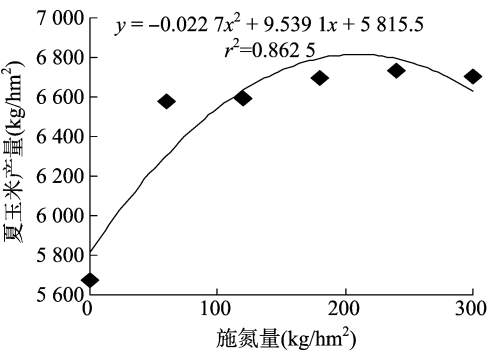


图1 不同施氮量对夏玉米产量的影响

3 讨论

关于施氮量对夏玉米产量、成产因素和氮素利用率的影响,前人的研究结果不尽一致。在适宜的范围内增施氮肥能够提高玉米的产量及其产量构成因素,而施氮量超过 270 kg/hm² 后,继续增加施氮量不利于玉米产量及其成产因素的提高^[13]。不同生态条件下,玉米适宜的施氮量不同。有研究表明,玉米的施氮量超过 240 kg/hm² 后,继续增加施氮量时玉米的籽粒产量不再增加,而玉米秸秆的生物量将开始

下降^[2]。施肥方式不同影响玉米产量及其氮素利用率,分次施肥方式处理的玉米产量和氮素利用率高于一次性施肥方式处理^[14]。本试验中,单株限域定量施肥方式下夏玉米适宜的施氮量为 210.11 kg/hm²。与 2016 年的试验结果相比,2015 年的试验数据变化规律不明显。这是因为试验田所在区域,以往农田施肥量均较大,农田土壤基础肥力对第 1 年试验结果的干扰较大。在第 2 年试验期间,对照处理玉米的产量才明显低于其他处理。

本试验中,笔者用塑料杯营造一个相对封闭的施肥空间,目的是探索单株限域定量施肥方式是否能够提高氮肥利用率和减少施氮量。试验结果表明,与当地习惯施氮量相比,单株限域定量施肥方式下玉米的施氮量降低了 20% ~ 40%。因此,需要进一步开展的工作是将塑料杯用有机肥等物质代替,最终实现降低肥料施用量的目标。

4 结论

在单株限域定量施肥条件下,夏玉米植株的氮素积累量随施氮量增加而符合一元二次方程曲线关系。2016 年,在施氮量为 0 ~ 180 kg/hm² 范围内,随着施氮量增加,夏玉米产量、千粒质量、穗粒数和氮积累量呈上升趋势;在施氮量为 180 ~ 300 kg/hm² 范围内,继续增加施氮量,夏玉米产量和氮肥利用效率略有降低。随着施氮量增加,夏玉米的氮素农学利用效率、氮素利用率和氮素生理利用率均随施氮量的增加而下降。本试验条件下,夏玉米产量和施氮量的肥料效应方程如下: $y = -0.022 7x^2 + 9.539 1x + 5 815.5 (r^2 = 0.862 5)$, 根据方程计算出单株限域定量施肥条件下夏玉米的经济施氮量为 210.11 kg/hm²。与习惯施肥方式相比,单株限域定量方式可为种植户节约 20% ~ 40% 的施氮量。

参考文献:

[1] 王春虎,陈士林,董娜,等. 华北平原不同施氮量对玉米产量和品质的影响研究[J]. 玉米科学,2009,17(1):128-131.
[2] 孙占祥,邹晓锦,张鑫,等. 施氮量对玉米产量和氮素利用效率及土壤硝态氮累积的影响[J]. 玉米科学,2011,19(5):119-123.
[3] Miao Y X, Mulla D J, Robert P C, et al. Within-field variation in corn yield and grain quality responses to nitrogen fertilization and hybrid selection[J]. Agronomy Journal,2006,98(1):129-140.
[4] Ju X T, Kou C L, Zhang F S, et al. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain[J]. Environmental Pollution, 2006,143(1):117-125.
[5] 赵建红,李玥,孙永健,等. 灌溉方式和氮肥运筹对免耕厢沟栽培杂交稻氮素利用及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016,22(3):609-617.
[6] 于晓芳,高聚林,叶君,等. 深松及氮肥深施对超高产春玉米根系生长、产量及氮肥利用效率的影响[J]. 玉米科学,2013,21(1):114-119.
[7] 段锦波,翟勇,柴颖,等. 不同滴灌施肥模式对棉花产量及养分吸收的影响[J]. 中国土壤与肥料,2014(6):52-58.
[8] 高强,李德忠,汪娟娟,等. 春玉米一次性施肥效果研究[J]. 玉米科学,2007,15(4):125-128.
[9] 胡红,张翼夫,陈婉芝,等. 我国玉米追肥机械发展现状与前景

张 健,王景景,谢逸萍,等.甘薯几丁质酶的性质研究[J].江苏农业科学,2018,46(12):55-57.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.12.012

甘薯几丁质酶的性质研究

张 健¹,王景景¹,谢逸萍²,刘美艳¹

(1.江苏师范大学生命科学学院/整合植物生物研究所,江苏徐州 221116; 2.中国农业科学院甘薯研究中心,江苏徐州 221121)

摘要:从南京-92块根内分离纯化得到了甘薯几丁质酶,在不同浓度的PAGE电泳中均显示该酶为单一条带,据此推断该酶为电泳纯单一蛋白;对该酶进行了性质鉴定,结果表明,该酶分子量为23 ku左右,最适温度为45℃,最适pH值为5.5,等电点pI为7.2,为碱性几丁质酶。

关键词:甘薯;几丁质酶;性质鉴定;酶活性;黑斑病

中图分类号:S435.313⁺.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)12-0055-03

甘薯(*Iomoea batatas* Lam)属旋花科甘薯属,是重要的粮食、经济和饲料作物,在全世界范围内广泛种植^[1-3]。我国是甘薯种植面积最大的国家,占世界种植面积的一半以上。甘薯黑斑病是危害甘薯种植和储藏的重要病害之一,在世界各地甘薯产区均有发病^[4]。甘薯黑斑病使幼苗期和生长期苗茎基部黑根烂死,储藏期感染则会使薯块出现黑斑,味苦,最后全部腐烂^[5],使甘薯失去应用价值。甘薯黑斑病病原菌为 *Ceratocystis fimbriata* Ellis et Halsted,属于真菌病害。植物病程相关蛋白(pathogenesis-related protein, PRs)是当植物体受病原菌等刺激物刺激后产生的一类蛋白质,正常情况下含量并不高,一旦被诱导,含量迅速增加从而提高植物对病虫害等逆境的防御抵抗能力^[6-7]。国内外的研究表明,植物几丁质酶被认为是一类与植物抗病有着密切关系的病程相关蛋白,它参与了植物体内防御机制的很多方面^[8-9]。大量研究表明,植物几丁质酶是一类次生代谢物,只有在真菌或病毒的诱导刺激下才会大量积累,积累到一定量时作用于真菌等病害,抑制其生长或直接将之杀死来提高植物的抗逆能力^[10-12]。本试验的前期工作已经利用甘薯黑斑病菌诱导甘薯大量表达了几丁质酶,说明甘薯黑斑病抗性甘薯块根几丁质酶活性有相关关系。核黄素、脱乙酰几丁质、黑斑病菌处理均能诱导甘薯块根几丁质酶活性的提高,说明甘薯几丁质酶是一

种诱导酶。体外抑菌试验结果显示,甘薯几丁质酶对甘薯黑斑病菌具有很强的抑制作用^[13]。进一步研究甘薯几丁质酶的性质,能为甘薯抗黑斑病育种^[14]、新型抗黑斑病药物的开发和生产上黑斑病的防治^[15]提供理论根据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

甘薯黑斑病菌、南京-92块根(高抗黑斑病品种)由江苏省徐州市农业科学院中国甘薯研究中心提供。

1.2 黑斑病菌孢子悬液的制备

取灭菌过的PDA液体培养基200 mL,接种甘薯黑斑病菌于其中,在(30±1)℃下,以120 r/min振荡3 d,过滤除去菌丝,以3 000 r/min离心10 min,重复3次,直至沉淀基本为白色,经镜检确认为黑斑病菌内分生孢子,加适量水悬浮。试验时,将上述内分生孢子配成1×10⁷个孢子/mL的浓度供接种用。

1.3 薯块染菌处理

试验时,选取大小均匀、表面光洁无病斑的块根,用蒸馏水冲洗3次。将块根切成1~2 cm厚的圆片,然后将黑斑病菌内分生孢子悬浮液涂于块根圆片的两侧,于(30±1)℃暗箱中保温4 d。

1.4 甘薯几丁质酶的提取和活力测定

将甘薯外表层去除,切成小块,并迅速将其浸泡于0.02 mol/L乙酸-乙酸钠缓冲液(pH值5.5)中,甘薯质量和缓冲液体积的比例为1:1,用组织捣碎机将甘薯磨碎,4层纱布过滤,滤液于4℃下以8 000 r/min离心15 min,上清即为几丁质酶粗酶液。胶体几丁质的制备按照李世贵等的方法^[16]进行。DNS溶液的配制按照李合生的方法^[17]进行。几

展望[J].玉米科学,2016,24(3):147-152.

[10]马存金,刘 鹏,赵秉强,等.施氮量对不同氮效率玉米品种根系时空分布及氮素吸收的调控[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):845-859.

[11]鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.

[12]丁民伟,杜 雄,刘梦星,等.氮素运筹对夏玉米产量形成与氮

素利用效果的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(5):1100-1107.

[13]王友华,许海涛,许 波,等.施用氮肥对玉米产量构成因素及其根系生长的影响[J].中国土壤与肥料,2010(3):55-57.

[14]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,2012,16(1):89-97.