

增密减氮对嫩单 18 产量和氮素利用率的影响

周超, 马宝新, 刘海燕, 孙善文, 王俊强, 韩业辉, 于运凯, 许健, 孙培元, 武琳琳

(黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘要:以紧凑耐密型玉米品种嫩单 18 为试验材料。设置 2 个种植密度: 60 000 株/hm² 和 75 000 株/hm²; 设置 4 个施氮量: 0(N0)、120 kg/hm²(N1)、240 kg/hm²(N2) 和 360 kg/hm²(N3)。探究栽培密度与氮肥施用水平对耐密型玉米品种嫩单 18 单株及群体干物质积累特性、氮素转运效率、氮素利用效率、产量及其构成因素的影响。结果表明, 同一种植密度条件下, 氮肥施用水平对千粒重、穗粒数、产量、花后单株干物质积累量、花后群体干物质积累量和氮素利用率影响显著; 增加种植密度, 同一施肥水平下嫩单 18 的千粒重和穗粒数显著降低, 花后氮素同化量对子粒的贡献率随着施氮量的增加而减少, 营养器官氮素转运量对子粒的贡献率随着施氮量的增加而增加, 这与低密度种植情况相反, 表明高密度条件下花后营养器官氮素转运量对提高玉米产量的贡献较大。因此, 根据品种特性适当增加种植密度、减少氮肥用量能够更好地协调群体与个体间的关系, 提高群体的光能和养分利用效率, 从而获得更高的产量。综合玉米子粒产量和氮肥利用率, 嫩单 18 的适宜栽培模式为密度 75 000 株/hm²、施氮量 240 kg/hm²。

关键词:玉米; 增密减氮; 产量; 氮素利用率

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2019)02-0007-06

Effect of Increasing Density and Reducing Nitrogen Fertilizer on Yield and Nitrogen Utilization Rate of 'Nendan 18'

ZHOU Chao, MA Baoxin, LIU Haiyan, SUN Shanwen, WANG Junqiang, HAN Yehui, YU Yunkai, XU Jian, SUN Peiyuan, WU Linlin

(Qiqihar Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China)

Abstract: The dense tolerant maize variety 'Nendan 18' was used as the test material. Two planting densities of 60 000 plants/ha and 75 000 plants/ha were set and four nitrogen application rates of 0 (N0), 120 kg/ha(N1), 240 kg/ha(N2) and 360 kg/ha(N3) adopted. The effects of planting density and nitrogen application rate on the dry matter accumulation characteristics, nitrogen transport efficiency, nitrogen use efficiency, yield and its components of the dense tolerant maize variety 'Nendan 18' were studied. The results showed that under the same planting density, 1 000-grain weight, grain number per spike, yield, dry matter accumulation per plant, post-anthesis population dry matter quality and nitrogen utilization rate were significantly affected by nitrogen fertilizer application rate. As planting density increased, the 1 000-grain weight and the number of kernels of 'Nendan 18' decreased significantly while the fertilization level was the same. As the nitrogen application rate increased, the contribution rate of nitrogen assimilation to the grain density decreased after flowering, whereas the contribution of nitrogen transport from vegetative organs to grain increased. This performance was opposite to that of low-density planting, which indicating that nitrogen transport from vegetative organs was the main factor to increase maize yield at high-density conditions. Therefore, according to the characteristics of the variety, increasing the planting density and reducing the amount of nitrogen fertilizer can better coordinate the relationship between the group and the individual, and improve the light energy and nutrient utilization efficiency of the group, thereby higher yield was gotten. Integrated considering maize grain yield and nitrogen fertilizer utilization, the suitable cultivation mode of 'Nendan 18' was that the planting den-

收稿日期: 2018-10-26

基金项目: 黑龙江省农业科学院科研项目(2017XQ19); 齐齐哈尔市科技局农业攻关项目(NYGG-201621)

作者简介: 周超(1986-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事玉米遗传育种研究。

sity at 75 000 plants/ha and the nitrogen application rate at 240 kg/ha.

Key words: Maize; Increase density and reduction of nitrogen; Yield; Nitrogen utilization efficiency

玉米是全球第一大粮食作物。近年来,我国的玉米种植面积均超过了3 000万 hm^2 ,其中2012年的种植面积为3 494.9万 hm^2 ,当年总产量为20 812万 $\text{t}^{[1]}$ 。目前玉米的种植面积和总产量已超过了水稻、小麦等谷类作物,成为我国第一大粮食作物^[2]。氮肥是影响玉米产量的主要因素,近年来大量的氮肥应用,使我国粮食总量大大增长,但同时也大大增加了作物生产成本,而且对生态环境造成了直接或间接的重大危害,这些氮肥大部分是通过挥发和淋洗的途径损失掉的。因此,确定合理的施氮量不仅可以提高作物产量,节约成本,而且可以减少过多用氮产生的环境污染^[3-6]。种植密度也是影响玉米产量的诸多因素之一,对玉米群体结构影响较大,主要是因为不同种植密度的植株之间相互竞争环境资源,从而影响个体和群体的生长状况;在合理的种植密度下,玉米能够有效地利用光能和地力,以确保群体的协调发展和正常发育,从而获得高产,因此研究合理的种植密度是玉米能够高产的重要栽培措施,对建立高产高效玉米栽培技术具有重要意义。李广浩等^[7]研究结果表明,耐密玉米品种郑单958在种植密度为82 500株/ hm^2 和施氮量为270 kg/hm^2 条件下的产量和氮素利用效率最佳,继续增施氮肥,郑单958的穗粒数和千粒重增加不显著或略有降低,限制了其产量潜力的发挥。前人关于玉米栽培密度和氮素施用水平对玉米根系形态生理特性、光合特性、碳氮代谢及产量的影响已进行了大量的相关研究^[8-15],但关于增密减氮栽培模式对嫩单18产量及氮素利用效率的研究较少。本文选用耐密型玉米品种嫩单18,设置不同的种植密度和施氮水平,以期探寻耐密玉米生产的最优增密减氮栽培技术模式,为建立玉米增产增效栽培技术体系提供理论和实践依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地状况

2016~2017年在黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院试验基地(45°37'N, 123°76'E)进行试验。试验地位于东北松嫩平原,属中温带大陆性季风气候区,年降水量415 mm,年平均气温3.2℃,7月平均气温22.8℃。试验地土壤0~20 cm耕层土壤的pH 7.3,有机质17.42 g/kg、全氮0.76 g/kg、碱解

氮101.94 mg/kg、速效磷59.85 mg/kg,速效钾139 mg/kg。

1.2 试验设计

选用紧凑耐密型玉米品种嫩单18为试验材料。设置2个种植密度:60 000株/ hm^2 和75 000株/ hm^2 ;设置4个施氮量:0(N0)、120 kg/hm^2 (N1)、240 kg/hm^2 (N2)和360 kg/hm^2 (N3)。试验采用裂区试验设计,共8个处理,每个处理重复3次,随机排列。小区面积45 m^2 ,行距0.65 m,等行距种植。施用氮肥为普通尿素(46%),分别在拔节期和大喇叭口期,按4:6比例施入。所有处理均在播前施磷肥(P_2O_5)120 kg/hm^2 和钾肥(K_2O)240 kg/hm^2 。两年试验均于5月10日播种,10月2日收获,其他田间管理与高产田相同。

1.3 测定内容和方 法

1.3.1 干物质和氮素积累量

分别于开花期(VT)和成熟期(R6)取5株长势均匀一致的植株,按器官分离,105℃杀青,80℃烘干至恒重,称重后粉碎保存待测。将各时期和各器官干样粉碎后用浓 H_2SO_4 - H_2O_2 消煮,用半微量凯氏定氮法测定氮含量。

1.3.2 产量

成熟期收获各处理,室内考种测产。

1.4 数据计算和统计方 法

收获指数(HI)=子粒产量/成熟期干物质积累量;

地上部干物质积累量(DMA)=成熟期单株总干重×成熟期实收株数;

花后单株干物质积累量(ADMA)=成熟期单株干物质积累量-开花期单株干物质积累量;

花后单株干物质贡献率(CPDMA)=花后单株干物质积累量/成熟期单株干物质积累量;

花后群体干物质积累量(ADMGA)=成熟期群体干物质积累量-开花期群体干物质积累量;

花后群体干物质贡献率(CPDMGA)=花后群体干物质积累量/成熟期群体干物质积累量;

植株总氮素积累量(TNAA)=成熟期单株干重×成熟期植株含氮量;

氮肥农学利用率(NAE)=(施氮区子粒产量-不施氮区子粒产量)/施氮量;

氮肥利用率(NUE)=(施氮区氮素吸收量-不施氮区氮素吸收量)/施氮量×100%;

氮肥偏生产力(NPFP)=施氮区产量/施氮量;

营养器官氮素转运量(NTA)=开花期氮素积累量-成熟期营养器官氮素积累量;

氮素转运效率(NTE)=营养器官氮素转运量/开花期营养器官氮素积累量×100%;

氮素转运对子粒的贡献率(NCP =营养器官氮素转运量/成熟期子粒氮素积累量×100%;

花后氮素同化量(AANAA)=成熟期子粒氮素积累量-营养器官氮素转运量。

采用Excel 2003统计分析数据。两年试验结果的规律基本一致,本文主要以两年数据均值进行分析。

2 结果与分析

2.1 产量及其产量构成因素

种植密度和氮肥施用水平对耐密型品种嫩单18的产量有着显著的影响(表1)。从表1中可以看出,在低密度种植条件下,嫩单18的产量表现为N3>N2>N1>N0;高密度种植条件下,嫩单18的产量表现为N2>N3>N1>N0。在高密度条件下,同一氮肥水平的千粒重和穗粒数显著下降,单位面积有效穗数显著增加。在低密度条件下,氮肥水平对单位面积有效穗数的影响不显著,在高密度条件下N3与N0、N1和N2相比有效穗数显

表1 施氮量与种植密度对嫩单18产量及其构成因素的影响

密度(株/hm ²)	施氮量(kg/hm ²)	有效穗数(hm ²)	穗粒数(个)	千粒重(g)	产量(kg/hm ²)	收获指数(%)
60 000	0	57 937b	533.7c	258.6c	7 996.2c	0.57a
	120	58 174a	573.4b	320.3b	10 684.2b	0.55b
	240	58 046a	618.5ab	393.5a	12 417.8ab	0.55b
	360	57 985b	622.7a	386.4a	12 634.5a	0.53c
75 000	0	72 371b	532.4d	225.1c	8 574.1d	0.54a
	120	73 185a	568.7c	274.2b	11 412.3c	0.52b
	240	72 964ab	578.3a	357.6a	13 497.1a	0.52b
	360	71 135c	569.6b	355.3a	12 947.6b	0.51c

注:同列不同小写字母表示在5%水平差异显著,下同

著降低。随着种植密度和氮肥水平的增加收获指数呈降低趋势。

2.2 干物质积累特性

种植密度和氮肥施用水平对耐密型玉米嫩单18单株干物质积累量和群体干物质积累量的影响见表2、表3。由表2、表3可以看出,嫩单18的单株干物质积累量随着密度的增加呈降低趋势,群体干物质积累量随着密度的增加呈增加趋势。随着氮肥水平增加,单株干物质积累量和群体干物质积累量均显著升高,花后干物质贡献率呈上升趋势,高密度的花后干物质贡献率相比于低密度的花后干物质贡献率略有降低。在同一密度处理条件下,氮肥施用水平在0~240 kg/hm²范围内,嫩单18的单株干物质积累量和群体干物质积累量显著增加;施氮量240~360 kg/hm²范围内嫩单18的单株干物质积累量和群体干物质积累量增加并不显著,且在高密度处理条件下群体干物质积累量略有降低。可见嫩单18的花后干物质积累量是造成成熟期干物质积累量和产量差异的

主要原因。

2.3 种植密度和施氮量对氮素利用率的影响

种植密度和氮肥施用水平对玉米氮素利用率的影响结果见表4。由表4可以看出,高密度种植条件下群体的氮素积累量和氮素利用率显著高于低密度种植条件;在N0、N1和N2施氮条件下,偏氮素生产力和氮肥农学利用率随着种植密度的增加而升高,在N3施氮水平时偏氮素生产力和氮肥农学利用率在高低种植密度的差异不显著。在高低种植密度条件下,群体的氮素积累量随着施氮水平的提高而增加;偏氮素生产力和氮肥农学利用率和氮素利用率随着施氮水平的提高而降低。

2.4 氮素转运效率

种植密度和氮肥施用水平对氮素转运效率的影响结果见表5。从表5中可以看出,在低密度种植条件下花后氮素同化量表现为N2>N3>N1>N0;花后氮素同化量对子粒的贡献率表现为N3>N2>N1>N0;营养器官氮素转运量表现为N2>N3>N1>N0;营养器官氮素转运量对子粒的贡

献率表现为 $N0 > N1 > N2 > N3$ 。高密度种植条件下花后氮素同化量表现为 $N3 > N2 > N1 > N0$ ；花后氮素同化量对子粒的贡献率均表现为 $N0 > N1 > N2 > N3$ ；营养器官氮素转运量和营养器官氮素转运量对子粒的贡献率均表现为 $N3 > N2 >$

$N1 > N0$ 。在高密度种植条件下花后氮素同化量对子粒的贡献率随着施氮量的增加而减少,营养器官氮素转运量对子粒的贡献率随着施氮量的增加而增加,这个表现与低密度种植条件下相反,表明在高密度种植条件下花后营养器官氮素转运

表2 氮肥水平和种植密度对嫩单18单株干物质积累特性的影响

密度 (株/hm ²)	施氮量 (kg/hm ²)	不同生育期单株干物质积累量(t/hm ²)		花后单株干物质积累量 (t/hm ²)	花后单株干物质贡献率 (%)
		VT	R6		
60 000	N0	114.4d	241.8c	127.4d	52.7d
	N1	128 c	273.5b	145.5c	53.2c
	N2	142.9a	313.4a	170.5b	54.4b
	N3	140 b	315.4a	175.4a	55.6a
75 000	N0	115.1d	221.7d	106.6d	48.1d
	N1	125.5c	245.1c	119.6c	48.8c
	N2	130.7b	267.9b	137.2b	51.2a
	N3	135 a	274.3a	139.3a	50.8b

表3 氮肥水平和种植密度对嫩单18群体干物质积累特性的影响

密度 (株/hm ²)	施氮量 (kg/hm ²)	不同生育期群体干物质积累量(t/hm ²)		花后群体干物质积累量 (t/hm ²)	花后群体干物质贡献率 (%)
		VT	R6		
60 000	N0	6 628 d	14 009.2c	7 381.2d	52.7d
	N1	7 446.3c	15 910.6b	8 464.3c	53.2c
	N2	8 294.8a	18 191.6a	9 896.8b	54.4b
	N3	8 117.9b	18 288.5a	10 170.6a	55.6a
75 000	N0	8 329.9d	16 044.7c	7 714.8d	48.1d
	N1	9 184.7c	17 937.6b	8 752.9c	48.8c
	N2	9 536.4b	19 547.1a	10 010.7a	51.2a
	N3	9 603.2a	19 512.3a	9 909.1b	50.8b

表4 氮肥水平和种植密度对嫩单18氮素利用效率的影响

密度 (株/hm ²)	施氮量 (kg/hm ²)	总氮素积累量 (kg/hm ²)	偏氮素生产力 (kg/kg)	氮肥农学利用率 (kg/kg)	氮素利用率 (kg/kg)
60 000	N0	154.6d			
	N1	197.5c	89 a	22.4a	35.8a
	N2	217.3b	51.7b	18.4b	26.1b
	N3	228.1a	35.1c	12.9c	20.4c
75 000	N0	162.6d			
	N1	216.8c	95.1a	23.7a	45.2a
	N2	241.6b	56.2b	20.5b	32.9b
	N3	263.7a	35.9c	12.1c	28.1c

表5 氮肥水平和种植密度对嫩单18氮素转运的影响

密度 (株/hm ²)	施氮量 (kg/hm ²)	花后氮素同化量 (kg/hm ²)	营养器官氮素转运量 (kg/hm ²)	氮素转运量对子粒的贡献率	
				花后氮素同化量 (kg/hm ²)	营养器官氮素转运量 (kg/hm ²)
60 000	N0	45.5d	63.7d	41.7c	58.3a
	N1	58.4c	72.4c	44.6b	55.4b
	N2	68.4a	79.8a	46.1a	53.9c
	N3	66.1b	76.1b	46.5a	53.5c
75 000	N0	62.7c	72.4d	46.4a	53.6d
	N1	64.1b	93.7c	40.6b	59.4c
	N2	65.6ab	106.5b	38.1c	61.9b
	N3	66.4a	113.6a	36.9d	63.1a

量是提高玉米产量的主要因素。

3 讨论

3.1 施氮量和种植密度对产量及其构成因素的影响

孟战赢等^[6]研究结果表明,单位面积有效穗数、穗粒数和千粒重是决定玉米子粒产量的主要因素。本试验研究表明,增加种植密度,嫩单18的有效穗数和子粒产量均显著增加;穗粒数和千粒重则显著降低。申丽霞等^[8,17]研究认为,随施氮量增加,玉米的子粒产量随着氮肥施用水平的增加呈先增加后降低的趋势,适当的氮肥水平能够促进玉米果穗顶部子粒的发育。有效地减少玉米秃尖,提高玉米的穗粒数,增加子粒产量;氮肥施用水平为180 kg/hm²时,能够显著地提高玉米的穗粒数和千粒重,当氮肥施用水平增至240 kg/hm²时,其促进效果减弱。本研究结果表明,低密度条件下,随氮肥施用水平的提高,玉米的子粒产量呈增加的趋势,而氮肥施用水平240 kg/hm²与360 kg/hm²时产量差异并不显著;高密度条件下,随氮肥施用水平的提高,子粒产量呈先增加后降低的趋势。而氮肥施用水平在240 kg/hm²条件下达到最高产量。与前人研究不一致的原因可能是在高密度条件下,氮肥施用水平主要通过影响穗粒数和千粒重影响产量;低密度条件下,氮肥施用水平主要通过影响千粒重、穗粒数和单位面积穗数对产量产生影响,氮肥施用水平过高,千粒重和有效穗数降低。因此,嫩单18在适当的增密减氮的栽培模式下能够获得较高的产量。

前人研究表明,玉米群体干物质的积累量是子粒产量增加的基础^[18]。玉米种植密度对群体干物质积累量有着显著的影响,但高种植密度条件

下,玉米的单株干物质积累量表现为减少的趋势,制约着群体干物质积累量的大幅提升^[19]。本研究结果表明,种植密度增加,单株干物质积累量、花后干物质积累量显著降低,群体干物质积累量显著增加。与前人研究不一致的原因可能是在高密条件下,叶片光合速率下降,光合产物降低,叶片衰老加快^[20],而光合速率降低、叶片衰老加快都能够影响玉米干物质积累。氮肥施用水平的增加,玉米植株的氮素积累和转运量、叶绿素含量、游离氨基酸和可溶性蛋白的含量均增加,叶片光合活性增加,延缓叶片衰老,提高光合速率,有利于促进光合产物合成,进一步提高干物质积累量。因此,可以通过种植密度和氮肥施用水平来合理地调控玉米群体的光能利用效率,增加群体光合产物的积累量,从而提高玉米子粒产量。

3.2 施氮量和种植密度对玉米氮素利用率的影响

关于栽培密度和氮肥施用水平对玉米产量和氮素利用率的影响前人进行了许多相关研究^[21-24]。曹胜彪等^[19]认为,适当密植能够在增加玉米单产的同时提高玉米的氮素利用率。李广浩等^[8]研究结果表明,增加种植密度能够显著提高氮素的积累量和有利于氮素积累,氮肥施用水平的增加,能够显著提高玉米花后氮素的吸收转运速率。通过本试验研究结果进一步验证表明,随着玉米种植密度的增加,成熟期氮素含量、氮素利用效率和氮肥偏生产力均呈上升趋势;氮肥施用水平与植株氮素积累量呈显著正相关。

孙浒等^[22]研究结果表明,我国华北地区玉米在氮肥用量为180 kg/hm²左右时,能够实现玉米的高产高效。本试验研究表明,高种植密度条件下,在氮肥施用水平为240 kg/hm²时,玉米子粒产

量最高;低种植密度条件下,在氮肥施用水平为 360 kg/hm^2 时,玉米子粒产量最高。综合对玉米子粒产量和氮肥利用率试验分析上可以得到嫩单18的适宜栽培模式为:栽培密度 $75\ 000\text{ 株/hm}^2$,施氮量 240 kg/hm^2 。这与孙浒等^[22]研究结果有偏差可能是不同的地域、气候条件、品种、地力水平等因素造成的。

氮素向作物营养器官的转运以及生育后期氮素的同化量能够显著地影响作物氮素吸收利用效率。何萍等^[25]研究认为,适宜的氮肥施用水平可以有效地促进氮素向子粒的转运。本试验研究表明,在高密度下花后氮素同化量对子粒的贡献率随着施氮量的增加而减少,营养器官氮素转运量对子粒的贡献率随着施氮量的增加而增加,这个表现与低密度种植下相反,表明在高密度条件下花后营养器官氮素转运量是提高玉米产量的主要因素。因此,根据品种特性适当地增加种植密度、减少氮肥用量能够更好地协调群体与个体间的关系,提高群体的光能和养分利用效率,从而获得更高的产量。

参考文献:

- [1] 王维俊.伊宁县玉米生产存在问题及发展对策研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.
- [2] 肖川,刘永功,王莉.利用补贴倾斜促进粮食作物生产[J].经济问题探索,2013(9):170-174.
- [3] 魏珊珊.吡啶氮肥用量对夏玉米/冬小麦轮作体系温室气体排放的影响[D].石家庄:河北农业大学,2016.
- [4] 王蒙.黑土区玉米控释氮肥的施用技术研究[D].长春:吉林农业大学,2013.
- [5] 彭正萍,刘亚男,李迎春,等.持续氮素调控对小麦/玉米轮作系统氮素利用和表观损失的影响[J].水土保持学报,2015,29(6):74-79.
- [6] 朱云云.基于Daisy模型对夏玉米-冬小麦氮素利用效率的模拟及管理调控[D].北京:中国科学院研究生院,2014.
- [7] 李广浩,刘娟,董树亭,等.密植与氮肥用量对不同耐密型夏玉米品种产量及氮素利用效率的影响[J].中国农业科学,2017,50(12):2247-2258.
- [8] 申丽霞,王璞,兰林旺,等.施氮对夏玉米碳氮代谢及穗粒形成的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(6):1074-1079.
- [9] 王帅,韩晓日,战秀梅,等.氮肥水平对玉米灌浆期穗位叶光合功能的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(2):280-289.
- [10] 徐丽娜,黄收兵,陶洪斌,等.不同氮肥模式对夏玉米冠层结构及部分生理和农艺性状的影响[J].作物学报,2012,38(2):301-306.
- [11] 吕丽华,赵明,赵久然,等.不同施氮量下夏玉米冠层结构及光合特性的变化[J].中国农业科学,2008,41(9):2624-2632.
- [12] 陈传永,侯玉虹,孙锐,等.密植对不同玉米品种产量性能的影响及其耐密性分析[J].作物学报,2010,36(7):1153-1160.
- [13] 陈延玲,吴秋平,陈晓超,等.不同耐密性玉米品种的根系生长及其对种植密度的响应[J].植物营养与肥料学报,2012,18(1):52-59.
- [14] 冯海娟,张善平,马存金,等.种植密度对夏玉米茎秆纤维管束结构及茎流特性的影响[J].作物学报,2014,40(8):1435-1442.
- [15] 王瑞,李中青,李齐霞,等.种植密度对不同品种玉米农艺性状·品质及产量的影响[J].安徽农业科学,2015(23):72-73.
- [16] 孟战赢,王育红,王向阳,等.密度对夏玉米灌浆特性及产量的影响[J].河南农业科学,2011,40(12):48-51.
- [17] 申丽霞,魏亚萍,王璞,等.施氮对夏玉米顶部子粒早期发育及产量的影响[J].作物学报,2006,32(11):1746-1751.
- [18] 陈国平.玉米的干物质生产与分配[J].玉米科学,1994,2(1):48-53.
- [19] 曹胜彪,张吉旺,杨今胜,等.密度对高产夏玉米产量和氮素利用率的影响[J].玉米科学,2012,20(5):106-120.
- [20] Andrade F H, Vega C, Uhart S, et al. Kernel Number Determination in Maize[J]. Crop Science, 1999, 39(2): 453-459.
- [21] 赵洪祥,边少锋,孙宁,等.氮肥运筹对玉米氮素动态变化和氮肥利用的影响[J].玉米科学,2012,20(3):122-129.
- [22] 孙浒,张吉旺,靳立斌.玉米高产与氮肥高效协同实现存在的问题及其途径[J].玉米科学,2014,22(1):143-148.
- [23] 吕丽华,陶洪斌,王璞,等.施氮量对夏玉米碳、氮代谢和氮利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(4):630-637.
- [24] 易镇邪,王璞,申丽霞,等.不同类型氮肥对夏玉米氮素累积、转运与氮肥利用的影响[J].作物学报,2006,32(5):772-778.
- [25] 何萍,金继运,林葆.氮肥用量对春玉米叶片衰老的影响及其机理研究[J].中国农业科学,1998,31(3):66-71.