

施氮时期对糜子产量和氮素利用效率的影响

王君杰¹ 曹晓宁¹ 王海岗¹ 陈凌¹ 刘思辰¹ 田翔¹
秦慧彬¹ 杨光宗² 乔治军^{1*}

(1. 山西农业科学院 农作物品种资源研究所/农业部黄土高原作物基因资源与种质创制重点实验室/
杂粮种质资源发掘与遗传改良山西省重点实验室,太原 030031;
2. 山西农业科学院院办公室,太原 030031)

摘要 为研究糜子高产栽培的氮肥运筹模式,以晋黍9号为材料,基肥、拔节肥和开花肥以不同比例施用,共设6个处理(N₀,N₁,N₂,N₃,N₄,N₅)。结果表明:分次施肥较一次性施肥有利于糜子产量的增加,以N₄(2:4:4)的产量最大,为4 575.62 kg/hm²;产量与单株粒重和株高达到极显著正相关,分别为0.93和0.94;氮素养分利用效率、氮肥农学利用率和氮肥偏生产力都以N₄处理最大,氮素养分利用效率较N₁(基肥100%)和N₂(基肥50%、拔节肥50%)分别提高了19.70%和1.31%;氮肥农学利用率较N₁和N₂分别提高了25.55%和23.64%;氮肥偏生产力较N₁和N₂分别提高了8.72%和8.07%。所以基肥、拔节期、开花期按2:4:4施氮,可以有效地提高糜子产量和氮素利用效率。

关键词 施氮时期;糜子;产量;氮素利用效率

中图分类号 S516.01 文章编号 1007-4333(2017)12-0020-06 文献标志码 A

Effects of nitrogen application stage on the yield and nitrogen use efficiency of broomcorn millet

WANG Junjie¹, CHAO Xiaoning¹, WANG Haigang¹, CHEN Ling¹, LIU Sichen¹, TIAN Xiang¹,
QIN Huibin¹, YANG Guangzong², QIAO Zhijun^{1*}

(1. Institute of Crop Germplasm Resources/Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement on Loess Plateau,
Ministry of Agriculture/Shanxi Key Laboratory of Genetic Resources and Genetic Improvement of Minor Crops,
Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China;
2. Office Department of Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract Rational nitrogen use plays an important role in increasing the yield and nitrogen (N) efficiency of maize. Through the study of different proportion of nitrogen application rates for base fertilizer at jointing stage and anthesis stage could help managing N fertilizer application and improving N use efficiency. Taking Jinshu 9 as the studied material, base fertilizer, jointing stage fertilizer and anthesis stage fertilizer were applied in different proportions, with 6 treatments. The results showed that multiple nitrogen application was more beneficial to the yield increasing of millet than single nitrogen application. The yield of N₄ (2 : 4 : 4) was the highest, which was 4 575.62 kg/hm². Yield reached a significant positive correlation with grain weight per plant and plant height, the correlation coefficients were respectively 0.93 and 0.94; Nitrogen use efficiency, nitrogen agronomic efficiency and nitrogen partial factor productivity were the highest in N₄ treatment, nitrogen use efficiency was 19.70% higher than in N₁ (base fertilizer 100%) and N₂ (base fertilizer 50%, jointing fertilizer 50%) 1.31%, respectively; Nitrogen agronomic efficiency was

收稿日期: 2016-12-26

基金项目: 山西省农业科学院攻关项目(YGG1625);农业部国家谷子高粱产业技术体系项目(CARS-06-13S)

作者简介: 王君杰, 硕士研究生, E-mail: xiaoleiawangjie@163.com

通讯作者: 乔治军, 研究员, 主要从事糜子栽培和种质资源研究, E-mail: nkypzs@126.com

25.55% and 23.64% higher than N1 and N2, respectively; The nitrogen partial factor productivity was 8.72% and 8.07% higher than N1 and N2 respectively. So basal fertilizer (20%), the jointing stage (40%) and the anthesis stage (40%) could effectively improve the yield of broomcorn millet and the nitrogen fertilizer use efficiency.

Keywords nitrogen application stages; broomcorn millet; yield; nitrogen use efficiency

糜子又名黍、稷和糜。糜子起源于中国,具有耐旱、耐瘠、喜温和早熟等特性,在我国古代农业中,糜子具有极其重要的地位^[1]。糜子属于小杂粮作物,它在平衡膳食营养、促进人类健康方面具有独特的作用,并且籽粒中所含的营养物质对人类健康发挥着较大的作用^[2]。

氮是作物生长发育所必需的大量营养元素,氮素缺乏导致植株叶片失绿,色素减少,光合性能减弱,导致叶片加速衰老^[3-4]。氮肥对品质的影响和施氮时期有关,早期施氮主要增加禾本科作物营养器官的生长量,后期主要提高籽粒蛋白质含量^[5]。氮素利用效率是评价氮肥充分吸收利用的关键指标,其常用的量化指标有氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率和氮肥偏生产力,能更加准确地描述氮素的利用效率^[6-7]。

由于糜子属于抗旱救灾作物,并且政府和科研人员对其重视度不够,从而造成对其研究不够深入。

前人在糜子栽培技术方面的研究主要集中在密度、播期、肥料、覆膜方式、种植方式、水分利用、除草剂和生长调节剂。对糜子肥料方面的研究主要集中在不同施肥量对其农艺性状、产量和品质的研究^[8-12],而对不同施氮时期处理对其产量及氮素利用效率的研究比较少。所以,本试验在总施氮量不变的情况下,调节不同生育时期施氮量比例,旨在为糜子如何合理施肥和获得高产高效提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2014 年 6—10 月在山西忻州河曲县社梁乡井裕沟村进行,该区位于(N39°08',E111°14'),海拔 1 086 m,土层养分含量和生育期内气候条件见表 1。该地区年均气温 8.8 °C,年降水量 400 mm,无霜期 150 d。温、光、热资源适宜糜子的生长发育。

表 1 播种前试验地 0~20 cm 土层养分含量和生育期内气候条件

Table 1 Soil nutrient content in 0—20 cm soil layer in experimental field before sowing and climatic conditions during the growing period

有机质/ (g/kg)	全氮/% Total N	速效磷/ (mg/kg)	速效钾/ (mg/kg)	pH	EC/ (mS/cm)	生育期降水量/ mm Rainfall of growth period	生育期平均气温/°C Average air temperature of growth period
5.78	0.053	14.6	215.4	8.19	0.27	417.3	21.73

1.2 试验设计

试验共设 6 个处理,见表 2,重复 5 次,随机区组排列,供试品种为晋黍 9 号,6 月 10 日播种,9 月 30 日收获。小区面积 5 m×3 m,根据往年研究结果,施肥量 N 150 kg/hm²,P₂O₅ 120 kg/hm²,K₂O 90 kg/hm²,其中氮肥按基肥、拔节肥和开花肥不同比例进行处理,磷肥和钾肥作为基肥一次性施入土壤。

表 2 施氮时期及施氮比例

Table 2 N application stages and ratios %

处理 Treatment	基肥 Basal	追肥 Top dressing	
		拔节期 Jointing	开花期 Anthesis
N0	0	0	0
N1	100	0	0
N2	50	50	0
N3	30	50	20
N4	20	40	40
N5	50	0	50

1.3 测试指标与方法

1.3.1 干物质测定

在不同生育时期于 7:00 进行取样,每个处理在分蘖期和拔节期取 10 株,抽穗期、开花期、灌浆期和成熟期取 5 株,迅速装于自封袋,带回实验室,将糜子植株分解为叶片、茎和穗,称其地上部鲜重,然后 105 °C 杀青 0.5 h,75 °C 烘至衡重,称各部位干重。

1.3.2 产量测定

成熟期进行测产,在每一小区收获 2 m²,重复 3 次,风干脱粒后进行测产和室内考种。

1.3.3 植株各器官全氮含量的测定及计算方法

不同生育时期植株按叶片、茎和穗分离,对其烘干并粉碎,用全自动凯氏定氮法^[13]测定各器官全氮的含量。计算公式如下^[14-15]:

植株总的氮素积累量 = 成熟期单株干重 ×

成熟期单株含氮量 × 密度

氮肥农学利用率 = (施氮区子粒产量 -
无氮区子粒产量) / 施氮量

氮肥吸收利用率 = (施氮区氮素吸收量 -
无氮区氮素吸收量) / 施氮量 × 100%

氮肥偏生产力 = 施氮区产量 / 施氮量

氮素养分利用效率 =

子粒产量 / 植株氮素积累量

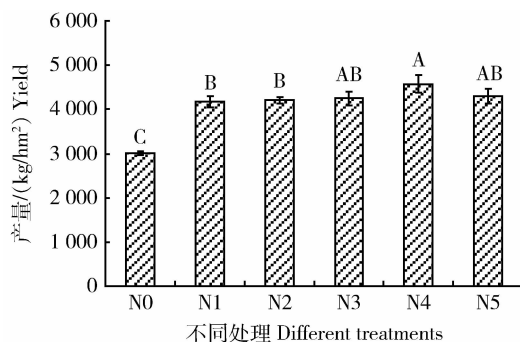
1.4 数据处理

试验数据都采用 Excel 和 DPS 软件进行数据统计和图表分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对糜子产量的影响

由图 1 可以看出,施肥处理均能显著增加糜子产量,表现为 N4 > N5 > N3 > N2 > N1 > N0,分别较 N0 增加 34.26%、30.08%、29.20%、28.47% 和 27.96%;三次施肥 N4 和 N3 与一次施肥 N1 差异达到显著水平,N4 与二次施肥 N2 和 N5 差异达到显著水平;二次施肥 N5 与 N1 差异达到显著水平,N2 与 N1 差异不显著;说明分次施肥更有利于糜子产量的增加,并且开花期施肥增产效果明显。



不同大写字母表示差异达 0.01 极显著水平。

Different letters indicate significant differences at $P < 0.01$.

图 1 不同处理对糜子产量的影响

Fig. 1 Effect of different treatment on yield in broomcorn millet

2.2 不同处理对糜子产量构成因素的影响

由表 3 和表 4 可以看出,可能是由于糜子自身

表 3 不同处理对产量构成因素及糜子主要农艺性状的影响

Table 3 Effect of different treatments on yield components and main agronomic traits in broomcorn millet

处理 Treatment	产量/(kg/hm ²) Yield	单株粒重/g Grain weight per plant	千粒重/g 1 000-grain weight	穗长/cm Ear length	茎粗/cm Stem diameter	株高/cm Plant height
N0	3 008.17 ± 41.65 c	20.62 ± 0.77 c	8.71 ± 0.13 a	35.12 ± 0.45 c	0.65 ± 0.02 c	142.65 ± 5.12 b
N1	4 175.42 ± 129.39 b	25.96 ± 3.03 b	8.56 ± 0.09 a	36.10 ± 0.59 bc	0.68 ± 0.04 bc	149.92 ± 6.08 ab
N2	4 205.44 ± 76.88 b	26.49 ± 2.94 b	8.52 ± 0.04 a	36.83 ± 0.33 ab	0.70 ± 0.03 abc	148.18 ± 3.89 ab
N3	4 248.79 ± 162.49 b	28.66 ± 1.25 ab	8.43 ± 0.29 a	37.27 ± 0.53 a	0.73 ± 0.04 ab	148.43 ± 3.58 ab
N4	4 575.62 ± 204.42 a	32.36 ± 2.44 a	8.53 ± 0.16 a	37.62 ± 0.73 a	0.70 ± 0.03 abc	153.37 ± 4.96 a
N5	4 302.15 ± 163.94 b	29.75 ± 3.97 ab	8.63 ± 0.20 a	35.97 ± 0.64 bc	0.75 ± 0.04 a	151.47 ± 3.37 a

注:不同的小写字母表示 5% 水平下差异的显著性。

Note: Bars superscripted by different letters are significantly different at the 5% probability level.

表 4 糜子产量与产量构成因素间及主要农艺性状的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between the yield and components in broomcorn millet, main agronomic traits

产量性状 Yield components	株高/cm Plant height	茎粗/cm Stem diameter	穗长/cm Ear length	单株粒重/g Grain weight per plant	千粒重/g 1 000-grain weight	产量/ (kg/hm ²) Yield
株高/cm	1.00					
茎粗/cm	0.65	1.00				
穗长/cm	0.66	0.52	1.00			
单株粒重/g	0.94**	0.77*	0.80*	1.00		
千粒重/g	-0.45	-0.51	-0.87*	-0.58	1.00	
产量/(kg/hm ²)	0.94**	0.73	0.81*	0.93**	-0.70	1.00

注：* 和 ** 分别表示相关性达显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$)。

Note: * and ** indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

表 5 不同处理对糜子氮素利用效率的影响

Table 5 Effect of different treatments on millet nitrogen utilization efficiency

处理 Treatment	氮积累量/ (kg/hm ²) NAA	氮素养分利用 效率/(kg/kg) NUE	氮肥农学 利用率/(kg/kg) NAE	氮肥吸收 利用率/% NRE	氮肥偏生产力/ (kg/kg) NPPF
N0	42.40±3.93 d	4.75±0.40 b			
N1	57.60±7.95 ab	4.89±0.58 b	7.78±0.64 b	0.20±0.03 b	27.84±0.86 b
N2	46.70±2.65 cd	6.01±0.24 a	7.98±0.24 b	0.14±0.03 c	28.04±0.51 b
N3	55.59±2.50 ab	5.10±0.09 b	8.27±0.81 b	0.34±0.04 a	28.33±1.08 b
N4	51.26±8.75 bc	6.09±1.23 a	10.45±1.38 a	0.21±0.02 b	30.50±1.36 a
N5	61.26±8.52 a	4.74±0.63 b	8.63±1.14 ab	0.11±0.002 c	28.68±1.09 ab

注：不同的小写字母表示 5% 水平下差异的显著性。

Note: Bars superscripted by different letters are significantly different at the 5% probability level.

调节能力强,没有施肥的情况下,减少单株粒数营养的供应,增加籽粒营养,从而提高籽粒千粒重。除千粒重外,施氮处理单株粒重、穗长、茎粗和株高与对照都达到显著差异,产量与单株粒重和株高达到极显著水平,分别为 0.93 和 0.94,都表现为 $N4 > N5 > N3 > N2 > N1 > N0$;与穗长呈显著正相关,为 $R^2 = 0.71$;与茎粗呈不显著正相关;与千粒重呈不显著负相关。开花期增施氮肥能显著增加糜子茎粗,可有效提高糜子抗倒伏的能力。

2.3 不同处理对糜子氮素利用效率的影响

由表 5 可以看出,施氮处理氮积累量显著高于不施氮处理,增加幅度为 4.30~18.86,以 N5 的氮积累量最大,说明开花期多施氮肥有利于氮素积累的增加。氮素养分利用效率、氮肥农学利用率和氮肥偏生产力都以 N4 处理最大,氮素养分利用效率较 N1 和 N2 分别提高了 19.70% 和 1.31%;氮肥

农学利用率较 N1 和 N2 分别提高了 25.55% 和 23.64%;氮肥偏生产力较 N1 和 N2 分别提高了 8.72% 和 8.07%。开花期施肥量越大,氮肥吸收利用率越低,表现为 $N3 > N4 > N5$,所以分次施肥必须调节好比例,使氮素利用效率达到最大化,本试验以 N4 处理效果最好。

3 结论与讨论

氮肥施用量和施氮次数显著影响着作物产量和氮肥利用率。其中氮肥利用率还受不同作物品种、土壤条件、肥料品种和水分等环境条件的影响。吕鹏等^[16]研究表明施氮时期显著影响夏玉米产量,随着施氮次数的增加,夏玉米产量也不断增加。张亚琦等^[17]研究表明在施相同量氮肥的情况下,谷子产量分三次施肥显著高于二次施肥,高出 15.07%。本试验结果与前人研究基本一致,分次施氮较一次

施氮产量高。前人在不同施氮量对糜子农艺性状的研究比较多,但在不同施氮时期处理方面研究较少。针对不同施氮量处理方面的研究,前人对糜子株高、穗长和千粒重等主要农艺性状的研究结果不一致。王显瑞等^[11]研究表明施氮量对糜子株高、穗长和千粒重的影响差异不显著,株高变化趋势没有规律性;穗长表现为先增加后减小;千粒重表现为先减小后增大。王宇先等^[10]研究表明糜子株高随着施氮量的增加呈现不断上升的变化趋势,千粒重随着施氮量的增加呈现先升高后降低的变化趋势。吕鹏等^[15]研究表明夏玉米分二次施氮较一次施氮显著提高千粒重。王彦丽等^[18]研究表明冬小麦不施氮处理千粒重最小,并且适宜的施氮时期对增加千粒重有重要作用。本试验结果,千粒重在不施氮处理下最大。可见糜子产量的提高主要是通过增加穗粒数和单株粒重实现的,而千粒重对其影响比较小。

前人对不同施氮时期对糜子氮素利用效率的研究比较少,主要集中在大作物的研究上,张杰等^[19]研究表明提高氮肥基追比例(6:4)能显著增加冬小麦的氮肥利用效率;郭明明等^[20]研究表明在不施K和施K(50 kg/hm²)处理下,返青期和拔节期追施氮肥能明显提高小麦氮素积累量和氮素转移量;吕鹏等^[15]研究表明夏玉米ZD958基肥、拔节期、大口期和花后10 d按1:2:5:2施入或拔节期、大口期和花后10 d按3:5:2施入可提高氮素利用率;夏来坤等^[21]研究表明夏玉米3叶期施氮+12叶展追氮处理的氮肥利用率最高,比3叶期单施氮和12叶展单施氮分别提高21.8%和22.8%;王宜伦等^[22]研究表明夏玉米30%苗肥+30%大喇叭口肥+40%吐丝肥的氮素利用效率最高,比习惯施氮50%苗肥+50%大喇叭口肥提高1.88%~9.70%。所以,分次施氮的氮素利用效率明显高于单施处理,与本研究的的结果基本一致。

本试验在氮素总量不变的情况下对其在糜子关键生育时期按不同施氮比例进行研究,分析了不同处理对糜子产量、主要农艺性状以及氮素利用效率的影响。结果表明,基肥、拔节期、开花期按2:4:4施氮,可以有效地提高糜子产量和氮素利用效率,从而为糜子合理施肥打下理论基础。

参考文献 References

[1] 杨武德,石建国,魏亦文.现代杂粮生产[M].北京:中国农业科

技出版,2001.

Yang W D, Shi J G, Wei Y W. *Modern Grain Production* [M]. Beijing: China Agriculture Science and Technology, 2001 (in Chinese)

- [2] 周丽娟,牟金明,谢志明,王春龙,王晓磊,郑永照.密度对糜子产量性状的影响[J].辽宁农业科学,2010(1):17-19
Zhou L J, Mu J M, Xie Z M, Wang C L, Wang X L, Zheng Y Z. Effects of density on yield character of millet [J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2010(1):17-19 (in Chinese)
- [3] 王绍华,吉志军,刘胜环,丁艳峰,曹卫星.水稻氮素供需差与不同叶位叶片氮转运和衰老的关系[J].中国农业科学,2003,36(11):1261-1265
Wang S H, Jie Z J, Liu S H, Ding Y F, Cao W X. Relationships between balance of nitrogen supply-demand and nitrogen translocation and senescence of leaves at different positions of rice [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(11): 1261-1265 (in Chinese)
- [4] 李刚华,薛利红,尤娟,王绍华,丁艳峰,吴昊,杨文祥.水稻氮素和叶绿素 SPAD 叶位分布特点及氮素诊断的叶位选择[J].中国农业科学,2007,40(6):1127-1134
Li G H, Xue L H, You J, Wang S H, Ding Y F, Wu H, Yang W X. Spatial distribution of leaf n content and SPAD value and determination of the suitable leaf for N diagnosis in rice [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(6): 1127-1134 (in Chinese)
- [5] 李生秀.中国旱地农业[M].北京:中国农业科技出版,2004:346-351
Li S X. *China Dryland Agriculture* [M]. Beijing: China Agriculture Science and Technology, 2004: 346-351 (in Chinese)
- [6] Bock B R. Efficient use of nitrogen in cropping systems. In: R D Hauck (ed.) Nitrogen in crop production [J]. *American Society of Agronomy Madison, Wisconsin*, 1984. 273-294
- [7] Novoa R, Loom R S. Nitrogen and plant production [J]. *Plant Soil*, 1981, 58: 177-204
- [8] 张美俊,乔治军,杨武德,陈凌,冯美臣.糜子氮、磷、钾肥的效应及优化研究[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):347-353
Zhang M J, Qiao Z J, Yang W D, Chen L, Feng M C. Effect of N, P and K fertilizer application and optimum rate for yield of millet [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(2): 347-353 (in Chinese)
- [9] 张盼盼,周瑜,宋慧,乔治军,王海岗,郑殿峰,冯佰利.不同肥力水平下糜子生长状况及农田小气候特征比较[J].应用生态学报,2015,26(2):473-478
Zhang P P, Zhou Y, Song H, Qiao Z J, Wang H G, Zheng D F, Feng B L. Comparison of growth and field microclimate characteristics of broomcorn millet under different fertilization conditions [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(2): 473-478 (in Chinese)
- [10] 王宇先,李清泉,刘玉涛,连永利,杨慧莹,马波,胡继芳,闫峰,兰红宇.密度和施氮量对糜子产量及综合性状的影响[J].中国

- 农学通报,2012,28(36):188-194
Wang Y X, Li Q Q, Liu Y T, Lian Y L, Yang H Y, Ma B, Hu J F, Yan F, Lan H Y. Effect of planting density and nitrogen fertilizer topdressing on yield character of broomcorn millet [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(36): 188-194 (in Chinese)
- [11] 王显瑞, 赵敏, 赵禹凯, 张立媛, 陈高勋. 不同播种量和施肥量对糜子产量及农艺性状的影响[J]. 现代农业科技, 2013(19): 10-12
Wang X R, Zhao M, Zhao Y K, Zhang L Y, Chen G X. Effects of different densities and fertilizer application amounts on yield and agronomical characters of proso millet [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2013 (19): 10-12 (in Chinese)
- [12] 王宇先, 李清泉, 刘玉涛, 连永利, 杨慧莹, 曹姜伟, 李丽莉, 闫峰, 胡继芳, 马波. 半干旱区不同施氮量对糜子产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2013(3): 24-27
Wang Y X, Li Q Q, Liu Y T, Lian Y L, Yang H Y, Cao J W, Li L L, Yan F, Hu J F, Ma B. The effect of different nitrogen rates on yield and quality of broomcorn millet in semi-arid region [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2013 (3): 24-27 (in Chinese)
- [13] 闵良, 姚文华, 徐国良, 王剑飞, 母其爱. 全自动凯氏定氮仪测定复合肥料中的总氮含量[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(1): 175-177
Min L, Yao W H, Xu G L, Wang J F, Mu Q A. Determination of the nitrogen content of compound fertilizer by Kjeltac Automatic Azotometer [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2012, 51(1): 175-177 (in Chinese)
- [14] 曹倩, 贺明荣, 代兴龙, 门洪文, 王成雨. 密度、氮肥互作对小麦产量及氮素利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 815-822
Cao Q, He M R, Dai X L, Men H W, Wang C Y. Effects of interaction between density and nitrogen on grain yield and nitrogen use efficiency of winter wheat [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(4): 815-822 (in Chinese)
- [15] 段文学, 于振文, 张永丽, 王东, 石玉. 施氮量对旱地小麦氮素吸收转运和土壤硝态氮含量的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(15): 3040-3048
Duan W X, Yu ZH W, Zhang Y L, Wang D, Shi Y. Effects of nitrogen fertilizer application rate on nitrogen absorption, translocation and nitrate nitrogen content in soil of dryland wheat [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45 (15): 3040-3048 (in Chinese)
- [16] 吕鹏, 张吉旺, 刘伟, 杨今胜, 刘鹏, 董树亭, 李登海. 施氮时期对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5): 1099-1107
Lv P, Zh J W, Liu W, Yang J S, Liu P, Dong S T, Li D H. Effects of nitrogen application dates on yield and nitrogen use efficiency of summer maize in super-high yield conditions [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17 (5): 1099-1107 (in Chinese)
- [17] 张亚琦, 李淑文, 付巍, 文宏达. 施氮对杂交谷子产量与光合特性及水分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1119-1126
Zhang Y Q, Li S W, Fu W, Wen H D. Effect of nitrogen application on yield, photosynthetic characteristic and water use efficiency of hybrid millet [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2014, 20(5): 1119-1126 (in Chinese)
- [18] 王彦丽, 邱喜阳, 朱云集, 张秋丽, 郭天财, 王晨阳, 谢迎新. 施氮量和施氮时期对冬小麦幼穗小花发育及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2011, 20(7): 82-87
Wang Y L, Qiu X Y, Zhu Y J, Zhang Q L, Guo T C, Wang C Y, Xie Y X. Effect of rate and period of nitrogen application on the floret development and grain yield of winter wheat [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2011, 20(7): 82-87 (in Chinese)
- [19] 张杰, 王备战, 冯晓, 李国强, 赵巧丽, 胡峰, 郑国清. 氮肥调控对冬小麦干物质质量、产量和氮素利用效率的影响[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(4): 516-520
Zhan J, Wang B Z, Feng X, Li G Q, Zhao Q L, Hu F, Zheng G Q. Effect of nitrogen fertilizer management on the dry matter quantity, yield and N utilization in winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2014, 34(4): 516-520 (in Chinese)
- [20] 郭明明, 赵广才, 郭文善, 常旭虹, 王德梅, 杨玉双, 王美, 元振, 王雨, 代丹丹, 魏星, 李银银, 刘孝成. 追氮时期和施钾量对小麦氮素吸收运转的调控[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3): 590-597
Guo M M, Zhao G C, Guo W S, Chang X H, Wang D M, Yang Y S, Wang M, Yuan Z, Wang Y, Dai D D, Wei X, Li Y Y, Liu X C. Regulation of nitrogen topdressing stage and potassium fertilizer rate on absorption and translocation of nitrogen by wheat [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2016, 22 (3): 590-597 (in Chinese).
- [21] 夏来坤, 陶洪斌, 王璞, 许学斌, 鲁来清, 王润正. 施氮期对夏玉米氮素积累运转及氮肥利用的影响[J]. 玉米科学, 2011, 19(1): 112-116
Xia L K, Tao H B, Wang P, Xu X B, Lu L Q, Wang R Z. Effect of nitrogen application period on nitrogen accumulation, translation and nitrogen use efficiency of summer maize [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2011, 19(1): 112-116 (in Chinese)
- [22] 王宜伦, 李潮海, 谭金芳, 张许, 刘天学. 氮肥后移对超高产夏玉米产量及氮素吸收和利用的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(2): 339-347
Wang Y L, Li C H, Tan J F, Zhang X, Liu T X. Effect of postponing n application on yield, nitrogen absorption and utilization in super-high-yield summer maize [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(2): 339-347 (in Chinese)