



秦娜,朱灿灿,代书桃,宋迎辉,王春义,李君霞,平西栓.施氮时期对谷子产量、品质和氮素利用率的影响[J]. 中国农业大学学报,2023,28(01):67-78.
QIN Na, ZHU Cancan, DAI Shutao, SONG Yinghui, WANG Chunyi, LI Junxia, PING Xishuan. Effects of nitrogen fertilizer application stage on the grain yield and quality and nitrogen use of foxtail millet[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(01): 67-78.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2023.01.06

施氮时期对谷子产量、品质和氮素利用率的影响

秦娜¹ 朱灿灿¹ 代书桃¹ 宋迎辉¹ 王春义¹ 李君霞^{1*} 平西栓^{2*}

(1. 河南省农业科学院 粮食作物研究所, 郑州 450002;
2. 河南省农业技术推广总站, 郑州 450002)

摘 要 为探究施氮时期对谷子产量、品质和氮素利用率的影响,2020—2021 年连续两年在河南省新乡市,选用 5 个不同基因型的谷子品种(‘济谷 20’、‘中谷 5 号’、‘冀谷 31’、‘豫谷 18’和‘豫谷 28’),设置 4 个施氮(尿素)时期,分别为 T₀(不施氮)、T₁(播种期施氮)、T₂(拔节期施氮)、T₃(开花期施氮),测定谷子的产量和品质性状及氮素利用效率等指标。结果表明:5 个不同基因型谷子品种在 4 个不同施氮时期处理的产量由高到低均表现为 T₃>T₂>T₁>T₀;谷子的峰值黏度、热浆黏度和糊化温度由高到低均表现为 T₀>T₁>T₂>T₃;脂肪、膳食纤维、氮素利用效率在拔节期施氮(T₂)下最高,显著高于 T₀ 和 T₁,但与 T₃ 无显著差异,蛋白质、直链淀粉、灰分、碳水化合物和食味氨基酸含量在开花期施氮(T₃)下最高,显著高于 T₀、T₁ 和 T₂,其中‘豫谷 28’表现最为突出。相关性分析表明,拔节期施氮(T₂)处理谷子的生物量、单穗重、千粒重与营养和食味品质的相关系数均显著高于播种期(T₁)与开花期(T₃)施氮处理。综上,谷子在拔节期施氮(T₂)和开花期施氮(T₃)处理可以兼顾高产和优质,而且拔节期施氮(T₂)是品质、产量和氮素利用效率兼顾的最佳施氮时期。

关键词 谷子; 氮肥; 产量; 品质; 氮素利用率

中图分类号 S311 文章编号 1007-4333(2023)01-0067-12 文献标志码 A

Effects of nitrogen fertilizer application stage on the grain yield and quality and nitrogen use efficiency of foxtail millet

QIN Na¹, ZHU Cancan¹, DAI Shutao¹, SONG Yinghui¹, WANG Chunyi¹, LI Junxia^{1*}, PING Xishuan^{2*}

(1. Cereal Crops Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China;
2. Henan Agricultural Technology Extension Central Station, Zhengzhou 450002, China)

Abstract In order to explore the influence of nitrogen application stage on foxtail millet yield, quality and nitrogen use efficiency, an experiment was consecutively carried out for two years in 2020 and 2021 in Xinxiang City, Henan Province. Five different millet cultivars with different genotypes (‘Jigu 20’, ‘Zhonggu 5’, ‘Jigu 31’, ‘Yugu 18’ and ‘Yugu 28’) were used as tested materials. Four nitrogen fertilizer application stages (urea) were designed as follows: T₀(no nitrogen fertilizer application), T₁(nitrogen fertilizer application at sowing stage), T₂(nitrogen fertilizer application at shooting stage) and T₃(nitrogen fertilizer application at flowering stage). The yield, quality traits and nitrogen use efficiency of foxtail millet were measured. The results showed that: The yield of the five millet cultivars from high to low was T₃>T₂>T₁>T₀ under four different nitrogen fertilizer application stages. The peak viscosity, hot

收稿日期: 2022-04-06

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-06);河南省中央引导地方科技发展资金项目(Z20221341070);河南省农业良种攻关项目(2022010401);河南省农业科学院科技创新团队(2022TD33);河南省农业科学院基础科研项目(2022 JC06)

第一作者: 秦娜(ORCID:0000-0001-6908-5493),助理研究员,主要从事谷子遗传育种及新种质创制研究,E-mail:qinna2004@126.com

通讯作者: 李君霞(ORCID:0000-0001-9507-0471),研究员,主要从事谷子遗传育种及栽培技术研究,E-mail:lijunxia@126.com

平西栓(ORCID:0000-0002-3281-0417),农业推广研究员,主要从事谷子栽培技术研究,E-mail:njzpxs@126.com

paste viscosity and pasting temperature from high to low was $T_0 > T_1 > T_2 > T_3$ under four different treatments. Under nitrogen fertilizer application at shooting stage (T_2), the fat, fiber and nitrogen use efficiency of millet were significantly higher than those of T_0 and T_1 , while there were no significant difference compared with T_3 . Under nitrogen fertilizer application of shooting stage (T_3), the protein, amylose, ash, carbohydrate and eating amino acid content were significantly higher than those of T_0 , T_1 and T_2 . Among them, the performance of ‘Yugu 28’ was the most outstanding. Correlation analysis showed that the correlation coefficients between biomass, spike weight, thousand grain weight and nutrition and eating quality of nitrogen fertilizer application of shooting stage (T_2) were significantly higher than nitrogen fertilizer application at flowering stage (T_3) and sowing stage (T_1). In summary, the coordination of yield and quality under nitrogen fertilizer application at shooting stage (T_2) and flowering stage (T_3). The nitrogen fertilizer application at shooting stage (T_2) was the best nitrogen application timing for both taking account of quality, yield and nitrogen use efficiency.

Keywords foxtail millet; nitrogen fertilizer; yield; quality; nitrogen use efficiency

自 20 世纪 80 年代以来,世界粮食总产量增加了一倍,而氮肥的使用量却增加了近 7 倍^[1]。按照目前氮素利用率 30%~40% 计算,为满足人口增长对粮食的需求,到 2025 年至少需要施用 20×10^6 t 氮肥^[2]。谷子作为北方地区的主要粮食作物^[3],其生长发育过程、品质及产量一直是研究的重点。氮肥是谷子生长中必不可少的营养元素之一,过量施用不仅导致生产成本增加和品质下降,而且造成的环境污染不利于农业可持续发展^[4-5]。基于此,国内外越来越重视研究氮素对作物生长发育影响的生理生化机制和遗传基础,从根本上提高作物对氮素的利用率和转化率。

不同基因型谷子品种间氮素利用效率和产量存在显著差异^[6],而谷子品质性状较为复杂,受遗传基因和环境因素双重影响。关于氮素对谷子产量和品质的影响,已有较多研究报道,杨延兵等^[7]研究结果表明,抽穗后不同浓度尿素处理间谷子株高、茎粗、单株干重均无显著差异;段宏凯等^[8]发现株高在幼穗分化期呈现“快—慢—快—慢”的生长特点,且追施氮肥能够显著延缓后期叶片干物质的下降;关瑞等^[9]研究发现控释氮肥一次性基施时成熟期谷子籽粒和秸秆氮、磷、钾含量均显著高于基施和追施尿素处理;代小冬等^[10]研究表明氮肥为碳酸氢铵和缓释硫酸铵且只作基肥施入时,谷子叶面积、穗粗、单穗质量和产量表现最优;陈二影等^[11-14]研究发现作物的不同品种对氮肥的响应存在一定差异,在缺氮条件下,小麦、水稻、谷子不同品种间产量和氮素利用效率均表现显著差异,在氮充足的情况下,产量与氮肥利用效率又呈现出不同的规律。陈国秋等^[15]在研究氮肥对‘燕谷 16 号’的影响时发现,随着氮肥用量的增加,产量和经济效益呈抛物线趋势变化;邢静

熠等^[16]研究表明穗分化时期施氮肥谷子穗数、穗粒数、千粒重和产量均显著提高,且影响小米甜味、鲜味的芳香类氨基酸含量显著提升;袁蕊等^[17]通过对黄化突变体谷子叶面喷施氮肥处理,结果显示喷施氮后黄化叶片的总叶绿素含量增加,光合作用增强,茎秆直径、千粒重及小米类胡萝卜素含量均显著增加;张喜文等^[18]研究表明随着施氮量增加,谷子蛋白质、直链淀粉及胶稠度显著增加,而粗脂肪、总淀粉则呈降低趋势。曾蓉等^[19]研究发现,拔节期和孕穗期追氮对谷子籽粒粗蛋白含量及总淀粉含量的影响存在着极显著的交互作用,拔节期追氮量较低时,总淀粉含量随孕穗期追氮量的增加而呈上升趋势,当拔节期追氮量处于高水平时,增加孕穗期追氮量反而会减少总淀粉含量的积累。罗世武等^[20]发现在谷子生长的不同时期追施氮肥能显著促进谷子植株的生长、器官养分的增加和产量的提高。目前,不同施氮时期对谷子产量和品质影响的研究鲜见报道。本研究选用 5 个不同基因型的谷子品种,设置 4 个施氮(尿素)时期,测定谷子的产量和品质性状及氮素利用效率等指标,旨在明确施氮时期对不同谷子品种产量、品质和氮素利用效率的影响,以期为实现谷子的优质高产提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

所选用品种为‘豫谷 18’、‘豫谷 28’、‘中谷 5 号’、‘冀谷 31’、‘济谷 20’(表 1)。供试氮肥为尿素(含 N 4.6 g/100 g)。

1.2 试验设计

试验在河南省新乡市河南现代农业研究开发基

地潮土试验站(34.55° N 113.36° E)进行,该试验站为全自动自走式平移灌溉系统,四周均设有排涝蓄水池。试验地耕作制度为冬小麦-夏谷子一年两熟轮作。试验于 2020 年 6 月 10 日播种,9 月 16 日收获;2021 年 6 月 13 日播种,9 月 15 日收获。新乡潮土试验站是基于 2012 年开始的氮肥水平长期定位试验,试验点土壤养分状况为:有机质 15.9 g/kg、硝态氮 18.2 mg/kg、铵态氮 7.51 mg/kg、速效磷 29.5 mg/kg、速效钾 185.0 mg/kg。试验设 4 个处理,分别是 T₀(不施氮)为对照、T₁(播种期施氮)、

T₂(拔节期施氮)、T₃(开花期施氮),施肥量是 375 kg/hm²(供试氮肥为尿素,有效氮为 175 kg/hm²),每个处理 3 次重复,供试品种小区面积 16 m²(宽 3.2 m,长 5.0 m)。试验采用随机区组试验设计,等行种植,播种密度为 60 万株/hm²。播种期氮肥为整地翻耕时施入土壤,拔节期和开花期氮肥分别以追肥形式施入,病虫害害按高产栽培田严格管理,2 年试验期间均无严重病虫害爆发。其他田间管理同正常谷子生产,于抽穗期在田间布置防鸟网,成熟期收获单株和籽粒。

表 1 供试谷子品种
Table 1 Millet cultivars used in this study

材料 Material	生育期/d Growth period	来源 Origin
豫谷 18 Yugu 18	88	安阳市农业科学院
豫谷 28 Yugu 28	89	河南省农业科学院粮食作物研究所
中谷 5 号 Zhonggu 5	91	中国农业科学院作物科学研究所
冀谷 31 Jigu 31	88	河北省农林科学院谷子研究所
济谷 20 Jigu 20	93	山东省农业科学院作物研究所

1.3 测定指标及方法

1.3.1 谷子产量和构成因子

各基因型谷子品种成熟后,从每行的第 3 株连续取样,共取 30 株进行考种,并测定各处理品种产量及产量性状,包括株高、生物量、单穗重、千粒重。

1.3.2 谷子食味和营养品质

根据中华人民共和国农业农村部发布实施的标准《GB 2905—82 谷类、豆类作物种子粗蛋白质测定法》^[21]测定蛋白质含量,脂肪含量参照王力立(2011)方法^[22]进行。灰分含量测定参照国家标准《GB/T 22510 谷物、豆类及副产品灰分含量的测定》^[23],碳水化合物含量参照国际标准(ASTM E1758)^[24]采用液相色谱法进行测定,丙氨酸、谷氨酸、苯丙氨酸含量分别参照《NY/T 56 谷物籽粒氨基酸测定处理方法》^[25]进行测定,直链淀粉含量利用流动分析仪(瑞典 FOSS 公司)进行测定。

1.3.3 小米淀粉黏质性

采用 RVA 测定仪(澳大利亚 Newport Scientific 公司)检测 RVA 谱特征值,每个基因型品种取小米粉样品(80 目)3.0 g,加入 ddH₂O 25.0 mL,50 ℃ 1.5 min,15 ℃/min 升温至 93 ℃,保持

2.5 min,15 ℃/min 降温至 50 ℃,保持 1.5 min。160 r/min 旋转搅拌至糊状。

1.3.4 氮素利用率

参照 Moll 等^[26]方法计算氮素利用效率,(施氮区谷子产量—不施氮区谷子产量)/施氮量。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 19.0 进行数据处理和统计分析。利用邓肯式新复极差法(DM-RT)进行数据差异显著分析,差异显著水平为 5%。

2 结果与分析

2.1 施氮时期对谷子产量及其构成因素的影响

由表 2 可知,随施氮时期的延迟,5 个不同基因型谷子品种籽粒产量呈显著增加趋势。施氮时期由播种期延迟到拔节期和开花期,‘豫谷 18’的籽粒产量增幅最小,T₁、T₂ 和 T₃ 分别较对照(T₀)增加 15.2%、18.2%和 24.4%;‘济谷 20’、‘中谷 5 号’和‘冀谷 31’的增幅居中;‘豫谷 28’的增幅最大,T₁、T₂ 和 T₃ 分别较对照(T₀)增加 23.1%、24.9%和 29.9%。

各基因型品种产量构成因素基本表现为随施氮时期的延迟而增加。‘豫谷 28’的单穗重和千粒重在 T₁、T₂、T₃ 处理下分别较 T₀ 增加 12.2% 和 5.6%、16.7% 和 8.3%、30.8% 和 9.5%；‘冀谷 31’的单穗重和千粒重在 3 个施氮时期处理下较 T₀ 的增幅最小。结果表明,不同施氮时期对谷子的产量和产量构成因素均有显著影响,不同基因型谷子之间差异显著。

表 2 不同施氮时期处理谷子籽粒的产量及产量构成因素的变化
Table 2 Grain yield and yield components changes of millet under different nitrogen fertilizer application stages

品种 Cultivar	处理 Treatment	株高/cm Plant height	生物量/g Biomass	单穗重/g Spike weight	千粒重/g Thousand grains weight	产量/ (kg/hm ²) Yield
济谷 20 Jigu 20	T ₀	129.6 b	28.3 a	13.5 a	2.42 a	4 113.7 a
	T ₁	134.4 ab	34.5 b	15.8 b	2.43 a	4 648.2 b
	T ₂	128.4 b	34.9 b	16.4 b	2.54 b	4 952.5 b
	T ₃	137.9 a	43.2 c	17.9 c	2.57 b	5 256.8 b
中谷 5 号 Zhonggu 5	T ₀	122.7 a	24.9 a	13.4 a	2.24 a	3 910.3 a
	T ₁	127.8 ab	29.9 a	14.3 a	2.32 ab	4 773.2 a
	T ₂	127.4 ab	30.3 a	16.8 ab	2.39 ab	4 840.0 b
	T ₃	134.0 b	37.3 b	19.4 b	2.52 b	4 923.5 b
冀谷 31 Jigu 31	T ₀	119.9 a	23.9 a	12.1 a	2.42 a	2 818.1 a
	T ₁	131.7 a	34.1 b	16.4 b	2.34 a	3 385.2 b
	T ₂	128.2 a	29.9 a	14.6 a	2.35 a	3 410.3 b
	T ₃	134.4 b	34.9 b	17.0 b	2.42 b	3 614.5 b
豫谷 18 Yugu 18	T ₀	120.5 a	20.5 a	11.6 a	2.46 a	3 935.3 a
	T ₁	128.7 ab	26.9 a	14.3 a	2.59 a	4 531.8 b
	T ₂	125.1 ab	26.4 a	14.1 a	2.65 b	4 652.6 b
	T ₃	133.7 b	34.8 b	18.7 b	2.67 b	4 894.3 b
豫谷 28 Yugu 28	T ₀	132.4 a	33.1 a	15.6 a	2.52 a	3 814.4 a
	T ₁	147.4 b	35.2 a	17.5 b	2.66 a	4 694.0 b
	T ₂	142.5 ab	34.2 a	18.2 b	2.73 b	4 764.8 b
	T ₃	148.3 b	44.8 b	20.4 c	2.76 b	4 956.6 b

注: 同列数据不同字母分别表示同一品种不同处理间差异显著($P<0.05$), 相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。下同。

Note: Within the same column, different letters indicate significant difference ($P<0.05$) among different treatments of the same variety, respectively. While the same letters represent no significant difference ($P>0.05$). The same below.

2.2 施氮时期对谷子营养品质的影响

由表 3 可知,氮肥对谷子蛋白质、直链淀粉、灰分和碳水化合物的影响较大,对脂肪和膳食纤维的影响相对较小。与 T₀ 相比,不同施氮时期均能够增加各品种的蛋白质、直链淀粉、灰分、碳水化合物含量,脂肪和纤维含量变化趋势一致,随施氮时期的

表 3 不同施氮时期处理谷子的营养品质指标

Table 3 Nutritional quality index of millet under different nitrogen fertilizer application stages

g/100 g

品种 Cultivar	处理 Treatment	蛋白质 Protein	直链淀粉 Amylose	碳水化合物 Carbon	脂肪 Fat	膳食纤维 Fiber
济谷 20 Jigu 20	T ₀	10.3 a	6.4 a	75.8 a	3.1 b	10.1 a
	T ₁	10.7 a	7.5 b	76.4 ab	3.3 a	10.0 a
	T ₂	10.4 a	7.6 b	76.8 ab	3.4 a	10.4 b
	T ₃	11.1 b	8.7 c	77.3 b	3.2 a	10.3 b
中谷 5 号 Zhonggu 5	T ₀	9.2 a	6.5 a	75.5 a	3.1 a	8.9 a
	T ₁	9.5 a	7.4 b	76.4 b	3.0 a	9.4 b
	T ₂	10.3 b	7.6 b	76.3 b	3.3 b	10.1 c
	T ₃	10.4 b	8.6 c	77.6 c	3.2 b	9.5 b
冀谷 31 Jigu 31	T ₀	10.0 a	6.2 a	75.1 b	2.3 a	8.4 a
	T ₁	10.6 a	7.4 b	77.5 a	2.4 a	8.6 b
	T ₂	10.7 ab	7.3 b	77.6 a	2.6 b	9.2 c
	T ₃	11.0 b	8.5 c	78.4 c	2.5 b	8.8 b
豫谷 18 Yugu 18	T ₀	11.6 a	6.5 a	77.3 ab	2.5 a	9.4 a
	T ₁	12.2 b	7.5 ab	76.8 a	2.6 a	9.3 a
	T ₂	12.3 b	7.6 ab	77.2 ab	2.7 b	9.6 b
	T ₃	12.9 c	8.6 b	77.7 b	2.6 b	9.5 b
豫谷 28 Yugu 28	T ₀	11.9 a	7.2 a	75.1 a	3.0 a	9.9 a
	T ₁	12.2 a	8.3 b	76.3 b	3.2 b	10.2 ab
	T ₂	12.6 a	8.5 b	77.1 b	3.5 c	10.6 b
	T ₃	13.5 b	9.5 c	78.7 c	3.3 b	10.5 b

延迟先升高后降低,在 T₂ 处理下最大,T₀ 处理下最小。5 个基因型品种中,4 个施氮时期处理下,‘中谷 5 号’蛋白质平均含量最低,为 9.9 g/100 g,‘豫谷 28’最高,为 12.6 g/100 g,‘豫谷 18’为 12.3 g/100 g,‘济谷 20’和‘冀谷 31’两者相同,均为 10.6 g/100 g。

2.3 施氮时期对谷子食味品质的影响

由表 4 可知,随施氮时期的延迟,谷子脱壳后的小米中丙氨酸、谷氨酸、苯丙氨酸含量呈递增趋势。与 T₀ 相比,T₃ 处理下各谷子品种食味氨基酸变化幅度显著高于 T₁ 和 T₂ 处理。其中‘豫谷 28’丙氨酸、谷氨酸和苯丙氨酸含量在不同施氮时期处理下均为最高。

2.4 施氮时期对谷子品种淀粉 RVA 特征值的影响

由表 5 可知,各基因型品种 T₀ 处理的峰值黏度均显著高于 T₁、T₂ 和 T₃ 处理,而消减值则显著

低于其他 3 个处理。随施氮时期延迟,热浆黏度和糊化温度均逐渐递减,其中‘冀谷 31’糊化温度随施氮时期的延迟变化幅度较小,‘济谷 20’和‘中谷 5 号’变化幅度较大,‘豫谷 28’和‘豫谷 18’变化幅度居中。

2.5 施氮时期对谷子品种氮肥利用率的影响

由图 1 可知,5 个基因型品种的氮素利用效率随施氮时期的推迟呈“先升高后降低”的趋势。拔节期施氮(T₂)各品种氮素利用率最高,‘济谷 20’、‘中谷 5 号’、‘冀谷 31’、‘豫谷 18’和‘豫谷 28’分别为 65.8、79.6、51.2、115.6 和 164.7 g/g,开花期施氮(T₃)各品种氮素利用率最低,分别为 22.9、39.4、20.6、54.8 和 76.8 g/g。T₁、T₂ 和 T₃ 3 个施氮时期处理下,‘豫谷 28’氮素利用率在 5 个品种中最高,‘冀谷 31’氮素利用率为最低。

表 4 不同施氮时期谷子食味氨基酸含量

Table 4 Edible amino acids content of millet under different nitrogen fertilizer application stages g/100 g

品种 Cultivar	处理 Treatment	丙氨酸 Alanine	谷氨酸 Glutamic acid	苯丙氨酸 Phenylalanine
济谷 20 Jigu 20	T ₀	0.82 a	1.69 a	0.65 a
	T ₁	0.87 b	1.75 a	0.69 ab
	T ₂	0.85 ab	1.80 b	0.71 ab
	T ₃	0.90 c	1.86 b	0.73 b
中谷 5 号 Zhonggu 5	T ₀	0.73 a	1.48 a	0.67 a
	T ₁	0.73 a	1.64 b	0.65 a
	T ₂	0.81 b	1.66 b	0.72 b
	T ₃	0.81 b	1.69 c	0.72 b
冀谷 31 Jigu 31	T ₀	0.77 a	1.62 a	0.65 a
	T ₁	0.88 b	1.84 b	0.67 a
	T ₂	0.89 b	1.86 b	0.68 a
	T ₃	0.90 b	1.88 c	0.70 b
豫谷 18 Yugu 18	T ₀	0.94 a	1.64 a	0.69 a
	T ₁	0.96 ab	1.69 a	0.72 ab
	T ₂	0.96 ab	1.74 ab	0.75 b
	T ₃	0.99 b	1.97 b	0.75 b
豫谷 28 Yugu 28	T ₀	0.98 a	2.00 a	0.76 b
	T ₁	0.99 a	2.20 b	0.73 a
	T ₂	1.01 b	2.26 b	0.74 a
	T ₃	1.02 b	2.44 c	0.77 b

表 5 不同施氮时期处理下谷子品种的 RVA 谱特征值

Table 5 RVA characteristic values of millet cultivars under different nitrogen fertilizer application stage

品种 Cultivar	处理 Treatment	峰值黏度 PKV	热浆黏度 HPV	消减值 SBV	糊化温度 PaT
济谷 20 Jigu 20	T ₀	2 547 c	1 721 c	152 a	92.5 b
	T ₁	2 412 b	1 654 c	289 b	85.2 a
	T ₂	2 086 a	1 455 b	306 b	85.1 b
	T ₃	1 867 a	1 201 a	315 b	83.2 a
中谷 5 号 Zhonggu 5	T ₀	2 657 c	2 198 c	295 a	93.7 a
	T ₁	2 322 b	2 032 b	496 b	89.2 b
	T ₂	2 187 b	1 894 b	547 b	86.4 c
	T ₃	2 032 a	1 563 a	552 b	82.1 c

表 5(续)

品种 Cultivar	处理 Treatment	峰值黏度 PKV	热浆黏度 HPV	消减值 SBV	糊化温度 PaT
冀谷 31 Jigu 31	T ₀	2 839 c	2 365 d	367 a	92.4 c
	T ₁	2 657 c	1 964 c	526 b	90.5 b
	T ₂	2 423 b	1 630 b	578 b	88.2 b
	T ₃	2 210 a	1 451 a	632 c	86.1 a
豫谷 18 Yugu 18	T ₀	2 951 c	2 466 c	489 a	90.7 c
	T ₁	2 857 c	2 231 b	598 b	88.6 b
	T ₂	2 632 b	1 854 a	602 b	86.3 b
	T ₃	2 062 a	1 732 a	655 b	85.1 a
豫谷 28 Yugu 28	T ₀	2 875 c	2 569 d	512 a	88.5 c
	T ₁	2 650 c	2 352 c	699 a	85.2 b
	T ₂	2 410 b	2 130 b	675 b	83.1 b
	T ₃	2 154 a	2 010 a	720 b	82.3 a

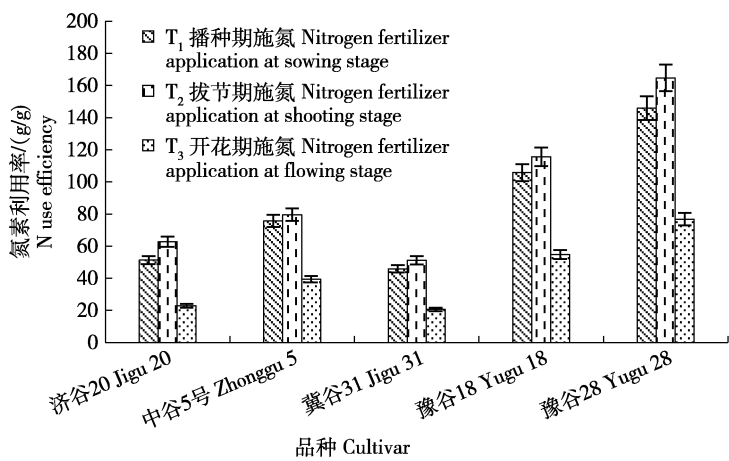


图 1 不同施氮时期处理谷子品种的氮素利用率

Fig. 1 Nitrogen use efficiency of millet cultivars under different nitrogen application stages

2.6 施氮时期谷子产量与品质性状相关性分析

由表 6 可知,播种期施氮(T₁),5 个基因型谷子品种‘济谷 20’、‘中谷 5 号’、‘冀谷 31’、‘豫谷 18’、‘豫谷 28’的蛋白质、脂肪、直链淀粉含量与千粒重均呈显著正相关;拔节期施氮(T₂),5 个基因型品种谷子的蛋白质、脂肪、直链淀粉含量与生物量、单穗重及千粒重均互呈显著正相关,丙氨酸、谷氨酸、苯丙氨酸与单穗重和千粒重均互呈显著正相关

(表 7);开花期施氮(T₃),各基因型品种蛋白质含量与单穗重和千粒重均呈显著正相关(表 8)。综上,播种期施氮(T₁)、拔节期施氮(T₂)、开花期施氮(T₃)均能够促进谷子产量的增加,且与谷子品质性状呈显著或极显著正相关。拔节期施氮(T₂),谷子的生物量、单穗重及千粒重与营养和食味品质之间的相关系数显著高于播种期(T₁)与开花期(T₃)施氮处理。

表 6 播种期施氮(T₁)谷子产量与品质的相关系数

Table 6 Correlation coefficients of millet yield and grain quality under nitrogen fertilizer application at sowing stage (T ₁)								
项目 Item	脂肪 Fat	直链淀粉 Amylose	丙氨酸 Alanine	谷氨酸 Glutamate	苯丙氨酸 Phenylalanine	生物量 Biomass	单穗重 Spike weight	千粒重 Thousand grains weight
蛋白质 Protein	0.142	0.223	0.956**	0.868**	0.802**	0.102	0.152	0.404*
脂肪 Fat		0.041	0.113	0.102	0.253	0.521	0.124	0.355*
直链淀粉 Amylose			0.052	0.112	0.145	0.21	0.314*	0.228*
丙氨酸 Alanine				−0.754**	−0.852**	0.054	0.184	0.142
谷氨酸 Glutamate					−0.524**	0.024	0.109	0.214
苯丙氨酸 Phenylalanine						0.087	0.098	0.174
生物量 Biomass							0.807**	0.754**
单穗重 Spike weight								0.852**

注:表中*和**分别表示相关性显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$),下同。
Note: * and ** represent significant correlation ($P<0.05$) and extremely significant correlation ($P<0.01$) in the table. The same below.

表 7 拔节期施氮(T₂)谷子产量与品质的相关系数

Table 7 Correlation coefficients of millet yield and grain quality under nitrogen fertilizer application at shooting stage (T ₂)								
项目 Item	脂肪 Fat	直链淀粉 Amylose	丙氨酸 Alanine	谷氨酸 Glutamate	苯丙氨酸 Phenylalanine	生物量 Biomass	单穗重 Spike weight	千粒重 Thousand grains weight
蛋白质 Protein	0.254	0.325	0.921**	0.885**	0.862**	0.452*	0.422*	0.564*
脂肪 Fat		0.187	0.152	0.545*	0.135	0.521	0.451*	0.419*
直链淀粉 Amylose			0.094	0.224	0.056	0.487*	0.579*	0.146
丙氨酸 Alanine				−0.726**	−0.621**	0.107	0.356*	0.431*
谷氨酸 Glutamate					−0.517**	0.091	0.492*	0.516*
苯丙氨酸 Phenylalanine						0.076	0.463*	0.492*
生物量 Biomass							0.871**	0.882**
单穗重 Spike weight								0.914**

3 讨 论

3.1 施氮时期对谷子产量的影响

在谷子生产中,氮肥施用是实现谷子高产的关键措施之一,对谷子产量的增加发挥了重要的作

用^[27]。产量高低是单位面积有效穗数、单穗重和千粒重三因素相互协调的结果^[28]。通过优化谷子的施氮方式,可使其生长发育过程中充分利用氮素,提高谷子营养物质和生物量的合成速率,进而提高产量^[29]。本研究结果表明,单穗重和千粒重决定了籽

表 8 开花期施氮(T₃)谷子产量与品质的相关系数

Table 8 Correlation coefficients of millet yield and grain quality under nitrogen fertilizer application at flowering stage (T₃)

项目 Item	脂肪 Fat	直链淀粉 Amylose	丙氨酸 Alanine	谷氨酸 Glutamate	苯丙氨酸 Phenylalanine	生物量 Biomass	单穗重 Spike weight	千粒重 Thousand grains weight
蛋白质 Protein	0.074 *	0.118 *	0.764 **	0.882 **	0.904 **	0.214	0.519 *	0.524 *
脂肪 Fat		0.119	0.314 *	0.107	0.092	0.101	0.221	0.187
直链淀粉 Amylose			0.082	0.071	0.108	0.072	0.229	0.208
丙氨酸 Alanine				−0.824 **	−0.887 **	0.151	0.071	0.204
谷氨酸 Glutamate					−0.652 **	0.153	0.061	0.094
苯丙氨酸 Phenylalanine						0.082	0.149	0.152
生物量 Biomass							0.849 **	0.906 **
单穗重 Spike weight								0.896 **

粒产量,无论在播种期施氮(T₁)、拔节期施氮(T₂)和开花期施氮(T₃),5 个基因型谷子品种的单穗重、千粒重和籽粒产量均显著增加,其中开花期施氮产量增幅最高,5 个基因型品种中‘豫谷 28’在各施氮时期产量性状表现最为突出,表明不同基因型品种氮素吸收利用率和转运能力差异显著,这与段宏凯等^[8]研究结果一致,不同追施氮肥时期均会对谷子生物量及产量产生显著影响。

3.2 施氮时期对谷子品质性状的影响

谷子品质性状受基因型和外界环境的双重影响,氮肥对小米品质的影响主要表现在食味和营养品质^[4,8]。邢静熠等^[16]研究结果表明在幼穗分化的不同时期进行施氮处理,各基因型谷子品种蛋白质含量差异显著。金正勋等^[30]通过研究氮肥对稻米蒸煮和食味品质特性的影响,表明随着施氮时期延迟和施氮量的增加稻米脂肪含量逐渐降低,碳水化合物和膳食纤维随施氮时期的前移而提高。张诚信等^[31]研究表明不同生育期氮素水平对稻米蛋白质含量的影响程度由高到低依次为:抽穗期>孕穗期>枝梗分化期>分蘖期,其中抽穗期追施氮肥对稻米籽粒蛋白的影响最大,且氨基酸含量显著增加。本研究中 5 个基因型品种蛋白质、灰分、碳水化合物、丙氨酸、谷氨酸、苯丙氨酸含量随施氮时期的延迟逐渐递增,脂肪和膳食纤维含量随施氮时期的延迟呈先升高后降低的趋势。综上,施氮时期越迟对

谷子品质影响程度越高,且不同谷子品种间品质性状受氮素影响差异较大,氮利用率较高的品种小米的食味值变化更为显著。因此,在谷子栽培过程中可以通过合理调节施肥时期来影响谷子品质的变化情况,以利于谷子获得较好的品质性状。

3.3 施氮时期对谷子淀粉 RVA 谱特征值的影响

水稻的淀粉 RVA 谱特征值与食味品质存在高度的相关性,且稻米黏滞性的特征值对氮素的响应不一致,通常情况下,消减值、糊化温度和回复值与施氮量呈正比,起始糊化温度、最高黏度及崩解值与施氮量呈反比^[32-33];石吕等^[34]研究发现随着追施氮肥时间的后移,稻米中胶稠度显著变短,淀粉糊化特征值中最高黏度、热浆黏度、糊化温度下降,而回复值、消减值呈上升趋势,食味值显著下降。本研究结果显示,随施氮时期的延迟,直链淀粉含量和消减值依次递增,峰值黏度、热浆黏度和糊化温度逐渐递减。拔节期施氮(T₂)谷子品种 RVA 特征值变化幅度显著高于播种(T₁)和开花期施氮(T₃),表明小米蒸煮食味品质及淀粉 RVA 值与氮肥施用时期显著相关,且在不同基因型品种中表现程度不同。

3.4 施氮时期对谷子氮素利用率的影响

关瑞等^[9]研究表明,播种期一次性基施氮肥可显著提高谷子产量和氮素利用率;王君杰等^[35]通过研究施氮时期对糜子产量和氮素利用率的影响,结果表明拔节期、开花期施氮,可以有效地提高糜子产

量和氮素利用率。本研究中播种期(T_1)、拔节期(T_2)和开花期(T_3)施氮均显著提高谷子氮素利用率,其中拔节期施氮各品种氮素利用率最高,不同基因型品种的氮素利用率差异显著。这与杨明晓等^[36]研究结果一致,生育后期追氮可以促进小麦籽粒对氮素的吸收,其中拔节-孕穗期追氮处理下吸收效果最好。

4 结 论

谷子籽粒产量及产量构成因子、营养和食味品质及氮素利用效率与谷子品种基因型和施氮时期均密切相关。产量与品质性状相关性分析表明,拔节期施氮(T_2),谷子的生物量、单穗重及千粒重与营养和食味品质的相关系数均显著高于播种期(T_1)与开花期(T_3)施氮处理。因此,谷子在拔节期(T_2)和开花期(T_3)施氮可以兼顾高产和优质,而且拔节期施氮(T_2)是品质、产量和氮素利用率兼顾的最佳施氮时期。

参考文献 References

[1] Hirel B, Le Gouis J, Ney B, Gallais A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plant: Towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2007, 58(9): 2369-2387

[2] 李亚非, 黎毛毛, 曹桂兰, 韩龙植. 水、旱稻氮高效 QTL 定位及其表达的遗传背景效应研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(21): 4331-4340

Li Y F, Li M M, Cao G L, Han L Z. Effects of genetic background on expression of QTL for nitrogen efficiency in irrigated rice and upland rice[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(21): 4331-4340 (in Chinese)

[3] 刁现民. 中国的谷子生产与产业发展方向[C]//刁现民. 第二届全国杂粮产业大会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010: 26-33

Diao X M. Millet production and industrial development direction of China[C]. In: Diao X M, eds. *Proceedings of the Second National Coarse Grain Industry Conference*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2010 (in Chinese)

[4] 朴钟泽, 韩龙植, 高熙宗, 张建明, 陆家安, 李培德. 水稻干物质质量和氮素利用效率性状的配合力分析[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(6): 527-532

Piao Z Z, Han L Z, Gao X Z, Zhang J M, Lu J A, Li P D. Analysis on combining ability of dry weight and nitrogen use efficiency in rice[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2005, 19(6): 527-532 (in Chinese)

[5] Karrou M, Nachit M. Durum wheat genotypic variation of yield and nitrogen use efficiency and its components under different water and nitrogen regimes in the Mediterranean region[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2015, 38(14): 2259-2278

[6] 秦娜, 马春业, 朱灿灿, 代书桃, 宋迎辉, 王春义, 芮战许, 李君霞. 谷子氮高效基因型筛选及相关特性分[J]. 河南农业科学, 2019, 47(5):

22-29

Qin N, Ma C Y, Zhu C C, Dai S T, Song Y H, Wang C Y, Rui Z X, Li J X. Screening of foxtail millet genotype with high nitrogen use efficiency and analysis of related characters[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2019, 47(5): 22-29 (in Chinese)

[7] 杨延兵, 秦岭, 陈二影, 刘宾, 张华文, 王海莲, 管延安. 追施氮肥对济谷 16 叶片叶绿素含量、农艺性状及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2015, 52(12): 63-66

Yang Y B, Qin L, Chen E Y, Liu B, Zhang H W, Wang H L, Guan Y A. Effect of topdressing nitrogen on leaf chlorophyll content, agronomic characters and yield of jigu 16[J]. *Journal of Shandong Agricultural Sciences*, 2015, 52(12): 63-66 (in Chinese)

[8] 段宏凯, 王宏富, 鱼冰星, 杨健, 原向阳, 董淑琦, 郭平毅. 不同时期追施氮肥对谷子穗分化期株高与生物量动态变化的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(13): 74-78

Duan H K, Wang H F, Yu B X, Yang J, Yuan X Y, Dong S Q, Guo P Y. Effect of nitrogen fertilizer on plant height and biomass dynamics of millet ear differentiation in different periods[J]. *Journal of Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(13): 74-78 (in Chinese)

[9] 关瑞, 张民, 诸葛玉平, 姜燕宏, 王会, 潘红, 韩飞, 何伟. 控释氮肥一次性基施提高谷子产量和氮素利用率[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(4): 639-646

Guan R, Zhang M, Zhuge Y P, Lou Y H, Wang H, Pan H, Han F, He W. Single basal application of controlled release nitrogen fertilizer improve yield and nitrogen use efficiency of foxtail millet[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2019, 25(4): 639-646 (in Chinese)

[10] 代小冬, 常世豪, 杨育峰, 陈煜, 王春义, 杨晓平, 杨国红, 李君霞. 不同氮肥组合和施肥方式对谷子生长和产量的影响[J]. 河南农业科学, 2014, 43(11): 13-16

Dai X D, Chang S H, Yang Y F, Chen Y, Wang C Y, Yang X P, Yang G H, Li J X. Effects of nitrogen fertilizer combination and fertilization mode on growth and yield of Foxtail Millet [*Setaria italica* (L) Beauv][J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2014, 43(11): 13-16 (in Chinese)

[11] 陈二影, 杨延兵, 程炳文, 秦岭, 张华文, 刘宾, 王海莲, 陈桂玲, 管延安. 不同夏谷品种的产量与氮肥利用效率[J]. 中国土壤与肥料, 2015(2): 93-97

Chen E Y, Yang Y B, Cheng B W, Qin L, Zhang H W, Liu B, Wang H L, Chen G L, Guan Y A. Yield and nitrogen use efficiency in summer foxtail millet[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2015(2): 93-97 (in Chinese)

[12] 李淑文, 周彦珍, 文宏达, 李雁鸣, 肖凯. 不同小麦品种氮效率和产量性状的研究[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(2): 204-208

Li S W, Zhou Y Z, Wen H D, Li Y M, Xiao K. Nitrogen use efficiency and yield traits in different wheat varieties[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2006, 7(2): 204-208 (in Chinese)

[13] 李淑文, 文宏达, 周彦珍, 李雁鸣, 肖凯. 不同氮效率小麦品种氮素吸收和物质生产特性[J]. 中国农业科学, 2006, 39(10): 1992-2000

Li S W, Wen H D, Zhou Y Z, Li Y M, Xiao K. Characterization of nitrogen uptake and dry matter production in wheat varieties with different N efficiency[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(10): 1992-2000 (in Chinese)

[14] 王丹英, 章秀福, 邵国胜, 徐春梅. 高土壤肥力环境下不同类型粳稻品种产量对氮肥用量的响应[J]. 作物学报, 2008, 34(9): 1623-1628

Wang D Y, Zhang X F, Shao G S, Xu C M. Response of grain yield of

different Japonica rice cultivars to amount of nitrogen application in high-fertility paddy field[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(9): 1623-1628 (in Chinese)

[15] 陈国秋. 氮肥、磷肥、密度对燕谷 16 号的产量影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011

Chen G Q. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizer and density on Yangu 16 yield[D]. Beijing, Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011 (in Chinese)

[16] 邢静嫒. 氮肥对谷子幼穗分化及产量和品质的影响[D]. 太谷: 山西农业大学, 2016

Xing J Y. Effects of nitrogen fertilizer on the young spike differentiation and yield and quality of millet[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2016 (in Chinese)

[17] 袁蕊, 郝兴宇, 胡桃花, 贺晓红, 李萍. 施氮对黄化谷子生理特性及品质的影响[J]. 山西农业科学, 2020, 48(3): 335-338, 386

Yuan R, Hao X Y, Hu T H, He X H, Li P. Effects of nitrogen application on physiological characteristics and quality of yellowing millet[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2020, 48(3): 335-338, 386 (in Chinese)

[18] 张喜文, 宋殿珍, 刘源湘, 姚克明. 氮肥和氮磷配合对谷子籽粒营养品质和食味品质的影响[J]. 土壤通报, 1992, 23(3): 122-123

Zhang X W, Song D Z, Liu Y X, Yao K M. Effects of nitrogen fertilizer and nitrogen and phosphorus combination on the nutritional quality and food taste quality of millet grains[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1992, 23(3): 122-123 (in Chinese)

[19] 曾蓉. 氮肥运筹对谷子产量及品质的影响[D]. 太谷: 山西农业大学, 2013

Zeng R. I Effect of nitrogen fertilizer transportation preparation on yield and quality of millet[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2013 (in Chinese)

[20] 罗世武, 杨军学, 王勇, 张尚沛, 岳国强, 程炳文. 宁南干旱区谷子氮肥不同时期追施实验研究[J]. 陕西农业科学, 2013(3): 13-16

Luo S W, Yang J X, Wang Y, Zhang S P, Yue G Q, Cheng B W. Study on different application of millet nitrogen fertilizer in arid area of South Ningxia[J]. *Journal of Shaanxi Agricultural Sciences*, 2013(3): 13-16 (in Chinese)

[21] GB 2905—82. 谷类、豆类作物种子粗蛋白质测定法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1982

GB 2905—82. Method for determination of crude protein in cereals and beans seeds[S]. Beijing: Standards Press of China, 1982 (in Chinese)

[22] 王力立. 小米中主要营养成分的测定及小米茶的制备[D]. 太原: 山西大学, 2011

Wang L L. Detection of principal nutrition constituents in foxtail millet and the preparation of foxtail millet tea[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2011 (in Chinese)

[23] GB/T 22510—2008. 谷物、豆类及副产品灰分含量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008

GB/T 22510—2008. Cereals, pulses and by-products: Determination of ash yield by incineration [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008 (in Chinese)

[24] ASTM E1758-2001(2007). Standard Test Method for Determination of Carbohydrates in Biomass by High Performance Liquid Chromatography[S]. USA: American Society for Testing and Materials, 2007

[25] NY/T 56—1987. 谷物籽粒氨基酸测定的前处理方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1987

NY/T 56—1987. Pretreatment method for determination of amino acids in cereal grains[S]. Beijing: Standards Press of China, 1987 (in Chinese)

[26] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Development of nitrogen-efficient prolific hybrids of maize[J]. *Crop Science*, 1987, 27(2): 181-186

[27] 秦岭, 杨延兵, 管延安, 陈二影, 张华文, 王海莲, 刘宾. 施氮量和留苗密度对不同株型谷子产量及产量相关性状的影响[J]. 山东农业科学, 2013, 45(5): 60-63

Qin L, Yang Y B, Guan Y A, Chen E Y, Zhang H W, Wang H L, Liu B. Effects of different planting densities and nitrogen application levels on yield and its related traits of foxtail millet[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2013, 45(5): 60-63 (in Chinese)

[28] 代小冬, 徐心志, 朱灿灿, 杨育峰, 秦娜, 王雁楠, 王春义, 杨晓平, 杨国红, 李君霞. 谷子氮、磷、钾肥的效应研究[J]. 作物杂志, 2016(5): 147-151

Dai X D, Xu X Z, Zhu C C, Yang Y F, Qin N, Wang Y N, Wang C Y, Yang X P, Yang G H, Li J X. Study on the effects of N P K fertilizer in foxtail millet[J]. *Crops*, 2016(5): 147-151 (in Chinese)

[29] 薛盈文, 苗兴芬, 王玉凤. 施氮对谷子光合特性及产量和品质的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2019, 31(4): 1-7, 37

Xue Y W, Miao X F, Wang Y F. Effects of nitrogen application on photosynthetic, yield and quality of foxtail millet [J]. *Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University*, 2019, 31(4): 1-7, 37 (in Chinese)

[30] 金正勋, 同拉嘎, 李丹, 李明月, 潘冬, 张玉磊, 王海微, 韩云飞, 张忠臣. 灌浆成熟期氮素营养对水稻增产及淀粉品质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2017, 48(4): 1-6

Jin Z X, Tonglaga, Li D, Li M Y, Pan D, Zhang Y L, Wang H W, Han Y F, Zhang Z C. Effect of grain-filling nitrogen on yield increasing and starch quality in rice [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2017, 48(4): 1-6 (in Chinese)

[31] 张诚信, 郭保卫, 唐健, 许方甫, 许柯, 胡雅杰, 邢志鹏, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 魏海燕, 黄丽芬, 陆阳, 唐闻, 戴琪星, 周苗, 孙君仪. 灌浆结实期低温弱光复合胁迫对稻米品质的影响[J]. 作物学报, 2019, 45(8): 1208-1220

Zhang C X, Guo B W, Tang J, Xu F F, Xu K, Hu Y J, Xing Z P, Zhang H C, Dai Q G, Huo Z Y, Wei H Y, Huang L F, Lu Y, Tang C, Dai Q X, Zhou M, Sun J Y. Combined effects of low temperature and weak light at grain-filling stage on rice grain quality [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45(8): 1208-1220 (in Chinese)

[32] Zhu D W, Zhang H C, Guo B W, Xu K, Dai Q G, Wei C X, Zhou G S, Huo Z Y. Effects of nitrogen level on structure and physicochemical properties of rice starch[J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 63: 525-532

[33] 蒋鹏, 熊洪, 张林, 周兴兵, 朱永川, 刘茂, 郭晓艺, 徐富贤. 施氮量和氮肥运筹模式对糯稻产量及品质的影响[J]. 作物研究, 2015, 29(6): 595-598

Jiang P, Xiong H, Zhang L, Zhou X B, Zhu Y C, Liu M, Guo X Y, Xu F X. Effect of nitrogen rates and nitrogen application regimes on grain yield and rice quality of glutinous rice[J]. *Crop Research*, 2015, 29(6): 595-598 (in Chinese)

[34] 石吕, 张新月, 孙惠艳, 曹先梅, 刘建, 张祖建. 不同类型水稻品种糯米蛋白质含量与蒸煮食味品质的关系及后期氮肥的效应[J]. 中国水稻科学, 2019, 33(6): 541-552

Shi L, Zhang X Y, Sun H Y, Cao X M, Liu J, Zhang Z J. Relationship of grain protein content with cooking and eating quality as affected by

nitrogen fertilizer at late growth stage for different types of rice varieties [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2019, 33 (6): 541-552 (in Chinese)

[35] 王君杰, 曹晓宁, 王海岗, 陈凌, 刘思辰, 田翔, 秦慧彬, 杨光宗, 乔治军. 施氮时期对糜子产量和氮素利用效率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(12): 20-25

Wang J J, Cao X N, Wang H G, Chen L, Liu S C, Tian X, Qin H B, Yang G Z, Qiao Z J. Effects of nitrogen application stage on the yield and nitrogen use efficiency of broomcorn millet[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(12): 20-25 (in Chinese)

[36] 杨明晓, 吴伟, 张钧浩, 付博阳, 彭正萍, 薛澄. 不同追氮时期对强筋小麦产量、品质及氮素吸收利用的影响[J]. 河北农业大学学报, 2020, 43(2): 11-18

Yang M X, Wu W, Zhang J H, Fu B Y, Peng Z P, Xue C. Effects of nitrogen topdressing timing on grain yield, quality and nitrogen utilization of strong gluten wheat[J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2020, 43(2): 11-18 (in Chinese)

责任编辑：吕晓梅



通讯作者简介:李君霞, 硕士, 研究员, 现任河南省农业科学院特色杂粮研究室主任, 主要从事高粱、谷子、食用豆育种与示范推广工作。郑州大学硕士生导师、国家谷子、高粱产业技术体系郑州试验站站长、河南省特色杂粮工程技术研究中心主任、河南省杂粮产业创新战略联盟秘书长、中国粟类作物学会学术委员会委员。主持和承担国家产业体系、国家自然科学基金、河南省良种攻关项目、茅台酒用高粱研究、国家重点研发项目、河南省科技攻关等项目。先后选育高粱、谷子、食用豆杂粮品种 22 个, 获得河南省科技进步奖二等奖 4 项、三等奖 1 项, 河南省农牧渔丰收奖一等奖 1 项, 发表论文 33 篇, 参编著作 6 部, 制定国家标准 4 项、河南省地方标准 8 项。



通讯作者简介:平西栓, 农业推广研究员, 现任河南省农业技术推广总站副站长, 主要从事粮食作物新技术试验、示范与推广工作。先后荣获农牧渔业丰收奖 4 次, 参与实施省部级重大项目、发表论文、编写著作、制定地方标准等多项, 获得省级表彰多次。联合河南省农科院的有关专家开展作物技术培训、制定技术方案、印发技术手册和挂图等, 深入田间地头在品种选择、扩间增光、缩株保密、合理施肥、封闭除草等环节对种粮大户进行技术指导。为切实帮助种植大户抗风险、提效益、促发展, 创新服务机制, 组织全省农技推广系统开展“百站包万家”活动, 推动农技部门与新型农业经营主体主动有效对接, 精准服务。