植物营养与肥料学报 2013,19(6):1312-1320
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2013.0604

施氮量和种植密度对镇麦 168 子粒产量与品质的影响

蔡金华,陈爱大*,温明星,李东升,曲朝喜
(江苏丘陵地区镇江农业科学研究所,江苏句容 212400)

摘要: 为了探明小麦产量与品质协同提高的最佳施氮量和种植密度,制定合理的栽培措施,为实现高产优质提供理论依据,本试验以高产红皮强筋小麦品种镇麦 168 为试材,在大田条件下设 3 个施氮水平(N 240、300、360 kg/hm^2)和 5 个种植密度(135×10^4、180×10^4、225×10^4、270×10^4、330×10^4 seedlings/hm^2),研究了施氮量和种植密度对镇麦 168 子粒产量与品质的影响。结果表明,施氮量和种植密度均显著影响镇麦 168 的产量及其产量构成因素。镇麦 168 的子粒产量随施氮量和种植密度的增加而增加,但施氮水平为 N 300 和 360 kg/hm^2 的处理间子粒产量差异不显著;当种植密度为 270×10^4 seedlings/hm^2 时,镇麦 168 的子粒产量最高。穗数随施氮量和种植密度的增加而增加,穗粒数和千粒重则随种植密度的增加而逐渐降低,施氮量对穗粒数和千粒重的影响不显著。增施氮肥可显著提高镇麦 168 子粒蛋白质和湿面筋含量并改善面团流变学特性,增加种植密度有降低湿面筋含量和弱化度的趋势,种植密度对子粒蛋白质含量,面团吸水率、形成时间和稳定时间的影响不显著。在本试验条件下,实现镇麦 168 高产与优质的适宜施氮量为 N 300 kg/hm^2,种植密度为 270×10^4 seedlings/hm^2。

关键词: 小麦;氮肥;种植密度;产量;品质
中图分类号: S512.1.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)06-1312-09

Effect of nitrogen application rate and planting denisty on grain yield and quality of wheat cultivar Zhenmai 168

CAI Jin-hua, CHEN Ai-da*, WEN Ming-xing, LI Dong-sheng, QU Chao-xi
(*Zhenjiang Institute of Agricultural Sciences, Jurong, Jiangsu 212400, China*)

Abstract: In order to verify the optimum nitrogen application rate and planting denisty for high yield and better quality in wheat production, and provide basis for establishment of rational cultivation management, a wheat cultivar, Zhenmai 168 with red seed coat and strong gluten was used as experiment material. The experiment was conducted to study the effect of nitrogen application rate(N 240, 300 and 360 kg/ha) and planting denisty(135×10^4, 180×10^4, 225×10^4, 270×10^4 and 330×10^4 seedlings/ha) on grain yield, yield components and grain quality of Zhenmai 168 in the years of 2011-2012. The results indicate that the nitrogen level and planting denisty show significant effects on grain yield and yield components. The grain yield is increased with the increase of N level and planting denisty, however, there is no significant difference between N 300 and 360 kg/ha on grain yield. The plant density for the highest grain yield is 270×10^4 seedlings/ha. Increasing N level and planting denisty significantly increase the number of spikes per unit. The effect of the N level on grains per spike and thousand grain weight is not obvious, however, grains per spike and thousand grain weight are decreased with the increase of planting denisty. Increasing the level of N significantly increases grain protein and wet gluten content, and improves the dough rheological properties. Increasing planting denisty decreases wet gluten content and dough softening

收稿日期: 2013-05-13 **接受日期:** 2013-08-14
基金项目: 江苏省科技支撑项目(BE2011306);江苏省农业科技自主创新资金项目(CX122026);镇江市科技支撑计划(农业)项目(NY2011018);镇江市科技支撑计划(农业)项目(NY2012024)资助。
作者简介: 蔡金华(1990—),男,江苏海门人,研究实习员,主要从事小麦新品种选育工作。Tel: 0511-87265773, E-mail: jshmcjh@163.com
* 通信作者 E-mail: chenaida56@yahoo.com.cn

degree, however, planting denisty does not result in a significant change in grain protein content, dough water absorption, development time and stability time. In this study, as far as the grain yield and quality factors are concerned, the optimal nitrogen application rate and planting denisty for Zhenmai 168 are N 300 kg/ha and 270×10^4 seedlings/ha, respectively.

Key words: wheat; nitrogen fertilizer; planting denisty; yield; quality

小麦的产量和品质,不仅取决于品种的遗传特性,而且受生态环境和栽培技术的影响。施氮量和种植密度是影响小麦群体性状、产量和品质形成的重要因素[1]。目前国内外有关施氮量和种植密度对小麦产量和品质影响的报道已有很多[2-6]。多数研究认为施氮量与子粒产量呈抛物线关系,在一定范围内适量增施氮肥可以提高小麦子粒产量及子粒蛋白质、湿面筋含量、沉降值以及改良面团流变学特性,从而有效地改善子粒加工品质[7-9],但施氮量超过一定范围,子粒产量增加不显著甚至降低[10-11],加工品质趋于变劣[12]。

适当增加种植密度有利于提高单位面积的穗数,增加子粒产量,但当种植密度超过一定范围后,继续增加密度,穗粒数和千粒重降低[13-14],最终导致子粒产量下降[15-16]。有关种植密度对小麦子粒品质影响的研究结果不尽一致。李筠等[11]、赵广才等[17]研究认为子粒蛋白质含量随种植密度的增加而降低。徐月明等[18]认为小麦子粒蛋白质和湿面筋含量与种植密度呈二次曲线关系。张耀辉等[19]研究认为,增加种植密度会使面团形成时间和稳定时间降低。但多数结果表明种植密度对小麦子粒品质的影响不明显[3, 17, 20]。

江苏淮南麦区是我国长江中下游优质弱筋小麦主产区。近十年来,弱筋小麦在该区的年推广种植面积稳定在 40×10^4 hm^2 左右。但该区生态类型较复杂,王龙俊等[21]根据生态环境因子、土壤类型、质地和肥力水平对小麦品质的影响以及小麦的消费习惯、市场需求和商品率等因素将该区分成三大品质区,其中里下河中筋红粒小麦品质区所产小麦的蛋白质和湿面筋含量中等偏高,是生产蒸煮类小麦的理想区域,红粒中强筋小麦在这一区域的种植面积逐年上升。此外,国家及江苏省对小麦品种评判的基本条件之一是中筋品种区域试验比对照增产显著或增产 3%(含)以上;强筋或弱筋品种区域试验比对照减产不显著。由此可见,只要品种的品质达到强筋或弱筋标准,即使产量与对照相当,而品质有所提高,仍是可取的。近年来,江苏淮南麦区的多家育种单位相继开展了强筋小麦品种选育工作,先后育成了镇麦 168、镇麦 9 号、宁麦 20 等强筋小麦品种,这些品种已在生产上推广应用。有关栽培措施对江苏淮南弱筋小麦产量和品质影响的报道较多[22-24],但对强筋小麦研究尚属空白。本研究以江苏丘陵地区镇江农业科学研究所培育的优质强筋红皮冬小麦新品种镇麦 168 为材料,研究不同施氮量和种植密度对其产量和品质的影响,旨在明确镇麦 168 产量和品质协同提高的施氮量和种植密度的最佳组合,为江苏淮南麦区高产优质强筋小麦的栽培及标准化生产提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验于 2011 ~ 2012 在江苏丘陵地区镇江农业科学研究所行香试验园区进行。土壤为板浆白土,壤质,0—20 cm 土层有机质含量 16.9 g/kg、全氮 1.14 g/kg、碱解氮 84.6 mg/kg、速效磷 34.7 mg/kg、速效钾 70.4 mg/kg。小麦全生育期降水 334.8 mm,日照时数 986 h。

1.2　试验设计

供试材料为高产强筋小麦品种镇麦 168。试验采用施氮量和种植密度两因素随机区组设计,在磷、钾肥用量一致的条件下,设施氮量为 N 240、300 和 360 kg/hm^2,分别用 B1、B2 和 B3 表示。氮肥分基肥、苗肥和拔节孕穗肥 3 次施用,基肥:苗肥:拔节孕穗肥的氮肥比例为 4:3:3。各处理均施 P_2O_5 120 kg/hm^2(过磷酸钙),K_2O 105 kg/hm^2(氯化钾),氮肥为尿素。种植密度即基本苗设 135×10^4、180×10^4、225×10^4、270×10^4、330×10^4 seedlings/hm^2,分别用 A1、A2、A3、A4 和 A5 表示。2011 年 10 月 30 日采用人工开沟条播。小区长 2.5 m,宽 3 m,每小区种 10 行,小区面积 7.5 m^2,3 次重复,其他田间管理同一般高产田,2012 年 6 月 2 日收获。

1.3　测定项目和方法

1.3.1 产量及产量构成因素　成熟前每小区取中间 2 行调查成穗数,每小区随机取 100 穗测定穗粒数;

小区收获后脱粒、晒干,实测产量和千粒重。

1.3.2 品质性状 采用瑞典 Perten 公司的 DA7200 固定光栅连续光谱近红外品质分析仪测定子粒蛋白质含量,标准曲线由 Perten 公司提供并经标准样校正。用 Brabender 实验磨制粉,出粉率为 65%。湿面筋含量采用瑞典 Perten 公司的 2200 型面筋仪,参阅 AACC38-12 进行测定。采用德国 Brabender 公司的 E 型粉质仪,参照 AACC 54-21 方法测定面粉粉质参数。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Execl 2003 进行数据整理,DPS 统计分析软件进行统计分析,Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验,显著水平为 5%。

2 结果与分析

2.1 施氮量、种植密度对镇麦 168 子粒产量及其构成因素的影响

由表 1 可以看出,施氮量、种植密度以及两者间的互作对镇麦 168 子粒产量的影响均达极显著水平。增施氮肥能显著提高镇麦 168 的子粒产量,B1(N 240 kg/hm^2)处理的子粒产量为 6635.4 kg/hm^2,B2(N 300 kg/hm^2)和 B3(N 360 kg/hm^2)处理的子粒产量分别为 7403.8 kg/hm^2 和 7514.6 kg/hm^2,B2 和 B3 处理的子粒产量分别比 B1 增产 11.58% 和 13.25%,增产达显著水平,但 B3 和 B2 处理间的子粒产量差异不显著,表明施氮水平达到 N 300 kg/hm^{2}时,再增加施氮量对子粒产量影响不明显。特别是在中密度 A4 (270×10^4 seedlings/hm^2)和高密度 A5 (330×10^4 seedlings/hm^2)条件下,当施氮量增加到 N 300 kg/hm^2 时,再增加施氮水平子粒产量反而有所下降。

由表 1 还可以看出,在本试验种植密度(135×10^4~270×10^4 seedlings/hm^2)范围内,镇麦 168 的子粒产量随种植密度的增加而显著提高,A2(180×10^4 seedlings/hm^2)、A3(225×10^4 seedlings/hm^2)和 A4 (270×10^4 seedlings/hm^2)处理的子粒产量分别比 A1 (135×10^4 seedlings/hm^2) 增加 10.67%、27.27% 和 34.17%。但当种植密度增加到 270×10^4 seedlings/hm^{2}时,再增加种植密度,子粒产量反而明显下降。

在本试验条件下,镇麦 168 子粒产量以 A4B2 的处理最高,多重比较结果表明,该处理除与 A4B3 和 A3B3 处理的产量差异不显著外,与其他处理的产量差异均达显著水平。可见,在适宜播种期内,以施氮量和种植密度都适中的组合(施氮量 N 300 kg/hm^{2}和种植密度 270×10^4 seedlings/hm^2)处理的产量最高。

从产量结构看(表 1),施氮量对镇麦 168 穗数的影响达到了极显著水平,穗数随着施氮量的增加而增加,但中施氮量(B2,N 300 kg/hm^2)和高施氮量 (B3,N 360 kg/hm^2)处理间的穗数差异不显著,说明在实际生产中,施氮量为 N 300 kg/hm^2 即可保证足够的穗数;施氮量对镇麦 168 的穗粒数和千粒重的影响均未达到显著水平,表明该品种的穗粒数和千粒重对氮肥的反应不敏感,在不同肥力条件下,这两个产量构成因素都比较稳定。种植密度对镇麦 168 的产量构成因素均有显著或极显著影响,穗数随着种植密度的增加而增加,但高密度 A4 和 A5 处理间的穗数差异不显著;穗粒数和千粒重则随着种植密度的增加呈逐渐下降的趋势,尤其是穗粒数下降的趋势较为明显,但低密度(A1)与中密度(A2、A3)间的穗粒数差异不显著,千粒重除高密度(A5)处理较低外,其余处理间差异均不显著。

2.2 施氮量、种植密度对镇麦 168 子粒蛋白质和湿面筋含量的影响

施氮量显著影响镇麦 168 子粒蛋白质和湿面筋含量(表 2)。子粒蛋白质含量和湿面筋含量均随施氮量的增加而增加,高氮(B3)处理的蛋白质含量和湿面筋含量分别比中氮(B2)和低氮(B1)处理提高 4.46、2.73 个百分点和 6.09、4.31 个百分点,且差异均达显著水平,表明增施氮肥对提高子粒蛋白质含量和湿面筋含量具有重要作用。不同种植密度处理间的子粒蛋白质含量差异不显著(表 2),表明基本苗对镇麦 168 子粒蛋白质含量没有影响。不同种植密度处理间的湿面筋含量有一定差异,湿面筋含量表现出随种植密度的增加先增加后降低的变化趋势,以种植密度最高处理(A5)的湿面筋含量最低,A5 与 A1、A2 和 A3 处理间的湿面筋含量差异均达显著水平(表 2)。种植密度对子粒蛋白质含量和湿面筋含量的影响存在一定差异,这与孔令聪等[25]、闫翠萍等[26]的研究结果基本一致,这可能与试验中选用的小麦品种类型、土壤肥力水平、栽培措施以及气候条件等因素有关。经两因素方差分析表明,施氮量与种植密度的互作效应对镇麦 168 子粒蛋白质含量和湿面筋含量影响均不显著。

表 1　施氮量和种植密度对镇麦 168 籽粒产量及其构成因素的影响

Table 1　Effect of nitrogen level and planting denisty on grain yield and its components of Zhenmai 168

处理 Treatment	穗数 Spike number($\times 10^4/hm^2$)				穗粒数 Grains per spike (No./spike)				千粒重 1000-grain weight (g)				籽粒产量 Grain yield (kg/hm^2)			
	B1	B2	B3	平均 Mean	B1	B2	B3	平均 Mean	B1	B2	B3	平均 Mean	B1	B2	B3	平均 Mean
A1	355.3	402.8	410.3	389.5 d	38.7	38.2	38.3	38.4 a	42.9	42.5	41.6	42.3 a	5517.8	6036.9	6395.2	5983.3 d
A2	407.6	477.9	483.0	456.2 c	37.6	37.0	37.4	37.4 ab	42.5	41.9	41.4	41.9 a	6045.8	6841.6	6978.2	6621.8 c
A3	480.0	525.7	528.5	511.4 b	37.3	37.1	37.7	37.4 ab	40.3	41.7	41.9	41.3 ab	6778.9	7883.5	8182.9	7615.1 b
A4	544.5	557.6	557.0	553.0 a	36.2	37.5	36.7	36.8 b	40.2	41.8	41.7	41.2 ab	7375.9	8418.9	8289.2	8028.0 a
A5	569.5	542.5	562.5	558.2 a	33.7	36.6	34.7	35.0 c	40.3	40.4	40.5	40.4 b	7458.8	7838.5	7727.7	7675.0 b
平均 Mean	471.4 b	501.3 a	508.3 a		36.7 a	37.3 a	37.0 a		41.2 a	41.7 a	41.4 a		6635.4 b	7403.8 a	7514.6 a	
	显著水平 Significant level (*P*)															
种植密度 Planting denisty(A)	<0.0001				<0.0001				0.0275				<0.0001			
施氮量 N rate(B)	<0.0001				0.4118				0.6522				<0.0001			
A×B	<0.0001				0.3104				0.4300				0.0066			

注(Note)：A1、A2、A3、A4、A5 表示种植密度分别为 135×10^4、180×10^4、225×10^4、270×10^4、330×10^4 seedlings/hm^2　Mean planting denisty were 135×10^4, 180×10^4, 225×10^4, 270×10^4, 330×10^4 seedlings/ha, respectively; B1、B2、B3 表示施氮水平分别为 N 240、300、360 kg/hm^2　Mean nitrogen rate were N 240, 300, 360 kg/ha, respectively. 同列和同行平均值后不同字母分别表示种植密度和施氮量处理间差异达 5% 显著水平 Mean values followed by different letters in a column or line are significant differences among planting denisty and nitrogen application rate at the 5% level, respectively.

表2 施氮量和种植密度对镇麦168子粒蛋白质和湿面筋含量的影响(%)

Table 2 Effect of nitrogen level and planting denisty on grain protein content and wet gluten content of Zhenmai168

处理 Treatment	蛋白质含量 Protein content				湿面筋含量 Wet gluten content			
	B1	B2	B3	平均 Mean	B1	B2	B3	平均 Mean
A1	15.01	15.14	15.65	15.27 a	32.7	33.6	34.0	33.4 a
A2	14.77	15.06	15.62	15.15 a	33.0	33.8	33.9	33.6 a
A3	14.81	15.11	15.60	15.17 a	33.1	33.0	34.3	33.5 a
A4	14.67	14.97	15.65	15.11 a	31.8	32.7	33.9	32.8 ab
A5	14.65	14.78	15.84	15.09 a	31.8	32.1	33.5	32.4 b
平均 Mean	14.78 b	15.01 b	15.68 a		32.5 b	33.0 b	33.9 a	
	显著水平 Significant level (*P*)							
种植密度 Planting denisty (A)	0.5530				0.0229			
施氮量 N rate (B)	<0.0001				0.0008			
A×B	0.9339				0.8978			

注(Note): A1、A2、A3、A4、A5表示种植密度分别为135×10^4、180×10^4、225×10^4、270×10^4、330×10^4 seedlings/hm^2 Mean planting denisty were 135×10^4, 180×10^4, 225×10^4, 270×10^4, 330×10^4 seedlings/ha, respectively; B1、B2、B3表示施氮水平分别为N 240、300、360 kg/hm^2 Mean nitrogen rate were N 240, 300, 360 kg/ha, respectively. 同列和同行平均值后不同字母分别表示种植密度和施氮量处理间差异达5%显著水平 Mean values followed by different letters in a column or line are significant differences among planting denisty and nitrogen application rate at the 5% level, respectively.

2.3 施氮量、种植密度对镇麦168面团流变学特性的影响

表3显示,施氮量和种植密度对镇麦168的面团流变学特性有一定的影响。增加施氮量有利于提高镇麦168的面团吸水率、形成时间和稳定时间,降低弱化度,特别是高氮处理(B3, N 360 kg/hm^2)与低氮处理(B1, N 240 kg/hm^2)间的面团吸水率、形成时间、稳定时间和弱化度差异均达显著水平。不同种植密度处理的面团吸水率、形成时间和稳定时间差异不显著,但弱化度随种植密度的增加而降低,当种植密度为225×10^4 seedlings/hm^2(A3)时,再增加种植密度,弱化度又略有增加,但A3(225×10^4 seedlings/hm^2)、A4(270×10^4 seedlings/hm^2)和A5(330×10^4 seedlings/hm^2)处理间差异不显著,只有与A1(135×10^4 seedlings/hm^2)相比差异达显著水平。施氮量与种植密度的互作除对面团形成时间的影响达显著水平外,对其余品质性状的影响均不显著(表3)。

3 讨论

3.1 施氮量对小麦子粒产量和品质的影响

关于施氮量对小麦子粒产量和品质的影响已有较多报道。多数研究认为,在一定范围内增加施氮量能提高小麦子粒产量、蛋白质与面筋含量[11,17,27-28],提高面团吸水率、稳定时间、形成时间和评价值等品质指标[9-10];氮肥施用量过高虽能够提高子粒蛋白质含量,但子粒产量下降[27]。本研究结果显示,镇麦168子粒产量随施氮量的增加而增加,但高施氮量(N 360 kg/hm^2)与中施氮量(N 300 kg/hm^2)处理间的子粒产量差异不显著,两者与低施氮量(N 240 kg/hm^2)处理间的子粒产量差异均达显著水平。Abedi等[29]研究表明,在高肥条件下,高施氮量(N 360 kg/hm^2)处理的产量最高,但与低施氮量(N 240 kg/hm^2)处理间差异不显著,这与本试验结果不完全一致,可能与品种特性和土壤肥力等因素有关。进一步分析表明,施氮量对小麦子粒产量的提高主要是通过增加单位面积有效穗数来实现的,但施氮量与种植密度间的互作对有效穗数和子粒产量的影响均达极显著水平,在高施氮量与高种植密度处理时,成穗数虽高,但穗粒数显著降低,最终导致子粒产量下降;低施氮量与低种植密度相结合时成穗数少,穗粒数和千粒重虽高但不足以弥补因成穗数偏少而造成的子粒减产。因此,只有协调好施氮量与种植密度下各产量构成因素的关系,才能更好地发挥肥料和密度的增产效应。大量研究表明,施氮量的不同可导致小麦品质性状产生很大的差异。Ducsay等[30]研究指出,增施氮肥后子粒蛋

表 3　施氮量和种植密度对镇麦 168 面团流变学特性的影响

Table 3　Effect of nitrogen level and planting denisty on dough rheological properties of Zhenmai 168

处理 Treatment	吸水率 Water absorptiion(%)				形成时间 Development time (min)				稳定时间 Stability time(min)				弱化度 Degree of softening (BU)			
	B1	B2	B3	平均 Mean	B1	B2	B3	平均 Mean	B1	B2	B3	平均 Mean	B1	B2	B3	平均 Mean
A1	61.7	63.8	64.3	63.3 a	5.2	6.7	7.1	6.3 a	11.7	12.7	12.7	12.4 a	44.0	44.7	41.0	43.2 a
A2	62.5	63.6	63.9	63.3 a	5.4	6.6	10.2	7.4 a	13.4	13.9	14.9	14.1 a	32.7	41.7	29.7	34.7 ab
A3	63.1	63.3	63.3	63.2 a	4.5	5.6	12.5	7.5 a	12.2	15.3	17.0	14.8 a	40.6	28.7	14.3	27.9 b
A4	63.0	63.1	63.1	63.1 a	5.3	5.2	6.7	5.7 a	13.7	14.7	16.3	14.9 a	31.7	29.3	25.7	28.9 b
A5	62.5	63.3	64.0	63.3 a	7.6	5.9	4.5	6.0 a	13.8	13.6	15.5	14.1 a	34.7	28.3	25.0	29.3 b
平均 Mean	62.6 b	63.4 ab	63.7 a		5.6 b	6.0 b	8.2 a		13.0 b	14.0 ab	15.3 a		36.7 a	34.5 ab	27.1 b	
	显著水平 Significant level (*P*)															
种植密度(A) Planting denisty	0.9759				0.3888				0.0329				0.0317			
施氮量(B)N level	0.0275				0.0121				0.0080				0.0568			
A×B	0.8113				0.0319				0.9603				0.6264			

注(Note)：A1、A2、A3、A4、A5 表示种植密度分别为 135×10^4、180×10^4、225×10^4、270×10^4、330×10^4 seedlings/hm^2　Mean planting denisty were 135×10^4, 180×10^4, 225×10^4, 270×10^4, 330×10^4 seedlings/ha, respectively; B1、B2、B3 表示施氮水平分别为 N 240、300、360 kg/hm^2　Mean nitrogen rate were N 240, 300, 360 kg/ha, respectively. 同列和同行平均值后不同字母分别表示种植密度和施氮量处理间差异达 5% 显著水平 Mean values followed by different letters in a column or line are significant differences among planting denisty and nitrogen application rate at the 5% level, respectively.

白质含量和湿面筋含量有显著的提高,本试验进一步证实了此结论。试验还表明,增施氮肥能显著提高面团吸水率,延长面团形成时间和稳定时间,降低弱化度,改善子粒加工品质,这与林琪等[10]利用高蛋白品种济南17和低蛋白品种鲁麦21在高、低两种肥力土壤下所获得的研究结果完全一致。本试验结果表明,施氮量N 360 kg/hm^2,能显著提高强筋小麦镇麦168的营养品质和加工品质,可为生产中制定镇麦168的氮素调优栽培技术措施提供理论依据。

3.2 种植密度对小麦子粒产量和品质的影响

种植密度会造成小麦群体结构不同而带来温光等生态条件的差异,最终影响子粒产量和品质。刘萍等[31]报道,当春小麦品种扬麦12密度从105×10^4 seedlings/hm^{2}增至150×10^4 seedlings/hm^{2}时,子粒产量随密度增加而上升,密度再增加,产量则下降。赵广才等[17]认为,冬性小麦品种中麦175在225×10^4～450×10^4 seedlings/hm^{2}密度范围内,以375×10^4 seedlings/hm^{2}的产量最高。本试验结果表明,种植密度在135×10^4～270×10^4 seedlings/hm^{2}范围内,随着种植密度的增加,子粒产量明显增加,当种植密度由270×10^4 seedlings/hm^{2}增加到330×10^4 seedlings/hm^{2}时,产量反而下降。可见有关种植密度对产量影响的试验结果有很大差异,在生产实践中应根据具体生态区、播种时期、土壤肥力以及具体的品种来确定适宜的种植密度。本研究中种植密度对子粒蛋白质含量无显著影响的结论与郭伟等[3]的结果相同,但与赵广才等[17]、刘萍等[31]的研究结论有一定差异。种植密度对湿面筋含量有一定的影响,随着种植密度的增加,湿面筋含量先上升后下降,本试验中,密度为330×10^4 seedlings/hm^{2}处理的湿面筋含量显著低于中低密度(225×10^4 seedlings/hm^2、180×10^4 seedlings/hm^2、135×10^4 seedlings/hm^2)处理。种植密度对面团吸水率、形成时间和稳定时间的影响均未达到显著差异水平,这与郭伟等[3]、Otteson等[20]在春小麦品种上研究得出的结论相一致,但与周强等[32]利用两系杂交小麦品种的研究结果不同,其结论为随种植密度的增加面团形成时间和稳定时间降低,面团吸水率增加。有关种植密度对小麦品质性状的影响其结果不尽相同,主要是由于不同研究者所选用的品种、试验地土壤条件以及气候条件等因素不同所致,还有待进一步探讨。

参考文献:

[1] 曹倩,贺明荣,代兴龙,等. 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 *et al*. Effect of interaction between density and nitrogen on grain yield and nitrogen use efficiency of winter wheat[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(4): 815-822.

[2] 赵广才,张艳,刘利华,等. 施肥和密度对小麦产量及加工品质的影响[J]. 麦类作物学报,2005,25(5):56-59.
Zhao G C, Zhang Y, Liu L H *et al*. Effect of different fertilizing and plant density on grain yield and its processing quality of wheat [J]. J. Tritic. Crops, 2005, 25(5): 56-59.

[3] 郭伟,于立河,薛盈文,等. 不同种植密度下施肥对强筋春小麦品质形成的调控效应[J]. 麦类作物学报,2008,28(1):102-106.
Guo W, Yu L H, Xue Y W *et al*. Regulatory effects of fertilizer application on quality formation of strong-gluten spring wheat at different population densities[J]. J. Tritic. Crops, 2008, 28(1): 102-106.

[4] 周凤云,李伯群,杨明,等. 播期、密度与施肥水平对渝麦12号产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2012,32(1):131-134.
Zhou F Y, Li B Q, Yang M *et al*. Effect of sowing date, density and fertilizer rate on grain yield and quality of wheat cultivar Yumai 12[J]. J. Tritic. Crops, 2012, 32(1): 131-134.

[5] 于立河,高聚林. 施肥和群体密度对春小麦产量与品质形成的调控效应[J]. 麦类作物学报,2012,32(4):716-721.
Yu L H, Gao J L. Regulatory effects of fertilizer level on yield and grain quality of spring wheat with different populations[J]. J. Tritic. Crops, 2012, 32(4): 716-721.

[6] Otteson B N, Mergoum M, Ransom J K. Seeding rate and nitrogen management effects on spring wheat yield and yield components [J]. Agron. J., 2007, 99: 1615-1621.

[7] 葛鑫,戴其根,张洪程,等. 施氮方式对强筋小麦济南17产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2003,23(4):104-108.
Ge X, Dai Q G, Zhang H C *et al*. Effect of nitrogen application methods on grain yield and quality of strong gluten wheat Jinan 17 [J]. J. Tritic. Crops, 2003, 23(4): 104-108.

[8] 王东,于振文. 施氮量对强筋小麦品种济麦20氮硫积累与再分配及子粒品质的影响[J]. 作物学报,2007,33(9):1439-1445.
Wang D, Yu Z W. Effects of nitrogen application rate on the accumulation and redistribution of nitrogen and sulphur, and grain quality of wheat[J]. Acta Agron. Sin., 2007, 33(9): 1439-1445.

[9] 江洪芝,晏本菊,谭飞泉,等. 氮肥施用量及施用时期对小麦品质性状的影响[J]. 麦类作物学报,2009,29(4):658-662.
Jiang H Z, Yan B J, Tan F Q *et al*. Effect of different nitrogen fertilizer amount and application period on wheat quality[J]. J.

Tritic. Crops, 2009, 29(4): 658-662.

[10] 林琪，侯立白，韩伟. 不同肥力土壤下施氮量对小麦子粒产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2004，10(6)：561-567.
Lin Q, Hou L B, Han W. Effects of nitrogen rates on grain yield and quality of wheat in different soil fertility[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(6): 561-567.

[11] 李筠，王龙，任立凯，等. 播期、密度和氮肥运筹对冬小麦连麦 2 号产量与品质的调控[J]. 麦类作物学报，2010，30(2)：303-308.
Li J, Wang L, Ren L K *et al*. Effect of sowing date, density and nitrogen management on grain yield and quality of winter wheat Lianmai 2[J]. J. Tritic. Crops, 2010, 30(2): 303-308.

[12] 赵俊晔，于振文. 高产条件下施氮量对冬小麦氮素吸收分配利用的影响[J]. 作物学报，2006，32(4)：484-490.
Zhao J Y, Yu Z W. Effects of nitrogen fertilizer rate on uptake, distribution and utilization of nitrogen in winter wheat under high yielding cultivated condition[J]. Acta Agron. Sin., 2006, 32(4): 484-490.

[13] 于振文，岳寿松，沈成国，等. 不同密度对冬小麦开花后叶片衰老和粒重的影响[J]. 作物学报，1995，21(4)：412-418.
Yu Z W, Yue S S, Shen C G *et al*. Effect of different density on leaf senescence after anthesis and kernel weight in winter wheat[J]. Acta Agron. Sin., 1995, 21(4): 412-418.

[14] 王竞绍，董召荣，张健，等. 密度、氮肥基追比例对不同穗型小麦产量的影响[J]. 安徽农业大学学报，2011，38(1)：14-19.
Wang J S, Dong Z R, Zhang J *et al*. Effects of different densities and ratios of base and top-dressing nitrogen fertilizer on grain yield of two wheat varieties with different spike types[J]. J. Anhui Agric. Univ., 2011, 38(1): 14-19.

[15] Lloveras J, Manent J, Viudas J *et al*. Seeding rate influence on yield and yield components of irrigated winter wheat in a Mediterranean climate[J]. Agron. J., 2004, 96: 1258-1265.

[16] 孙文鑫，马彩艳，朱有朋，等. 追肥时期和种植密度对小麦新品种豫农 202 产量及其构成因素的影响[J]. 河南农业大学学报，2011，45(1)：28-32.
Sun W X, Ma C Y, Zhu Y P *et al*. Effects of top-dressing time and planting density on grain yield and components of wheat cultivar Yunong 202[J]. J. Henan Agric. Univ., 2011, 45(1): 28-32.

[17] 赵广才，常旭虹，杨玉双，等. 群体和氮肥运筹对冬小麦产量和蛋白质组分的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2009，15(1)：16-23.
Zhao G C, Chang X H, Yang Y S *et al*. Grain yield and protein component responses to plant density and nitrogen application strategies in winter wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Plant Nutr. Fert. Sci, 2009, 15(1): 16-23.

[18] 徐月明，王祥菊，刘萍. 密度对扬麦 9 号和扬麦 12 号产量与子粒品质及群体品质与个体株型指标的影响[J]. 西北农业学报，2012，21(10)：34-41.
Xu Y M, Wang X J, Liu P. Effects of planting density on yield and quality indices of individual and population of wheat cultivars Yangmai 9 and Yangmai 12[J]. Acta Agric. Bor-Occid. Sin., 2012, 21(10): 34-41.

[19] 张耀辉，宋建荣，岳维云，等. 陇南雨养旱区播期与密度对冬小麦产量与品质的影响[J]. 干旱地区农业研究，2011，29(6)：74-78.
Zhang Y H, Song J R, Yue W Y *et al*. Effects of sowing date and planting density on yield and quality of winter wheat in rained dryland areas of longnan[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2011, 29(6): 74-78.

[20] Otteson B N, Mergoum M, Ranson J K. Seeding rate and nitrogen management on milling and baking quality of hard red spring wheat genotypes[J]. Crop Sci., 2008, 48: 749-755.

[21] 王龙俊，陈荣振，朱新开，等. 江苏省小麦品质区划研究初报[J]. 江苏农业科学，2002，(2)：15-18.
Wang L J, Chen R Z, Zhu X K *et al*. A preliminary study on wheat quality region in Jiangsu[J]. Jiangsu Agric. Sci., 2002, (2): 15-18.

[22] 张军，许轲，张洪程，等. 氮肥施用时期对弱筋小麦宁麦 9 号品质的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版)，2004，25(2)：39-42.
Zhang J, Xu K, Zhang H C *et al*. Effects of nitrogen topdressing stage on quality of weak gluten wheat variety Ningmai 9[J]. J. Yangzhou Univ. (Agric. Life Sci.), 2004, 25(2): 39-42.

[23] 陆成彬，张伯桥，高德荣，等. 施氮量与追肥时期对弱筋小麦扬麦 9 号产量和品质的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版)，2006，27(3)：62-64，75.
Lu C B, Zhang B Q, Gao D R *et al*. Effect of nitrogen application rate and topdressing stage on grain yield and quality of weak gluten wheat[J]. J. Yangzhou Univ. (Agric. Life Sci.), 2006, 27(3): 62-64, 75.

[24] 姚金保，马鸿翔，姚国才，等. 氮素对弱筋小麦宁麦 13 子粒产量和蛋白质含量的影响[J]. 江苏农业学报，2009，25(3)：474-477.
Yao J B, Ma H X, Yao G C *et al*. Effect of nitrogen on grain yield and protein content of weak gluten wheat cultivar Ningmai 13[J]. Jiangsu J. Agric. Sci., 2009, 25(3): 474-477.

[25] 孔令聪，汪建来，曹承富，等. 主要栽培措施对中筋小麦皖麦 44 产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报，2004，24(4)：84-87.
Kong L C, Wang J L, Cao C F *et al*. Effect of main cultivation measures on grain yield and quality of wanmai 44[J]. J. Tritic. Crops, 2004, 24(4): 84-87.

[26] 闫翠萍，张永清，张定一，等. 播期和种植密度对强、中筋冬小麦蛋白质组分及品质性状的影响[J]. 应用生态学报，2008，9(8)：1733-1740.
Yan C P, Zhang Y Q, Zhang D Y *et al*. Effects of sowing date and planting density on the grain's protein component and quality of strong and medium gluten winter wheat cultivars[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2008, 19(8): 1733-1740.

[27] 王月福，姜东，于振文，等. 氮素水平对小麦子粒产量和蛋白质含量的影响及其生理基础[J]. 中国农业科学，2003，36

(5): 513-520.

Wang Y F, Jiang D, Yu Z W *et al*. Effects of nitrogen rates on grain yield and protein content of wheat and its physiological basis [J]. Sci. Agric. Sin., 2003, 36(5): 513-520.

[28] 石玉, 于振文. 施氮量和氮肥底追比例对济麦20产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(4): 710-714.

Shi Y, Yu Z W. Effect of nitrogen rate and ratio of base and topdressing fertilizer on yield, quality and fertilizer-N use efficiency in wheat cultivar Jimai 20 [J]. J. Tritic. Crops, 2010, 30(4): 710-714.

[29] Abedi T, Alemzadeh A, Kazemeini S A. Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing [J]. Aust. J. Crop Sci., 2011, 5(3): 330-336.

[30] Ducsay L, Ložek O. Effect of topdressing with nitrogen on the yield and quality of winter wheat grain [J]. Plant Soil Environ., 2004, 50(7): 309-314.

[31] 刘萍, 郭文善, 徐月明, 等. 种植密度对中、弱筋小麦子粒产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(5): 117-121.

Liu P, Guo W S, Xu Y M *et al*. Effect of planting density on grain yield and quality of weak-gluten and medium-gluten wheat [J]. J. Tritic. Crops, 2006, 26(5): 117-121.

[32] 周强, 李生荣, 雷加容, 等. 密度和施氮量对两系杂交小麦品种绵杂麦168主要品质性状的影响[J]. 麦类作物学报, 2009, 9(6): 1078-1082.

Zhou Q, Li S R, Lei J R *et al*. Effect of nitrogen application rates and plant densities on the main quality characters of the two-line hybrid wheat variety Mianzamai 168 [J]. J. Tritic. Crops, 2009, 29(6): 1078-1082.