

拔节期追氮对冬小麦不同穗粒位籽粒特性的影响

马建辉, 齐冰玉, 姜丽娜, 徐光武, 李金娜, 杨娜娜, 李春喜

(河南师范大学 生命科学学院, 河南 新乡 453007)

摘要:以周麦18为材料,研究了底施纯氮 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 基础上拔节期不同追氮量对主茎穗和分蘖穗不同穗粒位籽粒特性的影响.结果表明:拔节期追氮,对主茎穗基部不孕小穗数、结实小穗率、不孕小穗率的影响达显著水平,对分蘖穗各性状的影响不显著.追氮处理下,结实小穗数和结实小穗率均高于不追氮处理.随追氮量增加,分蘖穗基部不孕小穗数增加,而主茎穗基部不孕小穗数低于不追氮处理.主茎穗及分蘖穗各穗位结实粒数和粒重均随小穗位升高呈先增后降二次曲线变化趋势,拐点分别位于9~10和6~9小穗位.拔节期追氮,促进了小穗粒数的增加,但二者之间并非正相关关系.主茎穗和分蘖穗不同粒位的粒数,以穗下部差异最大,尤以高追氮处理下差异显著.追氮对基部、顶部小穗第1、2粒位和中各小穗第3粒位粒重影响较大.主茎穗和分蘖穗第1、2粒位粒重显著高于第3粒位,而第1、2粒位粒重差异不显著.适量追氮增加了分蘖穗第3粒位粒重.本研究中,底施纯氮 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 基础上拔节期追氮 $100\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,主茎穗及分蘖穗不同穗位与粒位的结实粒数、小穗重和单粒重均较高.

关键词:冬小麦;拔节期追氮;穗位;粒位;籽粒特性

中图分类号:S512.1;S311

文献标志码:A

小麦作为亚洲基本农作物之一,是世界种植面积第二大作物.小麦籽粒的数量和质量是决定其产量高低的重要因素.在小麦的生长过程中,其穗粒数和粒重一般受到遗传、气候、水分及营养水平的影响,籽粒结实特性和粒重出现较大差异^[1-3].前人研究表明,小麦穗粒数和粒重的分布呈现出近中优势特征,即中部小穗的穗粒数最多同时粒重也最高,均高于基部与顶部^[4-6].在每穗平均结实数大于0.95的条件下,各粒位粒重表现为 $2 > 1 > 3 > 4$ 粒位,其他则表现为 $1 > 2 > 3 > 4$ 粒位^[6].同时,栽培条件对小麦粒重的分布和结实粒数也具有影响,随小麦种植密度的增加,其穗粒重和穗粒数呈下降趋势^[5-6].农业措施中的秸秆还田有利于下部小穗结实粒数的增加和不同粒位粒重的提高^[7].此外,施用氮肥量与小麦的生长发育及生理生化过程密切相关,在小麦生产系统中发挥着极其重要的作用.“氮肥后移”不仅能够增加旗叶叶绿素含量、增加叶源量及生育后期叶片的光合速率,而且对于增加穗粒重和产量具有重要作用^[8].氮肥运筹是小麦栽培生产中的重要措施,围绕氮素的转运吸收及产量性状已有大量研究^[9-12],适宜的氮素管理措施能同步实现小麦高产与氮肥高效^[13].拔节期追施氮肥是小麦生产中的关键性追肥,有利于单位面积穗数和穗粒数的提高^[13].为进一步探讨拔节期追氮对小麦穗部籽粒生长的影响,分析主茎穗和分蘖穗对拔节期氮肥的响应,本文研究了不同追施氮肥处理下小麦主茎穗和分蘖穗不同穗位与粒位籽粒的数量及重量分布,旨在确立合理的氮肥施用模式,为小麦高产高效栽培技术提供理论基础.

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试小麦为周麦18.试验于2011—2012年在河南省浚县矩桥乡刘寨村试验田($35^{\circ}40'N$, $114^{\circ}33'E$)进行.土壤有机质 $12.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全氮 $1.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $36.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $34.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾

收稿日期:2016-01-18

基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAD14B08;2013BAD07B14;2013BAD07B07)

第1作者简介:马建辉(1983—),男,河北唐山人,河南师范大学副教授,博士,研究方向:作物生理学.

通信作者:姜丽娜,河南师范大学教授,博士,E-mail:jianglina73@yahoo.com.

159.3 mg·kg⁻¹. 前茬夏玉米, 秸秆全量还田, 磷钾肥作底肥一次施入, 用量分别为 P₂O₅ 138 kg·hm⁻²、K₂O 112.5 kg·hm⁻². 底施纯氮 120 kg·hm⁻², 拔节期分别追施纯氮 0、60、100、140、180 和 210 kg·hm⁻² (以 N₁, N₂, N₃, N₄, N₅ 和 N₆ 表示). 小区面积 60 m² (4 m×15 m), 3 次重复. 2011 年 10 月 20 日机器播种, 行距 20 cm, 播量 255 kg·hm⁻². 拔节期(2012 年 4 月 5 日)结合灌水追氮, 2012 年 6 月 8 日成熟收获.

于分蘖期选取各小区大小适中、有代表性的植株 30 株, 将主茎和分蘖进行标记. 成熟期每小区取标记植株 15 株, 自然晾晒后, 将主茎穗和分蘖穗从基部第 1 小穗至顶部依次编号, 记载结实小穗数、顶部不孕小穗数、基部不孕小穗数、各小穗位的结实粒数, 并将各小穗位的不同粒位籽粒装袋标记, 分别称重, 计算穗粒重及小穗粒重.

1.2 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 13.0 进行数据分析, 多重比较采用 LSD 方法.

2 结果与分析

2.1 主茎穗和分蘖穗结实特性

由表 1 可知, 小麦主茎结实小穗数、结实粒数、单穗重、结实小穗率显著高于分蘖 ($P < 0.05$), 而顶部和基部不孕小穗数及不孕小穗率显著低于分蘖 ($P < 0.05$). 拔节期追氮, 对主茎基部不孕小穗数、结实小穗率、不孕小穗率的影响达显著水平 ($P < 0.05$), 对分蘖穗各性状的影响不显著.

随拔节期追氮量增加, 主茎穗和分蘖穗的结实小穗数、穗粒数、结实小穗率、不孕小穗率及穗粒重变化趋势表现一致. 穗粒数随追氮量的增加而缓慢增加, N₄ 处理达到最高值, 之后呈 V 型变化, 以 N₆ 处理表现最低. 追氮处理下, 结实小穗数和结实小穗率均高于 N₁, 以 N₃ 处理最高. 不孕小穗率变化趋势与结实小穗率相反, 以 N₃ 处理最低, N₁ 最高. 主茎单穗重与分蘖一致, 表现为 N₂, N₅ 低于 N₁, 而 N₃, N₆ 高于 N₁.

从不孕小穗数来看, 基部不孕小穗数高于顶部. 随追氮量增加, 分蘖穗基部不孕小穗数增加, 而主茎穗基部不孕小穗数呈 V 型变化, 表现为追氮处理低于 N₁ 处理, 以 N₃ 处理最低. N₃ 处理下, 主茎穗顶不孕小穗数最多, 而分蘖穗顶不孕小穗数最低.

表 1 不同追氮处理下小麦主茎穗和分蘖穗结实特性

穗	性状	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆
主茎穗	结实小穗数	15.33±0.62a	15.90±0.51a	16.25±0.83a	16.02±0.36a	15.39±0.43a	16.12±0.17a
	顶不孕小穗数	0.49±0.07a	0.40±0.13a	0.54±0.27a	0.25±0.05a	0.41±0.17a	0.44±0.03a
	基不孕小穗数	2.81±0.02a	2.61±0.19a	2.27±0.07b	2.68±0.13a	2.85±0.06a	2.70±0.24a
	穗粒数/粒	33.00±3.83a	34.20±0.00a	34.65±0.07a	35.35±1.20a	32.30±2.97a	36.20±3.25a
	穗粒重/g	1.87±0.14a	1.83±0.04a	1.91±0.23a	1.93±0.05a	1.77±0.18a	1.93±0.06a
	结实小穗率/%	82.27±0.18b	84.08±0.17ab	85.25±0.28a	84.55±1.09a	82.52±1.39b	83.73±1.07ab
	不孕小穗率/%	17.73±0.18b	15.92±0.17ab	14.75±0.28a	15.45±1.09a	17.48±1.39b	16.27±1.07ab
分蘖穗	结实小穗数	12.92±0.10a	13.44±0.01a	13.69±0.33a	13.39±0.42a	12.97±0.61a	13.41±0.4a
	顶不孕小穗数	1.20±0.22a	0.97±0.23a	0.84±0.42a	1.01±0.27a	0.97±0.53a	0.85±0.38a
	基不孕小穗数	3.87±0.12a	3.91±0.00a	3.94±0.02a	3.94±0.10a	4.08±0.13a	4.20±0.45a
	穗粒数/粒	22.93±4.53a	25.20±0.75a	24.30±2.31a	27.60±3.58a	22.47±2.55a	25.27±2.17a
	穗粒重/g	1.39±0.04a	1.32±0.00a	1.39±0.10a	1.35±0.00a	1.28±0.10a	1.39±0.14a
	结实小穗率/%	71.82±0.23a	73.35±0.93a	74.13±1.13a	73.01±2.10a	72.00±2.53a	72.66±3.87a
	不孕小穗率/%	28.18±0.23a	26.65±0.93a	25.87±1.13a	26.99±2.10a	28.00±2.53a	27.34±3.87a

注: 表中数据为平均值±标准差, 同行数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著.

2.2 结实粒数

2.2.1 主茎穗及分蘖穗的结实粒数

主茎穗各小穗位结实粒数高于分蘖穗(图 1), 各小穗位结实粒数(y)随小穗位(x)升高呈先增后降二次曲线变化(图 1, 表 2), 拟合曲线的拐点在 9~10 小穗位, 且分蘖穗拐点所在小穗位略高于主茎穗. 主茎穗以 4~9 小穗位结实粒数较多, 分蘖穗以 6~8 小穗位较多. 拔节期追氮, 促进了小穗粒数的增加, 但二者之间并非正相关关系. 追氮处理促进了主茎穗基部第 3、4 小穗的粒数增加, N₂, N₃ 处理下, 主茎穗基部(2~8 小穗)

小穗粒数较多, N_4 和 N_6 处理下, 中部(9~14小穗)及上部(15~20小穗)小穗粒数增加明显. 分蘖穗则以 N_4 处理下小穗结实粒数最高. 由此可以看出, 适量追施氮肥可增加各小穗位结实粒数, 氮肥施用过量则会降低各小穗位的结实粒数.

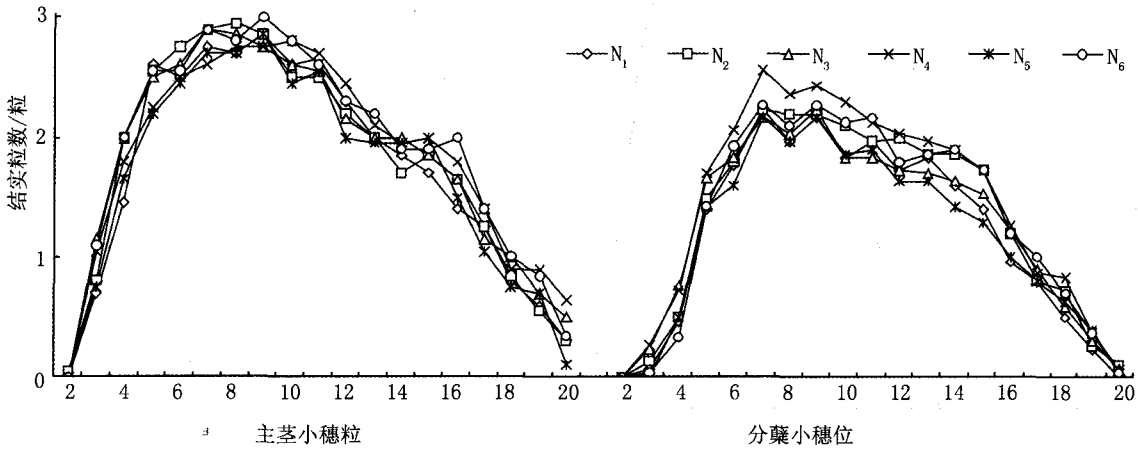


图1 不同追氮处理下各小穗位的结实粒数

表2 不同追氮处理下小穗位结实粒数的拟合方程

处理	主茎穗			分蘖穗		
	拟合方程	R	拐点	拟合方程	R	拐点
N_1	$y = -0.0295x^2 + 0.5454x + 0.1130$	0.918**	9.24	$y = -0.0268x^2 + 0.5171x - 0.4746$	0.946**	9.65
N_2	$y = -0.0282x^2 + 0.5100x + 0.3692$	0.900**	9.04	$y = -0.0283x^2 + 0.5527x - 0.5240$	0.957**	9.77
N_3	$y = -0.0265x^2 + 0.4823x + 0.4641$	0.901**	9.10	$y = -0.0252x^2 + 0.4821x - 0.2655$	0.946**	9.57
N_4	$y = -0.0274x^2 + 0.5181x + 0.2376$	0.928**	9.45	$y = -0.0295x^2 + 0.5678x - 0.3884$	0.949**	9.62
N_5	$y = -0.0307x^2 + 0.5639x + 0.0309$	0.920**	9.18	$y = -0.0267x^2 + 0.5118x - 0.4874$	0.930**	9.58
N_6	$y = -0.0284x^2 + 0.5248x + 0.3455$	0.916**	9.56	$y = -0.0289x^2 + 0.5708x - 0.6156$	0.950**	9.88

注: **表示相关系数达0.01显著水平, 表3同.

2.2.2 结实粒数的小穗位分布

主茎穗1位粒和2位粒主要分布在5~16小穗位, 主茎穗3位粒主要分布在7~9小穗位(图2). 高追氮处理(N_6)下, 主茎穗上部小穗第2位籽粒数量增加. 分蘖穗1位粒和2位粒主要分布在6~14小穗位, 分蘖穗3位粒主要分布在第9小穗位(图3), N_4 处理下, 分蘖穗中部小穗第2位、第3位籽粒数量增加. 主茎穗和分蘖穗不同粒位的粒数, 以下部差异最大, 其中 N_6 处理下差异最大, 其次是中部和下部.

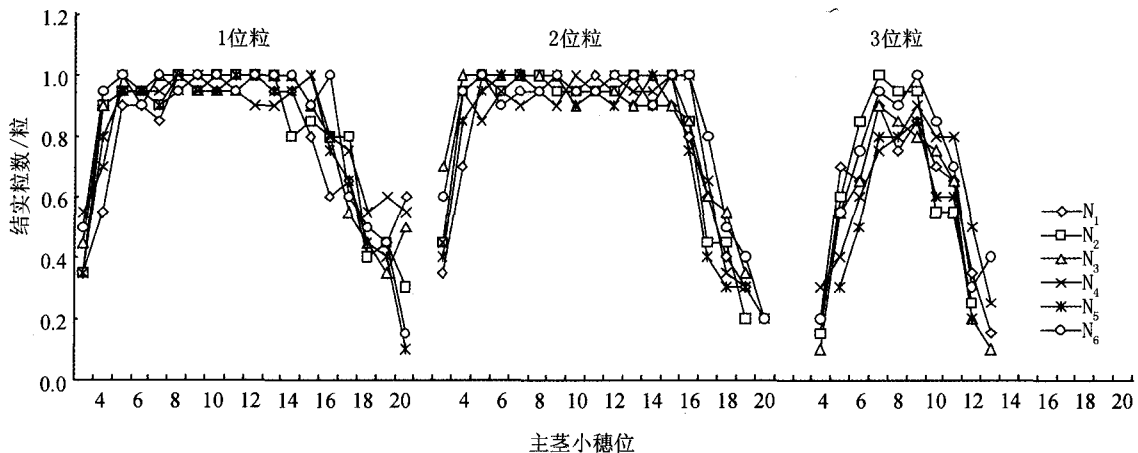


图2 不同追氮处理下主茎小穗位的粒数分布

2.2.3 结实粒数的粒位分布

主茎穗及分蘖穗同一粒位的粒数,随着追氮量的增加呈现有升有降波动变化趋势.从不同粒位粒数来看,主茎穗1位粒>主茎穗2位粒>分蘖穗1位粒>分蘖穗2位粒>主茎穗3位粒>分蘖穗3位粒.其中,主茎穗1位粒、2位粒有13~15粒,分蘖穗1位粒和2位粒有10~12粒,主茎穗3位粒为5~6粒,分蘖穗3位粒为2~3粒.同一追氮处理下,第1、2粒位的粒数显著高于第3粒位($P<0.05$),且第1、2粒位粒数差异不显著.主茎穗第3粒位粒数显著高于分蘖穗($P<0.05$).追施氮肥,促进了主茎1位粒和2位粒的增加, N_4, N_6 处理增加了主茎穗3位粒.对于分蘖穗来说,追施氮肥,促进了其1位粒和2位粒的籽粒数量,且 N_4 处理下分蘖穗3位粒亦较多.在追氮处理下,主茎穗第1、2粒位的粒数显著高于分蘖穗($P<0.05$),而在 N_1 处理下,主茎穗与分蘖穗第1、2粒位的粒数差异不显著.这说明主茎穗粒数的形成对追氮量反应更敏感,适量的追施氮肥能够增加主茎穗各粒位的粒数.

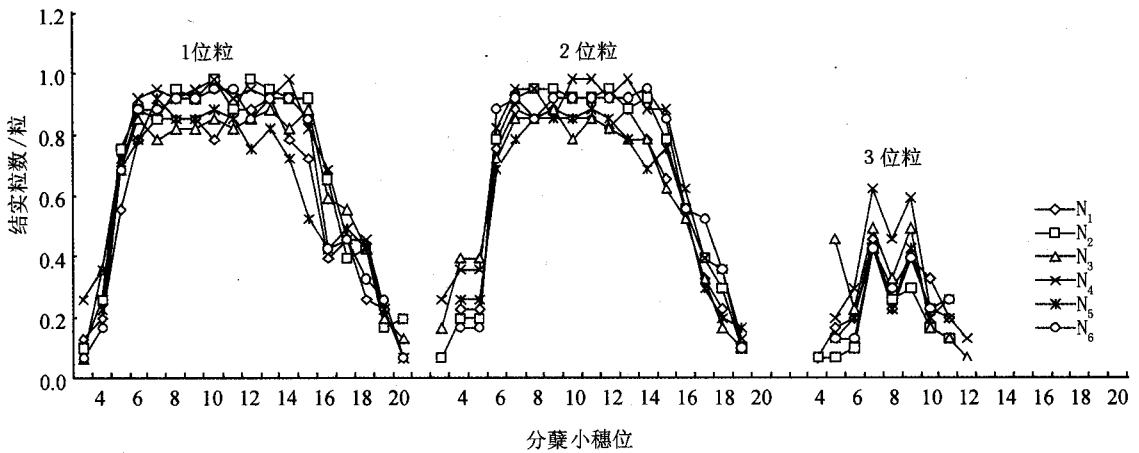


图3 不同追氮处理下分蘖小穗位的粒数分布

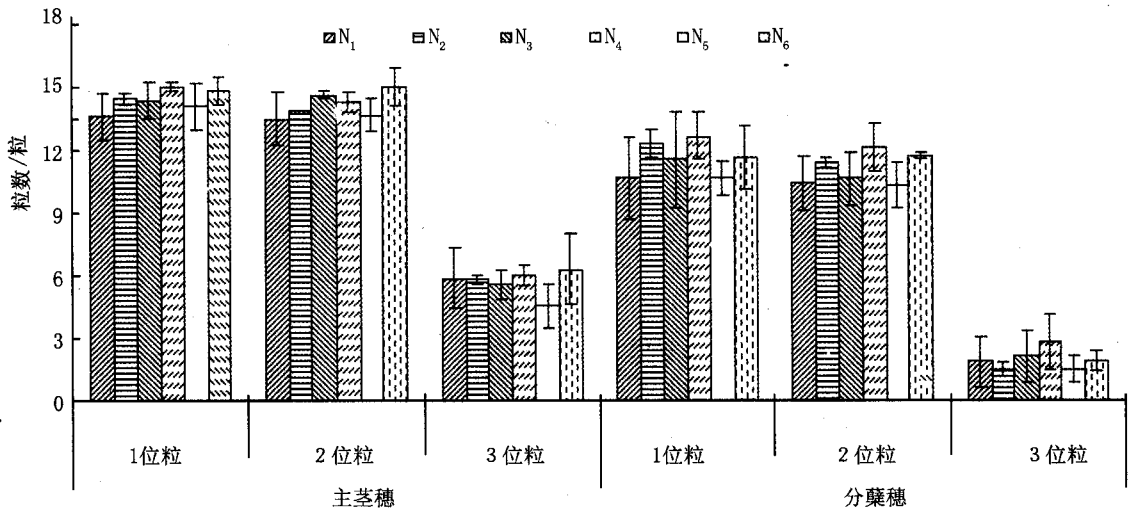


图4 不同追氮处理下结实粒数的粒位分布

2.3 位籽粒重量

2.3.1 主茎穗及分蘖穗的小穗重

主茎穗和分蘖穗各小穗位小穗重(y)随着小穗位(x)自基部至顶部呈现先增后降的二次曲线变化趋势(图5,表3),二次拟合曲线方程的拐点出现在第6~9小穗位.除 N_3, N_6 处理外,主茎穗各穗位小穗重均高于分蘖穗. N_3 处理下,8~10小穗重表现为分蘖穗高于主茎穗; N_6 处理下,6~11小穗重表现为分蘖穗高于主茎穗.主茎穗以5~12穗位的小穗重较高,12~14穗位小穗重下降迅速,第3、14~20穗位的小穗重均表现出较低水平.分蘖穗则以第5~11穗位的小穗重较高,11~13穗位小穗重下降迅速.主茎穗及分蘖穗中部

小穗重均以未追施氮肥的处理(N₁)表现较高.

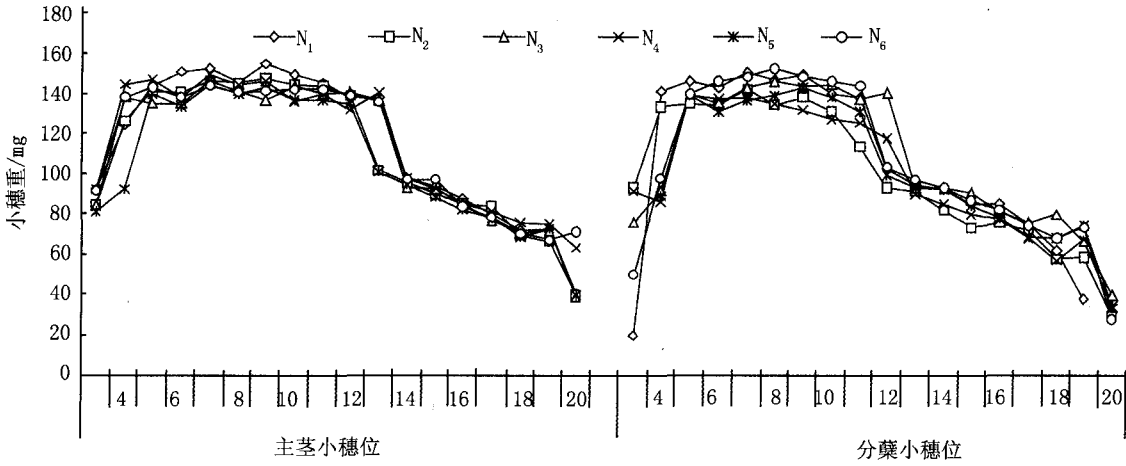


图5 不同追氮处理下不同小穗位的小穗重

表3 不同追氮处理下小穗位小穗重的拟合方程

处理	主茎穗			分蘖穗		
	拟合方程	R	拐点	拟合方程	R	拐点
N ₁	$y = -0.8803x^2 + 15.436x + 78.000$	0.939**	8.77	$y = -1.1625x^2 + 21.410x + 39.479$	0.789**	9.21
N ₂	$y = -0.8085x^2 + 13.911x + 79.305$	0.924**	8.60	$y = -0.5099x^2 + 6.229x + 108.790$	0.929**	6.11
N ₃	$y = -0.8188x^2 + 14.313x + 77.168$	0.926**	8.74	$y = -0.8917x^2 + 16.612x + 57.382$	0.884**	9.31
N ₄	$y = -0.6316x^2 + 10.133x + 99.553$	0.902**	8.02	$y = -0.6841x^2 + 11.194x + 79.418$	0.900**	8.18
N ₅	$y = -0.8370x^2 + 15.330x + 62.940$	0.901**	9.16	$y = -0.5749x^2 + 8.5005x + 96.809$	0.895**	7.39
N ₆	$y = -0.6689x^2 + 11.142x + 92.796$	0.906**	8.33	$y = -0.9811x^2 + 18.460x + 48.271$	0.844**	9.41

2.3.2 不同小穗位各粒位单粒重分布

主茎穗及分蘖穗各粒位单粒重随小穗位的上升呈先升高后降低的趋势(图6,图7). 随追氮量增加,主茎穗基部第2、3、4小穗位及顶部第17、18、19小穗位的第1粒位粒重呈先升高后降低的趋势,中部小穗第1粒位的粒重随着追氮量的增加未达到显著性差异. 随追氮量增加,主茎穗基部第3、4小穗位及顶部第17、18、19小穗位第2粒位粒重呈先升高后降低的趋势,中部小穗第2粒位粒重随着追氮量的增加未达到显著性差异. 随追氮量增加,主茎穗各小穗位第3粒位粒重呈先升高后降低的趋势.

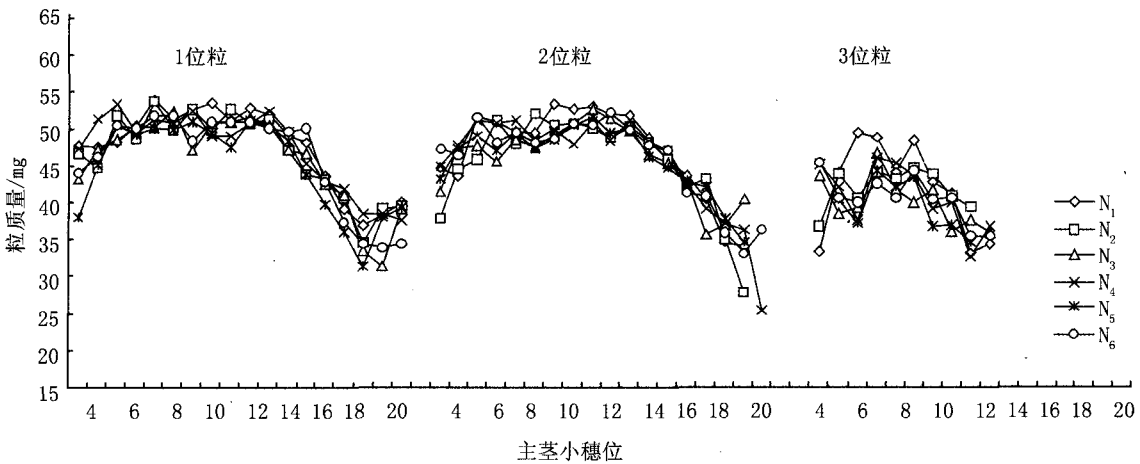


图6 不同追氮处理下主茎小穗位的粒重分布

随追氮量增加,分蘖穗基部第3、4小穗位及第16、17、18、19小穗位第1粒位粒重呈先升高后降低的趋势,中部小穗第1粒位的粒重随着追氮量的增加未达到显著性差异. 分蘖穗基部第3、4小穗位和顶部第17、18、19小穗位第2粒位粒重呈先升高后降低的趋势,中部小穗第2粒位粒重随着追氮量的增加未达到显著

性差异.随着追氮量的增加,分蘖穗各小穗位第3粒位粒重呈先升高后降低的趋势.说明追氮对基部、顶部小穗第1、2粒位及各小穗第3粒位影响较大.

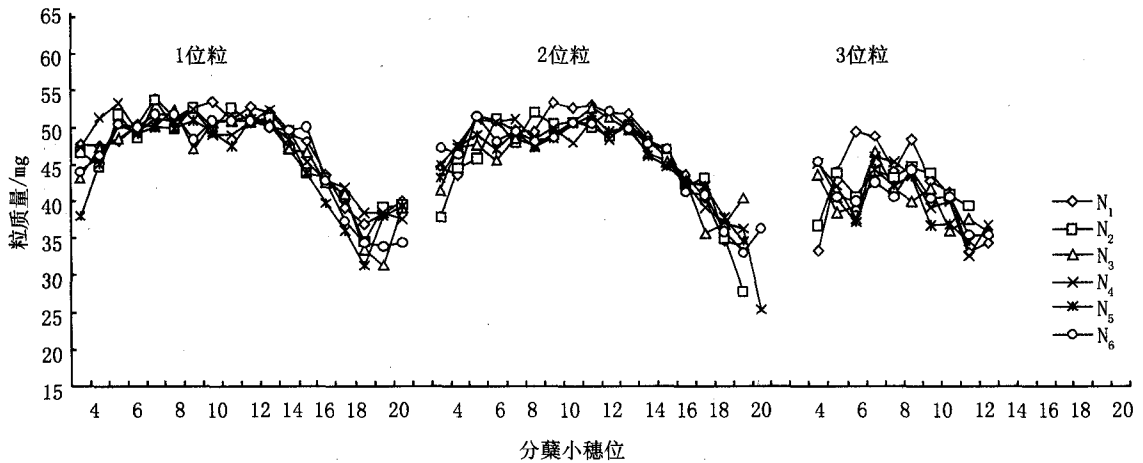


图7 不同追氮处理下分蘖小穗位的粒重分布

2.3.3 籽粒重的粒位分布

主茎穗及分蘖穗第1粒位、第2粒位粒重显著高于第3粒位($P < 0.05$),且第1、2粒位粒重差异不显著(图8).在 N_3, N_4 处理下,主茎穗第3粒位粒重与分蘖穗之间无显著差异,其他各处理则表现为主茎穗显著高于分蘖穗($P < 0.05$).上述研究结果说明适量追氮能够增加分蘖穗第3粒位的粒重,充分发挥第3粒位的增重潜力.主茎穗各处理间粒重差异不显著,分蘖穗1位粒表现为 N_6, N_1 处理显著高于 N_2 和 N_4 ($P < 0.05$),且 N_4 处理显著低于 N_3 ($P < 0.05$);分蘖2位粒表现为 N_2 处理显著低于 N_6 ($P < 0.05$),分蘖3位粒表现为 N_4 处理显著低于 N_1 ($P < 0.05$).

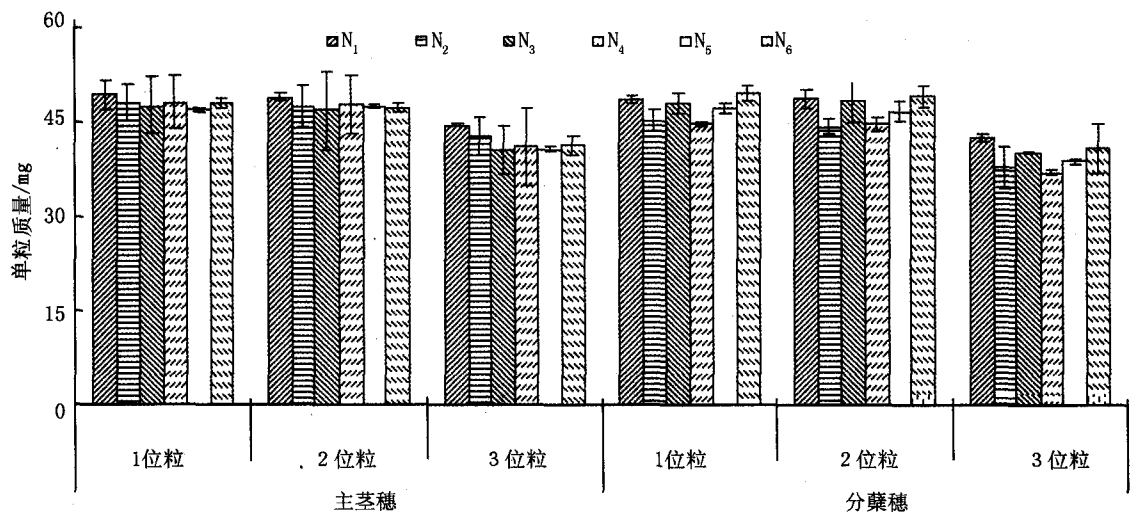


图8 不同追氮处理下籽粒重的粒位分布

3 讨论

氮素养分的吸收、同化与转运直接或间接的影响作物的生长发育和产量^[9].氮肥后移可以提高冬小麦的籽粒产量、穗数及氮肥利用效率^[10],提高植株中土壤氮和肥料氮的积累量,促进肥料氮向籽粒的运转,增加籽粒蛋白质含量,改善籽粒品质^[11-12].我们前期研究表明,底施纯氮 $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 条件下,籽粒的产量及微量元素Zn含量与拔节期追氮量之间的关系可用二次曲线方程进行拟合,以追氮量 $140 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 下籽粒产量和经济效益较高^[14],以追氮量 $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 下籽粒Zn含量最高^[15].本研究从穗部性状进行分析,结果表

明底施 $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 纯氮基础上拔节期追施 $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 纯氮 (N_3) 处理下,主茎穗的结实小穗数、结实粒数、单穗重均较高。

籽粒在穗部的位置决定小麦穗部籽粒结实与物质积累的空间分布特征。对不同小穗位而言,基部小穗的结实特性是决定每穗结实粒数的主要因素,而顶部小穗籽粒的物质积累则是决定小麦粒重、蛋白质含量与产量的主要因素^[1,2,16]。小麦不同粒位、不同小穗位间的结实粒数和粒重的分布不均匀^[16],与小穗、小花发育规律有关^[2,17]。有研究认为,小穗位籽粒发育的不均衡性和进入其中的维管束内营养物质的不均衡分布密切相关,大维管束分叉现象只发生于基部穗轴节片,故基部小穗结实粒数少且退化小穗多,中部小穗的小穗轴大维管束系统最发达,所以中部小穗平均结实粒数多、粒重大^[5,18]。本研究表明,拔节期追氮处理下主茎穗与分蘖穗各小穗位结实粒数和小穗重均随小穗位升高呈先增后降二次曲线变化,其拐点分别在 9~10 小穗位和 6~9 小穗位,表现出籽粒发育的近中优势。

研究表明,同一穗位不同粒位间籽粒的千粒重以第 1 粒位、第 2 粒位较重,但两者差异不大^[19]。本研究中,主茎穗及分蘖穗第 1 粒位、第 2 粒位粒重显著高于第 3 粒位,且第 1、2 粒位粒重差异不显著,与裴雪霞^[2]等的研究结果一致。对比主茎穗与分蘖穗,在 N_3 , N_4 处理下,主茎穗第 3 粒位粒重与分蘖穗之间无显著差异,其他各处理则表现为主茎穗显著高于分蘖穗。追氮能够增加分蘖穗第 3 粒位的粒重,表明在单粒重上第 3 粒位有较大的提升潜力。同时,拔节期追氮对基部、顶部小穗第 1 粒位和第 2 粒位及各小穗位第 3 粒位粒重影响较大。

4 结 论

氮肥水平对小麦粒重的分布和结实粒数具有较大的影响。豫北区生态环境下,随着施氮量的增加,结实粒数、不同粒位的粒重呈先增加后降低的趋势,底施纯氮 $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 基础上拔节期追氮 $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理下,主茎穗及分蘖穗不同穗位与粒位的结实粒数、小穗重和单粒重均较高。

参 考 文 献

- [1] 屈会娟,李金才,沈学善,等. 播种密度对冬小麦不同穗位与粒位结实粒数和粒重的影响[J]. 作物学报,2009,35(10):1875-1883.
- [2] 裴雪霞,王姣爱,党建友,等. 小麦结实粒数、粒重和品质的小穗位和粒位效应[J]. 中国农业科学,2008,41(2):381-390
- [3] Miralles D J, Slafer G A. Individual grain weight responses to genetic reduction in culm length in wheat as affected by source-sink manipulation[J]. Field Crops Research,1995,43(2):55-66.
- [4] 李春喜,姜丽娜,石惠恩,等. 小麦不同分蘖位结实特性与粒重分布的研究[J]. 耕作与栽培,1996(6):5-9.
- [5] 李金才,魏凤珍,丁显萍. 小麦穗轴和小穗轴维管束系统及与穗部生产力关系的研究[J]. 作物学报,1999,25(3):315-319.
- [6] 李春喜,石惠恩,姜丽娜. 小麦不同种植密度粒重分布特性的研究[J]. 西北植物学报,1999,19(1):132-137.
- [7] 屈会娟,李金才,沈学善,等. 秸秆全量还田对冬小麦不同小穗位和粒位结实粒数和粒重的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(10):2176-2183.
- [8] 吴安昌,黄正来,吴延华. 追氮时期对不同小麦品种光合特性和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2010,30(2):342-345.
- [9] 陈 金,唐玉海,尹燕桦兵,等. 秸秆还田条件下适量施氮对冬小麦氮素利用及产量的影响[J]. 与作物学报,2015,41(1):160-167
- [10] 陈 祥,同延安,亢欢虎,等. 氮肥后移对冬小麦产量、氮肥利用率及氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(3):450-455.
- [11] 于振文,田奇卓,潘庆民,等. 黄淮海区冬小麦超高产栽培的理论与实践[J]. 作物学报,2002,28(5):577-585.
- [12] 刘永环,贺明荣,王晓英,等. 不同氮肥基追比例对高温胁迫下小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 生态学报,2009,29(11):5930-5935.
- [13] 卢殿君. 华北平原冬小麦高产高效群体动态特征与氮营养调控[D]. 北京:中国农业大学,2015
- [14] 姜丽娜,张 凯,宋 飞,等. 拔节期追氮对冬小麦产量、效益及氮素吸收和利用的影响[J]. 麦类作物学报,2013,33(4):716-721.
- [15] 姜丽娜,王亚帆,张 豫,等. 拔节期追氮对小麦植株地上部 Zn 吸收和积累的影响[J]. 麦类作物学报,2015,35(4):535-541.
- [16] 潘 洁,姜 东,曹卫星,等. 小麦穗籽粒数、单粒重及单粒蛋白质含量的小穗位和粒位效应[J]. 作物学报,2005,31(4):431-437.
- [17] Abbate P E, Andrade F H, Culot J P. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat[J]. Journal of Agricultural Science,1995,124(3):351-360.
- [18] 张晓融,王世之. 小麦穗、小穗及籽粒差异的解剖结构及生理原因的研究[J]. 作物学报,1993,19(2):103-110.
- [19] 茹振钢,李 溢,胡铁柱,等. 强筋小麦不同穗位及花位籽粒粒重和品质的变化[J]. 麦类作物学报,2006,26(5):134-136.

Effects of Nitrogen Top-dressing at Jointing Stage on Kernel Traits at Different Spikelets and Grain Positions in Winter Wheat

MA Jianhui, QI Bingyu, JIANG Lina, XU Guangwu, LI Jinna, YANG Nana, LI Chunxi

(College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: In order to study the effects of nitrogen top-dressing at jointing stage on kernel traits at different spikelets and grain positions in winter wheat, we applied 6 levels of nitrogen fertilizer at jointing stage with base nitrogen $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ during 2011 to 2012 in Xun county. Zhoumai-18 which was the main cultivar in Henan province was chosen as the experimental material. We investigated the grain number and grain weight at different spikelets and grain position of main axis and tiller. The results showed that nitrogen top-dressing affected both sterile spikelet number at bottom and fertile and sterile spikelets rate significantly in main axis, while had none significant effects on tiller spike characteristics. Compared to none nitrogen top-dressing, fertile spikelets per spike and fertile spikelets rate tended to be higher under nitrogen applying at joint stage. And with the nitrogen top-dressing level adding, sterile spikelet number at bottom of tiller increased, and sterile spikelet number at bottom of main axis showed lower. Quadratic curve equation could be used to describing the grain number and grain weight for the rising of spikelet position, and the inflection point was 9th to 10th spikelet position and 6th to 9th spikelet position, respectively. Nitrogen top-dressing at jointing stage increased the grain number per spikelet, but there was no positive correlation relationship. Grain number at different grain position of main axis and tiller tended to be quite different in lower spikelet position, and especially under higher nitrogen applying. Nitrogen top-dressing affected the 1st and 2nd grain in top and bottom spikelet position and the 3rd grain in spike. The 1st and 2nd grain weight showed higher than the 3rd significantly, but the difference between the 1st and 2nd was not significant. Appropriate nitrogen top-dressing improved the 3rd grain weight in tiller spikelet. In this study, under the treatment of $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ nitrogen top-dressing based with $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, the grain number per spike and grain weight, spikelet weight were all higher both in spikes of main axis and tiller.

Keywords: winter wheat; nitrogen top-dressing; spikelet position; grain position; kernel trait