

龙致炜,宋广鹏,张 军,等. 不同年代冬小麦品种氮素吸收利用和产量对施氮水平的响应[J]. 江苏农业科学,2019,47(17):93-97,105.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.17.022

不同年代冬小麦品种氮素吸收利用 和产量对施氮水平的响应

龙致炜, 宋广鹏, 张 军, 孔佑平, 陈长青

(江苏省现代作物生产协同创新中心/南京农业大学应用生态研究所, 江苏南京 210095)

摘要:为探讨不同年代冬小麦品种施氮量与氮素吸收利用、产量及其构成因素的关系,于 2014—2015 年采用大田试验进行研究,选取 20 世纪 60 年代、80 年代和 21 世纪以后具有代表性的小麦品种为材料,设置 3 个不同的氮素水平,分别为 150、225、375 kg/hm²,研究不同施氮量对不同年代冬小麦品种氮素吸收利用、干物质积累和产量的影响。结果表明,不同年代品种和氮肥施用量对冬小麦氮素吸收、干物质积累和产量均有显著影响。随施氮量增加,不同年代冬小麦品种氮素吸收利用效率均表现出递增趋势;在施氮量相同的条件下,2000s 品种的氮素吸收利用效率、干物质积累量和产量均高于 1960s 和 1980s 的品种,主要归因于冬小麦氮素养分利用效率的提高,干物质积累速率在整个生育期均匀稳定,以及灌浆速率下降时间推迟,有利于“源”中积累的干物质向“库”中的转运。不同年代小麦品种的产量均在 225 kg/hm² 的施氮量下达到最高水平。2000s 以来选育的品种更注重小麦干物质的积累、氮素积累和氮素利用率,适量施氮(225 kg/hm²)更有利于提高冬小麦产量。研究结果为冬小麦品种改良方向提供了借鉴和依据。

关键词:年代;冬小麦品种;干物质积累;产量;氮素吸收利用;施氮水平

中图分类号:S512.1⁺10.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)17-0093-05

在我国目前的粮食生产和消费结构中,小麦的生产量和消费量占国内粮食总产量和总消费量的比重均为 22% 左右^[1]。大量施用化学肥料特别是氮肥是确保我国稳定生产和提高粮食产量的关键措施。近年来,应用于农业生产中的化学肥料日趋增多,而在农业生产中出现了应用不合理、肥料利用率低等问题,如何提高肥料利用率和合理施用化肥对我国农业绿色发展具有重要意义^[2]。自 20 世纪 50 年代以来,我国的小麦品种经历了约 8 次更新和替换,小麦品种的更新与改良都有效地探索了小麦的潜在生产力^[3]。随着我国城镇化、人均耕地面积的减少,提高小麦单位面积产量并建立与之相对应的高产高效栽培模式具有重要意义。

Donmez 等对美国小麦品种更替的研究显示,小麦产量的增加与单位面积穗数和穗粒数的增加显著相关,而与千粒质量无显著相关性^[4]。小麦品种的更替提高了氮素吸收利用效率^[5]。随着品种演替,氮素的转运能力逐渐增强,植株体内氮素的再分配利用效率提高^[6]。近年来,有关小麦高产栽培的相关研究较多^[7-8]。合理的氮肥用量是实现小麦高产优质的关键栽培措施之一^[9-12]。氮素转运再分配能力决定了籽粒的氮素含量^[13]。优化氮肥施用量有助于氮素向籽粒的运输^[14],促进小麦在抽穗后干物质及氮素积累^[15],调控小麦干物质的转运^[16],从而提高小麦产量。前人关于小麦籽粒产

量形成机制的研究主要集中在特定品种上^[17-18],并未明确施氮量对不同品系间的影响及适宜施氮量。高产优质小麦品种必须配备相应的栽培和生理调控技术,才能发挥其高产优势。本研究以不同年代冬小麦品种为材料,通过设计不同施氮水平处理,比较不同小麦品种氮素利用与干物质积累和产量的关系,对于阐明小麦产量提高和氮素利用的生理机制具有重要意义,进而为小麦品种的改良提供借鉴和依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及地点

试验材料选取不同年代具有代表性的冬小麦品种。所有品种均由江苏省农业科学院提供。供试土壤采自南京农业大学江浦试验站,土壤类型为黏土。试验地耕层(0~20 cm)土壤理化性质如下:有机质含量 18.89 g/kg,全氮含量 2.56 g/kg,速效磷含量 28.08 mg/kg,速效钾含量 102.73 mg/kg,pH 值 6.68。

1.2 试验设计

试验于 2014 年 10 月至 2015 年 6 月在南京农业大学江浦试验站(118°36′~118°38′E,32°01′~32°03′N)进行。试验为大田试验,小区采用裂区设计,氮肥水平为主区,品种为副区。每个品种设置 3 个氮水平,施肥量分别 150 kg/hm²(N₁₅₀)、225 kg/hm²(N₂₂₅)、375 kg/hm²(N₃₇₅),小区面积为 7.5 m²(长 3.0 m,宽 2.5 m),3 次重复。行距为 0.25 m,播种密度为 300 万株/hm²。施氮处理采用底施和拔节期或孕穗期追施结合的方式。氮肥基肥和追肥施用比例为 1:1,基肥于翻耕前施用,追肥时期为拔节期。播种前施 P₂O₅ 60 kg/hm²、K₂O 120 kg/hm²,作为基肥一次性施入。3 叶期定苗,生育期间防止白粉病、条锈病、叶锈病的发生。

收稿日期:2018-05-29

基金项目:国家重点研发计划(编号:2010CB951501);国家科技支撑计划(编号:2011BAD16B14)。

作者简介:龙致炜(1993—),女,广西柳州人,硕士研究生,主要从事农田生态系统研究。E-mail:2016101008@njau.edu.cn。

通信作者:陈长青,博士,副教授,主要从事农田生态系统、气候变化与作物适应研究。E-mail:cn828@njau.edu.cn。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 干物质量的测定 于拔节期、孕穗期、抽穗期、开花期和成熟期分别从各小区取植株样品 20 株,拔节期和孕穗期将植株茎、叶器官区别开,抽穗期和开花期将小麦植株分为叶片、茎鞘、穗 3 个部分;成熟期将小麦植株分为叶片、茎鞘、籽粒和颖壳 4 个部分,分别装入信封中,于 105 ℃ 杀青 30 min,放入烘箱于 80 ℃ 烘干至恒质量后测各器官干物质质量,称质量并保留样品,以此推算单位土地面积的干物质积累量。

1.3.2 氮素利用效率 氮素吸收利用相关指标按以下公式计算^[19]:

氮肥偏生产力(kg/kg) = 施氮区籽粒产量/施氮量;

氮素利用效率(kg/kg) = 籽粒产量/植株氮素积累量。

1.3.3 籽粒干物质量和产量指标的测定 开花期选取开花时间一致、长相基本相同、无病虫害的主茎进行标记,分别于花后 0、7、14、21、28、35 d 取样,每个处理每次取样 20 穗,籽粒烘干称质量,测定籽粒干物质量。成熟期在各小区选取具有代表性的 1 m² 进行测产,调查单位面积穗数、穗粒数和千粒质量。各小区单独收获,单独计产。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 16.0 软件对数据进行处理和统计分析,采用最小显著性差异(LSD)法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同年代小麦品种产量及其构成因素对施氮水平的响应

由表 1 可知,1960s、1980s、2000s 3 个年代的小麦产量呈显著增加趋势,不同年代品种增幅不同,2000s 较 1980s、1960s 分别提高 13.9%、22.3%。由表 1 还可知,不同年代小麦品种的产量均表现出随施氮量的提高先增加后降低的趋势,各品种均在 225 kg/hm² 的施氮量下达到最高产量水平。

随施氮量的提高,不同年代小麦品种的有效穗数显著增加,最大有效穗数均出现 N₃₇₅ 施氮水平下。与穗数相反,随施氮量提高,不同年代小麦品种的穗粒数显著降低。不同年代小麦品种的千粒质量随施氮量的提高呈现不同的变化趋势,1960s 的阿芙和碧玛麦在高氮条件下的千粒质量显著高于低氮和中氮;1980s 的鲁麦 1 号和扬麦 5 号在中氮条件下的千粒质量显著高于低氮和高氮;2000s 的扬麦 13 号和南农 0686 在低氮条件下的千粒质量最高,显著高于中氮和高氮。方差分析表明,品种和施氮量对冬小麦的有效穗数、穗粒数、千粒质量和产量的影响极显著;品种与施氮量交互作用对冬小麦有效穗数、千粒质量影响显著,对产量影响极显著。

表 1 不同施氮量对小麦产量及产量构成因素的影响

年代	品种	施氮处理(kg/hm ²)	有效穗数(穗/株)	穗粒数(粒/穗)	千粒质量(g)	产量(kg/hm ²)	
1960s	阿芙	N ₁₅₀	449.68h	38.79e	35.08de	4 418.15k	
		N ₂₂₅	482.00fg	36.59f	32.38hi	5 312.05fg	
		N ₃₇₅	510.77cd	34.19g	38.07b	5 024.61i	
	碧玛麦	N ₁₅₀	420.10i	38.71e	31.80ij	4 185.85l	
		N ₂₂₅	442.26h	34.25g	31.81ij	5 113.95hi	
		N ₃₇₅	470.53g	32.53h	37.99b	4 741.39j	
	1980s	鲁麦 1 号	N ₁₅₀	421.68i	43.31c	36.25c	4 756.12j
			N ₂₂₅	474.06g	39.30e	39.29a	5 998.70d
			N ₃₇₅	516.21bc	38.87e	34.24ef	5 221.32gh
扬麦 5 号		N ₁₅₀	396.32j	41.37d	35.47cd	4 407.88k	
		N ₂₂₅	450.94h	39.14e	37.59b	5 915.30d	
		N ₃₇₅	499.95de	36.75f	33.10gh	5 036.68i	
2000s		扬麦 13 号	N ₁₅₀	448.81h	47.64a	35.45cd	6 191.59c
			N ₂₂₅	520.43bc	45.06b	33.84fg	7 059.55a
			N ₃₇₅	561.47a	41.59d	31.92ij	5 383.56f
	南农 0686	N ₁₅₀	441.69h	45.96b	32.53hi	5 784.41e	
		N ₂₂₅	492.08ef	41.84d	31.12j	6 490.45b	
		N ₃₇₅	526.65b	38.85e	29.12k	5 172.44h	
	ANOVA	品种	**	**	**	**	
		施氮量	**	**	**	**	
		品种×施氮量	*	NS	*	**	

注:同列数据后不同小写字母表示品种间差异显著($P<0.05$)。*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。NS 表示差异不显著。

2.2 不同年代小麦品种氮素利用率对施氮水平的响应

由图 1 - A 可知,随施氮量的提高,不同年代小麦品种的氮肥偏生产力均显著降低,当氮肥施用量为 N₂₂₅ 时,1960s、1980s、2000s 小麦品种的氮肥偏生产力较 N₁₅₀ 处理的降幅分别为 19.16%、13.11%、24.56%;施氮量为 N₃₇₅ 时,1960s、1980s、2000s 小麦品种的氮肥偏生产力较 N₁₅₀ 处理的降幅分别为 54.70%、55.08%、64.66%。当氮肥施用量为 N₁₅₀ 和 N₂₂₅ 时,2000s 的氮肥偏生产力显著高于 1960s 和 1980s;当氮肥施用量为 N₃₇₅ 时,各年代小麦品种的氮肥偏生产力差异不

显著。

由图 1 - B 可知,不同年代小麦品种的氮肥利用效率在不同施氮水平下显著变化,1960s、1980s、2000s 在 N₂₂₅ 处理下的氮肥利用效率显著高于 N₁₅₀、N₃₇₅,不同施氮量和品种间差异显著。随品种的更替,在相同施氮处理下,氮肥利用率呈提高趋势,2000s 品种的氮肥利用率最高。

2.3 不同年代小麦品种干物质积累对施氮水平的响应

由图 2 可知,在相同施氮量条件下,不同小麦品种的干物质积累量随品种更替呈逐渐增加趋势。在 N₁₅₀ 和 N₂₂₅ 处理

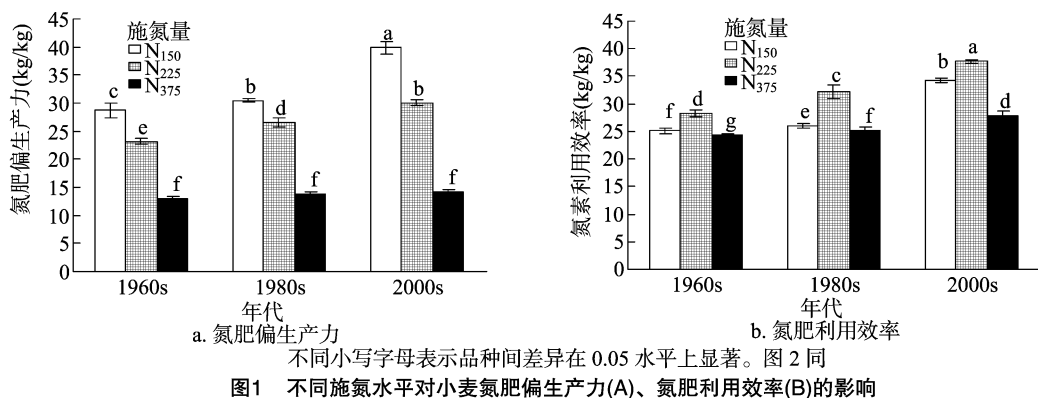


图1 不同施氮水平对小麦氮肥偏生产力(A)、氮肥利用效率(B)的影响

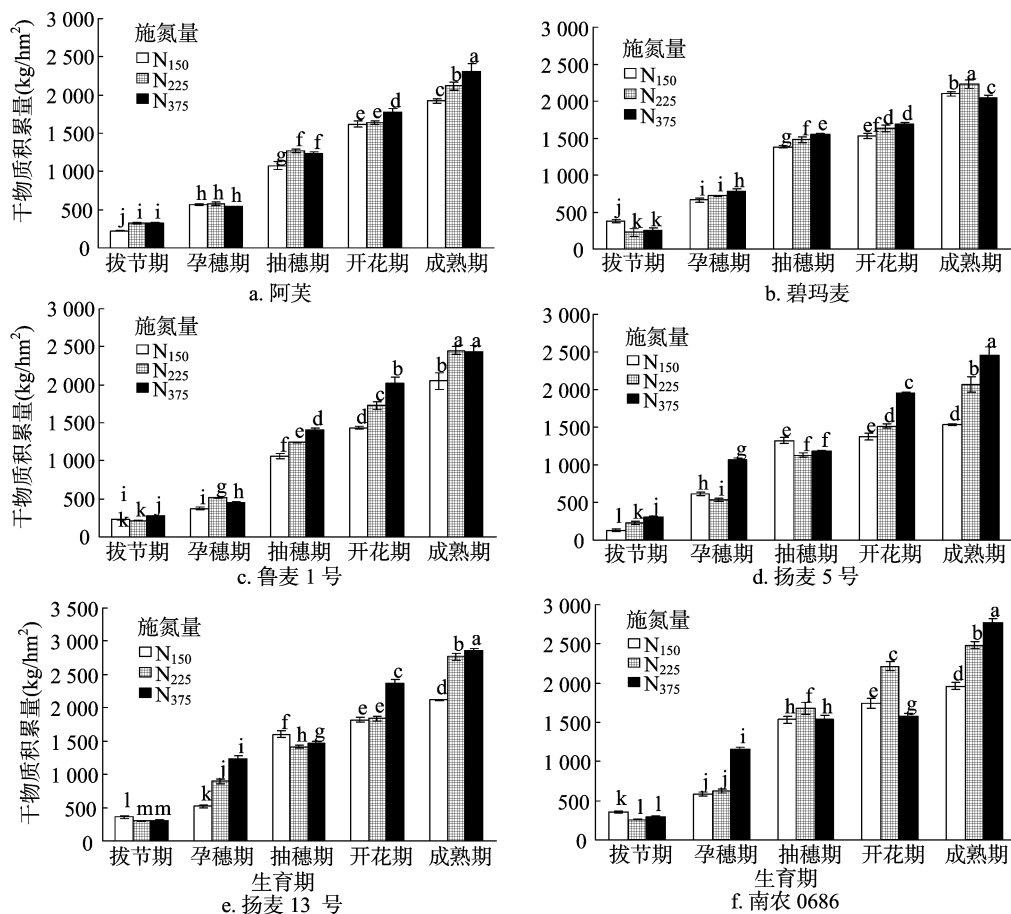


图2 施氮量对小麦不同生育阶段干物质积累量的影响

下,扬麦 5 号最低,分别为 1 532.26、2 064.52 kg/hm²,扬麦 13 号最高,分别为 2 115.58、2 769.28 kg/hm²;在 N₃₇₅ 处理下,碧玛麦最低,扬麦 13 号最高,分别为 2 044.62、2 861.75 kg/hm²。

不同生育时期中,不同年代冬小麦品种的干物质积累量均随氮肥水平的增加而显著增加。在开花期—成熟期,阿芙在 N₃₇₅ 下的干物质积累量显著高于 N₁₅₀ 和 N₂₂₅;在孕穗期—抽穗期,碧玛麦在 N₃₇₅ 下的干物质积累量显著高于 N₁₅₀ 和 N₂₂₅,随生育期推进,碧玛麦成熟期的干物质积累量在 N₂₂₅ 处理下显著高于 N₁₅₀ 和 N₃₇₅;在拔节期、抽穗期和开花期,鲁麦 1 号在高氮下的干物质积累量显著高于低氮,而在成熟期, N₃₇₅ 处理和 N₂₂₅ 处理之间差异不显著;在拔节期、孕穗期、开花期和成熟期,扬麦 5 号在 N₃₇₅ 处理下的干物质积累量显著高于

N₁₅₀ 和 N₂₂₅,在抽穗期,扬麦 5 号在低氮处理下的干物质积累量显著高于中氮和高氮,中氮和高氮处理之间差异不显著;在孕穗期、开花期和成熟期,扬麦 13 号在 N₃₇₅ 处理下的干物质积累量显著高于 N₁₅₀ 和 N₂₂₅,在拔节期和抽穗期,扬麦 13 号在低氮条件下的干物质积累量显著高于中氮和高氮,这一特性与 1980s 的扬麦 5 号相似;2000s 品种南农 0686 在抽穗期和开花期时, N₂₂₅ 条件下的干物质积累量显著高于 N₁₅₀ 和 N₃₇₅,在孕穗期和成熟期, N₃₇₅ 条件下的干物质积累量显著高于 N₁₅₀ 和 N₂₂₅。

2.4 不同年代小麦品种籽粒干物质积累对施氮水平的响应

由图 3 可以看出,不同施氮条件下,随生育期的推进,不同年代的 6 个小麦品种的籽粒干物质积累量均呈上升趋势。

随品种的更替,在不同施氮条件下,2000s 的品种相对于 1960s 和 1980s 的小麦品种,在开花 21 d 后灌浆速率下降得较为平缓,推迟了灌浆速率下降时间,有利于“源”中积累的干物质向“库”中的转运。不同年代品种对氮肥的响应存

在显著差异。1960s 的阿夫和碧玛麦在 N_{225} 处理下的籽粒灌浆速率最高;1980s 的鲁麦 1 号和扬麦 5 号的籽粒灌浆速率在灌浆中期受 N_{375} 处理影响显著,灌浆速率最高;2000s 的扬麦 13 号和南农 0686 在不同施氮量处理下差异不显著。

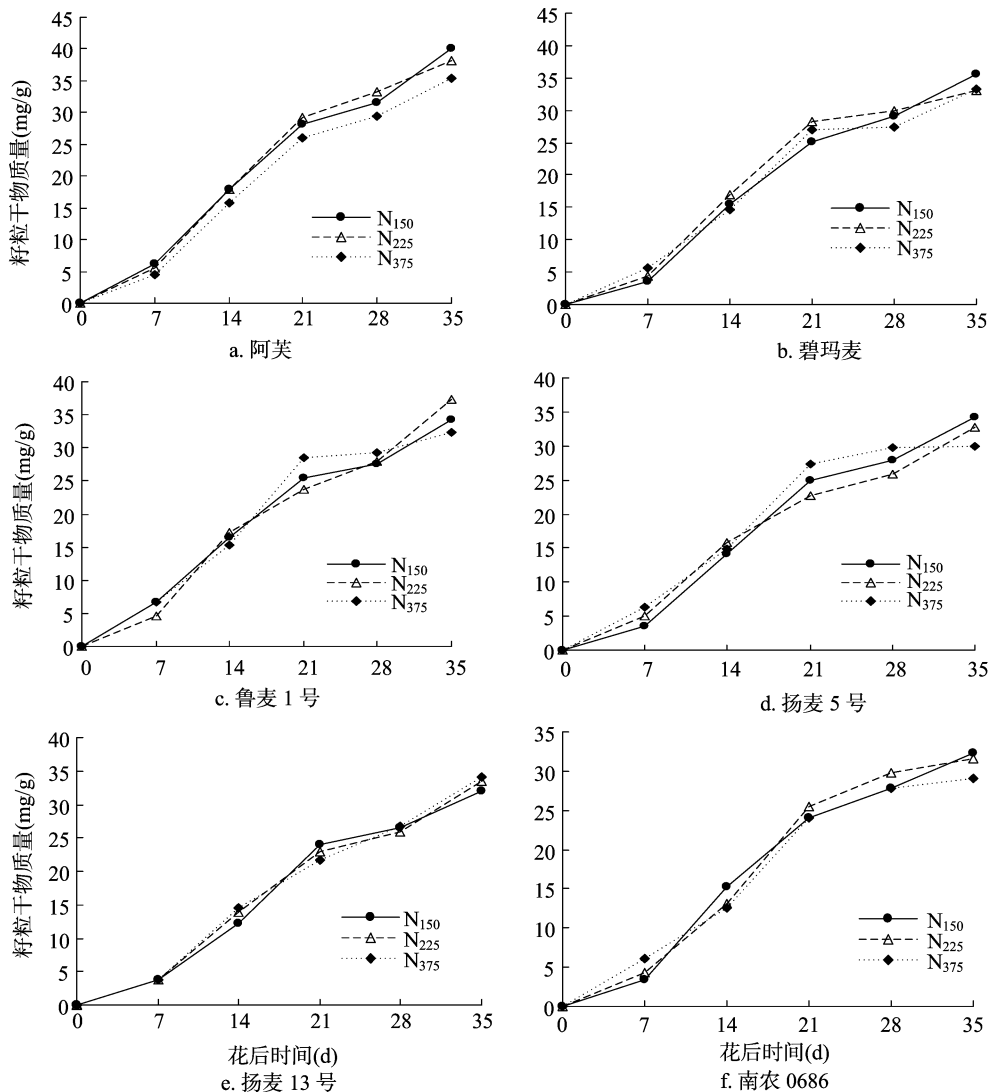


图3 不同施氮条件下不同年代小麦品种籽粒干物质积累的变化

3 讨论

小麦育种和栽培的关键目标之一是提高小麦的单位面积产量潜力^[20],小麦产量主要受单位面积总穗数、每穗穗粒数及小麦单粒质量 3 种因素的影响。在提高小麦产量的措施中,小麦品种的演变和改良是一个重要前提,在小麦品种改良趋于稳定时,合理的栽培措施将是提高小麦产量的关键。在一段时间内,众多学者都认为提高小麦穗粒数是提高小麦产量的关键举措^[21-22]。Sugár 等的研究发现,小麦的千粒质量和穗粒数之间存在着一定的负相关关系^[23]。本研究表明,总体来看,同一氮肥水平下,现代品种相对于早期品种的单位面积穗数基本呈现递增的趋势,说明品种改良过程中,小麦的分蘖数或成穗率在逐步提高。6 个品种的穗粒数随着氮肥施用量的增加均呈现出逐渐递减的趋势,说明增加氮肥施用量不利于小麦获得较高的穗粒数。2000s 的 2 个品种相对于早期

品种表现出较高水平,说明在品种改良过程中,穗粒数也逐步升高。千粒质量基本呈现出施氮量越高,质量越低的趋势,说明过高的氮肥水平并不利于 6 个品种千粒质量水平的提高。1960s 和 1980s 的 2 个小麦品种在 N_{225} 处理下籽粒产量水平最高,2000s 的 2 个小麦品种的籽粒产量在 N_{225} 处理下最高,说明过高和过低的氮肥水平均不适合各年代小麦籽粒产量形成,这可能与现代品种具有更强的调控穗数、每穗穗粒数及千粒质量之间平衡的能力有关。本试验中,施氮量为 225 kg/hm^2 最利于小麦籽粒形成;对比可知,2000s 的品种籽粒产量相对于 1960s 和 1980s 的品种较高,扬麦 13 在 N_{225} 处理下达到 $7\,059.55 \text{ kg/hm}^2$,高于 1960s 碧玛麦的最高产量 $5\,113.95 \text{ kg/hm}^2$,说明现代品种相对于早期品种具有产量优势。在一定范围内,增加施氮量会相应增加小麦产量,但当过多地施用氮肥时,植物体对氮肥的吸收和代谢将会受到影响^[24],当氮肥用量超过 225 kg/hm^2 时,氮肥的残留率将会提

高,利用效率也会显著降低,产量将不会再随着氮肥施用量的增加而增加。

李红梅等的研究表明,品种更替显著影响小麦的氮素吸收利用^[25]。随着品种的演变更替,氮素的吸收利用效率呈显著上升趋势^[26]。本试验表明,现代小麦品种氮肥偏生产力、氮素利用效率显著高于历史品种,说明现代品种具有更好的氮素转运再利用能力,相关研究也有类似报道^[27]。施氮量显著影响氮肥吸收利用效率^[28-29]。本研究表明,随施氮量的增加,不同年代小麦品种的氮肥偏生产力均呈显著下降趋势;氮素吸收利用效率先升后降,各品种的氮素吸收利用率均在 N_{225} 处理下达到最高值,说明新品种比旧品种有更高的氮素利用率,但新旧品种的最佳施氮量一致,在过高的施氮量下都有明显的抑制现象,这可能与当氮肥用量超过 225 kg/hm^2 时,氮肥表观损失和损失率降低有关^[30-31]。

相关研究表明,在适宜的氮肥施用范围内,小麦品种改良和增施氮肥可以提高小麦籽粒灌浆速率,在合理范围内提高氮素水平可以提高干物质转运到籽粒的分配比率^[32]。本研究表明,2000s 的小麦品种整体干物质积累速率在整个生育期内相对较为均匀,且在开花期到成熟期的群体干物质积累总量相对 1960s 的阿夫和碧玛麦较高,说明小麦品种在演化过程中比较注重调节小麦干物质积累的节奏,品种改良过程中,推迟了灌浆速率下降时间,有利于“源”中积累的干物质向“库”中的转运,通过调节栽培措施与小麦品种相匹配,能节省成本,并且提高土地、肥料及光能的利用效率。

4 结论

不同年代小麦品种的氮肥收获指数在 N_{375} 处理下最高,氮肥偏生产力在 N_{150} 处理下最高,氮素利用效率和产量均在 N_{225} 处理下最高。在用氮量一致时,2000s 小麦品种的产量均显著高于 1960s 和 1980s 的小麦品种,主要在于 2000s 的小麦品种相比于 1960s 和 1980s 的小麦品种在吸收与利用氮素过程中具有较好的协调能力,使其具有高的氮素利用率和小麦干物质积累节奏的调节能力。通过采取与品种相匹配的合理栽培管理技术,如施肥技术、播期和病虫害防治技术等,可以进一步提高小麦的产量潜力。

参考文献:

- [1] 王玉庭. 实现小麦供需平衡的贸易可行性研究[D]. 北京:中国农业科学院,2010.
- [2] 朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.
- [3] 黄玲,高阳,邱新强,等. 灌水量和时期对不同品种冬小麦产量和耗水特性的影响[J]. 农业工程学报,2013,29(14):99-108.
- [4] Donmez E, Sears R G, Shroyer J P, et al. Genetic gain in yield attributes of winter wheat in the great plains[J]. Crop Science,2001,41(5):1412-1419.
- [5] 韩晓宇,黄芳,王峥,等. 陕西关中不同年代小麦品种产量及氮素吸收利用对土壤肥力的响应[J]. 中国农业科学,2015,48(23):4769-4780.
- [6] 熊淑萍,吴克远,王小纯,等. 不同氮效率基因型小麦根系吸收特性与氮素利用差异的分析[J]. 中国农业科学,2016,49(12):2267-2279.

- [7] 王兴亚,周勋波,钟雯雯,等. 种植方式和施氮量对冬小麦产量和农田小气候的影响[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(1):14-21.
- [8] 马小龙,余旭,王朝辉,等. 旱地小麦产量差异与栽培、施肥及主要土壤肥力因素的关系[J]. 中国农业科学,2016,49(24):4757-4771.
- [9] Lea P J, Azevedo R A. Nitrogen use efficiency. 1. Uptake of nitrogen from the soil[J]. Annals of Applied Biology,2010,149(3):243-247.
- [10] 丁锦峰,黄正金,成亚梅,等. 稻茬小麦不同氮肥利用率群体间产量、品质和经济效益的差异[J]. 麦类作物学报,2015,35(2):251-257.
- [11] 张耀兰,曹承富,李华伟,等. 氮肥运筹对晚播冬小麦产量、品质及叶绿素荧光特性的影响[J]. 麦类作物学报,2013,33(5):965-971.
- [12] 张磊,邵宇航,谷世禄,等. 减量施氮下基肥后移对南方冬小麦产量和氮素利用效率的影响[J]. 应用生态学报,2016,27(12):3953-3960.
- [13] Gaju O, Allard V, Martre P, et al. Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and grain nitrogen concentration in wheat cultivars[J]. Field Crops Research,2014,155:213-223.
- [14] 柴彦君,熊又升,黄丽,等. 施氮对不同品种冬小麦氮素累积和运转的影响[J]. 西北植物学报,2010,30(10):2040-2046.
- [15] 郭伟,李建伟,邹春雷,等. 外源碳、氮处理对春小麦花后干物质积累及籽粒产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2017,53(5):17-22.
- [16] 马冬云,郭天财,王晨阳,等. 施氮量对冬小麦灌浆期光合产物积累、转运及分配的影响[J]. 作物学报,2008,34(6):1027-1033.
- [17] Dinnes D, Karlen D L, Jaynes D B, et al. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained midwestern soils[J]. Agronomy Journal,2002,94(1):153-171.
- [18] 李娜,张保军,张正茂,等. 不同施氮量和播量对‘普冰151’干物质积累特征及籽粒灌浆特性的影响[J]. 西北农业学报,2017,26(5):693-701.
- [19] 黄亿,李廷轩,张锡洲,等. 氮高效利用基因型大麦氮素转移及氮形态组分特征[J]. 中国农业科学,2015,48(6):1151-1161.
- [20] 茹振钢,冯素伟,李淦. 黄淮麦区小麦品种的高产潜力与实现途径[J]. 中国农业科学,2015,48(17):3388-3393.
- [21] Gaju O, Reynolds M P, Sparkes D L, et al. Relationships between physiological traits, grain number and yield potential in a wheat DH population of large spike phenotype[J]. Field Crops Research,2014,164:126-135.
- [22] Sanchez-Garcia M, Royo C, Aparicio N, et al. Genetic improvement of bread wheat yield and associated traits in Spain during the 20th century[J]. Journal of Agricultural Science,2013,151(1):105-118.
- [23] Sugár E, Berzsenyi Z, Árendás T, et al. Effect of nitrogen fertilization and genotype on the yield and yield components of winter wheat[J]. Die Bodenkultur Journal of Land Management Food & Environment,2016,67(1):25-34.
- [24] 孙志梅,武志杰,陈利军,等. 农业生产中的氮肥施用现状及其环境效应研究进展[J]. 土壤通报,2006,37(4):782-786.

养分水平。从 T1 和 T2 处理可以看出,糖碱比随施氮量的增加而降低,与前人研究结果一致^[20];氮碱比适宜范围一般在 0.8~0.9^[9],本试验条件下烤烟氮碱比略高于优质烤烟范围,可能是由于当地烤烟品种及气候条件导致。

不同的氮钾配施,烤烟和甘蓝的经济效益不同,在周年养分一定的情况下,T1 处理(甘蓝季高氮中钾,烤烟季低氮中钾)甘蓝和烤烟总经济效益最高,说明在烤烟—甘蓝轮作体系中,甘蓝季应重视氮肥施用,烤烟季应重视钾肥施用。但本试验未设置减量施氮和减量施钾处理,不能计算在减量施肥的情况下甘蓝和烤烟的经济效益,同时 2015 年农业部发布的《到 2020 年化肥使用零增长行动方案》^[21]提出化肥零增长下的养分高效利用的发展目标,减少化肥施用量,提高肥料利用率,因此在以后的研究中应重视肥料减施方面的研究。在国家“两减”的背景下,如何做到减肥高效成为现代农业的发展目标,单纯的施用单质肥料很难提高肥料利用率,在施用化肥的情况下,应增施如秸秆^[22]、生物炭^[23]等物料以提高肥料利用率,在以后的研究中应重视本方面的研究,同时注重合理的耕作管理制度^[24]。

参考文献:

- [1] 蒋太明,罗龙皂,李 渝,等. 长期施肥对西南黄壤有机碳平衡的影响[J]. 土壤通报,2014,45(3):666–671.
- [2] 赵 欢,刘 海,何佳芳,等. 不同肥料组合对马铃薯产量、生物性状和土壤肥力的影响[J]. 贵州农业科学,2013,41(12):110–114.
- [3] 吕慧峰,王小晶,赵 欢,等. 肥料组合对马铃薯产量、品质和土壤肥力的影响[J]. 长江蔬菜,2010(22):46–48.
- [4] 周志红,李心清,邢 英,等. 生物炭对土壤氮素淋失的抑制作用[J]. 地球与环境,2011,39(2):278–284.
- [5] 郭九信,冯猪猛,胡香玉,等. 氮肥用量及钾肥施用对稻麦周年产量及效益的影响[J]. 作物学报,2013,39(12):2262–2271.
- [6] 陈丹梅,段玉琪,杨宇虹,等. 轮作模式对植烟土壤酶活性及真菌群落的影响[J]. 生态学报,2016,36(8):2373–2381.
- [7] 王永华,黄 源,辛明华,等. 周年氮磷钾配施模式对砂姜黑土麦玉轮作体系籽粒产量和养分利用效率的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(6):1031–1046.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [9] 肖协忠. 烟草化学[M]. 北京:中国农业科技出版社,1997:56–61.
- [10] 余常兵,李志玉,廖伯寿,等. 湖北省花生平衡施肥技术研究 II.

平衡施肥对花生产量及经济效益的影响[J]. 湖北农业科学,2010,49(6):1307–1309.

- [11] 王火焰,周健民. 肥料养分真实利用率计算与施肥策略[J]. 土壤学报,2014,51(2):216–225.
- [12] 巨晓棠. 氮肥有效率的概念及意义——兼论对传统氮肥利用率的理解误区[J]. 土壤学报,2014,51(5):921–933.
- [13] 南镇武,梁 斌,刘树堂. 长期定位施肥对潮土氮素矿化特性及作物产量的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(6):107–112.
- [14] Yang X L, Lu Y L, Tong Y A, et al. A 5-year lysimeter monitoring of nitrate leaching from wheat-maize rotation system: comparison between optimum N fertilization and conventional farmer N fertilization[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2015, 199: 34–42.
- [15] 武 际,郭熙盛,王允青,等. 氮钾配施对弱筋小麦氮、钾养分吸收利用及产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(6):1054–1061.
- [16] 郭熙盛,朱宏斌,王文军,等. 不同氮钾水平对结球甘蓝产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(2):161–166.
- [17] Wang G Y, Li C J, Zhang F S. Effects of different nitrogen forms and combination with foliar spraying with 6-enzylaminopurine on growth, transpiration, and water and potassium uptake and flow in tobacco[J]. Plant Soil, 2003, 256(1):169–178.
- [18] 李银水,余常兵,谢立华,等. 氮钾肥运筹对花生—油菜轮作制作物产量及养分效率的影响[J]. 中国油料作物学报,2016,38(6):817–823.
- [19] 吴朝阳,牛 铮,汤 泉,等. 不同氮、钾施肥处理对小麦光能利用率和光化学植被指数(PRI)关系的影响[J]. 光谱学与光谱分析,2009,29(2):455–458.
- [20] 苑举民,张忠锋,石 屹,等. 低肥力土壤施氮对烤烟干物质积累、氮素吸收及产质量的影响[J]. 中国烟草科学,2009,30(4):47–51,58.
- [21] 农业部种植业司. 农业部关于印发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》的通知[Z/OL]. (2015–03–18) [2018–06–01]. http://www.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/tz/201503/t20150318_4444765.htm.
- [22] 李继福,鲁剑巍,任 涛,等. 稻田不同供钾能力条件下秸秆还田替代钾肥效果[J]. 中国农业科学,2014,47(2):292–302.
- [23] 王洪媛,盖霞普,翟丽梅,等. 生物炭对土壤氮循环的影响研究进展[J]. 生态学报,2016,36(19):5998–6011.
- [24] 王 辉,屠乃美. 稻田种植制度研究现状与展望[J]. 作物研究,2006(5):498–503.

(上接第 97 页)

- [25] 李红梅,肖 凯,杨黎娜. 春季氮素处理对小麦可溶性糖含量及产量的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(33):142–145.
- [26] 魏艳丽,王彬龙,李瑞国,等. 施氮对不同小麦品种干物质分配、氮素吸收和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2012,32(6):1134–1138.
- [27] Pourazari F, Vico G, Ehsanzadeh P, et al. Contrasting growth pattern and nitrogen economy in ancient and modern wheat varieties[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2015, 95(5):851–860.
- [28] Liao Y I, Zheng S X, Rong X M, et al. ¹⁵N isotope techniques for estimating effects of urea-N fertilizer application rate on yields and nutrient contents of pakchoi cabbage and asparagus lettuce and

nitrogen utilization efficiency[J]. Agricultural Science & Technology, 2010, 11(7):151–156.

- [29] 李升东,张卫峰,王法宏,等. 施氮量对小麦氮素利用的影响[J]. 麦类作物学报,2016,36(2):223–230.
- [30] 张爱平,杨世琦,杨淑静,等. 不同供氮水平对春小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 中国农学通报,2009,25(17):137–142.
- [31] 杨宪龙,路永莉,同延安,等. 陕西关中小麦—玉米轮作区协调作物产量和环境效应的农田适宜氮肥用量[J]. 生态学报,2014,34(21):6115–6123.
- [32] 李金鹏,王志敏,张 琪,等. 微喷灌和氮肥用量对冬小麦籽粒灌浆和氮素吸收利用的影响[J]. 华北农学报,2016,31(增刊):1–10.