

孟自力,朱伟,朱倩,等. 小麦氮高效品种的筛选及评价[J]. 江苏农业科学,2022,50(13):52-57.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.13.009

小麦氮高效品种的筛选及评价

孟自力^{1,2},朱伟¹,朱倩¹,倪雪峰¹,闫向泉¹,王祁¹

(1. 商丘市农林科学院,河南商丘 476000; 2. 河南农业大学农学院,河南郑州 450000)

摘要:为筛选氮高效小麦品种,探究适宜的评价方式,采用大田试验对 14 个小麦品种的不同生育期干物质累积、光合指标及产量进行研究。结果表明,氮处理条件下不同小麦品种间 3 个氮效率指标均存在不同程度的差异。施氮和不施氮条件下,各小麦品种干物质积累的主要时期存在差异;V12、V13 在拔节期至灌浆期,V01、V04、V05 品种在拔节期和灌浆期差异明显,V02、V03、V08 品种在拔节期差异明显,V07、V09 品种在灌浆期差异明显,表明拔节期、灌浆期对小麦品种的干物质形成、氮肥利用效率、产量形成极为关键,可以作为评价氮效率的重要指标;氮高效品种 V01、V04、V05 和 V07 在施氮和不施氮条件下,灌浆期的净光合速率在所有品种中均最高,较高的净光合速率使花后干物质积累量增加,从而实现氮肥利用效率和产量稳定;而氮低效品种 V06、V14 和 V12 的净光合速率在施氮和不施氮的条件下均最低,从而不能够保证后期产量的形成,说明灌浆期净光合速率和胞间 CO₂ 浓度能够客观地反映氮高效品种的特性,从而可以作为评价氮效率的另一个有效指标;根据各品种的小麦产量,筛选出氮高效、高产小麦品种遂选 101、商麦 156、商麦 188,氮效率保持较高水平并稳产的品种有泛麦 803、百农 418、周麦 18;氮低效、低产小麦品种泰禾 882、百农 418、怀川 919、濮麦 053,对氮肥敏感度高、适于高水肥地块的品种有泛麦 7030、枣乡 158、俊达 106、平安 11,可见氮利用效率与产量指标密切相关。

关键词:小麦;氮高效;耐低氮;品种;筛选;评价

中图分类号: S512.1⁺10.37 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)13-0052-06

目前,我国已经成为生产小麦的第一大国,我国耕地面积约占全球 10% 却消耗着全球 27% 的氮

肥,而小麦的氮肥利用率仅为 35% 左右^[1]。目前研究均认为,由于小麦品种不同,其植株对氮素营养的吸收能力也有很大的差异^[2]。因此,充分利用植物自身的营养遗传特性,筛选氮效率高、耐低氮能力强的小麦品种是提高氮素利用效率,减少氮素过剩引发的环境问题,节约矿质营养资源的一条有效途径。

植物体内的氮素水平直接或间接影响植物光合作用^[3-5]。植物氮素水平作为影响植物生长发育

收稿日期:2021-10-04

基金项目:国家重点研发计划(编号:2017YFD0201700);河南省小麦产业技术体系专项(编号:Z2010-01-04)。

作者简介:孟自力(1986—),男,河南商丘人,硕士,副研究员,主要从事小麦育种及栽培技术研究。E-mail:383676450@qq.com。

通信作者:朱伟,硕士,研究员,主要从事小麦育种及栽培技术研究。E-mail:hn-zhwei@163.com。

[16] Lin H J, Tan D F, Zhang Z M, et al. Analysis of digenic epistatic and QTL × environment interactions for resistance to banded leaf and sheath blight in maize (*Zea mays*) [J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2008, 10(6): 605-611.

[17] Lin H J, Leng P F, Pan G T, et al. Association analysis of candidate quantitative trait loci for resistance to banded leaf and sheath blight in maize [J]. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, 2013, 5(3): 528-534.

[18] 王晓鸣,石洁,晋齐鸣. 玉米病虫害田间手册:病虫害鉴别与抗性鉴定[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2010: 256.

[19] Liu K J, Muse S V. PowerMarker: an integrated analysis environment for genetic marker analysis [J]. Bioinformatics, 2005, 21(9): 2128-2129.

[20] 黄明波,谭君,杨俊品,等. 玉米纹枯病研究进展[J]. 西南农业学报,2007,20(2): 209-213.

[21] 高嵩,刘宏伟,何欢,等. 利用 SNP 芯片进行玉米遗传多样性和群体遗传结构分析及新品种选育[J]. 玉米科学,2021,29(1): 39-45.

[22] 赵久然,李春辉,宋伟,等. 基于 SNP 芯片揭示中国玉米育种种质的遗传多样性与群体遗传结构[J]. 中国农业科学,2018, 51(4): 626-644.

[23] 高立起,梁秋华,丁贵江. 玉米穗位高度与纹枯病发生关系研究初报[J]. 北京农业科学,2000,18(3): 12-14.

[24] 张敏,唐莉,叶华智,等. 玉米品种资源对纹枯病的抗性鉴定[C]//中国植物保护学会. 中国植物保护学会第八届全国会员代表大会暨 21 世纪植物保护发展战略学术研讨会. 成都, 2001: 705-708.

的限制因素,能通过调控植物的光合作用、呼吸作用及蒸腾作用等进而对植物的生理特性产生影响^[6-7],氮素供应不足或过量会导致光合同化物减少,干物质积累降低进而影响小麦的产量^[8-12]。因此,通过光合作用可以有效评价不同小麦品种的氮利用效率。另外,在评价不同作物品种之间的氮吸收利用差异中,大田试验多以产量、养分吸收量等作为评价指标。

本试验以黄淮南片生产应用中 14 个半冬性小麦品种为材料,进行大田试验,研究不同小麦干物质积累及光合作用,从而筛选出小麦氮素利用效率高、耐低氮的品种,确定评价氮高效小麦品种地上干物质质量关键生育时期及光合指标,以此为提高小麦氮素利用效率提供依据,为积极响应国家的化肥农药双减战略、打造生态宜居的自然环境提供技术保障。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验选取的材料为 14 个黄淮南片主推半冬性小麦品种(表 1)。

表 1 供试小麦材料

代号	小麦品种	代号	小麦品种
V1	遂选 101	V8	周麦 18
V2	商麦 156	V9	存麦 11
V3	泛麦 7030	V10	枣乡 158
V4	泛麦 803	V11	平安 11 号
V5	商麦 188	V12	泰禾 882
V6	怀川 919	V13	俊达 106
V7	百农 418	V14	濮麦 053

1.2 试验设计

试验于 2020—2021 年在河南省商丘市梁园区双八镇商丘市农林科学院试验基地进行,该地区属于典型的温带季风性气候,光照充足,年平均气温为 14.5 ℃,年平均降水量为 555 mm,前茬作物为玉米,0~20 cm 土层有机质含量 1.15%,全氮含量 0.72 g/kg,有效磷含量 45.5 mg/kg,速效钾含量 93.34 mg/kg,水解氮含量 105 mg/kg。采用田间试验小麦品种和氮肥施用量 14×2 完全均衡方案。施氮量分别为 N0(不施氮)、N1(正常施氮,210 kg/hm²)。共组成 28 个处理,试验田间排列采用裂区随机区组设计,施氮量为主区,小麦品种为副区,3 次重复。各副区面积为 1.5 m×9 m=13.5 m²。各副区除按处理施氮肥外,磷肥(P₂O₅)、钾肥

(K₂O)施用量分别为 120、75 kg/hm²。供试氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾。肥料的施用方法:60%的氮肥和全部磷钾肥播种前撒施,深翻入土,剩余 40%的氮肥于拔节期开沟追施,施后灌水。其他管理如除草、病虫害防治和灌水按 DB 4114/T 078—2015《小麦高产高效栽培技术规程》进行。播种日期为 2020 年 10 月 10 日,基本苗 150 万株/hm²。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 分蘖数测定 在小麦苗期,标记代表小区总体长势的 1 m 双行小麦,分别在越冬期、返青期、拔节期记录小麦 1 m 双行的分蘖数。

1.3.2 干物质量测定 分别于三叶期、越冬期、拔节期、开花期、灌浆期采集具有代表性的植株样品 20 株,90 ℃鼓风杀青 30 min,65 ℃下烘干至恒质量,称取干物质量,计算地上部分生物学产量。

1.3.3 光合指标测定 光合参数采用 LI-6400 便携式光合仪(LI-6400, LI-COR, Lincoln, NE, 美国)进行测定,测定时间选在拔节期 09:00—11:00 进行。测定时将叶面温度控制为 25 ℃,相对湿度控制为 50%左右,光照度控制为 1 500 μmol/(m²·s),CO₂ 浓度控制为(400±5) μmol/mol,分别测定随机从每个处理选取的植株的最上部完全展开的叶片,测定项目包括净光合速率(P_n)、胞间二氧化碳浓度(C_i)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)。

1.3.4 考种及成熟期测产 于成熟期 1 m 双行的穗数,取 20 株小麦进行考种(株高、穗粒数、千粒质量),计算理论产量;另从每个副区收获 4 m²,脱粒,称取实际产量。

2 结果与分析

2.1 施氮处理条件下小麦品种不同时期干物质积累差异

不同小麦品种三叶期和越冬期干物质量测定结果如图 1 所示,可以看出,在三叶期施氮肥和不施氮肥处理对干物质量影响很小,说明不施氮肥处理对出苗后苗情影响不大,同时 2 种处理条件下,不同品种间差异也较小。越冬期干物质量累积进一步增加,不同施氮处理条件下各品种间干物质量差值出现明显差异,其中 V06、V12、V13 品种的 2 种不同处理干物质量差异最大,V14、V07、V08 品种次之,说明这几个品种在越冬期表现出对氮肥敏感;三叶期、越冬期的苗期干物质积累量都比较少,分别低于 340、600 kg/hm²,受施氮量影响均较小。

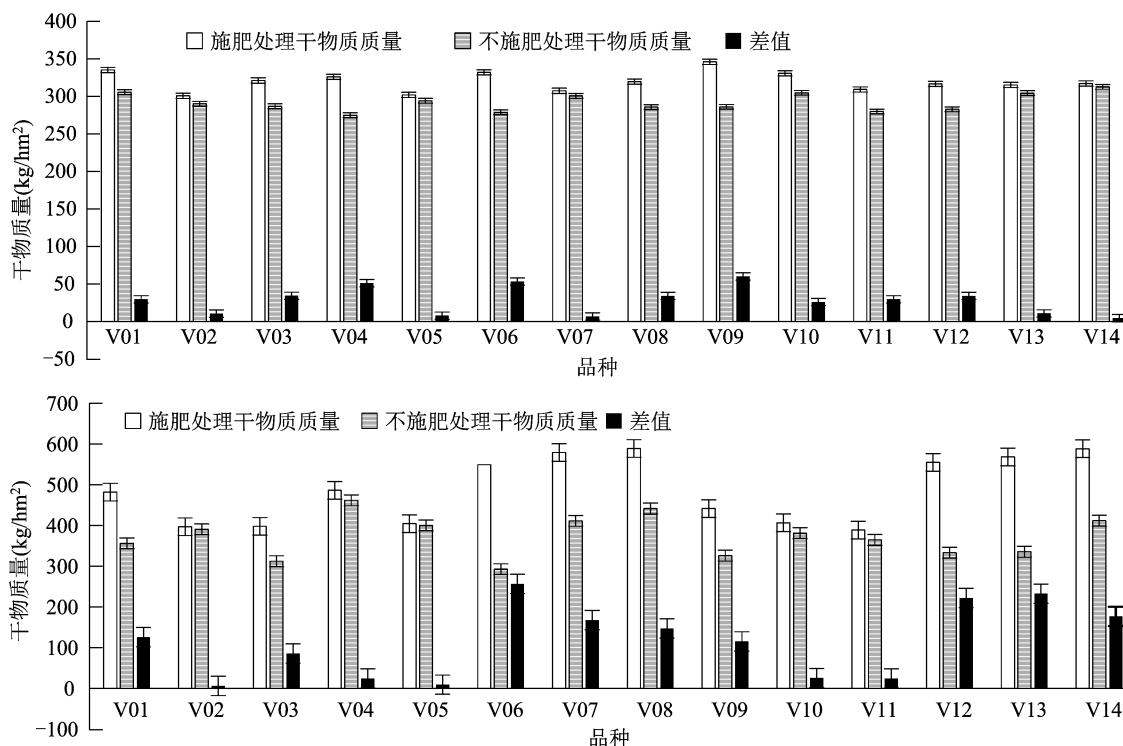


图1 施氮肥与不施氮肥处理对小麦三叶期、越冬期干物质积累的影响

由图2可知,不同小麦品种在拔节期和灌浆期干物质积累均明显增加,整个拔节期施氮、不施氮处理的干物质积累增长量分别在5 400、3 300 kg/hm²以上,整个灌浆期干物质积累增长量分别在2 300、1 800 kg/hm²以上,相比之下拔节期干物质积累更高,表明品种在拔节期、灌浆期的氮肥利用效率对地上部分产量形成极为关键,而且拔节期更为重要,灌浆期是小麦籽粒干物质形成的关键时期也是影响后期产量至关重要的环节。拔节期不同施氮量处理条件下,干物质质量差异明显的品种有V01、V03、V08、V02,说明这些品种的干物质形成在拔节期比较关键,拔节期也是氮肥敏感期,V04、V05、V12、V13品种干物质差值次之;灌浆期施氮条件下,干物质质量差异明显的品种有V01、V04、V05、V07、V13,说明这些品种干物质形成在灌浆期比较关键,灌浆期是氮肥敏感期,V09、V11、V12品种干物质差值次之。

不同小麦品种抽穗期干物质质量及差值测定结果如图3所示,可以看出,不同施氮处理条件下抽穗期的大多数品种干物质积累量相对差值是所有生育期最大的,其中V02、V06、V08、V09、V10、V12、V13、V14干物质积累量差值均高于不施氮处理的干物质积累量,差异极为明显,这个时期是小麦

“库”形成的关键时期,对后期小麦产量的形成也很关键,但是这个时期地上部分干物质积累量相对于拔节期和灌浆期还是较少。

综上所述,不同施氮条件下各小麦品种的干物质积累的主要时期存在差异:V12、V13在拔节期至灌浆期,V1、V4、V5在拔节期和灌浆期,V02、V03、V08在拔节期,V07、V09在灌浆期,干物质质量差异明显,对氮肥敏感,表明小麦品种在拔节期、灌浆期对干物质形成、氮肥利用高低及产量形成极为关键。

2.2 施氮与不施氮处理条件下不同品种光合特性的差异

由表2可知,施氮与不施氮处理对不同小麦灌浆期叶片 P_n 、 T_r 、 G_s 和 C_i 影响显著。氮高效品种V01、V04、V05和V07在施氮和不施氮的条件下,灌浆期的净光合速率在所有品种中均最高(极显著高于其他处理),较高的净光合速率使花后干物质积累量增加,从而实现氮肥利用效率和产量稳定;而氮低效品种V06、V14和V12的净光合速率在施氮和不施氮的条件下均最低(极显著低于其他处理),从而不能够保证后期产量的形成。说明氮高效品种相对来说有着更大的减氮潜力,它通过灌浆期叶片保持高光合能力来增加干物质生产力,实现氮肥高效利用和产量较高水平。胞间CO₂浓度在施氮

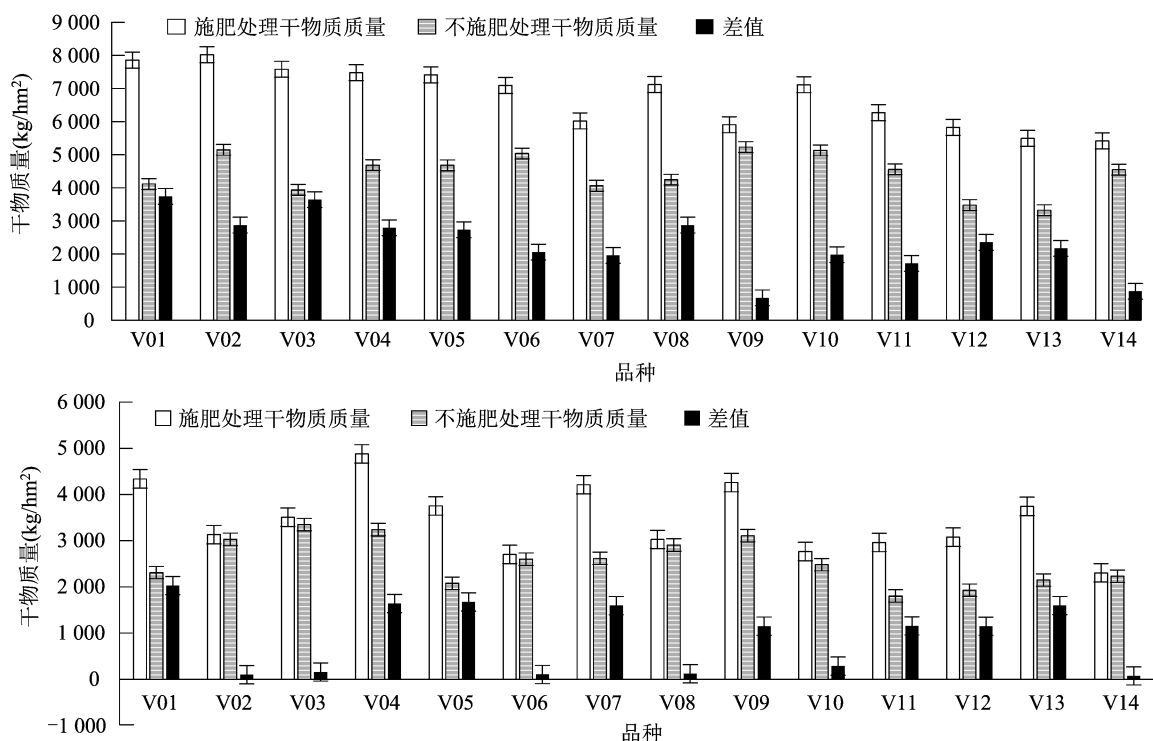


图2 施氮肥与不施氮肥处理对小麦灌浆期、拔节期干物质积累的影响

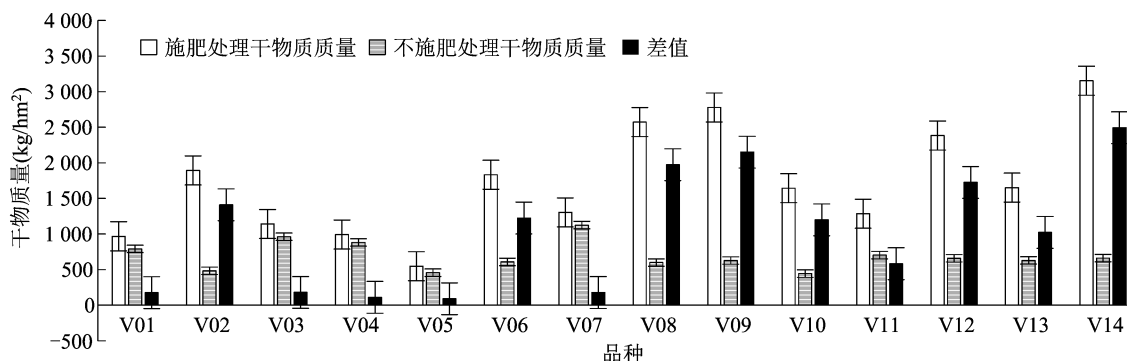


图3 施氮肥与不施氮肥处理对小麦抽穗期干物质积累的影响

和不施氮条件下整体表现出与净光合速率负相关的关系,即净光合速率越低,胞间 CO_2 浓度越高。在施氮和不施氮条件下,均是 V01、V02 和 V05 品种的蒸腾速率最大;在施氮和不施氮条件下,均是 V01、V05 和 V07 品种的气孔导度最大。综上所述,灌浆期净光合速率和胞间 CO_2 浓度能够客观反映氮高效品种的特性,从而可以作为判断氮高效指标的一个有效途径;蒸腾速率和气孔导度则不能够全面准确地反映出来,所以不能够成为一个有效利用的氮高效指标。

2.3 施氮肥与不施氮肥处理条件下不同品种的产量差异

从图 4 可知,施氮与不施氮产量均高、产量差值较小的品种有 V01、V02、V05,表明这些品种含有氮

肥利用率高,对氮肥不太敏感;不施氮和施氮产量均保持较高水平的品种有 V04、V07、V08,表明这些品种稳产性好;施氮产量高、不施氮产量低,产量差值较大的品种有 V03、V10、V11、V13,表明这些品种对氮肥敏感度高,适于高水肥地块利用;施氮产量中等、不施氮产量反而相对较高、产量差值较小的品种是 V09,说明该品种对氮不敏感;施氮与不施氮产量均低的品种有 V07、V06、V12、V14,表明这些品种氮肥利用率低。

3 结论与讨论

我国筛选和培育氮高效小麦品种的一大有利条件便是国内丰富的小麦品种资源。选育氮高效小麦品种既是小麦高产的一种保障,又是降低氮肥

表 2 施氮与不施氮处理对小麦品种灌浆期光合特性的影响

处理	品种	净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	蒸腾速率 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	气孔导度 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	胞间 CO_2 浓度 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)
不施氮	V01	16.91aA	3.61aA	332.49aA	266.84mM
	V02	12.23eE	3.08bB	222.71hH	320.62iI
	V03	11.74fF	2.52eE	202.22mM	322.75hH
	V04	14.30bB	2.46fF	231.53fF	308.62kK
	V05	13.54cC	3.02cC	304.89bB	299.86lL
	V06	7.21lL	2.39hH	189.83nN	340.56bB
	V07	12.51dD	2.75dD	264.82cC	318.56jJ
	V08	11.42hH	2.37hH	207.97lL	324.84gG
	V09	10.97iI	2.41ghFGH	233.52eE	333.54dD
	V10	10.99iI	2.29iI	228.64gG	333.42eE
	V11	11.40hH	2.44fgFG	236.22dD	325.06fF
	V12	9.46kK	2.54eE	209.75kK	334.61cC
	V13	11.64gG	2.39hH	222.31iI	322.73hH
	V14	9.91jJ	2.53eE	216.74jJ	345.15aA
施氮	V01	17.31aA	4.65bB	420.53bB	260.23nN
	V02	12.97eE	5.23aA	289.85jJ	308.12iI
	V03	12.62gG	3.20fF	300.22hH	311.31gG
	V04	15.30cC	3.24fF	311.30eE	283.52lL
	V05	16.81bB	3.94cC	369.46cC	280.46mM
	V06	8.07lL	3.31eE	306.64fF	331.15aA
	V07	13.47dD	3.03hiHI	592.39aA	287.14kK
	V08	12.71fF	3.40dD	284.53lL	310.64hH
	V09	12.52hH	3.36dDE	298.62iI	314.97dD
	V10	12.56hH	3.09gG	288.73kK	312.75eE
	V11	12.27iI	3.06ghGH	301.42gG	322.24cC
	V12	8.42kK	3.00iI	277.41mM	311.63fF
	V13	12.07jJ	3.07ghGH	321.42dD	325.96bB
	V14	6.11mM	2.72jJ	272.91nN	305.90jJ

注:同列数据后不同大写、小写字母分别表示差异极显著($P<0.01$)、显著($P<0.05$)。施氮与不施氮处理分开作方差分析。

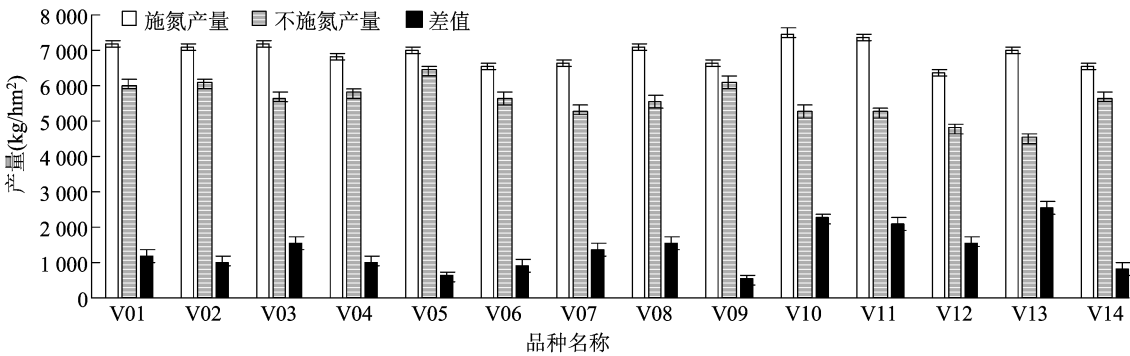


图 4 施氮肥与不施氮肥处理对小麦产量的影响

施用量、提高氮肥利用效率、减轻氮肥引发的一系列环境问题的可靠途径^[13-17]。苗期、拔节期、抽穗期和灌浆期作为小麦地上产量形成的基础阶段,小

麦在这些时期对养分的积极吸收对后期生殖生长有重大作用,利用小麦不同生育期对氮素吸收利用的差异性来筛选氮高效品种,并对其相关的性状指

标作甄别——以此作为评价小麦氮效率的重要指标,这一系列的研究得到众多学者的关注^[18-23]。李丹丹等研究发现,地上部干质量的耐性指数及植物氮素积累量适合作为小麦苗期氮效率的 2 个评价指标^[24];裴雪霞等研究发现,小麦苗期相对植株干质量这一指标适合作为耐低氮小麦氮高效品种筛选的评价指标^[25]。本试验结论与韩璐等的研究结论^[26]比较一致,主要采用拔节期和灌浆期干物质积累量来评价氮高效品种。另外,本试验采用大田试验方法,研究了不同氮效率小麦品种光合特性差异,得到如下结果:氮高效品种在施氮和不施氮的条件下,灌浆期净光合速率均未明显降低,进而使花后干物质积累量增加,从而实现氮肥利用效率提高和产量稳定;而氮低效品种净光合速率却整体出现不同程度的降低,从而不能够保证后期产量的形成。这与马瑞琦等的研究结论^[27-28]一致,说明氮高效品种相对来说有着更大的减氮潜力,它通过灌浆期叶片保持高光合能力来增加干物质生产力,实现氮肥高效利用和产量较高水平。

参考文献:

- [1] 荣楠,韩永亮,荣湘民,等. 油菜 NO_3^- 的吸收、分配及氮利用效率对低氮胁迫的响应[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(4): 1104-1111.
- [2] 李淑文,文宏达,周彦珍,等. 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.
- [3] 吴巍,赵军. 植物对氮素吸收利用的研究进展[J]. 中国农学通报,2010,26(13):75-78.
- [4] 曹翠玲,李生秀,苗芳. 氮素对植物某些生理生化过程影响的研究进展[J]. 西北农业大学学报,1999,27(4):96-101.
- [5] 贾瑞丰,尹光天,杨锦昌,等. 不同氮素水平对红厚壳幼苗生长及光合特性的影响[J]. 林业科学研究,2012,25(1):23-29.
- [6] 徐晴,许甫超,董静,等. 小麦氮素利用效率的基因型差异及相关特性分析[J]. 中国农业科学,2017,50(14):2647-2657.
- [7] 赵满兴,周建斌,杨绒,等. 不同施氮量对旱地不同品种冬小麦氮素累积、运输和分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(2):2143-2149.
- [8] Malik A I, Veres S, Rengel Z. Differential nitrogen-use efficiency in wheat parents of doubled-haploid mapping populations[J]. Plant and Soil,2016,408(1/2):311-325.
- [9] Cao W X, Tibbitts T W. Responses of potatoes to solution pH levels with different forms of nitrogen[J]. Journal of Plant Nutrition,1994,17(1):109-126.
- [10] 张福锁,樊小林,李晓林. 土壤与植物营养研究新动态(第二卷)[M]. 北京:中国农业出版社,1995.
- [11] Li S X, Wang Z H, Hu T T, et al. Nitrogen in dryland soils of China and its management[J]. Advances in Agronomy,2009,101:123-181.
- [12] 郭胜利,高会议,党廷辉. 施氮水平对黄土旱塬区小麦产量和土壤有机碳、氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(4):808-814.
- [13] Li Y, Niu S L, Yu G R. Aggravated phosphorus limitation on biomass production under increasing nitrogen loading: a meta-analysis[J]. Global Change Biology,2016,22(2):934-943.
- [14] 罗来超,苗艳芳,李生秀,等. 氮素形态对小麦幼苗生长及根系生理特性的影响[J]. 河南科技大学学报(自然科学版),2013,34(4):81-84.
- [15] Wright I J, Westoby M. Nutrient concentration, resorption and lifespan: leaf traits of Australian sclerophyll species[J]. Functional Ecology,2003,17(1):10-19.
- [16] 张合豫,吴金花,焦峰,等. 小麦氮营养研究进展[J]. 中国农学通报,2006,22(5):163-167.
- [17] 周星,徐年龙,周娜娜,等. 减氮条件下施用蚓粪对土壤性质及小麦生长的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(15):83-87.
- [18] 谢宝龙,李嘉丽,祝旋,等. 半冬性小麦品种的农艺性状分析[J]. 浙江农业科学,2018,59(10):1808-1812.
- [19] 袁园园,郭凯,王国园,等. 黄淮麦区小麦苗期氮高效品种(系)的筛选[J]. 中国种业,2015(10):50-53.
- [20] 董召娣,张明伟,易媛,等. 部分春性和半冬性小麦品种氮效率差异分析[J]. 麦类作物学报,2014,34(9):1267-1273.
- [21] 董召娣,易媛,张明伟,等. 春性和半冬性小麦花后旗叶和籽粒氮代谢关键酶活性的差异[J]. 麦类作物学报,2015,35(8):1098-1106.
- [22] O'Sullivan J, Gabelman W H, Gerloff G C. Variations efficiency of nitrogen utilization in tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill) growth under nitrogen stress[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science,1974,99:543-547.
- [23] Cox M C, Qualset C O, Rains D W. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. I. dry matter and nitrogen Accumulation1[J]. Crop Science,1985,25(3):430-435.
- [24] 李丹丹,田梦雨,崔昊,等. 小麦苗期耐低氮胁迫的基因型差异[J]. 麦类作物学报,2009,29(2):222-227.
- [25] 裴雪霞,王姣爱,党建友,等. 耐低氮小麦基因型筛选指标的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(1):93-98.
- [26] 韩璐,张薇. 棉花苗期氮营养高效品种筛选[J]. 中国农学通报,2011,27(1):84-88.
- [27] 马瑞琦,陶志强,王德梅,等. 追氮量对不同试点小麦旗叶光合特性及产量的影响[J]. 核农学报,2020,34(6):1281-1293.
- [28] 丁永刚,汤小庆,梁鹏,等. 减氮对不同氮效率小麦品种花后光合物质生产力和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2021,41(4):490-498.