

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.09.018

不同养分投入的各品种小麦产量及养分效率差异研究*

咎亚玲 王朝辉 周玲 戴健

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

【摘要】 选用6个冬小麦品种,通过田间试验研究了不同养分投入水平的小麦产量及养分效率的差异。结果表明,随养分投入水平的提高,小麦产量和生物量均明显增加,高产品种对养分投入的敏感程度明显高于低产品种。从产量构成分析,低养分投入时,小麦每公顷穗数及穗粒数对产量起决定作用;高养分投入时,产量取决于每公顷穗数。从两年不同养分投入水平的平均值来看,低养分投入时,高产品种氮肥回收率、农学效率和偏生产力比低产品种高6.3%~61.6%、52.1%~122%、9.8%~25%;磷肥回收率、农学效率和偏生产力较低产品种高31.2%~33.3%、58.9%~126.3%、7.0%~24.9%。高养分投入时,小麦偏生产力明显下降,且低产品种较高产品种更敏感。

关键词: 冬小麦 养分投入 产量差异 氮效率 磷效率

中图分类号: S147.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)09-0091-08

Use Efficiency of Different Winter Wheat Cultivars Response to Different Nutrient Inputs

Zan Yaling Wang Zhaohui Zhou Ling Dai Jian

(College of Resources and Environmental Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract

Six main winter wheat cultivars planted in Shaanxi Province were used as test crops to study their differences in yield and nutrient use efficiency at different nutrient inputs by a two-year field experiment in Northwest China. The obtained results showed that winter wheat yield and biomass increased significantly with the increase of nutrient inputs, and the high-yielding varieties were more sensitive to the nutrient inputs than the low-yielding varieties. Analyzing yield components revealed that, in the low nutrient inputs condition, the yield depended on panicles per unit area and grain number per spike, but panicles per unit area dominated the yield in high nutrient inputs condition. In the low nutrient inputs condition, nitrogen recovery efficiency, agronomic use efficiency and partial factor productivity of the high-yielding varieties were 6.3%~61.6%, 52.1%~122% and 9.8%~25% respectively, higher than those of the low-yielding varieties. Phosphorus recovery efficiency, agronomic use efficiency and partial factor productivity of the high-yielding varieties were 31.2%~33.3%, 58.9%~126.3%, 7.0%~24.9% respectively, higher than those of the low-yielding varieties. Nitrogen and phosphorous partial productivity significantly decreased with the increase of nutrient inputs, and the low-yielding varieties were more sensitive to fertilization input than the high-yielding varieties.

Key words Winter wheat, Nutrient inputs, Yield difference, Nitrogen efficiency, Phosphorus efficiency

收稿日期: 2012-01-12 修回日期: 2012-02-18

*国家自然科学基金资助项目(30871596, 30971866)和西北农林科技大学“创新团队建设计划”资助项目

作者简介: 咎亚玲, 博士生, 主要从事土壤-植物养分调控研究, E-mail: zanyaling@126.com

通讯作者: 王朝辉, 教授, 主要从事土壤-植物养分调控研究, E-mail: w-zhaohui@263.net

引言

小麦是黄土高原种植面积最大的粮食作物。氮、磷投入是影响小麦产量的重要因素,增施氮、磷肥可显著提高小麦产量。20世纪90年代中期,我国化肥用量不断增加,粮食产量也同步增加。但近十几年,我国化肥用量增长了34%,粮食总产量却下降了2.4%^[1],化肥的增产效益和利用率大幅度降低,同时也引发了一系列环境问题:硝酸盐累积、水体富营养化等。因此,如何有效提高作物产量、降低肥料环境效应已是当前小麦生产中一个亟待解决的问题。有关研究表明,化肥对作物的增产效果既取决于投入水平的高低,又取决于作物对肥料的反应^[2]。相同的肥料投入取得不同产量水平,这主要是因为作物对氮磷的吸收和利用存在着明显的遗传多样性^[3-4]。不同小麦品种间氮素利用效率(每单位吸氮量所生产的籽粒产量)为17.1~57.5 kg/kg,变异系数达17.8。而氮肥偏生产力为9.3~93.9 kg/kg,最大值是最小值的10.11倍^[5]。氮肥农学效率在42.5~68.3 kg/kg之间^[6]。不同小麦品种间百千克籽粒需氮量在2.18~4.09 kg之间,氮收获指数为59.4%~82.9%^[7],品种间差异几乎达一倍。优化品种可使氮肥利用率提高20%~30%,产量提高10%~20%^[8]。因此,控制或降低化肥用量,利用植物的矿质营养遗传性差异,以提高其对养分利用效率,特别是选育高产稳产、高氮、高磷营养效率的作物品种,是提高作物产量及化肥利用率、促进农业可持续发展的有效途径。目前的研究主要集中在单一养分投入的不同小麦品种产量及氮磷利用基因型差异的研究,或者氮磷投入水平对某个品种的氮磷利用效率的研究,而对不同小麦品种间产量及氮磷利用效率差异对养分水平的影响研究较少。因此,本文以陕西广泛应用的6个冬小麦品种为研究对象,通过比较不同养分投入的小麦产量及氮磷吸收利用效率的品种差异,筛选反映小麦氮磷利用效率品种差异的指标,为旱地小麦的高产高效生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于2008年10月至2010年6月在西北农林科技大学农作一站进行。该试验站位于渭河三级阶地,海拔高度约520 m,年均气温13℃,年均降水量550 mm左右,季节分布不均,多集中在7~9月,属半湿润易旱区。试验期间降水情况为:2008—2009和2009—2010年两个冬小麦生长周期

中。播前夏季休闲期(7~9月)降水量分别为258 mm和355 mm,小麦生育期(当年10月至翌年5月)降水量分别为214 mm和236 mm。土壤类型为土垫旱耕人为土,土壤基本理化性质:有机质(质量比)21.94 g/kg,全氮0.8 g/kg,硝态氮6.8 mg/kg,铵态氮18.5 mg/kg,速效磷6.5 mg/kg,速效钾113.9 mg/kg,pH值为8.32。

1.2 试验设计

采用裂区试验设计,主区因素为不同氮、磷肥投入水平,包括5个处理:不施肥;单施氮80 kg/hm²;单施磷50 kg/hm²;低投入,氮、磷施肥量分别为80 kg/hm²和50 kg/hm²;高投入,氮、磷施肥量分别为160 kg/hm²和100 kg/hm²。副区因素为小麦品种:陕西广泛种植的6个冬小麦品种,包括高产小麦品种西农88、西农9871、早丰902;低产小麦品种九丰9812、西农126和小偃6。

试验主区尺寸4 m×10 m,副区尺寸1.2 m×1.8 m,4次重复。于2008年10月13日播种,播种每个品种在一个副区内种6行,行长1.8 m,行距20 cm,人工点播,播种密度为50粒/m。播前化肥作为基肥一次施入,整个生育期无灌溉,田间管理与当地农户相同。

1.3 测定项目及分析方法

(1)成熟期测产:成熟期采集样品,每个副区随机取1 m长的三段植株,混合后作为一个样品,用于调查、计算单位面积穗数。然后剪去根,地上部分为茎叶、穗。样品风干后脱粒,称取茎叶、颖壳、籽粒风干质量。取部分茎叶、籽粒、颖壳在105℃下杀酶30 min,75℃加热干燥,测定风干样的含水率,并用于养分含量测定。小麦千粒重采用数粒板计数后称量。小麦千粒重、生物量和籽粒产量均以加热干燥后的质量表示。

(2)茎叶、颖壳、籽粒全氮、磷及钾含量的测定:将收获期植株样品粉碎过0.25 mm筛,采用H₂SO₄-H₂O₂消煮,流动分析仪测定消解液中的全氮、全磷含量,火焰光度计测定全钾含量,进而计算茎叶、颖壳、籽粒全氮、全磷、全钾含量。

养分效率计算公式为^[9-10]

$$R_E = (U - U_0) / F$$

$$A_E = (Y - Y_0) / F$$

$$P_{FP} = Y / F$$

式中 R_E ——养分回收率 P_{FP} ——养分偏生产力

A_E ——养分农学效率

U ——施肥区地上部养分吸收量

U_0 ——空白区地上部养分吸收量

F ——施入肥料养分量

Y ——施肥区籽粒产量

Y_0 ——空白区籽粒产量

1.4 统计分析

试验数据分析采用 DPS、SAS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 养分投入对小麦产量的影响

随着养分投入水平的提高,冬小麦产量、生物量均显著增加,且年际间差异显著(表1)。与不施肥对照比较,低和高两种投入水平时,2008 年小麦产量分别提高 22% 和 36%,生物量提高 20% 和 32%,收获指数提高 2% 和 3%;2009 年小麦产量分别提高 47% 和 94%,生物量提高 61% 和 88%,收获指数提高 1% 和 3%。

在产量三要素(每公顷穗数、穗粒数和千粒重)中,养分投入水平对千粒重影响不显著。小麦产量的提高主要在于每公顷穗数和穗粒数提高。与对照比较,低和高两种投入水平时,2008 年穗数分别提高 14% 和 26%,穗粒数提高 8% 和 4%;2009 年穗数分别提高 42% 和 73%,穗粒数提高 12% 和 12%。

2.2 养分投入对不同小麦品种产量的影响

随着养分投入水平的提高,不同小麦品种产量、生物量及收获指数均显著增加(表2)。在 2008 年,低投入水平时,高产与低产组小麦平均产量分别是

表 1 不同养分投入水平的小麦产量及产量因子
Tab.1 Grain yields and its components at different fertilizer levels

参数	年份	fertilizer levels		
		对照	低投入	高投入
小麦产量/kg·hm ⁻²	2008	3 090 ^B	3 780 ^{AB}	4 208 ^A
	2009	2 845 ^A	4 168 ^B	5 526 ^C
生物量/kg·hm ⁻²	2008	7 460 ^B	8 942 ^{AB}	9 838 ^A
	2009	6 161 ^C	9 904 ^B	11 584 ^A
收获指数/%	2008	41.3 ^A	42.2 ^A	42.7 ^A
	2009	46.0 ^A	46.6 ^A	47.6 ^A
每公顷穗数	2008	3.01 × 10 ^{6B}	3.43 × 10 ^{6AB}	3.78 × 10 ^{6A}
	2009	2.29 × 10 ^{6C}	3.26 × 10 ^{6B}	3.97 × 10 ^{6A}
穗粒数	2008	24.6 ^B	27.1 ^A	26.2 ^{AB}
	2009	31.3 ^B	34.9 ^A	35.0 ^A
千粒重/g	2008	42.4 ^A	41.8 ^A	44.2 ^A
	2009	39.7 ^A	40.3 ^A	39.9 ^A

注:不同大写字母表示同一年度不同施肥水平间差异达 5% 显著水平。

4 201 kg/hm² 和 3 359 kg/hm²;高投入水平时,分别是 4 611 kg/hm² 和 3 804 kg/hm²;随养分投入水平增加,高产组小麦产量提高 25.2% 和 37.4%,低产组提高 18.9% 和 34.6%。在 2009 年,低投入水平时,高产与低产组小麦平均产量分别是 4 836 和 4 399 kg/hm²;高投入水平时,分别是 6 135 kg/hm²

表 2 不同养分投入水平的各品种小麦的产量、生物量及收获指数

Tab.2 Grain yields,biomasses and harvest indexes of different winter wheat varieties at different fertilizer levels

年份	品种	产量/kg·hm ⁻²			生物量/kg·hm ⁻²			收获指数/%		
		对照	低投入	高投入	对照	低投入	高投入	对照	低投入	高投入
2008	西农 88	3 497	4 680	5 406	8 325	10 733	12 163	42.0	43.6	44.4
	西农 9871	3 406	3 949	4 234	7 548	9 088	9 838	45.1	43.5	43.0
	旱丰 902	3 161	3 973	4 192	7 551	9 115	9 724	41.9	43.6	43.1
	平均值	3 355	4 201	4 611	7 808	9 645	10 575	43.0	43.6	43.6
	九丰 9812	2 994	2 884	3 307	6 732	6 727	7 453	44.5	42.9	44.4
	西农 126	3 056	3 604	4 015	7 550	8 553	9 548	40.5	42.1	42.1
	小偃 6	2 427	3 588	4 091	7 055	9 438	10 303	34.4	38.0	39.7
	平均值	2 826	3 359	3 804	7 112	8 239	9 101	39.7	40.8	41.8
	0.05 水平 LSD 值	938.2	1 197.2	821.6	2 024	2 397	1 716.9	2.7	3.3	2.3
	2009	西农 88	3 156	4 590	6 539	6 635	9 489	13 122	47.6	48.4
西农 9871		2 871	4 911	5 865	6 216	10 208	11 720	46.2	48.1	50.0
旱丰 902		3 279	5 006	6 001	7 014	10 664	12 236	46.7	46.9	49.0
平均值		3 102	4 836	6 135	6 621	10 120	12 359	46.8	47.8	49.6
九丰 9812		2 958	4 198	5 000	6 212	8 921	10 353	47.6	47.1	48.3
西农 126		2 645	4 792	4 920	5 581	10 574	10 578	47.4	44.6	46.5
小偃 6		2 159	4 208	4 828	5 307	9 569	11 497	40.7	44.0	42.0
平均值		2 587	4 399	4 916	5 700	9 688	10 809	45.3	45.6	46.2
0.05 水平 LSD 值		808.1	727.8	1 084	1 495	1 414.3	2 539.3	5	2.6	2.8

和 4 916 kg/hm²;随养分投入水平增加,高产组小麦产量提高 70% 和 90%,低产组提高 55.9% 和 97.8%。

不同养分投入水平的小麦生物量变化趋势与产量一致。低投入水平时,2008 年高产与低产组小麦平均生物量为 9 645 kg/hm² 和 8 239 kg/hm²;高投入水平时,分别是 10 575 kg/hm² 和 9 101 kg/hm²;随养分投入水平增加,高产组小麦生物量提高 15.8% 和 28.0%,低产组提高 23.5% 和 35.4%。在 2009 年,低投入水平时,高产与低产组小麦平均生物量分别是 10 120 kg/hm² 和 9 688 kg/hm²;高投入水平时,分别是 12 359 kg/hm² 和 10 809 kg/hm²;随养分投入水平的提高,高产组小麦生物量提高 52.8% 和 86.7%,低产组提高 70.0% 和 89.6%。

随着养分投入水平的提高,小麦收获指数明显增加。在低和高两种投入水平时,2008 年低产组小麦平均收获指数分别为 43.6% 和 43.6%;高产组分别为 40.8% 和 41.8%。2009 年低产组收获指数分别为 47.8% 和 49.6%;高产组为 45.6% 和 46.2%。高产组收获指数均高于低产组,但不显著。以上说明,不同小麦品种对养分投入的响应主要表现在籽粒产量和生物量上,收获指数不敏感。

2.3 氮磷投入对不同小麦品种产量构成因子的影响

随着养分投入水平的提高,不同小麦品种穗粒

数和穗数显著增加,但千粒重变化不明显(表 3)。在 2008 年,低投入水平时,高产与低产组小麦每公顷穗数分别为 3.51 × 10⁶ 和 3.35 × 10⁶;高投入水平时,分别为 3.89 × 10⁶ 和 3.67 × 10⁶;随养分投入水平增加,高产组小麦穗数提高 17% 和 29.7%,低产组提高 10.9% 和 21.5%。在 2009 年,低投入水平时,高产与低产组小麦每公顷穗数分别是 3.19 × 10⁶ 和 3.34 × 10⁶;高投入水平时,分别是 4.04 × 10⁶ 和 3.90 × 10⁶;随养分投入水平增加,高产组小麦穗数提高 39.3% 和 76.4%,低产组提高 46.5% 和 71.1%。

不同养分投入水平的小麦穗粒数变化趋势与每公顷穗数相同。在 2008 年,低投入水平时,高产与低产组小麦平均穗粒数分别是 29 和 26;高投入水平时,分别是 27 和 25;随养分投入水平增加,高产组小麦穗粒数提高 11.5% 和 3.8%,低产组提高 8.3% 和 4.2%。在 2009 年,低投入水平时,高产与低产组小麦平均穗粒数分别是 37 和 32;高投入水平时,分别是 38 和 32;随养分投入水平增加,高产组小麦穗粒数提高 12.3% 和 14.5%,低产组提高 12.9% 和 11.5%。

因此,低养分投入时,小麦每公顷穗数及穗粒数对产量起着决定作用。高养分投入时,小麦产量显著增加的原因主要在于每公顷穗数的显著增加。

表 3 不同养分投入的小麦品种产量构成因子

Tab. 3 Yield components of different winter wheat varieties at different fertilizer levels

年份	品种	穗粒数			每公顷穗数			千粒重/g		
		对照	低投入	高投入	对照	低投入	高投入	对照	低投入	高投入
2008	西农 88	27	28	30	3.29 × 10 ⁶	4.17 × 10 ⁶	4.61 × 10 ⁶	38.8	39.8	39.5
	西农 9871	26	32	28	2.89 × 10 ⁶	3.29 × 10 ⁶	3.65 × 10 ⁶	44.8	38.2	42.6
	早丰 902	24	26	24	2.82 × 10 ⁶	3.07 × 10 ⁶	3.41 × 10 ⁶	46.8	50.2	51.9
	平均值	26	29	27	3.00 × 10 ⁶	3.51 × 10 ⁶	3.89 × 10 ⁶	43.5	42.7	44.7
	九丰 9812	30	33	31	2.41 × 10 ⁶	2.41 × 10 ⁶	2.58 × 10 ⁶	41.9	36.1	41.4
	西农 126	23	24	24	3.04 × 10 ⁶	3.32 × 10 ⁶	3.70 × 10 ⁶	45.0	44.8	46.7
	小偃 6	18	20	20	3.61 × 10 ⁶	4.31 × 10 ⁶	4.73 × 10 ⁶	37.2	41.8	43.1
	平均值	24	26	25	3.02 × 10 ⁶	3.35 × 10 ⁶	3.67 × 10 ⁶	41.3	40.9	43.7
	0.05 水平 LSD 值	4.2	5.2	7	67.1	67	66.6	6.6	7.6	7.8
	2009	西农 88	32.6	36.1	36.1	2.49 × 10 ⁶	3.16 × 10 ⁶	4.44 × 10 ⁶	39.0	39.8
西农 9871		33.8	39.6	40.4	2.12 × 10 ⁶	3.14 × 10 ⁶	3.74 × 10 ⁶	36.3	38.7	38.8
早丰 902		33.2	36.3	37.5	2.27 × 10 ⁶	3.26 × 10 ⁶	3.94 × 10 ⁶	43.4	42.4	39.5
平均值		33.2	37.3	38.0	2.29 × 10 ⁶	3.19 × 10 ⁶	4.04 × 10 ⁶	39.6	40.3	39.6
九丰 9812		31.9	37.9	37.9	2.36 × 10 ⁶	2.84 × 10 ⁶	3.41 × 10 ⁶	39.5	39.0	38.8
西农 126		29.5	29.8	30.5	2.09 × 10 ⁶	3.42 × 10 ⁶	3.69 × 10 ⁶	43.1	44.2	43.6
小偃 6		24.6	29.6	27.6	2.39 × 10 ⁶	3.77 × 10 ⁶	4.60 × 10 ⁶	37.1	37.8	38.2
平均值		28.7	32.4	32.0	2.28 × 10 ⁶	3.34 × 10 ⁶	3.90 × 10 ⁶	39.9	40.3	40.2
0.05 水平 LSD 值		5.2	2.7	3.2	50.4	59.3	81.7	3.1	1.7	1.9

2.4 不同小麦品种氮肥效率的差异

在同一养分投入水平时,不同小麦品种间氮肥回收率、农学效率和偏生产力差异显著(表4)。2008年高产组小麦氮肥回收率在21.1%~43.1%之间,平均值为32.0%;低产组在10.5%~40.5%之间,平均值为30%。高产组较低产组提高6.3%。2009年高产组氮肥回收率在50.3%~62.8%之间,平均值为55.1%;低产组在24.7%~43.5%之间,平均值为34.1%。高产组较低产组提高61.6%。同一养分投入时,高产品种比低产品种能更高效地吸收利用施入土壤中的氮素。

不同小麦品种氮肥农学效率与氮肥回收率变化趋势相同。2008年高产组小麦农学效率在1.9~10.7 kg/kg之间,平均值为6.0 kg/kg;低产组在-6.3~9.7 kg/kg之间,平均值为2.7 kg/kg。高产组较低产组提高122%。2009年高产组农学效率在

25.1~32.5 kg/kg之间,平均值为29.2 kg/kg。低产组农学效率是15~24.4 kg/kg,平均值为19.2 kg/kg。高产组较低产组平均提高52.1%。

对不同养分投入的小麦氮肥偏生产力的分析表明,与低养分投入相比,高养分投入时所有小麦品种氮肥偏生产力明显下降。在低投入水平时,2008年、2009年高产组氮肥平均偏生产力分别为52.5 kg/kg、60.4 kg/kg;在高投入水平时,分别为28.8 kg/kg、38.3 kg/kg。高产组高投入水平偏生产力比低投入分别降低45%、37%。在低投入水平时,2008年、2009年低产组平均偏生产力分别为42 kg/kg、55.0 kg/kg;在高投入水平时,低产组氮平均偏生产力分别为23.8%、30.7 kg/kg。低产组高投入水平时偏生产力比低投入分别降低43%、44%。以上表明,养分投入水平提高后,氮肥的增产效益显著降低,且低产品种比高产品种更敏感。

表4 不同小麦品种的氮肥回收率、农学效率和偏生产力

Tab. 4 Nitrogen recovery efficiency, nitrogen agronomic efficiency, and nitrogen partial factor productivity of different winter wheat varieties

品种	氮肥回收率/%		氮肥农学效率/kg·kg ⁻¹		氮肥偏生产力/kg·kg ⁻¹			
	2008年低投入	2009年低投入	2008年低投入	2009年低投入	2008年低投入	2008年高投入	2009年低投入	2009年高投入
西农 88	43.1	52.1	10.7	25.1	58.5	33.8	57.4	40.9
西农 9871	31.8	62.8	5.3	30.0	49.4	26.5	61.4	36.7
旱丰 902	21.1	50.3	1.9	32.5	49.7	26.2	62.6	37.5
平均值	32.0	55.1	6.0	29.2	52.5	28.8	60.4	38.3
九丰 9812	10.5	24.7	-6.3	18.3	36.1	20.7	52.5	31.3
西农 126	40.5	34.2	9.7	24.4	45.0	25.1	59.9	30.8
小偃 6	38.9	43.5	4.6	15.0	44.8	25.6	52.6	30.2
平均值	30.0	34.1	2.7	19.2	42.0	23.8	55.0	30.7
0.05 水平 LSD 值	49.1	11.6	20.4	9.4	14.9	5.2	8.8	6.8

2.5 不同小麦品种磷肥效率的差异

同一养分投入水平时,不同小麦品种磷肥回收率、磷肥农学效率和磷肥偏生产力差异显著(表5)。2008年高产组小麦磷肥回收率为-0.6%~9.3%之间,平均值为4.4%;低产组在0.9%~5.6%之间,平均值为3.3%。高产组较低产组提高31.2%。2009年高产组磷肥回收率在9.2%~11.9%之间,平均值为10.1%;低产组在6.4%~9.5%之间,平均值为7.7%。高产组较低产组提高33.3%。同一养分投入时,高产品种比低产品种能更高效地吸收利用施入土壤中的磷素。

不同小麦品种磷肥农学效率与磷肥回收率变化趋势基本一致。2008年高产组小麦磷肥农学效率为-1.8%~30%之间,平均值为12.9%;低产组在1.5%~8.1%之间,平均值为5.7%。高产组比低

产组提高126.3%。2009年高产组为10.7%~28.9%之间,平均值为19.7%;低产组在10.6%~15.8%之间,平均值为12.4%。高产组较低产组提高58.9%。

与低养分投入相比,高养分投入时所有小麦品种磷肥偏生产力明显下降。在低投入水平时,2008年、2009年高产组磷肥平均偏生产力分别为83.9 kg/kg、90.7 kg/kg;低产组分别为67.2 kg/kg、84.8 kg/kg,高产组比低产组分别提高24.9%、7.0%。在高投入水平时,高产组磷肥平均偏生产力分别为46.2 kg/kg、61.3 kg/kg;低产组分别为38 kg/kg、49.2 kg/kg,高产组比低产组分别提高21.6%、24.6%。随养分投入水平提高,高产组磷肥偏生产力分别降低44.9%、32.4%;低产组磷肥偏生产力分别降低43.5%、42.0%。以上表明,养分

表5 不同小麦品种磷肥回收率、农学效率和偏生产力

Tab.5 Phosphorus recovery efficiency, agronomic efficiency and partial factor productivity of different winter wheat varieties

品种	磷肥回收率/%		磷肥农学效率/kg·kg ⁻¹		磷肥偏生产力/kg·kg ⁻¹			
	2008年低投入	2009年低投入	2008年低投入	2009年低投入	2008年低投入	2008年高投入	2009年低投入	2009年高投入
西农 88	9.3	11.9	30	19.5	93.5	54.3	85.8	65.4
西农 9871	-0.6	9.2	-1.8	28.9	78.8	42.3	90.2	58.6
早丰 902	4.4	9.2	10.5	10.7	79.5	42.0	96.1	60.0
平均值	4.4	10.1	12.9	19.7	83.9	46.2	90.7	61.3
九丰 9812	0.9	6.4	1.5	15.8	57.8	33.0	84.0	50.0
西农 126	3.4	9.5	7.6	10.6	72.1	40.1	86.3	49.2
小偃 6	5.6	7.2	8.1	10.8	71.8	40.9	84.2	48.3
平均值	3.3	7.7	5.7	12.4	67.2	38.0	84.8	49.2
0.05 水平 LSD 值	9.6	3.4	34.3	14.1	24.2	8.1	9.6	10.8

投入水平提高后,磷肥的增产效益显著降低,且低产品种比高产品种更敏感。

3 讨论

小麦产量和养分效率不仅与品种有关,同时还受施肥水平的影响^[10-11]。本研究表明,不同小麦品种对养分投入水平的响应不同。在低养分投入水平时,2008、2009年高产品种产量比不施肥对照分别提高25.2%、70%,低产品种提高18.9%、55.9%;在高投入水平时,高产品种产量比对照分别提高37.4%、90%,低产品种提高34.6%、97.8%,高产品种对养分投入的敏感程度要明显高于低产品种。可见,在西北旱地,优化小麦品种是实现小麦高产和养分高效的重要前提。

小麦有效穗数、穗粒数和千粒重在旱地小麦高产栽培中起着决定作用。从理论上来说,在保持其他两个产量因子不变的情况下,提高其中任一因子均可增加小麦产量。然而实践证明,小麦穗数、穗粒数和千粒重之间存在着复杂的此消彼长的矛盾关系^[12]。不同条件(品种、地理位置及栽培措施等)下,各构成因素对产量贡献不同。小麦有效穗数遗传力低,环境条件对其影响最大,对小麦的产量贡献最大。穗粒数的多少主要取决于作物品种本身的遗传特性,其对产量的的直接作用较小。千粒重与穗粒数之间呈极显著负相关,这两因素相互制约^[13]。因此,在小麦高产栽培中,增加小麦有效穗数,比提高千粒重和穗粒数容易。本试验结果表明,低养分投入时,小麦每公顷穗数及穗粒数对产量起着决定作用,高养分投入时每公顷穗数对小麦产量起着决定作用。不同小麦品种穗数对养分投入的反应不同。高产品种反应较好,低产品种相对逊色。千粒

重与穗粒数没有明显变化。因此,在小麦高产栽培中,选择优良品种,根据优良品种的遗传特性采用合理的施肥措施,提高分蘖成穗,构建合理群体,在保证一定成穗数的前提下,协调穗粒数与千粒重发展,从而提高小麦产量。

小麦氮、磷效率由氮、磷吸收效率和利用效率组成^[14]。小麦氮、磷吸收效率和利用效率主要与小麦品种和环境条件(如土壤、气候条件和栽培耕作制度等)有关^[15]。低氮条件下氮素利用方式以利用效率为主,高氮条件下以吸收效率为主^[16]。因此,在不同小麦品种间氮、磷吸收的差异能更好地解释小麦产量的差异^[17]。本试验中,2008、2009年高产品种氮肥回收率比低产组高6.3%、61.6%;高产组磷肥回收率比低产组高31.2%、33.3%。高产组具有较高的氮、磷回收率,因而产量较低产品种高。这可能是施肥后,高产品种能形成适宜的根系大小、形态,氮磷吸收能力增加^[18]。关于施肥水平对氮、磷肥吸收利用效率的影响,不同的研究者观点不同。刘芳、于振文等研究认为,肥料氮的施入,促进了植株对土壤氮的吸收利用,氮肥利用率随施肥量增大而增加^[19]。刘立军等研究表明,氮肥回收率、氮肥农学利用率、氮肥偏生产力随施氮量增加而降低^[20-21]。这与本试验结论一致,随着养分投入增加,小麦产量明显提高,但偏生产力显著降低,且低产品种比高产品种更敏感。总之,不同小麦品种产量、产量因子及氮磷利用效率均存在一定的差异,高产品种的产量及养分吸收利用能力高于低产品种。因此,在选择高产高效品种时,根据优良品种的农艺指标和营养形状采用合理的施肥措施,提高小麦产量及养分吸收利用,是西北旱地小麦高产高效的可行途径。

4 结束语

不同小麦品种间产量及氮、磷肥利用效率存在显著差异。低养分投入时,高产品种产量比低产品种平均提高了33.5%。氮肥回收率、农学效率及偏生产力分别提高了34.2%、87.5%和34.8%。磷肥回收率、农学效率及偏生产力分别提高了36.4%、52.6%和16.4%;高养分投入时,高产品种产量比

低产品种提高了23.1%,氮肥、磷肥偏生产力提高了22.9%和23.3%。从以上产量和养分利用指标来看,高产品种对养分投入的敏感程度均高于低产品种。因此,在西北旱地小麦生产中,挖掘利用作物自身的遗传潜力,改良当前小麦品种的营养性状,筛选养分资源利用效率高的作物品种对当前可持续农业发展有重要意义。

参 考 文 献

- 张福锁,崔振岭,王激清,等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. 植物学通报,2007,24(6):687~694.
Zhang Fusuo, Cui Zhenling, Wang Jiqing, et al. Current status of soil and plant nutrient management in China and improvement strategies[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2007,24(6):687~694. (in Chinese)
- 张福锁,马文奇. 肥料投入水平与养分资源高效利用的关系[J]. 土壤与环境,2000,9(2):154~157.
Zhang Fusuo, Ma Wenqi. The relationship between fertilizer input level and nutrient use efficiency [J]. Soil and Environmental Sciences,2000,9(2):154~157. (in Chinese)
- 李华,杨肖娥,罗安程. 不同氮钾条件下水稻基因型氮、钾积累利用差异[J]. 中国水稻科学,2002,16(1):86~88.
Li Hua, Yang Xiaoe, Luo Ancheng. Genotypic difference in N and K accumulation under different N sources and K levels in rice[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2002,16(1):86~88. (in Chinese)
- 汪自强,王美娥. 春大豆氮利用效率基因型变异的性状间的相关研究[J]. 生物数学学报,2002,17(2):221~228.
Wang Ziqiang, Wang Meie. Study on genotypic variation in nitrogen utilization efficiency and correlation among traits of spring soybean [J]. Journal of Biomathematics, 2002,17(2):221~228. (in Chinese)
- 朱新开,郭文善,朱冬梅,等. 不同基因型小麦氮素吸收积累差异研究[J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版,2005,26(3):52~57.
Zhu Xinkai, Guo Wenshan, Zhu Dongmei, et al. Studies on differences of accumulated N amount in different genotypes of winter wheat [J], Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition,2005,26(3):52~57. (in Chinese)
- Sanford D A, Mackown C T. Variation in nitrogen use efficacy among soft red winter wheat Genotypes [J]. Theoretical and Applied Genetics,1986,72(2):158~163.
- 张国平,张光恒. 小麦氮素利用效率的基因型差异研究[J]. 植物营养与肥料学报,1996,2(4):331~336.
Zhang Guoping, Zhang Guangheng. Genotypic difference in nitrogen use efficiency in wheat [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1996,2(4):331~336. (in Chinese)
- 王激清,马文奇,江荣风,等. 养分资源综合管理与中国粮食安全[J]. 资源科学,2008,30(3):415~422.
Wang Jiqing, Ma Wenqi, Jiang Rongfeng, et al. Integrated soil nutrients management and China's food security [J]. Resources Science, 2008,30(3):415~422. (in Chinese)
- 张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学,2008,45(9):915~924.
Zhang Fusuo, Wang Jiqing, Zhang Weifeng, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement [J]. Acta Pedologica Sinica, 2008,45(9):915~924. (in Chinese)
- Guarda G, Padovan S, Delogu G. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread wheat cultivars grown at different nitrogen levels [J]. European Journal of Agronomy,2004,21(2):181~192.
- 陈云坪,马伟,王秀,等. 基于PLS的土壤养分与小麦产量空间相关关系研究[J]. 农业机械学报,2012,43(2):159~164.
Chen Yunpin, Ma Wei, Wang Xiu, et al. Relationship between soil nutrient and wheat yield based on PLS[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(2):159~164. (in Chinese)
- 郑建敏,李浦,廖晓虹,等. 四川冬小麦产量构成因子初步分析[J]. 作物杂志,2012(1):105~107.
Zheng Jianmin, Li Pu, Liao Xiaohong, et al. Preliminary study on yield component factors of Sichuan winter wheat [J]. Crops, 2012(1):105~107. (in Chinese)
- 王汉民. 华北地区小麦产量构成因素的相关和通径分析[J]. 现代农业科技,2006(4):55~56.
Wang Hanmin. The correlation analysis and path analysis of wheat yield components in North China[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2006(4):55~56. (in Chinese)
- Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency to nitrogen utilization[J]. Agronomy Journal, 1982,74(3):562~564.

- 15 孙传范,戴廷波,荆奇,等. 小麦品种氮利用效率的评价指标及其氮营养特性研究[J]. 应用生态学报,2004,15(6): 983~987.
Sun Chuanfan, Dai Tingbo, Jing Qi, et al. Nitrogen use efficiency and its relationship with nitrogen nutrition characteristic of wheat varieties [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(6): 983~987. (in Chinese)
- 16 童依平,李继云,李振声. 不同小麦品种吸收利用氮素效率的差异及有关机理研究. I. 吸收和利用效率对产量的影响[J]. 西北植物学报,1999,19(2):270~277.
Tong Yiping, Li Jiyun, Li Zhensheng. Genotypic variations for nitrogen use efficiency in winter wheat I. Effects of N uptake and utilization efficiency on grain yields[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1999,19(2): 270~277. (in Chinese)
- 17 May L, Van Sanford D A, Mackown C T, et al. Genetic variation for nitrogen use in soft red-hard red winter wheat populations [J]. Crop Sci.,1991,31(3):626~630.
- 18 张定一,张永清,杨武德,等. 不同基因型小麦对低氮胁迫的生物学响应[J]. 作物学报,2006,27(1):1~9.
Zhang Dingyi, Zhang Yongqing, Yang Wude, et al. Biological response of roots in different spring wheat genotypes to low nitrogen stress[J]. Acta Agronomica Sinica,2006,27(1):1~9. (in Chinese)
- 19 刘芳,于振文,亓新华. 应用¹⁵N示踪法对旱地冬小麦施肥与氮素吸收利用的研究[J]. 土壤肥料,1997(2):30~32.
- 20 刘立军,桑大志,刘翠莲,等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 中国农业科学,2003,36(12): 1456~1461.
Liu Lijun, Sang Dazhi, Liu Cuilian, et al. Effects of realtime and site specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen use efficiency [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(12):1456~1461. (in Chinese)
- 21 江立庚,曹卫星,甘秀琴,等. 不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量品质的影响[J]. 中国农业科学, 2004,37(4):490~496.
Jiang Ligeng, Cao Weixing, Gan Xiuqin, et al. Nitrogen uptake and utilization under different nitrogen management and influence on grain yield and quality in rice [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(4):490~496. (in Chinese)

~~~~~

(上接第90页)

- 20 Poesen J, Ingelmo S F, Mucher H. The hydrological response of soil surface to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1990, 15(7): 653~671.
- 21 原翠萍,雷廷武,张满良,等. 黄土丘陵沟壑区小流域治理对侵蚀产沙特征的影响[J]. 农业机械学报,2011,42(3): 36~43.  
Yuan Cuiping, Lei Tingwu, Zhang Manliang, et al. Sediment yields from the parallel watersheds in the hilly-gully regions of Loess Plateau[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(3):36~43. (in Chinese)
- 22 张光辉. 坡面薄层流体力学特性的实验研究[J]. 水科学进展,2002,13(2):159~165.  
Zhang Guanghui. Study on hydraulic properties of shallow flow[J]. Advances in Water Science,2002,13(2):159~165. (in Chinese)
- 23 潘成忠,上官周平. 牧草对坡面侵蚀动力参数的影响[J]. 水利学报,2005,36(3):371~377.  
Pan Chengzhong, Shangguan Zhouping. Influence of forage grass on hydrodynamic characteristics of slope erosion [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2005,36(3):1~8. (in Chinese)
- 24 吴希媛,张丽萍. 降水再分配受雨强、坡度、覆盖度影响的机理研究[J]. 水土保持学报,2006,20(4):28~30.  
Wu Xiyuan, Zhang Liping. Research on effecting factors of precipitation s redistribution of rainfall intensity, gradient and cover ratio[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2006,20(4):28~30. (in Chinese)
- 25 李勉,姚文艺,陈江南,等. 草被覆盖下坡沟系统坡面流能量变化特征试验研究[J]. 水土保持学报,2005,19(5):13~17.  
Li Mian, Yao Wenyi, Chen Jiangnan, et al. Experimental study on changeable characteristics of runoff energy in hillslope-gully slope erosion system with different grass coverage[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2005,19(5):13~17. (in Chinese)
- 26 田风霞,王占礼,郑世清,等. 黄土道路侵蚀过程模拟试验研究[J]. 水土保持通报,2007,27(2):1~4.  
Tian Fengxia, Wang Zhanli, Zheng Shiqing, et al. Experiment modeling of soil erosion processes on loess roads based on simulated experiment[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2007,27(2):1~4. (in Chinese)
- 27 Grace J M. Forest road side slopes and soil conservation techniques [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2000, 55(1):96~101.