

宁夏引黄灌区春小麦不同生育期吸收氮、磷、钾养分的特点

何文寿¹, 何进勤¹, 郭瑞英²

(1 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021; 2 中国农业大学植物营养系, 北京 100094)

摘要: 选择宁夏引黄灌区中等肥力灌溉土, 设置施肥与不施肥处理, 在相距约 5km 的 3 个试验点进行了肥料田间试验, 研究春小麦不同生育期氮、磷、钾养分的吸收特点。结果表明, 在供试土壤条件下, 施肥可明显提高小麦产量、干物质累积量、体内氮、磷、钾含量及其累积量。施肥或不施肥, 小麦地上部干物质的累积量随生育期呈典型“S 型”曲线增长, 其中拔节期和灌浆期出现两个高峰期, 各占总累积量的 30% 左右。植株氮、磷、钾含量随生育期呈曲线下降趋势, 特别是从拔节到灌浆中期下降幅度较大; 而在分蘖期以前和灌浆中期以后变化幅度较小。植株氮、磷、钾累积吸收量随生育期的延长和施肥水平的提高而增加, 但各生育期相对累积吸收比例, 施肥与否差异不大。苗期氮、磷、钾的吸收量约占总吸收量的 4%~5%, 分蘖期占 20%~23%, 拔节期分别占 30%、41%、34%, 抽穗期分别占 14%、12%、10%, 灌浆期分别占 29%、20%、26%, 成熟期占 1%~3%, 其中拔节期是养分吸收的高峰时期。不论施肥与否, 地上部氮、磷、钾累积吸收量与其干物质累积量之间均呈极显著正相关, 而与植株氮、磷、钾含量之间呈极显著负相关。

关键词: 春小麦; 生育期; 氮、磷、钾; 吸收特点

中图分类号: S512.1.01

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2006)06-0789-08

Characteristics of N, P and K uptake at different growth stages of spring wheat in irrigating region of Ningxia

HE Wen-shou¹, HE Jin-qin¹, GUO Rui-ying²

(1 Agricultural College, Ningxia Univ., Yinchuan 750021, China;

2 Department of Plant Nutrition, China Agric. Univ., Beijing 100094, China)

Abstract: Three field experiments were conducted independently at three places in Ningxia irrigated region by Yellow River water to investigate the characteristics of N, P and K uptake of spring wheat at different growth stages. All the test soil was irrigation-silting soil with middle fertility level. Two fertilization treatments were set up (N 225 kg/ha, P₂O₅ 120 kg/ha, K₂O 60 kg/ha and CK) with three replicates for each place. The results showed that application of N, P, K fertilizers remarkably increased grain yields, weights of dry matters, and N, P and K contents and accumulates. Whatever fertilization levels, the above-ground dry matter accumulate increased with the growth stage and showed a typical S-shape. There were two peaks of dry matter accumulation occurred at jointing and filling stages separately and each account for about 30% of total accumulation. The contents of N, P, K in plants showed a downward tendency with growth stages; in which a sharply declined from jointing to middle of filling stage and a slowly declined both in the earlier times of tillering and after middle filling stage were observed. Under all experimental condition, N, P and K accumulation increased with both growth stages and fertilization rates, and the proportion of nutrient accumulate at different growth stages was almost same. On average, N, P, K uptake accounted for 4%—5%, 20%—23% of the total uptake at seedling and tillering stages. During jointing period, the absorbed rates accounted for 30%, 41%, 34%, respectively, which was highest at this

收稿日期: 2005-09-30

修改稿收到日期: 2006-02-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(40261005)资助。

作者简介: 何文寿(1960—), 男, 宁夏西吉县人, 硕士, 教授, 主要从事植物营养与合理施肥及土壤肥力研究。

stage comparing with the others. The absorbed rates accounted for 14%, 12%, 10% at heading stage, for 29%, 20%, 26% at filling stage, for 1%—3% at ripening stage. The uptake rates of N, P, K by plants were significantly positive correlated with the accumulated rates of dry matters, but were significantly negative correlated with the contents of N, P, K in plants either high fertility or low fertility.

Key words: spring wheat; growth stage; N, P, K nutrient; absorbing characteristics

多年来,宁夏引黄灌区进行了大量高产施肥技术的试验研究和示范推广,在春小麦生产实践中发挥了良好作用^[1-7]。但过去研究推广的高产施肥技术仍存在着重基肥轻追肥现象;为了追求高产,往往施肥量偏大,既造成大量肥料资源的浪费,又造成肥料利用率低下,生产成本高收益低^[3-9]。根据春小麦的营养特点和需肥规律,在确定总施肥量的基础上,研究基、种、追肥分期施用比例及其具体施用方法是解决这个问题的有效途径^[10-27]。近年来,我们从分期施肥的角度出发进行了田间试验,初步得出氮肥40%作基肥,60%作追肥,其中分蘖肥占25%,拔节肥占30%,穗肥占5%,可以兼顾产量、品质和肥料利用率^[28]。但由于宁夏引黄灌区缺乏春小麦需肥规律的系统研究和数据,这种分期施肥方案是否符合当地春小麦需肥规律尚待进一步验证。为此,在宁夏引黄灌区土壤肥力条件下,开展春小麦不同生育期氮、磷、钾养分吸收特点的研究,旨在搞清当地条件下春小麦需肥规律,为拟定高产高效的施肥技术提供理论依据。

1 材料与方方法

1.1 试验设计与方法

田间试验在宁夏永宁县杨和乡红星5队、望洪乡王太堡和宁夏大学教学试验农场进行。3个试验点相距5公里,土壤为潮灌淤土,肥力基本一致,均为中等水平,其理化性质见表1。试验设不施氮、磷、钾肥[NPK(-)]和同时施氮、磷、钾肥[NPK(+)]2个处理,3次重复。施肥处理氮、磷、钾肥用量分别为:N 225 kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm²、K₂O 60 kg/hm²。供试肥料为尿素(N 46%),重过磷酸钙(P₂O₅ 47%),氯化钾(K₂O 60%),磷肥、钾肥与40%氮肥结合整地基施,其余60%氮肥分别于分蘖期、拔节期和抽穗期按20%、35%和5%追施。供试春小麦品种为宁春4号。由于本试验需要按照小麦生育期取样测定干物质和养分含量,取样次数多,每次取样品量大,对试验的破坏性较大,影响成熟期准确计产,故每个主处理区分成计产区(专作实收产量区)和采样区(专作不同生育期取样测定)2个副区。各处理区面积为830m²,副区面积为415m²。2004年2月28日播种,3月25日出苗,7月12日收获。全生育期灌水4次,其它管理措施同大田。

表1 供试土壤的主要理化性质(0—20cm)

Table 1 Basic properties of the tested soils in experiments

试验点 Field site	有机质	全氮	全磷	碱解氮	速效磷	速效钾	pH(H ₂ O) (5:1)	质地 Texture
	OM	Tot. N	Tot. P	Alka-hydro. N	Olsen P	Exch. K		
	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)		
红星五队 Hongxing 5	10.5	0.78	0.68	67.2	10.9	145	8.0	重壤 Heavy loam
王太堡 Wangtaobao	10.1	0.71	0.67	70.4	7.5	133	8.2	重壤 Heavy loam
试验农场 Trial farm	11.5	0.84	0.68	73.7	11.2	154	8.1	重壤 Heavy loam

1.2 测试分析方法

干物质的测定:分别于小麦出苗后10d(三叶期,6/4)、24d(分蘖期,19/4)、42d(拔节期,7/5)、56d(孕穗期,21/5)、64d(抽穗期,29/5)、77d(灌浆初期,12/6)、91d(灌浆后期,26/6)、108d(完熟期,11/7)在每个采样区随机确定3个1m长的行段,采集植株样品,去根,冲洗干净吸干后,将植株样品剪碎,无损失放入已恒重的大烧杯中,置于烘箱,在40℃条件下

烘3h,然后将温度升至105℃条件下烘8h,冷却,称重;再用相同方法烘干2h,再称重,至恒重为止。抽穗后的样品,按照非子粒(包括茎、叶、穗部营养体等)和子粒分别烘干称重,计算植株养分累积量。

小麦植株N、P、K含量的测定:在采集测定干物质样品的同时,在每个采样区随机抽取小麦植株100株(抽穗前)或50株(抽穗后)3份,去根冲洗干净后,立即放入烘箱,在85℃条件下烘30min,然后

在65℃条件下烘12~14h。干样粉碎后全部通过1mm筛,子粒样全部通过0.25mm筛,样品经充分混合均匀,保存于磨口玻璃瓶中备用。小麦植株(包括茎、叶、穗轴、颖壳)和子粒样品分别用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,半微量凯氏定氮法测定全氮含量,钒钼黄比色法测定全磷含量,火焰光度计法测定全钾含量^[29]。

植株养分累积吸收量的计算:干物质重量乘以相应N、P、K含量(%)即得N、P、K累积量。首先按照采样测定时间,分段计算养分累积量和日吸收量,然后按照苗期(26/3—8/4)、分蘖期(9/4—2/5)、拔节期(3/5—25/5)、抽穗期(26/5—3/6)、灌浆期(4/6—4/7)和成熟期(5/7—12/7),分别计算出各生育期N、P、K的吸收量。

2 结果与讨论

2.1 春小麦子粒产量的变化

田间试验结果(表2)表明,小麦子粒产量在不同施肥处理间差异极显著($F > F_{0.01}$),但3个试验点间无明显差异($F < F_{0.05}$),不施肥处理,3个试验点的平均产量为4.49 t/hm²,施肥处理的平均产量为6.87 t/hm²,增产2.37 t/hm²,增产率为52.8%。由于3个试验点的土壤肥力水平和产量水平没有明显差异,有关干物质累积量,氮、磷、钾含量等数据均采用3个试验点的平均值。

表2 不同施肥条件下各试验点的小麦子粒产量

Table 2 Wheat grain yields of three experimental sites at different fertilized levels

处理 Treatment	产量 Average of yield (t/hm ²)			平均 Mean
	红星5队 Hongxing 5	王太堡 Wangtaobao	试验农场 Trial farm	
NPK(-)	4.54 B	4.35 B	4.58 B	4.49
NPK(+)	6.88 A	6.76 A	6.96 A	6.87
平均 Mean	5.71	5.56	5.77	5.68

注:表中数据为3次重复之均值。不同字母表示1%差异显著水平。

Note: Data in the table was the average of 3 replicates. Different letters mean significant at 1% level.

2.2 春小麦不同生育期干物质累积量的变化特点

试验(图1)表明,在供试土壤肥力条件下,春小麦不同生育期干物质的累积曲线均呈典型“S型”变化,但施肥处理干物质的累积量明显高于不施肥处理。施肥处理各生育期干物质的累积总量为18.18 t/hm²,较不施肥处理(累积总量为10.51 t/hm²)高出73.1%。从各生育时期统计结果(图2)来看,在施

肥条件下,小麦苗期、分蘖期、拔节期、抽穗期灌浆期和成熟期干物质的累积量占总累积量的比例分别为1.18%、8.37%、33.58%、24.05%、30.22%和2.61%;不施肥条件下,各生育期的累积比例分别为1.53%、9.05%、38.85%、23.08%、25.04%和2.46%。可见,虽然不同施肥处理干物质的绝对累积量不同,但累积比例十分相似。干物质的累积有两个累积高峰期,即拔节期和灌浆期,各占总累积量的30%左右。

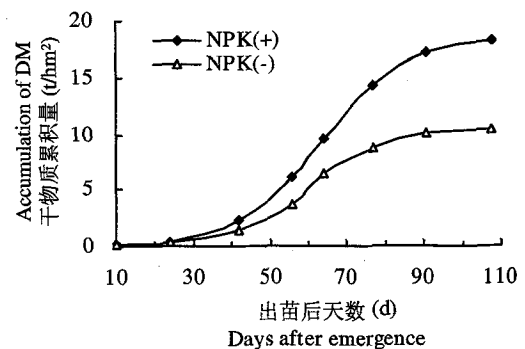


图1 春小麦生长期间干物质累积量的变化

Fig.1 Accumulation of dry matter of spring wheat during growing period

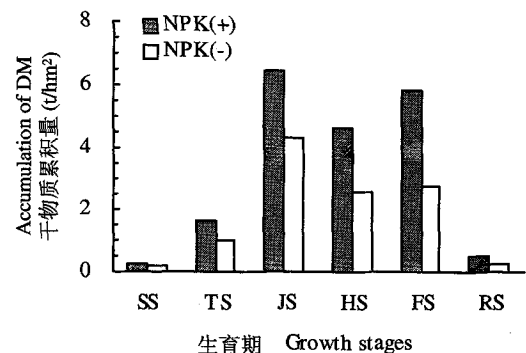


图2 春小麦各生育期干物质累积量

Fig.2 Accumulation of dry matter of spring wheat at different growth stages

(SS—苗期 Seedling; TS—分蘖期 Tillering; JS—拔节期 Jointing; HS—抽穗期 Heading; FS—灌浆期 Filling; RS—成熟期 Ripening)

2.3 春小麦不同生育期地上部氮、磷、钾含量的变化特点

地上部(包括茎秆、叶片、穗部营养体和子粒)氮、磷、钾含量因施肥水平和生育期不同而异。整个生育期植株氮、磷、钾养分平均含量施肥处理明显高于不施肥处理,分别高出92.7%、61.1%、31.1%。在施肥和不施肥条件下,地上部氮、磷、钾含量随出

苗后天数的增加均呈近似反“S型”曲线形式下降,其下降幅度因养分种类而异(图3)。

图3还看出,植株含氮量施肥处理从出苗后24d(分蘖期)的4.88%下降到100d(成熟期)的1.45%,各生育期平均下降率为21.3%;含磷量由0.57%下降到0.22%,各生育期平均下降率为

16.4%;含钾量由4.17%下降到1.45%,各生育期平均下降率为18.1%。不施肥处理含氮量由3.96%下降到0.88%,各生育期平均下降率为24.0%;含磷量由0.41%下降到0.14%,各生育期平均下降率为17.9%;含钾量由3.30%下降到1.28%,各生育期平均下降率为16.2%。

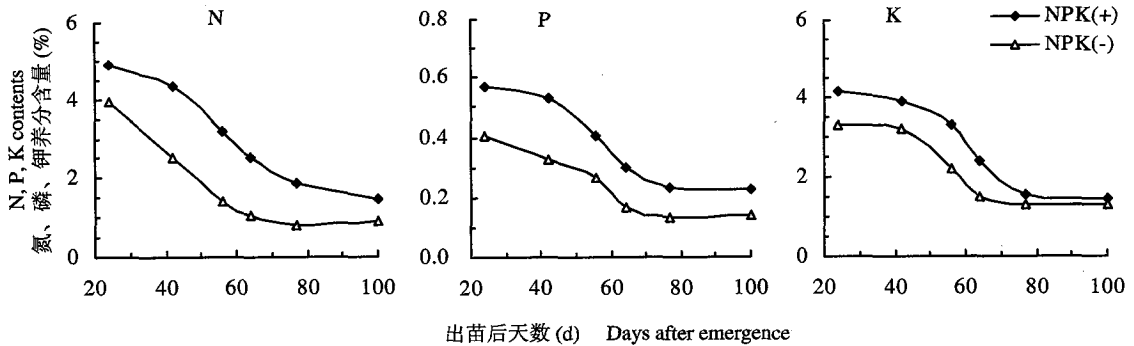


图3 不同生育期地上部氮、磷、钾含量的变化

Fig.3 Dynamics of N, P, K concentration in shoots of wheat at growth stages

从各生育期来看,在分蘖期以前和灌浆中期以后,植株氮、磷、钾含量的变化相对较小,而从拔节到灌浆中期,植株氮、磷、钾含量的变化较大,期间随生育期延长而迅速下降,这与此期干物质累积的迅速增长密切相关。随着干物质累积量的增长,体内养分含量因被稀释而迅速下降。

由此可见,植株体内氮、磷、钾含量在不施肥与施肥处理间存在显著差异,其中含氮量的差异最大,含磷量的差异次之,含钾量的差异相对较小。不同生育期养分含量的平均下降率在不同施肥处理间没有明显差异,即施肥并不改变植株体内氮、磷、钾养分含量的变化速率。但平均下降率与养分种类有关,植株含氮量的下降率高于磷、钾。

2.4 春小麦不同生育期氮、磷、钾养分累积吸收特点

春小麦不同生育期氮、磷、钾养分的累积吸收曲线呈近似“S型”,但在不同施肥处理和不同生育期间存在着不同程度的差异(图4)。

在不施肥即土壤基础肥力条件下,春小麦以苗期和成熟期吸收氮、磷、钾量较少,分别占总吸收量的6.9%、4.4%、4.0%和1.8%、4.0%、3.8%;而拔节期,占磷总吸收量的41.8%,是磷素吸收的高峰时期,氮、钾的吸收量约占总吸收量的26%~27%;分蘖期氮、磷、钾的吸收量基本一致,约占总吸收量

的20%~23%;灌浆期以氮、钾的吸收量最大,约占总吸收量的32%~33%,磷约占总吸收量的20.5%;抽穗期养分吸收量较少,氮的吸收量约占总吸收量的13.0%,磷、钾的吸收量约占总吸收量的9.1%(表3)。

不施肥条件下养分吸收总量相对较小,整个生育期氮、磷、钾的累积吸收量分别为96.98、15.61、141.23 kg/hm²,N:P₂O₅:K₂O为2.71:1.00:4.76,其中钾素的吸收比例较施肥处理明显提高,这可能与供试土壤钾素供应丰富有关,但有待进一步研究。

表3还表明,在施肥条件下,春小麦各生育期吸收氮、磷、钾养分的数量较多,表现为苗期和成熟期养分吸收总量少,氮、磷、钾的吸收量约占总吸收量的3%~4%,成熟期仅为1%~3%,这与不施肥处理的相对吸收量基本一致。拔节期,氮的吸收量约占总吸收量的33.3%,磷、钾的吸收量分别约占总吸收量的40%~41%,是养分吸收的高峰时期,钾的相对吸收量较不施肥处理有明显提高。分蘖期氮、磷、钾的吸收量分别约占总吸收量的20.8%、20.0%、22.9%;灌浆期分别占25.6%、20.0%、19.0%,这两个时期可以看作是养分吸收的第二高峰期。抽穗期养分吸收量较少,氮、磷、钾的吸收量分别约占总吸收量的15.6%、14.4%、11.0%,略高于不施肥处理。整个生育期氮、磷、钾的累积吸收量分别为281.87、

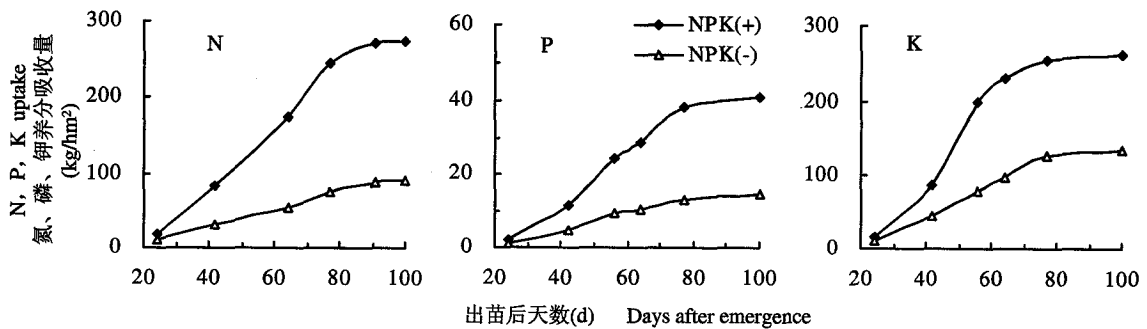


图 4 小麦不同生育期地上部氮、磷、钾累积吸收量
Fig.4 Accumulation of N,P,K in shoots of wheat at growth stages

表 3 施肥和不施肥处理春小麦各生育期吸收氮、磷、钾的数量

Table 3 Absorbed rates of N,P,K at growth stages for spring wheat with and without fertilizers

生育期 Stages	处理 Treat.	N			P			K		
		吸收量 Uptake (kg/hm ²)	占总量% % of total	累积(%) Accum.	吸收量 Uptake (kg/hm ²)	占总量% % of total	累积(%) Accum.	吸收量 Uptake (kg/hm ²)	占总量% % of total	累积(%) Accum.
苗期 Seedling	F	11.04	3.92	3.92	1.29	3.05	3.05	9.49	3.48	3.48
	NF	6.70	6.91	6.91	0.69	4.40	4.40	5.58	3.95	3.95
	M	8.87	5.41	5.41	0.99	3.72	3.72	7.53	3.72	3.72
分蘖期 Tillering	F	58.62	20.80	24.71	8.47	20.01	23.06	62.35	22.86	26.34
	NF	20.25	20.88	27.79	3.15	20.17	24.56	31.92	22.60	26.56
	M	39.43	20.84	26.25	5.81	20.09	23.81	47.14	22.73	26.45
拔节期 Jointing	F	93.78	33.27	57.98	17.22	40.67	63.73	112.49	41.24	67.58
	NF	24.83	25.61	53.39	6.53	41.81	66.38	38.42	27.20	53.76
	M	59.31	29.44	55.69	11.87	41.24	65.05	75.45	34.22	60.67
抽穗期 Heading	F	44.00	15.61	73.59	6.08	14.36	78.09	29.91	10.97	78.55
	NF	12.62	13.01	66.40	1.43	9.13	75.51	12.90	9.13	62.89
	M	28.31	14.31	70.00	3.75	11.74	76.80	21.40	10.05	70.72
灌浆期 Filling	F	72.06	25.57	99.16	8.47	20.01	98.11	51.84	19.01	97.56
	NF	30.88	31.84	98.25	3.20	20.50	96.00	47.01	33.29	96.18
	M	51.47	28.71	98.70	5.84	20.26	97.05	49.42	26.15	96.87
成熟期 Ripening	F	2.37	0.84	100.00	0.80	1.89	100.00	6.67	2.44	100.00
	NF	1.70	1.75	100.00	0.62	4.00	100.00	5.40	3.82	100.00
	M	2.04	1.30	100.00	0.71	2.95	100.00	6.03	3.13	100.00
总计 Total	F	281.87	100.00		42.34	100.00		272.74	100.00	
	NF	96.98	100.00		15.61	100.00		141.23	100.00	
	M	189.42	100.00		28.98	100.00		206.98	100.00	

注 (Note): 表中数据为 3 个试验点之均值 Data in the table are average of 3 replicates. F—施肥 Fertilization; NF—不施肥 No fertilizers; M—平均 Mean.

42.34、272.74 kg/hm², 分别较不施肥处理增加了 184.89、26.73、131.51 kg/hm², N:P₂O₅:K₂O 为 2.91:1.00:3.39。

从不施肥与施肥处理的平均值(表 3)看出, 苗期氮的吸收量占总吸收量的 5.4%, 磷、钾占 3.7%。

分蘖期氮、磷、钾的吸收量约占总吸收量的 20%~23%。拔节期是养分吸收的高峰时期, 氮、磷、钾的吸收量占总吸收量的 29.4%、41.2%、34.2%。抽穗期氮、磷、钾的吸收量占总吸收量的 14.3%、11.7%、10.0%。灌浆期氮、磷、钾的吸收量占总吸收量的

28.7%、20.3%、26.2%，可以看作是第二吸收高峰期。成熟期氮、磷、钾的吸收量约占总吸收量的1%~3%。整个生育期氮、磷、钾的累积吸收量分别为189.42、28.98、206.98 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O为2.85:1.00:3.76，即每形成100kg的子粒产量，需要吸收氮、磷、钾的数量大致为氮(N)2.85kg、磷(P₂O₅)1.0kg、钾(K₂O)3.76kg。

2.5 春小麦氮、磷、钾吸收量与干物质累积以及体

内氮、磷、钾含量的相关关系

相关分析(表4)表明，春小麦不同生育期氮、磷、钾累积吸收量之间及其与干物质的累积量之间均呈极显著正相关，而与植株体内氮、磷、钾含量之间呈极显著负相关，不同生育期植株体内氮、磷、钾含量与干物质累积量、氮、磷、钾累积吸收量之间也呈极显著负相关。这种相关性与施肥水平、产量水平无关。

表4 干物质累积量与氮、磷、钾含量及其累积量之间的相关系数(r)

Table 4 Correlation coefficients of both biomasses and N, P, K contents of wheat at growth stages

项目 Items	干物质 D M (t/hm ²)	植株含 N 量 N content (%)	植株含 P 量 P content (%)	植株含 K 量 K content (%)	吸 N 量 Uptake N (kg/hm ²)	吸 P 量 Uptake P (kg/hm ²)
施肥处理 Fertilization						
植株含 N 量 N content (%)	-0.9743**					
植株含 P 量 P content (%)	-0.9673**	0.9911**				
植株含 K 量 K content (%)	-0.9928**	0.9800**	0.9860**			
吸 N 量 Uptake N (kg/hm ²)	0.9318**	-0.9838**	-0.9872**	0.9548**		
吸 P 量 Uptake P (kg/hm ²)	0.9660**	-0.9937**	-0.9797**	-0.9676**	0.9834**	
吸 K 量 Uptake K (kg/hm ²)	0.9008**	-0.9715**	-0.9644**	-0.9190**	0.9914**	0.9790**
不施肥处理 No fertilizers						
植株含 N 量 N content (%)	-0.8665*					
植株含 P 量 P content (%)	-0.9582**	0.9548**				
植株含 K 量 K content (%)	-0.9563**	0.9242**	0.9752**			
吸 N 量 Uptake N (kg/hm ²)	0.9749**	-0.9537**	-0.9938**	-0.9817**		
吸 P 量 Uptake P (kg/hm ²)	0.9530**	-0.9621**	-0.9658**	-0.9633**	0.9856**	
吸 K 量 Uptake K (kg/hm ²)	0.9721**	-0.9558**	-0.9811**	-0.9633**	0.9948**	0.9928**

注(Note): *, ** 分别表示 $P = 0.05, 0.01$ 的显著水平。*, ** Mean significant at 5% and 1% levels, respectively.

3 小结

1) 在供试土壤肥力条件下，施用氮、磷、钾肥与不施肥相比，平均施肥增产52.8%，干物质累积量提高73.1%，累积吸收氮、磷、钾的数量分别增加190.6%、171.2%、93.1%，各生育期植株氮、磷、钾含量平均分别提高92.7%、61.1%、31.1%。

2) 本试验条件下，春小麦不同生育期干物质的累积呈典型“S型”曲线增长，施肥与不施肥处理各生育期的累积比例基本一致。干物质累积的高峰期主要出现在拔节期和灌浆期，各占总累积量的30%左右。

3) 试验结果表明，春小麦地上部氮、磷、钾含量随生育期的延长呈曲线下降趋势，特别是从拔节到灌浆中期下降幅度较大，而在分蘖期以前和灌浆中期以后变化幅度较小。施肥处理各生育期植株氮、

磷、钾含量平均下降率分别为21.3%、16.4%、18.1%，不施肥处理平均下降率分别为24.0%、17.9%、16.2%。

4) 植株氮、磷、钾的累积吸收量随生育期天数延长而增加，但在不同生育阶段吸收量不同，施肥与不施肥处理各生育期的相对吸收比例相近。平均来看，苗期阶段氮、磷、钾的吸收量约占总吸收量的4%~5%左右，分蘖期占20%~23%，拔节期是养分吸收的高峰时期，氮、磷、钾的吸收量约占总吸收量的30%、41%、34%，抽穗期占14%、12%、10%，灌浆期占29%、20%、26%，成熟期约占1%~3%。从总吸收量来看，每形成100kg的子粒产量需要吸收氮、磷、钾的数量大致为氮(N)2.85kg、磷(P₂O₅)1.0kg、钾(K₂O)3.76kg。

5) 不论施肥与否，春小麦氮、磷、钾累积吸收量与干物质的累积量之间均呈极显著正相关，而与植

株氮、磷、钾含量之间呈极显著负相关。

参考文献:

- [1] 戈敢.宁夏农垦春小麦高产栽培的理论与实践[J].宁夏农林科技,1994,(4):1-8.
Ge G. Cultivating technology for high yield of spring wheat in state farms of Ningxia[J]. Ningxia J. of Agric-For. Sci. and Tech., 1994 (4): 1-8
- [2] 王世敬,戈敢,黄敬芳,等.宁夏引黄灌区春小麦大面积500公斤高产试验研究[J].宁夏农学院学报,1997,18(1):1-10.
Wang S J, Ge G, Huang J F. Research on cultivating technology of spring wheat for high yield of 7.5 t/hm² in larger area of Ningxia irrigating region using by the Yellow River water [J]. J. of Ningxia Agric. College, 1997, 18(1): 1-10.
- [3] 罗学义,梅岩.宁夏回族自治区小麦氮磷钾肥适宜用量和配比研究[A].林葆.中国化肥使用研究[M].北京:北京科学技术出版社,1989.370-375.
Luo X Y, Mei Y. Study on rational application rates and proportion of NPK fertilizers for wheat in Ningxia[A]. Lin B. Application research of Chinese Fertilizers [M]. Beijing: Beijing Sci. and Tech. Press, 1989. 370-375.
- [4] 陈文泗,何文寿,李硕.小麦套种玉米高产土壤养分条件及土壤供氮、磷指标的研究[J].宁夏农学院学报,1992,13(4):1-12.
Chen W S, He W S, Li S. Studies on soil nutrient conditions and suppling indexes of soil nitrogen and phosphorus for high yield fields with intercropping of wheat and corn[J]. J. of Ningxia Agric. College, 1992, 13 (4): 1-12.
- [5] 何文寿.根据磷肥回收量法确定土壤施磷量初探[J].土壤肥料,1991(2):14-17.
He W S. A study on determining the quantity of applying phosphate fertilizer to soils according to the returned rates of phosphate fertilizer [J]. Soils and Fertilizers, 1991 (2): 14-17.
- [6] 何文寿.宁夏灌淤土小麦磷肥肥效与建议施磷方法的研究[J].土壤通报,1991,22(4):39-41.
He W S. The effect of anthropogenic-alluvial soil on phosphate fertilizer efficiency and recommendations for phosphate fertilizer application in Ningxia[J]. Chinese J. of Soil Sci., 1991, 22 (4): 39-41.
- [7] 陈文泗,何文寿,马世铭.小麦追氮量及其经济效益分析[J].宁夏农林科技,1992(2):1-4.
Chen W S, He W S, Ma S M. Amount and economic analysis of nitrogen top-dressing in wheat fields[J]. Ningxia J. of Agric-For. Sci. and Tech., 1992 (2): 1-4.
- [8] 何文寿.肥料在宁夏农业持续发展中的作用、存在问题及对策[J].宁夏农学院学报,2000,21(增刊):77-81.
He W S. Roles, problems and strategies of fertilizers on development of sustainable agriculture in Ningxia[J]. J. of Ningxia Agric. College, 2000, 21 (Suppl.): 77-81
- [9] 何文寿,康建宏,郭瑞英.春小麦高产高蛋白与高氮效率结合的筛选指标及其施肥技术研究进展[J].宁夏农学院学报,2001,22(1):61-64.
He W S, Kang J H, Guo R Y. Advances in selection criteria and fertilization techniques for combining high grain yield, high protein concentration and high nitrogen use efficiency in spring wheat[J]. J. of Ningxia Agric. College, 2001, 22(1): 61-64.
- [10] 陈伦寿,李仁岗.农田施肥原理与实践[M].北京:农业出版社,1984.196-224.
Chen L S, Li R G. Principle and practice of farmland fertilization [M]. Beijing: Agricultural Press, 1984. 196-224.
- [11] Daigger L A, Sander D H, Peterson G A. Nitrogen content of winter wheat during growth and maturation[J]. Agron. J., 1976, 68: 815-818.
- [12] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization[J]. Agron. J., 1982, 74: 562-564.
- [13] Anne L, Mckendry J. Selection criteria for combining high grain yield and high grain protein concentration in bread wheat[J]. Crop Sci., 1995, 35 (6): 1597-1602.
- [14] 张继林,孙元敏,郭绍铮,等.高产小麦营养生理特性与高效施肥技术研究[J].中国农业科学,1988,21(4):40-46.
Zhang J L, Sun Y M, Guo S Z *et al.* Studies on nutrient characters in wheat of high yield potential and techniques for fertilizer application [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1988, 21(4): 40-46.
- [15] 吴国梁,崔秀珍.高产小麦氮磷钾营养机理和需肥规律研究[J].中国农学通报,2000,16(2):8-11.
Wu G L, Cui X Z. Study on nutrient mechanism of N, P, K fertilizer and its absorbed law of winter wheat with high yield[J]. Chinese Agric. Sci. Bulletin, 2000, 16(2): 8-11.
- [16] 黄德明,俞仲林,朱德锋,等.淮北地区高产小麦植株吸氮及土壤供氮特性[J].中国农业科学,1988,21(5):59-65.
Huang D M, Yu Z L, Zhu D F *et al.* Characteristics of nitrogen uptake by winter wheat plants and soil nitrogen supply in areas north to the Huaihe River[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1988, 21(5): 59-65.
- [17] 李生秀,贺海香,高亚军,等.旱地土壤的合理施肥Ⅹ.旱地与灌区不同氮肥用量的效果[J].干旱地区农业研究,1993,11(增刊):50-55.
Li S X, He H X, Gao Y J *et al.* Rational application of fertilizers on drylands X. Effects of different N rates on yield increases for dryland and irrigated land[J]. Agric. Research in the Arid Areas, 1993, 11 (Suppl.): 50-55.
- [18] 胡田田,刘翠英,李岗,等.施肥对土壤供肥和冬小麦养分吸收及其产量的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(3):36-41.
Hu T T, Liu C Y, Li G *et al.* Effects of fertilization on soil supply and crop absorption of nitrogen and phosphorus and the yield of winter wheat[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2001, 19(3): 36-41.
- [19] 宋志伟,卢良峰,弓利英,等.K型杂种小麦干物质累积与氮磷钾吸收规律[J].土壤通报,1995,26(5):216-218.
Song Z W, Lu L F, Gong L Y *et al.* Patterns of dry matter accumulation in and N, P, K absorption by K-type hybrid wheat[J]. Chinese J. of Soil Sci., 1995, 26(5): 216-218.
- [20] 邹运鼎,倪守延,胡丽娟,等.施肥水平对8455小麦植株养分含量的影响[J].安徽农业大学学报,1994,21(1):1-5.
Zou Y D, Ni S Y, Hu L J *et al.* Effect of different fertilization levels

- on nutrient contents in 8455 wheat plant[J]. *J. of Anhui Agric. Univ.*, 1994, 21(1): 1-5.
- [21] 郑剑英. 施用氮、磷肥对作物体内养分含量的影响[J]. *西北植物学报*, 1996, 16(6): 56-61.
- Zheng J Y. The nutrient distribution in plant as effected by application of N, P fertilizer[J]. *Acta Bot. Boreal - Occidentalia Sinica*, 1996, 16(6): 56-61.
- [22] 陈竹君, 刘春光, 周建斌, 等. 不同水肥条件对小麦生长及养分吸收的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2001, 19(3): 30-35.
- Chen Z J, Liu C G, Zhou J B *et al.* Effects of different combinations of water and fertilizers on the growth and nutrients uptake of winter wheat[J]. *Agric. Research in the Arid Areas*, 2001, 19 (3): 30-35.
- [23] 李隆, 杨思存, 孙建好, 等. 春小麦大豆间作条件下作物养分吸收积累动态的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 1999, 5(2): 163-171.
- Li L, Yang S C, Sun J H *et al.* Dynamic of nitrogen, phosphorus and potassium uptake by intercropped species in the spring wheat/soybean intercropping[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1999, 5 (2): 163-171.
- [24] 苗艳芳, 李友军, 张会民, 等. 氮钾肥对小麦养分吸收的影响及增产效应[J]. *西北农业大学学报*, 1999, 27(2): 43-47.
- Miao Y F, Li Y J, Zhang H M *et al.* Influence of nitrogen and potassium fertilizers on nutrient assimilation of wheat and yield increase effect[J]. *The J. of Northwest Agric. Univ.*, 1999, 27 (2): 43-47.
- [25] 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 Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(6): 561-567.
- [26] 姜丽娜, 李春喜, 代西梅, 等. 超高产小麦氮素吸收、积累及分配规律的研究[J]. *麦类作物学报*, 2000, 20(2): 53-59.
- Jiang L N, Li C X, Dai X M *et al.* Study on the absorption, accumulation and distribution of nitrogen in super high yielding wheat[J]. *J. of Triticeae Crops*, 2000, 20 (2): 53-59.
- [27] 曹承富, 孔令聪, 汪建来, 等. 施氮量对强筋和中筋小麦产量和品质及养分吸收的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(1): 46-50.
- Cao C F, Kong L C, Wang J L *et al.* Effects of nitrogen on yield, quality and nutritive absorption of middle and strong gluten wheat[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(1): 46-50.
- [28] 何文寿, 陈素生, 康建宏. 宁夏春小麦氮素利用效率的基因型差异研究[J]. *土壤*, 2003, 35(6): 62-67.
- He W S, Chen S S, Kang J H. Genotypic differences in nitrogen recovery rate between spring wheat varieties in Ningxia[J]. *Soils*, 2003, 35(6): 62-67.
- [29] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 302-316.
- Lu R K. *Analysis method of soil agrochemistry*[M]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2000. 302-316.