

柴达木盆地高产春小麦的矿质营养 及其与产量关系的研究*

鲍新奎 左克成

(中国科学院西北高原生物研究所)

青海柴达木盆地是国内著名的高产春小麦区,近年来春小麦千斤田已渐趋普遍,亩产1300—1500斤的百亩田也不断出现,1978年香日德农场曾创春小麦亩产2026.1斤(3.91亩)的最高纪录。获得高产的重要原因之一,乃是合理的矿质营养。以往许多工作者对小麦矿质营养进行过大量研究。如 Самохвалов, (1955) 研究了氮、磷、钾对小麦生育的影响及其积累; Cooke, (1972), Kemmler, (1974) 等介绍了英国、印度、德国、墨西哥等地小麦养分的积累; 河南许昌农学院(1976)、姚喜源(1978)、宁夏农科所(1978), 山东土肥所(1978), 吴建国(1979), 李鸿恩等(1980), 余松烈等(1981), 以及 Турулева 等(1979) 均先后报道了各地小麦(单产800—1200斤/亩)对氮、磷、钾的积累与分配。但所获得的资料因其地区生态条件及单产水平与柴达木盆地情况差异较大,加之品种,栽培技术不同,前人所研究的结果,往往不能确切反映和阐明柴达木盆地高产春小麦矿质营养的实际状况,难能作为指导当地合理施肥的主要依据。为此1978—1980年我们在探索柴达木春小麦高产规律的过程中,研究了高产小麦对矿质营养的要求、营养状况与产量水平的关系,现将研究结果报道如下:

表1 土壤理化性质

Table 1 physical and chemical properties of the soils.

土地类型 land type	全氮 Total N %	全磷 Total P %	有机质 Organic matter %	有效氮 Available N p.p.m.	有效磷 Available P p.p.m.	有效钾 Available K p.p.m.	质地 Texture	耕层厚度 Depth of cultivated horizon cm
高产田 high-yield field	0.105— 0.241	0.025— 0.030	1.74—3.30	100—200	20—40	100—200	砂土—轻壤	30—40
千斤田 thousand-jin- yield field	0.069— 0.085	0.025— 0.027	1.18—1.90	50—100	4—10	100—150	砂土—轻壤	20—25
荒地 virgin land	0.012— 0.028	0.014— 0.018	0.05—0.34	13—24	1.0—2.5	25—52	砂壤	

* 参加工作的还有香日德农场李晓明,农场科研小组承担部分干物质测定。特此致谢。

表2 春小麦生育期内各器官养分的浓度变化(占干重%±标准差)

Table 2 changes of nutrient concentration in each Organ of spring wheat in each growth phase (% On dry wt. basis±S.D.).

地点 place	产量水平 (斤/亩) level of yield (jin/mu)	生育期 growth phase	根 系 roots			叶 leaves			茎 鞘 stem and leaf sheath			穗(不包括粒) spike without grains			粒 grain		
			N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1300 2000		分蘖 tillering	1.186	0.093	1.580	4.403± 0.843	0.300± 0.121	2.555± 0.967	2.900± 0.844	0.468± 0.151	3.272± 1.087						
		拔节 elongation	1.075	0.106	1.311	4.492± 0.726	0.350± 0.189	3.291± 0.941	2.326± 0.855	0.372± 0.186	3.638± 0.604						
		孕穗 booting	0.676	0.126	1.311	4.210± 0.451	0.308± 0.082	3.189± 0.851	1.770± 0.463	0.271± 0.106	2.901± 0.986	2.642± 0.491	0.624± 0.134	2.784± 0.118			
		抽穗 earing	0.617	0.127	1.022	4.194± 0.337	0.283± 0.014	1.885± 0.191	1.723± 0.304	0.190± 0.009	1.723± 0.304	2.208± 0.260	0.397± 0.034	0.842± 0.065			
		扬花 flowering	0.670	0.155	0.842	3.762± 0.471	0.253± 0.055	2.721± 0.840	1.130± 0.232	0.201± 0.052	2.592± 0.740	1.910± 0.397	0.323± 0.054	1.094± 1.202			
		灌浆 filling endosperm	0.896	0.159	1.186	3.377± 0.497	0.237± 0.018	2.971± 0.222	0.967± 0.209	0.148± 0.027	2.862± 0.322	1.646± 0.379	0.249± 0.108	1.303± 0.209	1.908± 0.236	0.427± 0.029	1.231± 0.028
		乳熟 milk-ripe				2.220± 0.647	0.177± 0.032	2.271± 0.084	0.712± 0.217	0.107± 0.059	3.317± 0.243	1.088± 0.379	0.171± 0.092	1.225± 0.128	1.341± 0.433	0.371± 0.038	0.782± 0.262
		腊熟 wax-ripe	0.927	0.153	1.275	1.270± 0.721	0.150± 0.120	1.883± 1.089	0.653± 0.279	0.061± 0.068	2.910± 0.809	0.629± 0.206	0.071± 0.041	1.213± 0.532	1.951± 0.335	0.325± 0.060	0.734± 0.360
柴达木盆地	800 	分蘖 tillering				3.297± 0.565	0.233± 0.042	2.211± 0.852	2.242± 0.539	0.333± 0.076	2.243± 0.780						
		拔节 elongation				3.096± 0.697	0.190± 0.025	0.848± 0.301	1.392± 0.346	0.196± 0.016	1.041± 1.060						
		孕穗 booting				3.789± 0.287	0.279± 0.026	2.155± 0.668	1.457± 0.211	0.251± 0.045	1.603± 0.893	2.440	0.617	2.713			

Qaidam basin	1300	抽穗 earing				3.584± 0.767	0.250± 0.028	1.774± 0.563	1.152± 0.259	0.169± 0.023	1.346± 0.482	1.761± 0.177	0.351± 0.031	0.677± 0.167				
		扬花 flowering				3.580± 0.387	0.243± 0.032	1.906± 0.451	1.070± 0.194	0.170± 0.022	1.816± 0.335	1.616± 0.306	0.295± 0.034	0.856± 0.251				
		灌浆 filling endosperm				3.012± 0.567	0.188± 0.034	3.059± 0.162	0.776± 0.181	0.115± 0.018	2.808± 0.289	1.245± 0.127	0.161± 0.019	1.215± 0.076	1.776± 0.272	0.415± 0.024	1.201± 0.046	
		乳熟 milk-ripe				2.131± 0.477	0.128± 0.028	2.164± 0.136	0.598± 0.185	0.056± 0.022	3.336± 0.287	0.740± 0.122	0.070± 0.014	1.365± 0.228	1.792± 0.226	0.332± 0.030	0.973± 0.129	
		腊熟 wax-ripe				0.910± 0.214	0.068± 0.051	2.100± 0.252	0.436± 0.104	0.044± 0.031	3.872± 0.438	0.531± 0.150	0.053± 0.012	1.577± 0.149	1.683± 0.229	0.308± 0.038	0.771± 0.051	
	400 800	分蘖 tillering				3.016± 0.938	0.281± 0.108	1.288± 0.546	1.747± 0.543	0.339± 0.128	1.257± 0.415							
		拔节 elongation				2.688± 0.570	0.186± 0.019	0.536± 0.087	1.175± 0.249	0.188± 0.026	0.389± 0.016							
		孕穗 booting				3.000± 0.598	0.285± 0.063	1.402± 0.368	1.226± 0.358	0.236± 0.034	0.776± 0.425							
		抽穗 earing				2.765± 0.698	0.202± 0.023	1.243± 0.213	0.958± 0.234	0.152± 0.015	0.968± 0.224	1.668± 0.226	0.312± 0.017	0.720± 0.152				
		扬花 flowering				2.736± 0.194	0.215± 0.057	1.989± 0.814	0.849± 0.118	0.153± 0.035	1.488± 0.604	1.290± 0.228	0.277± 0.062	0.873± 0.363				
		灌浆 filling endosperm				2.452± 0.619	0.190± 0.062	2.888± 0.075	0.787± 0.491	0.138± 0.094	2.297± 0.482	1.145± 0.339	0.213± 0.105	1.209± 0.128	1.867± 0.274	0.433± 0.031	1.170± 0.041	
		乳熟 milk-ripe				2.000± 0.223	0.387± 0.082	0.830± 0.135	0.523± 0.179	0.116± 0.131	3.064± 0.379	0.641± 0.165	0.183± 0.201	1.172± 0.224	2.000± 0.224	0.373± 0.089	0.830± 0.135	
	腊熟 wax-ripe				0.815± 0.217	0.148± 0.121	1.502± 0.286	0.341± 0.082	0.078± 0.048	3.333± 0.694	0.548± 0.217	0.217± 0.196	1.173± 0.382	1.620± 0.398	0.402± 0.055	0.848± 0.056		
	山东* Shandong	823	成熟 full-ripe stage	1.16	0.096	0.95				0.63**	0.057**	2.54**	0.65	0.044	1.20	2.06	0.319	0.40

* 据山东土肥所, 1978。 ** 茎、鞘包括叶。

Note: From shandong institute of soil and fertilizer, 1978. In stem and leaf sheath include leaf.

生态条件与试验方法

柴达木是封闭完整的高寒、干旱盆地。在盆地东南部海拔 2900 米的香日德农场进行试验。品种为 1977 年以后推广的“三字号”¹⁾ 中矮秆、重穗型品种。气候冷凉, 年均温 3.8℃, 最热的 7, 8 两月, 平均气温仅 15—17℃, 且日差较大。无霜期短, 早霜常在 9 月上旬出现, 对高产小麦后期灌浆不利。年降水 150—200 毫米, 集中在 6—8 月, 蒸发量为降水的 7—9 倍。生育期内平均相对湿度 40—43%。云量低, 日照百分率 68% 上下, 年日照时数 3000 小时左右, 生育期(4 月下旬至 9 月底)内, 日照时数长达 1350—1490 小时。辐射量大, 年总辐射量为 162.2—177.3 千卡/平方厘米(青海农业地理, 1976), 最大日辐射量可达 700—800 卡/平方厘米(自测)。土壤为棕钙土、灰棕漠土; 质地粗, 常轻度盐渍化, 自然肥力很低, 但高产土壤经长期培肥, 有效肥力很高(表 1)。

小麦积累的矿质养分, 系根据小麦不同生育期的干物质量及其中养分含量分析结果计算求得。样品采自各种高产栽培与试验; 因高产栽培田面积较大, 一般几亩, 几十亩, 甚至几百亩, 同一试验, 植株生长亦有差异, 所以随机取样力求能代表该试验地块上多点观察中植株生育的平均状况。扬花前, 约半月取样 1 次, 每次各处理 20 株(或穗)。生育后期, 20—30 天取样 1 次, 样品于 70°—80℃ 烘干后称重, 粉碎。

养分测定在香日德农场农科所速行²⁾。1978 年, 部分植株样品用克氏法测氮, 消化液同时测定磷、钾。另一部分样品和以后的所有样品, 改用 $H_2SO_4-HClO_4$ 消化后蒸馏定氮, 消化液同时用钼蓝比色法测磷, 四苯硼钠比浊法测钾。土壤样品全氮用开氏法, 全磷用酸溶比色法, 有机质用丘林法。土壤有效养分用 0.5 M $NaHCO_3$ 浸提, 滤液中 NO_3^-N 用硝酸试粉法, NH_4^+-N 用纳氏试剂比色法, 磷用钼蓝比色法, 钾用四苯硼钠比浊法测定。比色、比浊用光电比色计进行。

结果与讨论

1. 高产春小麦矿质养分的积累

(1) 高产春小麦矿质养分的积累浓度 小麦不同器官积累的养分浓度不同; 同一器官, 在不同生育期的养分浓度也不同(表 2)。

从表 2 看出, 根系养分浓度较地上器官低。地上器官中, 氮素一般以叶内浓度最高, 钾以茎鞘内浓度最高, 磷以穗、粒内含量最高。任何器官, 不同生育期的养分浓度都不一致。营养器官一般在生育期和中期养分浓度较高, 后期养分浓度明显降低。尤以叶中氮素降低幅度最大, 这显然是营养元素向籽粒输送的结果。籽粒内养分改变幅度较小。与其它地区相比。(山东土肥所 1978; 宁夏农科所, 1978; 卢莉义次, 1962) 一般小麦腊熟期不同器官内的氮素浓度较低而磷钾浓度较高, 籽粒尤为突出。这可能是对柴达木的光、温条件比较适应的营养特征。

1) 为我所新育成的 76—334, 76—335, 76—336, 76—338 等品种(品系)的总称。

2) 参加测定的还有张树梅、付丽娜、刘卫、李敏英、俞佩娟等。

表3 养分积累的平均数量、比例及差异(斤/亩±标准差, 变异系数 CV%)

Table 3 Average amount and difference of nutrient accumulate and thier ratio (jin/mu±S.D., C.V.%).

地 点 place	平均产量及 范围(斤/亩) average yield (jin/mu) and range	N		P		K		比 例 proportion			注 note
		斤/亩±标准差 jin/mu±S.D.	C.V.%	斤/亩±标准差 jin/mu±S.D.	C.V.%	斤/亩±标准差 jin/mu±S.D.	C.V.%	N	P	K	
柴达木盆地 Qaidam basin	1576 1300—2026	45.65±13.96	30.59	6.95±2.87	41.24	50.10±21.47	42.86	6.57	1	7.21	29 块地平均
	929 800—1300	24.48±3.71	15.14	4.39±0.87	19.93	32.75±5.14	15.68	5.58	1	7.46	10 块地平均
	586 400—800	13.59±3.92	28.87	3.26±1.17	35.86	21.18±8.36	39.46	4.17	1	6.50	11 块地平均
河 南 Henan	1000	30.5		5.76		40.76		5.30	1	7.08	按河南许昌农 学院, 1976. 改算
陕 西 Shanxi	1000	26.9		4.76		23.58		5.65	1	4.95	按李鸿恩, 1980. 改算
宁 夏 Ningxia	823	25.4		3.84		19.49		6.61	1	5.08	按宁夏农科 所, 1978. 改算
山 东 Shandong	826	22.7		3.10		24.85		7.32	1	8.02	按山东土肥 所, 1978. 改算
山 东 Shandong	600	16.8		2.18		17.89		7.71	1	8.21	按中国农科 院, 1978. 改算
印 度 Indian	800	16.8		4.36		19.34		3.85	1	4.44	按 Kemmler, G. 1974. 改算
西 德 Germany	597	13.1		2.62		9.96		5.00	1	2.66	按 Kemmler, G. 1974. 改算

(2) 高产春小麦矿质养分的积累数量与比例 植株地上部分的养分积累量,表示收获时从田间带走的养分总量,虽未包括根系积累的养分,但仍可用来估计作物养分的需求量。在考虑养分平衡时,更是不可缺少的数据。在柴达木春小麦的高产栽培中,除氮、磷、钾外,在大量施用有机肥的条件下,没有发现其它养分严重不足的外部症状。因此,我们对 29 个高产典型 (1300—2026.1 斤/亩) 田块的小麦地上部分,在生育期内积累的氮 (N)、磷 (P)、钾 (K) 数量进行统计,并与千斤田 (800—1300 斤/亩) 一般田 (400—800 斤) 和其它地区的丰产田 (600—1100 斤/亩左右) 进行比较 (表 3)。

由表 3 看出,柴达木不同产量水平的春小麦所积累的养分中,钾最多,氮次之,磷最少,且都与产量水平呈正相关。不同养分的变异系数(CV)对比,以氮素最小,说明产量形成对氮的依赖性最大。而不同产量水平所积累各养分的变异系数对比,则以千斤田最小,说明千斤田小麦的养分利用较为合理。一般田和高产田的变异系数较大,在此产量范围内的不同地块,有的因某些养分供应不足而影响单产的提高或因其它养分过多而造成奢侈积累。从养分的积累比例看,高产春小麦每积累 1 分磷,同时积累 6.57 分氮和 7.21 分钾。如产量水平降低,则磷积累比例提高氮比例下降,说明目前氮素不足常是一般田减产的主要原因。与其它地区产量水平相近的小麦相比,柴达木一般田的小麦磷积累量稍多,而千斤田氮、磷积累量相近,唯钾不受产量水平的影响,其积累数量与比例明显较高。这可能与柴达木光照强,湿度小等条件造成小麦对不同养分吸收量有不同程度的增加有关(户灯义次等, 1961; Рачинский, 等 (1954)。不同生育期内,干物质、养分积累的数量与比例不同,且变化与养分类型和产量水平有关 (表 4)。

表 4 不同生育期内干物质和养分的积累数量(斤/亩)

Table 4 Dry matter weight and accumulation of nutrients in various growth stages (jin/mu).

产 量 (斤/亩) yield (jin/mu)	项 目 item	出苗—分蘖 seedling-tillering	分蘖—扬花 tillering- flowering	扬花—腊熟 flowering- wax-ripe	全生育期 total
2026.1	干物质(斤/亩) Wt. (jin/mu)	129.38	2077.80	1893.23	4100.41
	N	6.38	37.76	21.44	65.58
	P	0.53	6.24	5.56	12.33
	K	1.00	26.97	71.33	99.30
	N:P:K	12.04:1:1.89	6.05:1:4.32	3.86:1:12.83	5.32:1:8.05
802.3	干物质(斤/亩) Wt. (jin/mu)	101.11	774.45	776.57	1652.13
	N	3.55	12.36	8.54	24.45
	P	0.47	1.72	2.23	4.42
	K	0.96	15.39	2.79	19.14
	N:P:K	7.55:1:2.04	7.18:1:8.95	3.83:1:1.25	5.53:1:4.33

由表 4 可知,柴达木的高产春小麦干物质积累总量已突破 4000 斤/亩,但不同生育期内增长有显著差异。在营养生长的生育前期(出苗—分蘖),干物质积累少,不同产量间的差距也不大;在营养生长与生殖生长并进的生育中期(分蘖—扬花),干物质增长最多,且

不同产量水平的春小麦,干物质积累量的差距迅速扩大;在生殖生长的生育后期(扬花—腊熟),干物质增长量仍保持较高水平,不同产量水平间的差距进一步扩大。后期干物质积累总量主要表现为构成籽粒产量,但干物质积累量都不超过籽粒产量。不足部分显然由营养器官转运补充。

矿质养分的积累量,与干物质积累变化趋势相似。生育前期,养分积累量最少,中期最多,后期亦保持较高水平。但生育早期,干物质的积累落后于矿物质的积累,中期、后期则矿物质的积累落后于干物质的积累。但钾例外。因产量水平不同,不同生育期的养分积累量亦不同。出苗期,养分主要来源于种子,故贮量相近,在生育前期,积累量已开始出现差距,因生长量小,养分积累不多,绝对差距不大,但相对差距已很显著,特别是氮、磷、钾。分蘖、拔节后,绝对差距迅速扩大,并一直保持到生育后期。由此可知,高产春小麦的养分积累较多,不仅体现在生育后期,实际上早期就已存在,特别是氮、磷、钾。所以,促进小麦早期氮、磷的吸收,是夺取高产的必要措施。

综上所述,由于不同养分的生理功能不同及不同生育期发育状况的差异,小麦在不同生育阶段所积累养分的数量与比例不同,在营养生长期,植株以积累氮素为主;在营养生长与生殖生长并进的中期,氮积累量虽维持在最高水平,但其相对比例却下降;至生殖生长期,磷、钾比例则显著上升。因此生育前期氮磷营养的改善,生育中期氮、磷、钾的均衡供应和生育后期磷、钾营养的满足可能是获得小麦高产的重要条件。

在高产春小麦腊熟期,平均每积累 1 分磷,同时积累 6.57 分氮和 7.21 分钾(表 3),但这种比例是不断变化的。为了了解高产春小麦不同养分积累量间的数量关系,对 29 个高产田块积累的氮(18.765—84.148 斤/亩),磷(3.882—15.840 斤/亩),钾(17.738—100.481 斤/亩)进行统计,结果如下:

氮与磷的相关系数 0.6405;氮与钾的相关系数 0.7266;磷与钾的相关系数 0.7064;都达到高度显著水平。说明小麦植株最终积累的各种养分,在数量上确有一定关系,它们分别有下列方程进行描述。

$$\text{氮与磷: } \hat{P} = 0.96 + 0.13N \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{氮与钾: } \hat{K} = -0.82 + 1.16N \quad \dots\dots(2)$$

$$\text{磷与钾: } \hat{K} = 13.32 + 5.29P \quad \dots\dots(3)$$

这对在柴达木盆地条件下计划施肥有一定的指导意义。

从表 3 的统计可知,小麦养分的积累量与产量水平有关,为了解不同产量对养分的需求量,绘制了春小麦的产量与养分积累量的散点图(图 1)。

由图 1 看出,单产在 1700 斤以下时,点的分布较集中,1700—1800 斤以上时,点的分布较分散,这可能与高产时植株养分的奢侈吸收有关。根据图 1 分布形式的拟合结果,以下列方程的预报值吻合较好。

单产 W (斤/亩)与氮素积累量(斤/亩)的关系为:

$$\hat{W} = \frac{N}{0.000260N + 0.018490} \quad \dots\dots(4)$$

$$\hat{W} = 2405.1630 e^{-\frac{3.4798}{P}} \quad \dots\dots(5)$$

$$\hat{W} = \frac{K}{0.000233K + 0.023341} \quad \dots\dots(6)$$

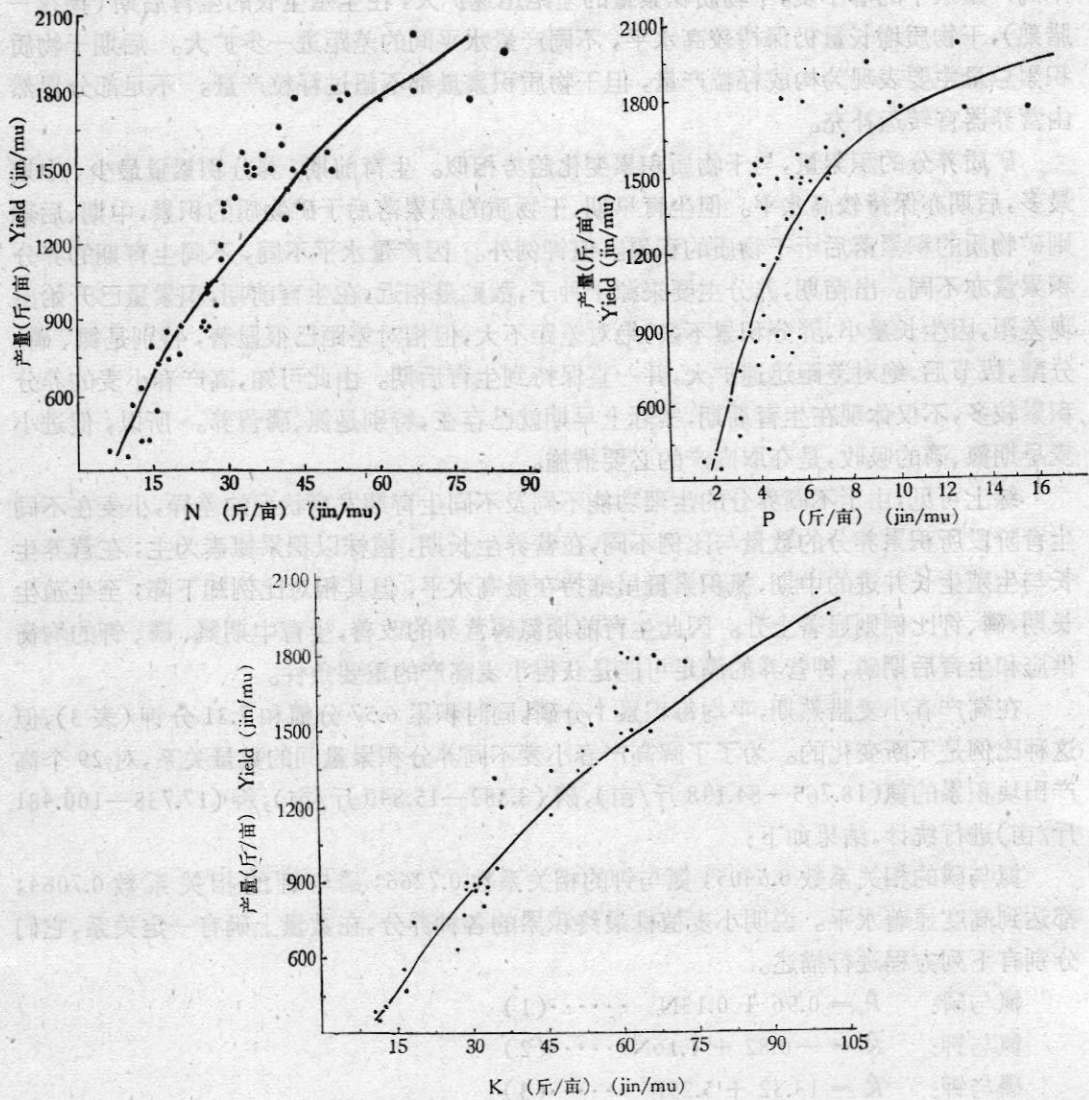


图1 产量水平与养分积累量

Fig. 1 Level of yield and accumulated amount of nutrients.

- (1) 产量与氮素 1 yield and nitrogen
- (2) 产量与磷素 2 yield and phosphate
- (3) 产量与钾素 3 yield and potassium

由上可知,在大田生产中,提高小麦养分积累量是增产的有效手段,当单产高于1700—1800斤时,单靠提高养分积累量的增产效果已不稳定。而要在养分积累更多的条件下才能取得,由此可见,1700—1800斤/亩以上的高产,除受养分积累状况的制约外,尚受其它生态因素的影响。

(3) 高产春小麦矿质养分的积累形式 用某一时期养分积累的相对量(养分积累量与其最高值之比的%)来表示(图2)易于发现。不论产量水平如何,不同养分都具有相似的“S”形积累过程,随生育期变化,养分积累量逐渐增长。在分蘖及灌浆早期,曲线产生明显转折,这两个时期之间,曲线斜率较大,养分积累速率较高;而在分蘖前及开始灌浆

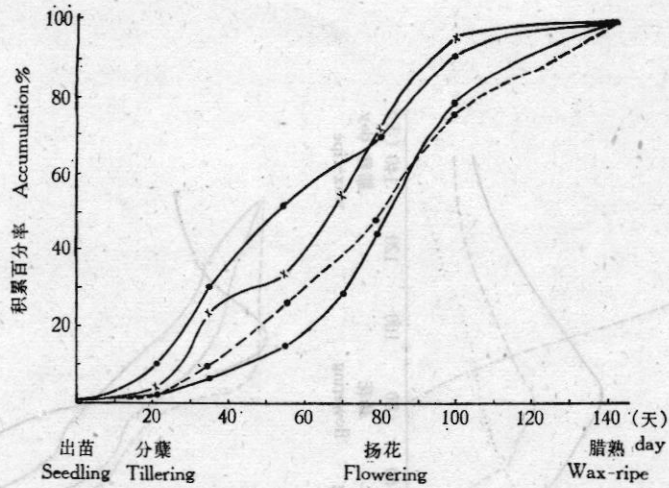


图2 小麦植株矿质养分的积累曲线

Fig. 2. Accumulation curve of nutrients in spring wheat.

1 高产田(亩产 > 1500 斤) 1 high-yield field (> 1500 jin/mu)

2 千斤田 2 thousand-jin field

●—●—●—N ×—×—×—P ○—○—○—K ----- 干物质
dry matter

后,斜率较低,养分积累缓慢。扬花以后,养分积累量可占总量的40—60%,不同养分的积累形式及干物质的积累曲线有相似性,亦有差异。

产量水平不同,养分种类不同,积累形式也不同,柴达木一般千斤田小麦生育后期钾的总量趋于减少,这与国内外其它地区的情况一致,(金善宝,1960;宁夏回族自治区农科所小麦室,1978;余松烈,1981;Cooke,1972),但高产春小麦(>1500斤/亩)生育后期的钾总量却持续增长。这可能与盆地此时的生态条件(辐射强、温度低,降水少(约20mm左右),湿度小,)有关,是生活力较强的象征。由图2同时看出,高产春小麦的曲线斜率在前期和中期较大,且曲线变动相对平滑;而千斤田此时的曲线斜率相对较小且变动复杂。由此推知,生育中期以前,养分积累的曲线斜率较大且比较规律的变化形式,符合高产目的,是较适宜的营养状况。

不同器官,不同养分积累的数量及其变化形式不同(图3)。

由图3看出,所有器官的变化可分为2种类型,其一是籽粒,它从开始产生到腊熟收获为止,各种营养积累持续增长。其它器官,除茎鞘及穗中钾外,养分积累均按单峰曲线形式变化,峰值高度与出现时期取决于器官类型和养分种类,茎鞘中氮、磷峰值出现在抽穗—扬花前后。钾素持续增长,可能是柴达木高产春小麦较其它地区的高产小麦倒伏较轻的原因之一。叶中氮、磷、钾的峰值较其它器官出现早,一般在生育旺盛的中期(孕穗—抽穗)达到。穗(不包括籽粒)中氮、磷峰值在扬花期附近。由图3同时看出,穗发育初期,养分增长缓慢,并不引起其它器官内养分贮量的减少。但籽粒发育初期,养分增长迅速而导致其它器官中的养分量降低,说明高产春小麦虽生长在良好的营养环境中,但植株内养分分配上仍保持着植物优先保证后代延续的一般特征。

(4) 高产春小麦养分的积累强度 为了解小麦发育进程的矿质养分积累强度如何变化,处理资料最简单的方法是根据生育期内养分的增量来判别(表5)。

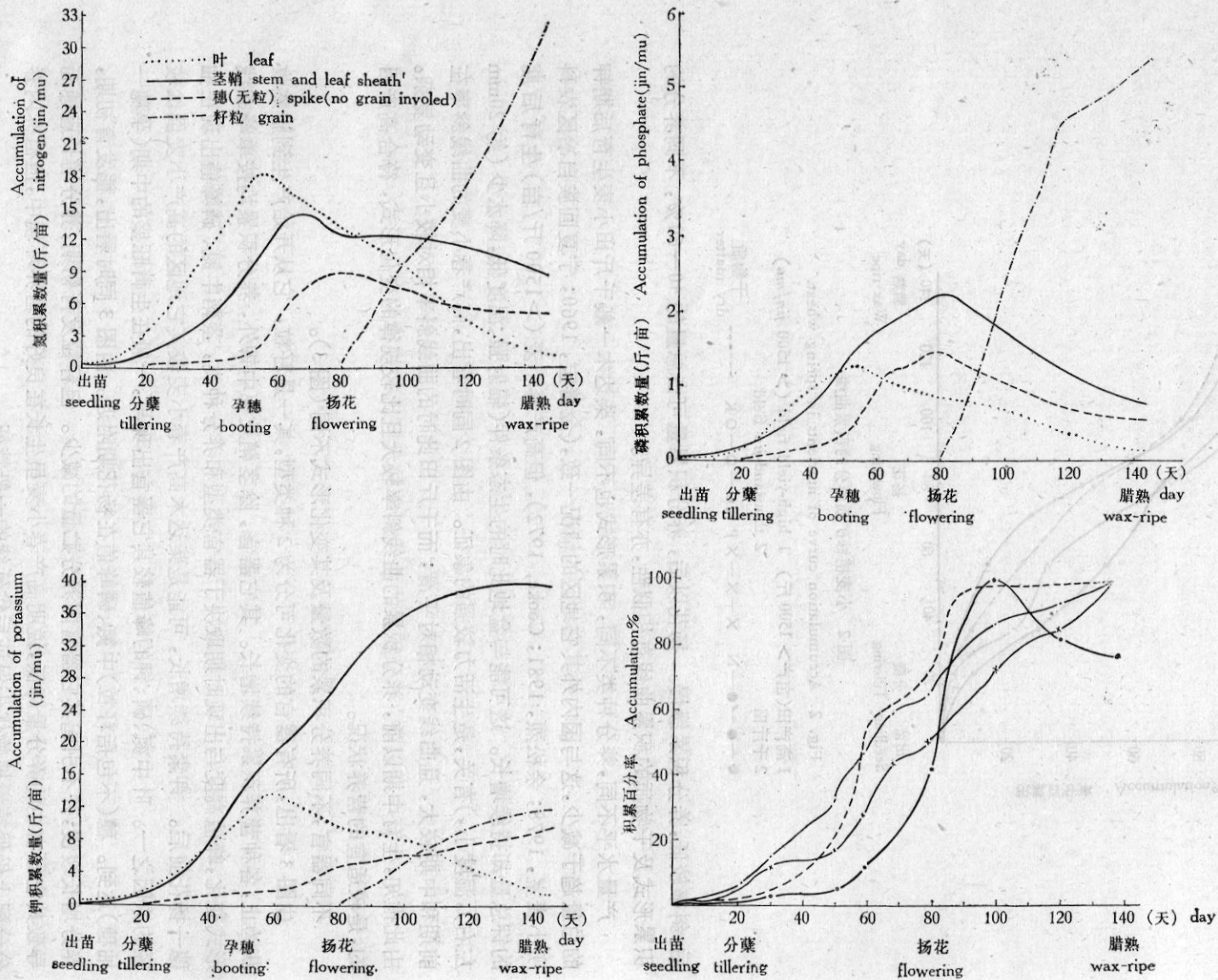


图3 高产春小麦(>1500斤/亩)各器官养分的积累数量与变化

Fig. 3 Change of nutrient accumulation in various organs of high-yielding (>1500jin/mu) spring wheat.

表5 各生育阶段养分的积累情况(群体: 斤/亩, 个体: 毫克/株)

Table 5 Accumulation of nutrients in various growth phase (indiv: mg/indiv)(colony: jin/mu).

产量水平 (斤/亩) level of yield (jin/mu)	养分 类型 nutri- ents	出苗—分蘖 seedling-tille- ring		分蘖—拔节 tillering-elo- ngation		拔节—孕穗 elongation- booting		孕穗—扬花 booting-flo- wering		扬花—腊熟 flowering- war-ripe	
		群体 colony	个体 indiv.	群体 colony	个体 indiv.	群体 colony	个体 indiv.	群体 colony	个体 indiv.	群体 colony	个体 indiv.
高产春小麦 (1984.9) high- yielding spring wheat	N	5.49	7.50	13.22	18.05	19.49	26.62	4.97	6.79	21.52	21.34
	P	0.52	0.71	2.30	3.13	2.65	3.61	1.26	1.72	5.56	5.52
	K	1.09	1.49	4.65	6.35	9.13	12.46	12.64	17.27	71.19	70.57
千斤小麦 (1115.2) thousand- jin yielding	N	3.06	4.21	9.33	12.85	2.08	2.86	1.57	2.17	11.80	16.25
	P	0.23	0.31	0.76	1.05	0.60	0.82	0.39	0.53	2.13	2.94
	K	2.54	3.49	11.65	16.04	12.28	16.92	—	—	17.56	24.18

按一天计算(群体: 克/亩, 个体: 毫克/株) Calculated each day (colony: g/mu indiv: mg/indiv)

高产春小麦 (1984.9) high- yielding spring wheat	N	130.68	0.36	440.64	1.20	572.95	1.40	88.84	0.24	176.42	0.35
	P	12.43	0.03	76.50	0.21	69.61	0.19	22.46	0.06	45.61	0.09
	K	26.05	0.07	154.98	0.42	240.20	0.66	225.80	0.62	583.51	1.16
千斤小麦 (1115.2) thousand- jin yielding	N	54.56	0.15	358.61	0.99	86.58	0.24	32.79	0.09	98.31	0.27
	P	4.06	0.01	29.31	0.08	24.94	0.07	8.03	0.02	17.78	0.05
	K	45.09	0.12	447.97	1.23	511.80	1.41	—	—	146.30	0.40

由表5可知,高产春小麦的养分积累强度,除生育前半期(孕穗期以前)的钾外,都较千斤春小麦为高。就其本身而言,出苗—分蘖期的积累强度最低,但孕穗至扬花时的氮、磷,则随生育阶段的更替而增长,至扬花—腊熟期达到最高,这种变化与表2,图3表示的不同时期形成不同的新器官和不同器官对不同养分的积累浓度不同较为符合。而千斤田的这种符合状况较差,这就说明其养分积累受环境中养分供应的制约,也就是单产不能进一步增长的重要原因。就小麦植株平均每天积累养分的数量(积累强度)而言,无论每亩小麦群体增量或单株增量,高产田的氮、磷均远高于千斤田,其积累强度高峰值出现在拔节—孕穗期;而高产田的钾,在孕穗期以前低于千斤田,孕穗期以后高于千斤田,并且高产田的钾积累强度与氮磷不同,以扬花—腊熟期最高。千斤田小麦植株平均每天积累强度、氮、磷以分蘖—拔节期最高,钾以拔节—孕穗期最高,变化趋势与高产田明显不同。扬花后不同产量水平都出现养分积累高峰,说明籽粒灌浆时对所有养分需求都很迫切。特别

是高产春小麦与一般小麦相比,此时期的磷,钾平均积累量的增长幅度超过干物质量的增长幅度,证明在籽粒发育时,促进磷、钾积累常是获得高产的有效措施。

若用活体的单位干重(不包括枯死叶)为每天积累养分的数量强度指标(表6),可看出不同产量水平的小麦,在拔节—孕穗期以前有较高的养分积累强度。高产春小麦养分积累强度一般高于千斤田,(特别是拔节前的磷,孕穗前的氮和扬花后的钾。)这可能是高产春小麦在生殖生长与营养生长中对养分需求间矛盾较小而导致3个产量构成因素(穗数、粒数、粒重)都能良好发育的原因。

表6 各生育期内养分的积累强度(克/日·百斤干重)

Table 6 Accumulation intensity of nutrients in various growth phases.
(g/day. 100-jin dry wt.)

产量(斤/亩) yield (jin/mu)	养分 nutrient	出苗—分蘖 seedling- tillering	分蘖—拔节 tillering- elongation	拔节—孕穗 elongation booting	孕穗—扬花 booting- flowering	扬花—腊熟 flowering- wax-ripe
高产春小麦 (1984.9) high-yielding spring wheat (1984.9)	N	101.01	101.82	45.52	4.29	4.55
	P	9.61	17.68	6.18	1.08	1.18
	K	20.13	35.81	21.32	10.90	15.04
千斤小麦 (1115.2) thousand-jin- yielding (1115.2)	N	41.98	97.28	12.54	2.98	4.15
	P	3.12	7.95	3.61	0.73	0.75
	K	34.85	121.52	74.13	1.41	6.18

2. 高产春小麦的养分分配

(1) 各生育阶段的养分分配 小麦积累的养分,均分配于不同部位。由于不同器官生理功能的差异及不同生育期发育状况的改变,导致不同养分在不同部位分配的数量,比例及变化形式各不相同(表7)。

由表7看出,在生育早期,养分主要分配在叶,氮,占70%以上。拔节后,茎鞘内养分显著增加,以磷,钾上升幅度最大。到孕穗期,60%以上的磷,钾都贮存于茎鞘,而60%左右的氮仍贮存于叶。此时幼穗很小,但它积累的养分较多,尤其磷的比例很高。孕穗后,随繁殖器官增长的加速,营养器官中的养分比例普遍下降。授粉后,籽粒开始发育,其它器官内的养分比例急剧减小。腊熟期,籽粒中养分贮量占当时养分积累总量的60—80%以上,但钾较低,仅20—30%。由此可知,养分主要贮存在当时的生育中心,但亦受器官对不同养分积累特性的影响。分蘖前的生长中心是叶,故养分主要贮存在叶;拔节—孕穗期,小麦的叶、茎同时生长,叶内氮的积累浓度较高,茎鞘(包括幼穗)内以磷,钾的积累浓度较高,生育后期的生育中心是籽粒,它对氮、磷有较强的积累能力而对钾的积累能力较低,故此时氮、磷主要贮存在籽粒而钾仍积累在茎鞘(表7),这与水稻中养分的转移相似(户莉义次等,1961)。不同产量水平的养分分配规律相近,但分配比例可以不同,特别是腊熟期,籽粒中的矿质养分比值,常随单产的上升而下降,说明春小麦高产时矿质养分利用率较低。

(2) 养分的再分配 生育后期,小麦体内养分总量减少的现象,一般认为是向环境

表7 春小麦各生育阶段养分的分配(%)

Table 7 Distribution of nutrients in each growth phase of spring wheat (%).

产量 (斤/亩) yield	养分 nutrient	分蘖 tillering		拔节 elongation		孕穗 booting			扬花 flowering			腊熟 was-ripe			
		茎、鞘 stem and leaf sheath	叶 leaf	茎、鞘 stem and leaf sheath	叶 leaf	茎、鞘* stem and leaf sheath	叶 leaf	穗 spike	茎、鞘 stem and leaf sheath	叶 leaf	穗 spike	茎、鞘 stem and leaf sheath	叶 leaf	颖 scalpings	粒 grain
2000 左右	N	30.09	69.91	27.02	72.98	39.16	60.84		33.63	39.51	26.86	19.74	7.72	7.78	64.76
	P	37.02	62.98	55.77	44.23	55.43	44.57		50.72	23.72	25.56	17.19	4.70	6.21	71.90
	K	37.53	62.47	43.36	56.64	61.30	38.70		46.00	23.38	30.62	56.68	10.44	14.71	18.17
1500 左右	N	23.14	76.86	34.79	65.21	39.69	60.31	10.17	46.16	32.71	21.13	22.80	4.78	6.32	66.10
	P	49.64	50.36	59.58	40.42	63.67	36.33	22.87	50.44	17.53	32.03	11.40	2.22	4.41	81.97
	K	46.12	53.88	66.98	33.02	64.66	35.34	5.81	69.87	23.65	6.48	58.03	8.28	6.99	26.70
1100 左右	N	27.20	72.80	36.65	63.35	40.58	59.42	11.94	50.31	41.35	8.34	15.10	5.06	10.58	69.26
	P	45.16	54.84	60.08	39.92	66.06	33.94	28.12	63.78	20.56	17.86	4.39	1.69	6.66	87.26
	K	45.94	54.06	66.35	33.65	65.77	34.23	7.55	71.05	25.69	3.26	60.94	7.14	12.10	19.82

* 包括幼穗

* containing immature spike.

中排出的结果,称为外渗现象。小麦后期钾量逐渐减少早有报道(Cooke, 1972; 金善宝, 1960; Самохвалов, 1955; 宁夏回族自治区农科所小麦室, 1978; 余松烈等, 1980.)。而在柴达木的高产春小麦(>1500斤/亩)却未观察到这种现象。高产春小麦营养器官内的养分贮量达到高峰后都逐步降低。养分量减少最早表现于叶、始于生育旺盛的孕穗后。但随叶内养分量减少,并未发现养分总积累量降低。故叶内养分减少应是养分转输再分配的结果。接受这些养分的器官都是当时摄取能力较强的生育中心。如叶养分减少的时期正是穗发育旺盛的时期,而叶内减少最多的氮,磷亦是穗内增长最快的成份。同样,茎鞘,穗(不包括籽粒)等养分输出的时间亦与粒内养分剧烈增长相吻合(图3)。基于以上情况,初步认为柴达木高产春小麦生育后期,叶、茎、鞘,穗(不包括籽粒)等养分减少,不是外渗引起,应是向籽粒转输再分配的结果。

营养器官内积累的氮、磷因再利用而输出的数量,依次达到18.95斤/亩,2.15斤/亩。它们分别占扬花期群体相应养分总积累量的54.35%和56.91%。由此可见,小麦早期与中期的养分积累对后期生育有很大影响。养分转输的最终地点是籽粒,高产春小麦再利用的养分数量,占籽粒同期养分积累量的58.8%(N)和40.17%(P)。籽粒积累的氮,多半来自扬花前营养器官内的贮存,而磷大部分来自土壤。但不论是氮还是磷,扬花前的贮存都不能满足籽粒对养分的全部需求,故授粉后植株的生育仍依赖于土壤养分的供应。

不同器官,不同养分的移动率不同。把器官中某养分积累达到的最大量与这器官枯死或收割为止养分的流出量之比作移动率(户莉义次,1961),计算结果如表8。

表8 不同器官养分的转移率
Table 8 Transfer ratio of nutrient of different organ.

养 分 nutrient	叶 leaf	茎 鞘 stem and leaf sheath	穗 spike	籽 粒 grain
N	0.90	0.36	0.42	0
P	0.85	0.62	0.61	0
K	0.81	0	0	0

由表8可知,在高产春小麦的地上部器官中,叶内养分的移动率最大,穗(颖、稃、穗轴)次之,茎鞘最小,而籽粒无养分输出。

生育期不同,养分的移动率亦不同。以叶中氮为例:若将每100克叶中所含氮完全转运出去,其转运率定为1,则不同生育阶段的移动率如表9。

表9 不同生育阶段叶内氮素移动率
Table 9 Transfer ratio of nitrogen of various growth phase in leaf.

生育期 growth phase	拔 节 elongation	孕 穗 booting	扬 花 flowering	乳 熟 milk-ripe
移 动 率 transfer ratio	0.02	0.17	0.59	0.62

表9表明,叶片氮的移动率随生育期的推进而提高,但其增长并不均匀,在扬花前出现突跃,以后又趋平缓。

综上所述,矿质营养元素的转移再利用是春小麦固有的生物学特性。其移动率大小与器官类型、养分种类和生育时期有关,一般当养分转移与上述规律差异较大时,常与不正常生育联系着,因而出现减产或降低增产效果。

3. 养分的增产效果

一般认为,每生产100斤籽粒,需吸收氮3斤,磷酸(P_2O_5)1—2斤(合P 0.44—0.87斤),氧化钾2—4斤(合K 1.66—3.32斤)。但这种积累量随地区,产量水平等条件的改变而改变。柴达木的春小麦,根据(4)、(5)、(6)式的计算知道,每生产100斤籽粒所积累的养分数量及每斤积累的养分所能生产的粮食数量分别如图4、图5所示。

由图4看出,每百斤籽粒积累的不同养分,其数量有很大的差异。随单产水平的提高,百斤籽粒的养分积累量虽都呈曲线形式变化,但不同养分的变化仍然不同。氮、钾随产量提高而呈指数曲线形式增加,而磷以不对称抛物线形式改变。在单产900斤左右时,植株利用磷最经济有效。亩产1500—2000斤时,每生产百斤籽粒需N 3.03—3.86斤, P 0.49—0.94斤, K 4.21—5.13斤。

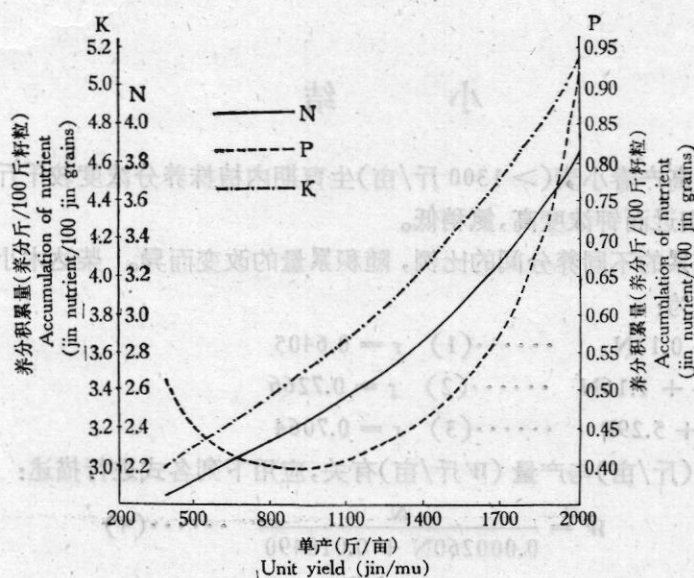


图4 百斤籽粒的养分积累量

Fig. 4. Nutrient accumulation in 100-jin of grains.

由图5看出,春小麦积累的每斤养分能生产的籽粒量(生产效果),不但因养分的不同而不同,且随产量的改变而变化。其变化形式为氮、钾随单产提高,其生产效果直线下降。磷呈不对称抛物线形式改变,在单产900斤左右时生产效果最高。

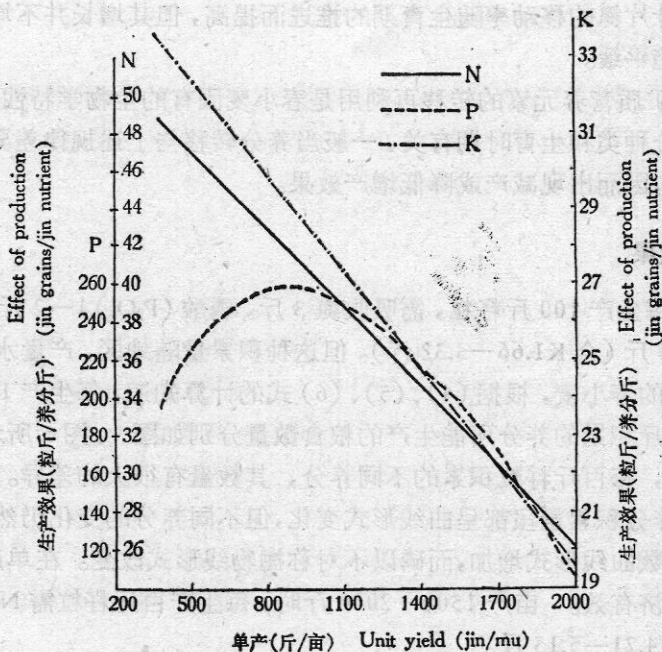


图5 养分的生产效果

Fig. 5 Effect of nutrient on increase yield.

小 结

(1) 柴达木高产春小麦(> 1300 斤/亩)生育期内植株养分浓度较千斤小麦高。与外地相比,籽粒磷相近而钾浓度高,氮稍低。

(2) 小麦积累的不同养分间的比例,随积累量的改变而异。柴达木小麦不同养分积累量间的关系式为:

$$\hat{P} = 0.96 + 0.13N \quad \dots\dots(1) \quad r = 0.6405$$

$$\hat{K} = -0.82 + 1.16N \quad \dots\dots(2) \quad r = 0.7266$$

$$\hat{K} = 13.32 + 5.29P \quad \dots\dots(3) \quad r = 0.7064$$

养分积累量(斤/亩)与产量(W斤/亩)有关,应用下列各式进行描述:

$$\hat{W} = \frac{N}{0.000260N + 0.018490} \quad \dots\dots(4)$$

$$\hat{W} = 2405.1630e^{-\frac{3.4798}{P}} \quad \dots\dots(5)$$

$$\hat{W} = \frac{K}{0.000233K + 0.023341} \quad \dots\dots(6)$$

(3) 高产春小麦氮、磷、钾的相对积累量都伴随干物质的增长而呈“S”型曲线增长,但相对速率不同而出现差异。养分积累前期高而后期低。单产1500斤以上的小麦,后期钾积累量下降,表现出不同于千斤小麦及外地小麦的变化特征。不同器官内积累的养分有不同的变化形式。籽粒为持续增长型;营养器官为单峰曲线,但钾例外。

(4) 高产春小麦的养分积累,在不同生育阶段中,以籽粒灌浆积累最多;按1天计算时,氮、磷在生育中期,钾在生育后期积累较多,最大日积累量为573g/亩(N),76g/亩(P),583g/亩(K);以活体的单位干重表示的N、P、K积累强度,都呈双峰曲线形式变化,高产小麦较高。

(5) 植株积累的不同养分,以不同比例分配在不同器官,扬花前,氮在叶、磷在穗,钾在茎鞘中的比例较大,扬花后,氮、磷向籽粒转移,转移程度与产量呈反相关。不同器官、不同养分向籽粒的转移率依次为叶>穗>茎鞘: $P \geq N > K$ 。籽粒积累的养分中,50—60%的氮,40%左右的磷都来源于扬花前植株的贮存。

参 考 文 献

- 山东土肥所临朐县吕家庙基点,1978,高产小麦需肥规律的探讨。土壤肥料2: 36—38页。
- 户荆义次,山田登,林武,1961(余友浩译1962),作物生理讲座(第2卷)营养生理,1—113页,上海科技出版社。
- 中国农科院,1978,小麦栽培理论与技术,农业出版社。
- 宁夏回族自治区农科所小麦室,1978,春小麦对养分吸收利用情况。农业科技通讯,3: 9—10。
- 吴建国,1979a,高产小麦需肥规律及岳滩大队施肥经验的分析。河南农学院小麦“高、稳、低”试验研究报告汇编(1975—1979),98—103页。
- 吴建国,1979b,小麦“高、稳、低”的施肥技术研究。河南农学院小麦“高、稳、低”试验研究报告汇编(1975—1979),103—107页。
- 吴建国,1979c,冬小麦地上部分不同器官干物质、氮、磷积累,分配特点的初步分析。河南农学院小麦“高、稳、低”试验研究报告汇编(1975—1979),116—127页。
- 李鸿恩,杨运莲,彭祖厚,鲍永仙,1980,小麦高产土壤的养分状况及其调节。土壤6: 204—208。
- 余松烈等,1981,高产冬小麦对三要素的吸收和供应特点的研究。土壤肥料1: 31—34。
- 河南许昌农学院小麦“高、稳、低”研究小组,1976,关于小麦高产、稳产、低成本几个技术问题的分析。植物学报,18(1)39—47。
- 金善宝,1960,中国小麦栽培学,农业出版社。
- 青海农业地理编写办公室,1976,青海农业地理,76—77页,青海人民出版社。
- Cooke, G. M., 1972, (中国科学院南京土壤所农化室译,1978),高产施肥,科学出版社。
- Kemmler, G., 1974, (张晓红译,1980),作物高产施肥技术: 小麦高产施肥,69—142页,科学文献出版社。
- 斯特拉乌斯别尔特, Д. В. 1957, 土壤温度对植物利用各种营养元素的影响。苏联农业科学,1: 20—24。
- Рачнский, В. В., Кравцова, Б. Е., и князятова, Е. И., 1954 (陈耕陶译,1955),论光的强度对春小麦在其个体发育各时期中磷素新陈代谢的影响。苏联农业科学4: 164—170。
- Самохвалов, Г. К., 1955, (苏允典译,1958),矿质营养与植物个体发育,科学出版社。
- Турулев, В. А., 1979, Использование удобрений озимей пшеницей в условиях хорошеия. Агрохимия 10:47—54。

ON MINERAL NUTRITION AND ITS RELATIONSHIP TO THE PRODUCTION OF HIGH-YIELDING SPRING WHEAT IN Q Aidam Basin

Bao Xinkui Zuo Kecheng

(Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

In Qaidam Basin, Qinghai Province, spring wheat has often been getting high yields (over 1300 *jin/mu*) for several years, and its yield was even up to 2026.1 *jin/mu* in 1978. We had worked on the mineral nutrition and the relationship between mineral nutrients and its yields. The results obtained in field and laboratory are as follows:

1. The concentrations of total nitrogen, phosphorus and potassium in various organs of high-yielding spring wheat (1300—2000 *jin/mu*) are all higher than those of spring wheat with lower yields. In comparison with the wheat similar yields in other regions of our country or some foreign countries, in the wax-ripe stage, the concentration of nitrogen in grains is lower, phosphorus similar, while potassium is higher.

2. High-yielding spring wheat generally accumulated nitrogen, phosphorus and potassium in a ratio of 6.57:1:7.21, but the ratio varies with different yields. We found that their relationship may be shown by following regression equations:

$$\begin{aligned} \hat{P} &= 0.960 + 0.131N \dots\dots\dots(1) & r &= 0.6405 \\ \hat{K} &= -0.820 + 1.116N \dots\dots\dots(2) & r &= 0.7266 \\ \hat{K} &= 13.319 + 5.293P \dots\dots\dots(3) & r &= 0.7064 \end{aligned}$$

3. The accumulation of nutrients (*jin/mu*) is positively correlated with yields (*W*, *jin/mu*). Their relationships are as follows:

$$\hat{W} = \frac{N}{0.000260N + 0.018490} \dots\dots\dots(4)$$

$$\hat{W} = 2405.1630e^{-\frac{3.4798}{P}} \dots\dots\dots(5)$$

$$\hat{W} = \frac{K}{0.000233K + 0.023341} \dots\dots\dots(6)$$

4. All of the concentrations of N, P, K and the dry weight of the crop generally increase in the form of "S-curve". The relative accumulation of K in spring wheat with high yield (over 1500 *jin/mu*) does not decrease in the later growing stages, and it is quite different from the wheat with lower yield (1000 *jin/mu*) and the wheat in other regions, for both of the latter usually lower their relative accumulation of K during that time. The accumulative forms of nutrients vary with organs: in nutritive organs, they show as a single-peak curve; in grains, they increase continuously.

5. The accumulative intensity of nutrients in spring wheat is rather high, and the maximum accumulative intensity is up to 531 *g/mu·day* (N), 350 *g/mu·day* (P) and 583 *g/mu·day* respectively.

6. Before flowering, nitrogen is mostly distributed in leaves while phosphate mostly in spikes and potassium mainly in stems. After flowering, nitrogen and phosphorus are transferred and concentrated in grains. The intensity of concentration is negatively correlated with yields. The transfer efficiency varies with various organs and nutrients, and may be shown as follows: leaf $>$ spike \geq stem and leaf sheath; $P \geq N > K$.