

不同肥料分配方式下高产夏玉米 氮、磷、钾吸收、积累与分配的研究

张智猛

郭景伦

(河北农业技术师范学院农学系, 昌黎 066600)

(北京市农科院)

李伯航 戴良香

(河北农业大学)

Studies on The Absorption, Accumulation and partition of Nitrogen, Phosphorous and Potassium under Different Distribution Style of Fertilizer by High Yield Summer-sown Corn

Zhang Zhimeng

(Dept. of Agronomy, Hebei Agrotechnical Teacher College, Changli, 066600)

Guo Jinglun

(Institute of Crop Science, Beijing Academy of Agricultural Sciences)

Li Bohang Dai Liangxiang

(Hebei Agricultural University)

Abstract: This paper dealt with the effect of different distribution style of fertilizer on uptake, accumulation and partition of N, P, K by high yield summer-sown corn, and probed into distribution style of fertilizer. Differences in amounts of N, P, K accumulation between treatments were significant (t to 0.05 level). The amounts of N, P, K accumulation of the treatment which 85 percent fertilizer was applied before 12-leaf (85PFT) were more than that of the one which 65 percent fertilizer was applied before 12-leaf (65PFT), especially before silking. The amounts of nutrient stage uptake and uptake rate of 85PFT were more than those of 65PFT, and affected by distribution style of fertilizer. It was suggested that the method of fertilizer application should adopt 85PFT style.

Key Words: Summer-sown corn; Distribution style of fertilizer; Nutrient uptake.

摘要 本文设置不同肥料分配方式处理,研究了高产夏玉米氮、磷、钾吸收、积累和分配的变化情况,对肥料分配方式进行了探讨。在氮、磷、钾累积吸收量上,不同处理间存在显著差异($t=0.05$),前重高于前轻,主要表现在吐丝期以前,氮、磷、钾的阶段吸收量和吸收强度,前重高于前轻,但各阶段吸收养分的相对比例和变化动态基本不受肥料分配方式的影响。本研究认为,夏玉米每公顷11250公斤产量以上水平,施肥宜采用前重方式。

关键词 夏玉米 施肥 肥料分配 养分吸收

一定数量的肥料,如何做到既经济,又能对产量发挥最大的效果,乃是玉米再高产合理施肥中亟需解决的问题之一。养分阶段吸

收量是确定施肥时期与肥料比重的理论依据,受诸多因素的影响。多年来,国外以春玉米为对象,曾做了一次施肥及等量肥料多次

施用试验^[7,11,12,14],认为春玉米施肥应早期重施^[10]。夏玉米的养分吸收特性有别于春玉米,国内学者提出过几种施肥分配原则,但多在同等条件下,观点亦不一致。那么,在不同肥料分配方式下,夏玉米养分的吸收积累规律如何变化,正是本文研究的重点,以期为更有效地提高肥料利用率,经济增益提供参考。

1 材料与方法

本试验于 1992 年在河北农业大学标本园进行,土壤为潮褐土,基础肥力为有机质 1.59%、全氮 0.157%、全磷 0.217%、全钾 2.2%、速效氮 $75.2\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、速效磷 $44.3\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、速效钾 $142.0\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。供试玉米品种为掖单 51,6 月 11 日播种,9 月 27 日收获,密度为 75000 株/公顷,行距 0.6m,株距 0.222m。

试验处理设置前重型和前轻型两种施肥方式,以大喇叭口期以前追施 85%的肥料方式定为前重型(肥料分配为:拔节期占 35%,大喇叭口期占 50%,抽雄吐丝期占 15%);施 65%的肥料方式为前轻型(肥料分配为:拔节期占 15%,大喇叭口期占 50%,抽雄吐丝期占 35%)。施肥量均为每公顷施 N480kg、 P_2O_5 240kg、 K_2O 240kg,田间设计采用大区取样,面积为 184m²,小区计产,面积 24m²,重复 3 次,随机区组排列。

采样分 8 个时期进行,分别为三展叶、拔

节期、大喇叭口期、吐丝期、吐丝后 15 天、吐丝后 30 天、吐丝后 45 天和完熟期。三展叶期取样 30 株,拔节期采集 10 株,以后各时期分别取样 5 株。将植株按器官分成叶片、叶鞘、茎秆、雄穗、花丝、苞叶、穗轴、穗柄和籽粒,各样品在 105℃下杀青 20 分钟,再于 65℃下烘干、称重、粉碎,待分析用。

样品分析采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{—H}_2\text{O}_2$ 消煮,测定其 N、P、K 含量。全氮的测定用比色法、钒钼黄比色法测全磷、火焰光度法测全钾。

2 结果与分析

2.1 对养分累进吸收量和吸收强度的影响

植株体内 N、P、K 的累进吸收量见表 1。从表 1 可以看出,植株体内 N、P、K 累进吸收的趋势基本不受肥料分配方式的影响,即 N 和 P 的累积自开始至成熟一直在增加,完熟期 N、P 的累进吸收量最大。而 K 的累进吸收量在吐丝后 30 天最大,之后便出现损失。各时期 N、P、K 的积累量前重高于前轻。完熟期 N、P、K 的累积量前重分别为:230.31、104.21 和 204.66kg·ha⁻¹,前轻分别为:206.18、90.75 和 179.82kg·ha⁻¹,前者比后者分别高出 10.48%、12.91%、12.14%。两处理施肥量相同,由于各时期分配比重不同,造成养分积累上差异,由此表明,前重用肥更经济一些。

表 1 肥料分配方式处理玉米植株 N、P、K 的累进吸收比较

处理	生育期	N			P			K		
		累进吸收量 (公斤/公顷)	累进百分 率(%)	吸收强度 (公斤/公顷·日)	累进吸收量 (公斤/公顷)	累进百分 率(%)	吸收强度 (公斤/公顷·日)	累进吸收量 (公斤/公顷)	累进百分 率(%)	吸收强度 (公斤/公顷·日)
前重	三 展 叶	2.250	0.977	0.280	0.465	0.446	0.056	2.310	1.086	0.287
	拔 节 期	18.250	7.910	1.451	4.125	3.959	0.334	20.821	9.788	1.683
	大喇叭口期	104.060	45.180	4.292	31.290	30.027	1.358	173.100	81.412	7.617
	吐 丝 期	137.510	59.700	3.041	38.535	36.980	0.658	184.080	86.538	0.992
	吐丝后 15 天	210.300	91.320	4.856	54.930	52.713	1.094	196.980	92.603	0.860
	吐丝后 30 天	220.050	96.410	0.781	92.310	88.585	2.492	212.100	99.711	1.010
	吐丝后 45 天	228.830	99.360	0.452	99.540	95.523	0.483	212.715	100.000	0.041
	完 熟 期	230.310	100.000	0.212	104.205	100.000	0.665	204.660	96.213	-1.150
前轻	三 展 叶	2.250	1.090	0.280	0.465	0.510	0.056	2.310	1.149	0.287
	拔 节 期	13.725	6.660	1.044	3.780	4.170	0.302	18.105	9.010	1.437
	大喇叭口期	90.375	43.830	3.833	28.905	31.850	1.257	135.105	67.210	5.850
	吐 丝 期	119.550	57.980	2.652	34.560	38.080	0.514	164.250	81.700	2.650
	吐丝后 15 天	189.000	91.670	4.630	51.915	57.210	1.157	170.115	84.622	0.391
	吐丝后 30 天	203.250	98.580	0.950	83.055	91.520	2.076	201.030	100.000	2.075
	吐丝后 45 天	206.175	100.000	0.195	85.050	93.721	0.133	186.840	92.940	-0.946
	完 熟 期	206.175	100.000	0.000	90.750	100.000	0.814	179.820	89.450	-1.002

就吸收强度而言,肥料分配方式对 N、P、K 的影响较大。N 吸收强度两处理间有差异,主要表现在吐丝期以前,吐丝期过后这种差异逐渐变小趋于一致。吐丝期前 N 的吸收强度前重为 $2.75\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,前轻为 $2.39\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,二者相差为 $0.35\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,而吐丝期至完熟期二者相差仅为 $0.119\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。P 的吸收与 N 不同,吐丝前,前重与前轻平均相差 $0.080\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,吐丝期至完熟期平均相差 $0.182\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。K 的吸收与 N 相似,二处理吸收强度吐丝期以前,前重与前轻平均相差 $0.389\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,吐丝期至完熟期相差 0.0963

$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,这与吐丝期后二者施肥量相等有关。

2.2 对养分阶段吸收量的影响

肥料分配方式影响三要素在各阶段的吸收数量(见表 2),基本上是前重高于前轻。而 N、P、在各阶段吸收的相对比例两处理表现较为一致,K 吸收的相对比例差异较大。但各阶段三要素的吸收有一共同特点,前期(三展叶至大喇叭口期)前轻的吸收量较小,后期(吐丝期后 30 天之后)前轻吸收量下降的速度较前重更快,这与前期营养器官贮存的养分多少有关。

表 2 不同施肥方式处理玉米植株养分阶段吸收量的比较

养分	处 理	出苗~ 三展叶	三展叶~ 拔节期	拔节期~ 大喇叭口期	大喇叭口期 ~吐丝期	吐丝期~ 吐丝后15天	吐丝后15天~ 吐丝后30天	吐丝后30天~ 吐丝后45天	吐丝后45天 ~完熟期
N	前重(公斤/公顷)	2.250	15.960	85.845	33.450	72.825	11.715	6.780	1.485
	占总量%	0.980	6.930	37.270	14.520	31.620	5.090	2.940	0.64
	前轻(公斤/公顷)	2.250	11.475	76.650	29.175	69.450	14.250	2.925	0.000
	占总量%	1.090	5.570	37.180	14.150	33.680	6.910	1.420	0.000
P	前重(公斤/公顷)	0.465	3.660	27.165	7.395	16.395	37.365	7.230	4.665
	占总量%	0.450	3.510	26.070	6.950	15.730	35.870	6.940	4.48
	前轻(公斤/公顷)	0.465	3.315	25.125	5.655	17.355	31.140	1.995	5.700
	占总量%	0.510	3.650	27.690	6.230	19.120	34.310	2.200	6.280
K	前重(公斤/公顷)	2.310	18.510	152.355	10.905	12.900	15.120	0.615	-8.055
	占总量%	1.090	8.700	71.620	5.130	6.060	7.110	0.289	-3.790
	前轻(公斤/公顷)	2.310	15.795	117.000	29.145	5.865	30.915	-14.190	-21.210
	占总量%	1.150	7.860	58.200	14.500	2.920	15.380	-7.060	-10.550

N 在拔节期至大喇叭口期和吐丝期至吐丝后 15 天两阶段吸收最多,占总积累量的比例两处理平均分别为 37.23%和 32.65%,两阶段总吸收量所占比率为 69.88%,超过 2/3。从吐丝 30 天以后,前重尚吸收 N $8.265\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$,前轻仅为 $2.925\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$,前者比后者多吸收 $5.340\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$,在拔节期至大喇叭口期前重比前轻多吸收 $9.195\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 。P 在拔节期至大喇叭口期和吐丝后 15 天至 30 天两阶段吸收量最多,所占比率两处

理平均分别为 27.20%和 35.09%,两阶段吸收总量所占比率平均为 62.29%,接近 2/3,两处理相差最大的阶段是吐丝后 15 天至 30 天,前重比前轻多吸收 $4.20\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$,吐丝后 30 天至完熟期,前重比前轻多吸收 $4.20\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 。钾吸收最多的阶段是在拔节期至大喇叭口期,前重吸收量为 $152.355\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$,所占比例为 71.62%,前轻吸收量为 $117.00\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$,所占比例为 58.20%,前重比前轻多吸收 30.22%,至吐丝期三要素平

均吸收分别为 58.85%、37.53%、84.13%，亦即已吸收了大部分养分，由此表明，肥料分配采取前重方式符合夏玉米的需肥特点。

2.3 N、P、K 在各器中积累吸收的变化状况

肥料分配方式基本不影响各器官 N、P、K 吸收变化趋势(见图 1)，而在吸收数量的消长方面存在差异。

前重：A—叶片、B—叶鞘、C—茎秆、D—雄穗、E—雌穗(除籽粒)、F—籽粒

前轻：A₁—叶片、B₁—叶鞘、C₁—茎秆、D₁—雄穗、E₁—雌穗(除籽粒)、F₁—籽粒

图 1 肥料分配方式处理地上部各器官中 N、P、K 的积累变化

叶片中 N、P、K 至吐丝期吸收积累数量两处理相差不明显，之后则差异逐渐加大，N、K 在吐丝后 15 天两处理吸收均达高峰，P 均在吐丝后 30 天出现高峰。前重与前轻三要素峰值相差分别为 15.30、16.80、7.05 kg · ha⁻¹，之后，前轻叶片 N、P、K 下降更为迅速。这可能与叶片生长有关，叶片定型较早，前期施肥少，不利于叶片的扩大生长和贮存更多的养分，后期因养分转移，造成下降更为迅速。反之，增加前期施肥量既有利于其生长和贮存更多的养分，后期还可保持较高的养分水平，延长寿命，提高光合生产。

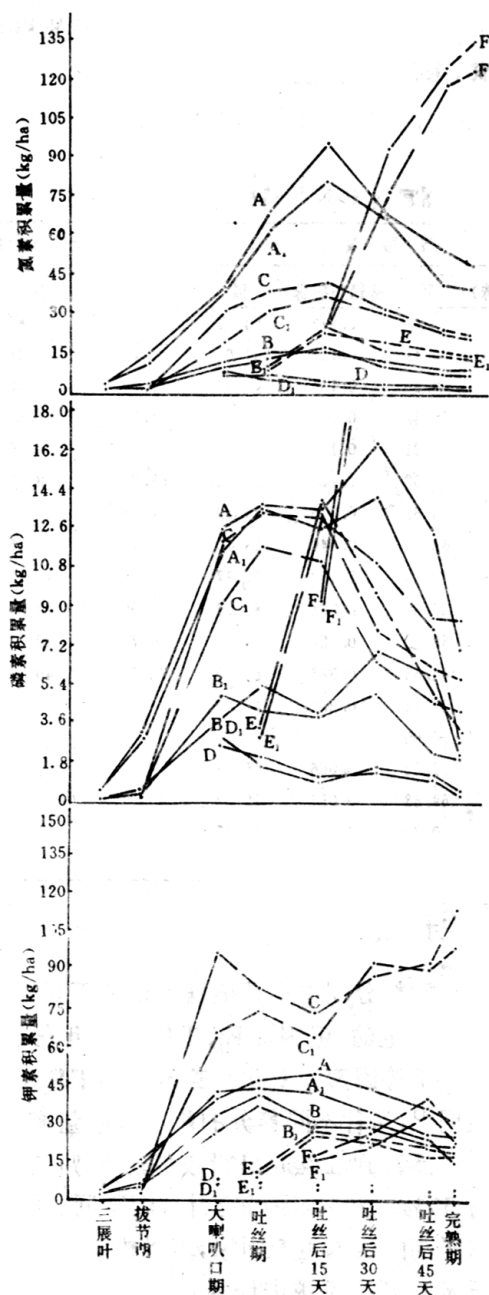
茎秆中三要素的吸收积累与叶片不同，吐丝后 15 天以前两处理有较大差异。之后，N、K 积累数量趋于一致，P 则至完熟期均相差较大。茎秆中 N 在吐丝后 15 天达到高峰，P 的吸收高峰均出现在吐丝期，而 K 的吸收高峰两处理出现的时间不一致，前重在大喇叭口期，前轻在吐丝期。前重与前轻三要素吸收峰值相差分别为 5.25、1.875、21.75 kg · ha⁻¹。两处理 N、K 吸收相差最大的时期在大喇叭口期，相差 11.85、7.80 kg · ha⁻¹，P 吸收相差最大时期在吐丝后 30 天，相差 4.50 kg · ha⁻¹。

叶鞘中 N、K 吸收的消长两处理无明显的差异，趋势与茎秆一致，只有 P 的吸收变化较大，第一高峰出现的时间前重为吐丝期，前轻在大喇叭口期。

雌穗(除籽粒外)、雄穗 N、P、K 的吸收消长趋势和数量两处理表现一致。籽粒中的氮素两处理相差较大，相差 11.925 kg · ha⁻¹，P、K 较为相似。

2.4 对各器中养分转移的影响

前重、前轻两处理全株 N、K 转移率是前



重低于前轻(见表3)。前重分别为46.62%、17.83%，前轻分别为50.58%、21.56%，P的转移率是前重高于前轻，分别为64.53%、60.60%。但N、P、K转移的数量是前重高于前轻。

各器官氮对籽粒贡献率表明，叶片、茎秆、雌穗(除籽粒外，下同)均是前重稍高于前轻，前重分别为35.25%、14.99%、9.81%，前轻分别为34.85%、12.00%、8.36%。而叶鞘则是前轻高于前重，分别为8.36%和4.46%，总的贡献率前重为68.71%，前轻为

68.18%，两处理近似，肥料分配方式对全株养分的贡献率影响不大。

各器官磷的贡献率两处理较为相近，叶片前重为7.77%、前轻为7.82%，叶鞘分别为5.74%、4.15%，茎秆分别为12.65%、11.82%，雄穗分别为2.90%、3.55%，只有雌穗的贡献率前轻高于前重，分别为12.93%、40.27%。

由于钾的损失或淋溶及器官间的相互转移，未计算其贡献率。

表3 不同施肥方式处理不同器官N、P、K的转移态势

养分	器官	最大含量(克/株)		收获期含量(克/株)		转 移 量				占完熟期籽粒元素总含量%	
		前重	前轻	前重	前轻	前重(克/株)	%	前轻(克/株)	%	前重	前轻
N	叶 片	1.296	1.093	0.859	0.518	0.637	49.19	0.575	52.61	35.25	34.85
	叶 鞘	0.210	0.224	0.129	0.086	0.081	38.42	0.138	61.61	4.46	8.36
	茎 秆	0.561	0.491	0.290	0.293	0.271	48.30	0.198	40.33	14.99	12.00
	雄 穗	0.097	0.095	0.021	0.019	0.076	78.41	0.076	80.00	4.22	4.61
	雌穗(除籽粒)	0.340	0.321	0.163	0.183	0.177	52.21	0.138	42.99	9.81	8.36
	总 计	2.504	2.224	1.262	1.099	1.243	49.62	1.125	50.58	68.71	68.18
P	叶 片	0.184	0.188	0.095	0.113	0.089	48.37	0.075	34.89	7.77	7.82
	叶 鞘	0.095	0.069	0.030	0.029	0.066	68.94	0.040	58.10	5.74	4.15
	茎 秆	0.183	0.158	0.038	0.045	0.145	79.13	0.113	71.77	12.65	11.82
	雄 穗	0.038	0.041	0.005	0.007	0.033	87.60	0.034	83.06	2.90	3.55
	雌穗(除籽粒)	0.188	0.182	0.077	0.058	0.115	59.15	0.124	68.24	9.71	12.93
	总 计	0.688	0.637	0.245	0.252	0.444	64.53	0.386	60.60	38.78	40.27
K	叶 片	0.654	0.560	0.398	0.309	0.256	39.14	0.251	44.82		
	叶 鞘	0.545	0.480	0.218	0.239	0.327	60.00	0.241	50.21		
	茎 秆	1.280	1.240	1.502	1.306	-0.222	-17.34	-0.066	-5.32		
	雄 穗	0.072	0.072	0.022	0.018	0.050	69.68	0.054	75.32		
	雌穗(除籽粒)	0.354	0.325	0.247	0.227	0.107	30.23	0.098	30.15		
	总 计	2.905	2.676	2.387	2.099	0.518	17.83	0.577	21.56		

2.5 对植株体内养分百分含量的影响

图2表明，不同时期施肥量的差异植株各器官的N、P、K浓度变化能及时地显示出来，前轻在吐丝期的施肥量高于前重，植株中器官的N、P、K浓度在灌浆初期还是表现前轻高于前重，之后N、P、K的浓度趋于一致。总的来看，植株体内三要素的百分含量吐丝期以前是前重高于前轻，之后尤其是灌浆后期，两处理则渐趋一致，表明肥料分配方式对植株体内的养分浓度是有影响的。

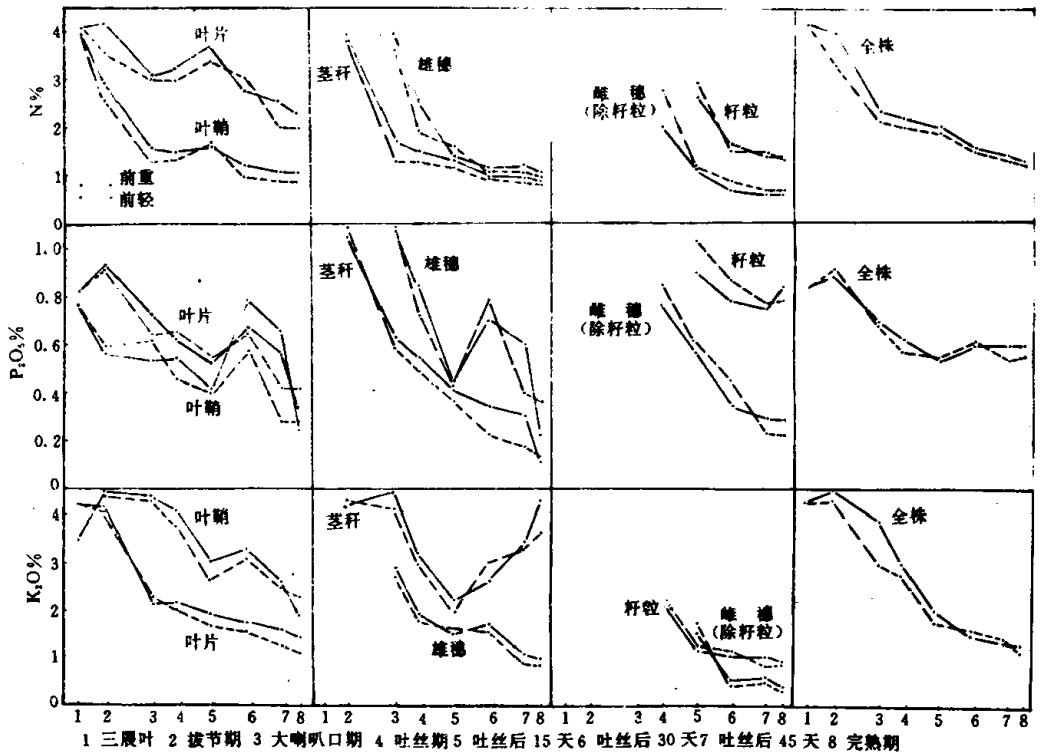
3 讨 论

肥料分配方式是根据玉米的不同阶段吸收量确定的，但因品种、不同水文年份、机械化水平等因素而变化。美国土壤肥料所材料表明^[1]，品种不同养分的阶段吸收量有差异，有的品种到吐丝时已吸收氮达90%，有的只有50%~70%，因而肥料分配不同。机械化水平高的玉米生产国家，多以机械施肥为主，玉米长高后机械进地困难，所以施肥都偏早而采用前重方式。不同水文年或温度高低不

同肥料分配也异。据报道⁽⁵⁾,春玉米秋季施无机氮肥的效果与当时的降雨多少有密切关系,当年12月至下年3月降雨量125mm,秋季施氮的效果相当于春季施氮的75%,若降雨量为250mm,其效果相当于春季施氮的50%,因此肥料分配据此应做相应调整。

国内许多学者对肥料分配亦做了不少工作,付应春(1982)⁽²⁾以京早7号为对象,曾提出“酌施种肥,早施和重施拔节肥”的施肥原则;范贻山等(1983)^(3,4)研究的品种为鲁原单4号则认为,“轻施拔节肥,重施大喇叭口肥。

补施粒肥”较好;李澄海(1990)在 $13500\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 以上水平时的肥料分配方式是种肥+拔节肥的施肥量占45%,大喇叭口肥占42%,粒肥占13%。karlen(1987)^(8,9)和Rhoads(1981)⁽¹³⁾研究春玉米亦指出,氮肥应在前期(大喇叭口期以前)占有较大的比重或全部施入,这些学者在肥料分配方式上的观点虽然有出入,但是在其供试品种、产量水平和年份条件下提出的,反映了客观事实,作者认为均是正确的。



1. 三展叶 2. 拔节期 3. 大喇叭口期 4. 吐丝期 5. 吐丝后15天 6. 吐丝后30天 7. 吐丝后45天 8. 完熟期

图2 肥料分配方式处理植株各时期各器官N、P、K百分含量

本试验品种为掖单51,在1992年干旱年份的研究结果表明:玉米需肥的最多时期,N、P是在拔节期至大喇叭口期和吐丝期至吐丝后15天,两阶段的吸收量占总吸收量各为1/3,而钾的最大吸收时期是拔节期至大喇叭口期,占总吸收量的比例近3/4,到吐丝期,三要素累积吸收,氮接近3/5,磷近2/5,钾超过4/5,说明玉米养分的大部分数量是

在营养生长期吸收的。将大部分的肥料投放到植株吸收养分的最多时期,有利于营养器官即源的扩大和贮存更多的养分为籽粒利用,提高产量。本试验的籽粒产量前重处理为 $11613.06\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$,前轻处理为 $10543.95\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$,前者比后者产量提高9.21%,用肥较为经济。

因此,在目前高产夏玉米生 (下转封四)

(上接第 55 页)

产中,欲达到每公顷 11250kg 产量以上水平,肥料分配方式应采用前重方式,即 85% 左右的肥料量投入到大喇叭期以前,15% 左右的肥料量作为后期的粒肥补施。

参 考 文 献

- [1]陈国平,美国玉米生产及考察后的反思,《作物杂志》,1992,(2):1-5
- [2]付应春等,夏玉米需肥规律的研究,《作物学报》,1982,8(1):1-8
- [3]范贻山,高产夏玉米需肥规律的研究,《山东农业科学》,1983,(3):1-5
- [4]胡昌浩,夏玉米同化产物积累与养分吸收分配规律的研究,Ⅰ. 氮、磷、钾的吸收、分配与转移规律,《中国农业科学》,1982,(2):38-48
- [5]李伯航,黄淮海玉米高产理论与技术,学术出版社,1990,232-237
- [6]王忠孝,夏玉米高产规律的研究,Ⅰ. 氮、磷、钾养分的积累与分配,《山东农业科学》,1988,(4):10-14
- [7]Jung, P. E., Responses of irrigated corn to time, rate, and source of applied N on sandy soil,《Agron. J.》,

1972,64:668-670

- [8]Karlen, D. L., et al., Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk Loamy sand,《Agron. J.》,1987,79:649-656
- [9]Karlen, D. L., et al., Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn,《Agron. J.》,1988,80:232-242
- [10]Arnon, I., Nutrition of Maize, International Potash Institute, 1976
- [11]Pumphrey, F. V., et al., Nitrogen fertilizer for corn production on an irrigated chestnut soil,《Agron. J.》,1956,48:207-212
- [12]Russelle, M. P., Nitrogen accumulation rates of irrigated Maize,《Agron. J.》,1983,75:593-598
- [13]Rhoads, F. M., Fertilizer scheduling yield and nutrient uptake of irrigated corn,《Agron. J.》,1981,73:971-974
- [14]Terman, G. L., et al., Nutrient concentration changes in corn as affected by dry matter accumulation With age and response to applied nutrients,《Agron. J.》,1973,65:941-945