

黄淮海平原玉米矿质营养 综合诊断指标及决定因素

张 军 王庆成 牛玉贞 王忠孝 徐庆章

(山东省农业科学院玉米研究所, 济南 250100)

摘要 利用黄淮海平原玉米栽培试验结果, 按三个产量段分别建立了玉米叶片中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu 九种矿质营养元素的综合诊断指标, 并应用 DRIS 技术进一步研究了土壤肥力、品种类型和施肥措施对这些指标的决定作用。

关键词 玉米 矿质元素 营养诊断

传统的作物营养诊断, 大多数利用组织分析法得到的原始含量确定临界水平, Tyn-er (1946) 曾提出玉米吐丝期基部第六叶的 N、P、K 临界值分别为 2.9%、0.295% 和 1.3%。营养元素在植株各器官中分布不均, 其含量以干物质为基数时, 则随生育进程出现“稀释效应”。因此, 其他研究者分别得到了不同的临界值 (Goodall 等, 1947; Melsted 等, 1969; Gallo 等, 1968; Hanway 等, 1962)。后来发展起来的“平衡指数”、“养分富足范围”、“诊断与推荐施肥综合法”, 注重植物组织中养分的平衡关系以及含量界限, 由此建立起来的矿质营养综合诊断指标, 针对性强, 准确度高。Elwali 和 Gascho (1985) 在收集了世界各地大量数据的基础上, 建立了玉米矿质营养诊断指标, 又在大田试验中验证三年, 分别用传统的临界营养水平法 (CNL) 和 70 年代发展起来的诊断与推荐施肥综合法 (DRIS) 指导灌溉玉米追肥, 比较两者的可靠性, 可发现, 在玉米 10 叶或 12 叶期, 利用顶部新展开叶元素分析结果进行 CNL 或 DRIS 诊断都有效, 特别是在养分过剩的情况下, DRIS 比 CNL 诊断结果更准确, 且不受生育阶段影响。Walworth 等 (1988) 利用美国新泽西州的 116 个极高产量 (超过 18 吨/公顷) 和养分成套数据建立了营养诊断指标, 并与从世界各地收集的 8494 个成套数据建立的营养诊断指标作对比, 经过大田和温

室试验验证, 认为用少量极高产量数据建立作物矿质营养诊断指标是一种有效、准确和廉价的方法。

1989 年, 我们在黄淮海平原夏玉米区四个县 (市) 设置栽培试验, 研究了玉米叶片中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu 等 9 种矿质营养元素含量变化, 确立了该区夏玉米矿质营养综合诊断指标及其决定因素。

1 材料与方法

选用四个玉米杂交种, 于麦收后直播, 平展型沈单 7 号每公顷种植 60 000 株, 紧凑型掖单 4 号和掖单 12 每公顷种植 75 000 株, 紧凑型掖单 13 每公顷种植 81 300 株。

尿素、过磷酸钙、硫酸钾、硫酸锌四种化肥各包括三个用量水平。在桓台、商河、聊城、莱州试验点设置 71 个试验小区。播种玉米以前, 在试验区内取 0~20cm 土层 10 点混合土样, 用重铬酸钾容量法测定土壤有机质, 康惠法测定速效 N, 钼锑抗法测定速效 P, 原子吸收法测定速效 K、速效 Zn, 结果如表 1。

表 1 试验区土壤基础肥力状况

地 点	有机质	N	P	K	Zn
(土壤类型)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
聊城(潮土)	1.68	151.4	44.2	88.5	1.38
商河(潮土)	1.73	101.1	22.8	270.8	1.12
桓台(潮褐土)	1.68	133.9	20.0	89.9	1.21
莱州(河潮土)	1.07	94.5	52.8	67.2	2.27

六行小区面积为20m²,行长5m。播种时按表2中所列肥量一次施入过磷酸钙、硫酸钾和硫酸锌。在播种、拔节、大喇叭口和吐丝期分别施入尿素总量的10%、30%、50%和10%。其它管理措施同大田生产。在10展叶期取顶部展开叶,每小区20片,用湿砂布擦去表面尘土,放在105℃烘箱中杀青半小时,以后在70℃下烘干称重,分离弃掉主脉,用不锈钢粉碎机磨细干叶片样品,过0.5mm筛,经H₂SO₄-H₂O₂双酸消煮后,用半微量凯氏法测定N,钒钼黄比色法测定P,原子吸收法测定K。高温灰化样品用姜黄素比色法测定B,原子吸收法测定Ca、Mg、Fe、Mn、Zn和Cu。以小区中间4行玉米统计产量,折算成含水量为13.5%的标准风干重。

表3 黄淮海平原玉米矿质营养综合诊断指标

参 数	9t/ha(n=18)			9-11.25t/ha(n=22)			>11.25t/ha(n=31)		
	$\bar{x}$	S	CV	$\bar{x}$	S	CV	$\bar{x}$	S	CV
N/P	12.275	2.876	23.43	10.799	2.386	22.09	9.485	1.813	19.11
N/K	1.821	0.672	36.92	1.983	0.921	46.48	1.533	0.451	29.41
N/Ca	7.295	3.833	52.54	5.949	3.411	57.34	11.339	4.931	43.49
N/Mg	6.415	3.184	49.64	5.031	4.986	99.10	10.121	5.155	50.94
100N/Fe	0.938	0.157	16.74	0.895	0.578	64.59	1.666	0.333	20.01
100N/Mn	8.282	1.834	22.14	7.611	1.658	21.78	8.978	3.317	36.94
100N/Zn	14.876	1.406	9.45	16.034	8.333	51.97	20.426	5.074	24.84
100N/Cu	12.353	2.277	18.43	11.771	3.857	32.77	11.983	1.719	14.35
P/K	0.158	0.064	40.44	0.191	0.088	46.28	0.168	0.061	36.07
P/Ca	0.566	0.232	41.01	0.578	0.387	66.95	1.288	0.716	55.60
P/Mg	0.536	0.247	46.21	0.465	0.441	94.79	1.160	0.707	60.95
100P/Fe	0.081	0.025	30.44	0.088	0.070	79.45	0.185	0.059	31.93
100P/Mn	0.638	0.113	16.40	0.708	0.066	9.38	0.900	0.354	39.35
100P/Zn	1.263	0.256	20.29	1.615	1.060	65.64	2.247	0.726	32.22
100P/Ca	1.062	0.298	28.11	1.121	0.428	38.18	1.327	0.297	22.35
K/Ca	5.027	3.861	76.80	3.708	2.888	77.90	7.988	4.402	55.11
K/Mg	4.437	3.369	75.94	3.510	4.592	130.85	7.217	4.954	68.65
100K/Fe	0.595	0.248	41.63	0.524	0.380	72.43	1.168	0.369	31.61
100K/Mn	5.459	3.093	56.66	4.620	2.588	56.03	6.336	3.063	48.35
100K/Zn	9.449	4.090	43.28	9.380	4.853	51.74	14.289	4.964	34.74
100K/Cu	7.563	2.842	37.57	6.608	2.475	15.13	8.544	2.999	35.10
Ca/Mg	0.916	0.315	34.34	0.709	0.385	54.31	0.851	0.140	16.41
100Ca/Fe	0.150	0.048	31.71	0.152	0.042	27.53	0.162	0.043	26.46
100Ca/Mn	1.305	0.456	34.95	1.610	0.666	41.38	0.965	0.610	63.17
100Ca/Zn	2.410	0.809	33.54	2.985	0.797	26.68	2.095	0.741	35.38
100Ca/Cu	2.084	0.992	47.58	2.421	1.258	51.97	1.230	0.455	25.42
100Mg/Fe	0.176	0.072	41.04	0.266	0.123	46.34	0.192	0.062	32.56
100Mg/Mn	1.602	0.919	57.36	2.889	1.911	22.91	1.201	0.909	75.67
100Mg/Zn	2.921	1.554	53.20	5.453	2.669	48.44	2.463	0.964	39.12
100Mg/Cu	2.581	1.872	72.51	4.635	3.181	68.64	1.465	0.664	45.30
Fe/Mn	8.885	2.924	32.91	11.193	4.536	40.52	5.835	3.078	52.74
Fe/Zn	15.533	4.494	28.89	20.166	4.436	22.00	12.570	2.733	21.74
Fe/Cu	13.793	4.594	33.31	15.711	5.919	37.68	7.429	1.563	21.93
Mn/Zn	1.853	0.310	16.72	2.309	1.536	28.81	2.804	1.655	59.04
Mn/Cu	1.563	0.429	27.41	1.602	0.631	39.40	1.564	0.687	43.93
Zn/Cu	0.838	0.171	20.36	0.780	0.252	32.25	0.605	0.117	19.25

表2 试验小区处理代号及施肥量

处理代号	施 肥 量 (g/20m ²)			
	尿 素	过磷酸钙	硫酸钾	硫酸锌
CK	1500	2250	600	30
+N	3000	2250	600	30
-N	0	2250	600	30
+P	1500	4500	600	30
-P	1500	0	600	30
+K	1500	2250	1200	30
-K	1500	2250	0	30
+Zn	1500	2250	600	60
-Zn	1500	2250	600	0

2 结果与分析

2.1 矿质营养综合诊断指标的确定

将71个试验小区玉米产量划分成三段,即9吨/公顷;9~11.25吨/公顷;>11.25吨/公顷。第10片展开叶中元素化验结果也据此划分成相应的三组,计算36个元素对的含量比值,并统计各组平均数、标准差和变异系数,建立三个产量段矿质营养综合诊断指标(表3)。

2.2 矿质营养综合诊断指标的决定因素

以产量大于 11.25 吨/公顷的高产组元素含量比值(X/Y)为标准,分别与其它处理的相应比值(x/y)比较,按下式计算比值函数 f(x/y)。其中:CV 是变异系数。

当 $x/y > X/Y$ 时, $f(x/y) = 100(\frac{x/y}{X/Y} - 1) \cdot \frac{1}{CV}$

当 $x/y < X/Y$ 时, $f(x/y) = 100(1 - \frac{x/y}{X/Y}) \cdot \frac{1}{CV}$

由此计算 9 种元素的 DRIS 指数:

DRIS 指数 = $[\sum_{i=1}^{n-m} f(x_i/y_i) - \sum_{j=1}^m f(y_j/x_j)]$

$\cdot \frac{1}{n}$

式中:n 是元素 x 与 y 元素含量比值(x/y和 y/x)的总个数;m 是元素 x 为分母的比值(y/x)的个数。

当 DRIS 指数为正、负、零时,分别表示元素 x 过量、缺乏或适量。将 9 种元素 DRIS 指数的绝对值相加,即为养分平衡指数(NBI)。据此判断养分协调状况是确定矿质营养综合诊断指标的决定因素。

2.2.1 品种类型

将 71 个试验小区按品种分成四类,计算各品种的叶片元素平均含量和 DRIS 指数(表 4)。

表 4 不同玉米品种第 10 叶元素含量与 DRIS 指数

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	(%)				(mg/kg)				
沈单 7 号	2.72	0.279	1.58	0.59	0.96	414.2	39.6	21.0	28.8
掖单 4 号	2.60	0.228	1.64	0.42	0.65	252.5	30.4	15.2	20.6
掖单 12 号	2.80	0.339	1.78	0.20	0.25	153.4	45.2	12.1	22.4
掖单 13 号	3.00	0.376	2.40	0.21	0.20	151.6	30.2	19.0	27.5
DRIS 指数									
沈单 7 号	-2.153	-1.701	-2.435	1.664	2.247	3.276	-0.274	0.276	-0.906
掖单 4 号	-0.222	-1.191	-0.457	0.985	1.083	1.334	-0.391	0.048	-1.149
掖单 12 号	0.166	0.490	-0.205	-0.713	-0.407	-0.142	1.013	-0.393	0.131
掖单 13 号	0.102	0.727	0.630	-0.986	-1.764	-0.765	-0.272	1.555	0.773

四个供试品种对 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu 元素的要求次序差异较大,沈单 7 号为 K>N>P>Cu>Mn,而 Fe、Mg、Ca、Zn 相对过剩,养分平衡指数最大(14.93),失调严重,籽粒产量也最低(8.505吨/公顷),可望通过增施三要素化肥并配合喷施 Cu、Mn 肥,进一步协调元素供应比例,提高玉米产量。掖单 4 号对 P 元素较敏感,需求次序为 P>Cu>K>Mn>N,而 Fe、Mg、Ca、Zn 也相对过剩,养分平衡指数为 6.90,籽粒产量平均

为 11.225 吨/公顷,增加 P、Cu 肥供应是进一步提高玉米产量的途径;掖单 12 的养分平衡指数最小为(3.72),籽粒产量为 12.62 吨/公顷,说明各种元素比例适宜,可根据需求次序 Ca>Mg>Zn>K>Fe,适量供给 Ca、Mg、Zn 和 K 肥;掖单 13 对 Ca、Mg 元素需求比较强烈,养分平衡指数为 7.57,但限制元素最少,N、P、K、Zn、Cu 供应充足,因而籽粒产量最高(16.625 吨/公顷),约为沈单 7 号的 2 倍。

应该指出,上述结果除反映品种基因型

的差异以外,也在很大程度上受土壤肥力因素制约,多点多品种试验掺杂了这些综合作用。

2.2.2 土壤条件

土壤肥力是决定玉米生产潜力的重要因素之一。四个试验点的 DRIS 指数表明了玉米对 9 种元素的不同需求次序。桓台(潮褐土)、商河(潮土)土壤速效 P 含量低(20~22.8mg/kg),玉米叶片 P 的 DRIS 指数为负值,植株对 P 的需求较强烈;聊城(潮土)土壤供 K 不足(88.5mg/kg),玉米叶片含 K 量为 1.58%,诊断结果也证实了严重缺 K 问题。此外,桓台、商河、聊城玉米叶片元素 DRIS 指数均预示潜在缺乏 Mn 和 Cu 元素,三试验点养分平衡指数分别为 8.194、8.704 和 27.099,而莱州试验点养分平衡指数仅为 2.765,因此后者产量最高(表 5)。

表 5 不同土壤类型玉米叶片元素 DRIS 指数

地 点	桓 台	商 河	聊 城	莱 州
	元 素 含 量 %			
N	2.73	1.97	2.74	2.87
P	0.252	0.132	0.258	0.338
K	1.67	1.78	1.58	1.91
Ca	0.45	0.20	0.74	0.23
Mg	0.52	0.20	1.50	0.26
	mg/kg			
Fe	248.6	196.0	492.6	155.4
Mn	31.6	18.4	36.9	43.1
Zn	17.8	12.3	22.2	12.7
Cu	23.9	17.4	26.6	23.0
	DRIS 指数			
N	-0.722	-0.236	-2.962	0.176
P	-1.396	-2.659	-3.211	0.440
K	-0.944	0.526	-4.163	-0.147
Ca	1.271	0.306	2.408	-0.168
Mg	1.051	-0.845	5.831	-0.417
Fe	1.107	2.550	4.856	-0.266
Mn	-0.485	-0.615	-0.699	0.694
Zn	0.668	0.952	0.454	-0.384
Cu	-0.550	-0.015	-2.515	0.073

2.2.3 施肥效应

由表 6 看出,施用 N 肥能提高叶片中 N、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn 的含量,并相应提高了这 6 种元素的 DRIS 指数,但 P、K、Cu 含量及其 DRIS 指数随之降低,因此施 N 并没改变 $P > Cu > K > N > Mn$ 的需求次序,反而加剧了缺乏 P、K、Cu 的矛盾。与无 N 对照相比,每小区施尿素 3kg 时,N/P、N/K、N/Cu 的比值平均提高 6.7%。

施用 P 肥提高了叶片中 P、Ca、Fe、Mn 元素含量及其 DRIS 指数,而 K、Cu 的 DRIS 指数随之降低。因此,每小区施过磷酸钙 4.5 kg 的处理,植株对元素的需求次序由无 P 区的 $P > N > K > Cu > Mn$,变为 $K > Cu > P > N > Mn$ 。

施用 K 肥明显缓解了缺 K 矛盾,每小区施硫酸钾 1.2kg 的处理,叶片中 K 与其它 8 种元素的含量比值平均提高 79.2%,其中 K/Ca 比值提高 60.4%。据报道,植株中 K 影响 Ca 的吸收和运输,K/Ca 比值对此过程的影响更明显。施 K 降低了叶片中 N、P、Ca、Fe、Mn 含量,并减少了 Cu 的 DRIS 指数,需求次序由无 K 区的 $K > Cu > P > N$,变为 $Cu > P > N > Mn$ 。

施用 Zn 肥,提高了叶片中 K、Mg 含量以及 N、K、Mg、Fe、Mn、Zn 的 DRIS 指数,降低了 P、Ca、Cu 的 DRIS 指数。因此,除缺 K 矛盾有所缓解、缺 P 矛盾加剧以外,其它元素的需求次序无变化,即 $Cu > P > K > N > Zn$ 。

从各种施肥处理的养分平衡指数变化,可以得到以下结论:在本试验条件下,K 肥对调整叶片中 9 种养分的平衡关系起着重要作用,比无 K 处理的籽粒产量提高 8.7%。每小区施 3kg 尿素,加剧了 9 种养分的失调程度,籽粒产量低于无 N 处理。

表 6 氮、磷、钾、锌肥对玉米叶片中矿质营养元素含量比值的影响

处 理	CK	+N	-N	+P	-P	+K	-K	+Zn	-Zn
N/P	11.267	11.719	10.600	10.086	11.099	11.205	11.639	10.860	9.904
N/K	1.672	1.771	1.679	1.703	1.593	1.338	2.422	1.950	1.714
N/Ca	8.276	7.070	7.568	7.246	7.783	7.548	7.801	8.328	6.734
N/Mg	7.251	6.579	6.861	7.281	5.957	6.016	5.835	6.475	6.265
100N/Fe	1.165	1.092	1.116	1.140	1.160	1.154	1.160	1.199	1.214
100N/Mn	8.233	8.179	8.319	8.151	9.331	8.219	7.667	7.625	7.597
100N/Zn	19.336	17.509	17.396	17.093	16.857	17.341	20.270	18.471	18.901
100N/Cu	10.912	11.854	11.382	11.719	10.869	12.222	13.171	13.760	12.733
P/K	0.157	0.157	0.164	0.174	0.152	0.125	0.225	0.179	0.186
P/Ca	0.813	0.646	0.760	0.734	0.681	0.721	0.705	0.773	0.715
P/Mg	0.686	0.582	0.654	0.605	0.576	0.589	0.567	0.606	0.648
100P/Fe	0.114	0.093	0.113	0.117	0.113	0.111	0.113	0.117	0.128
100P/Mn	0.726	0.691	0.783	0.745	0.865	0.723	0.687	0.700	0.638
100P/Zn	1.890	1.622	1.759	1.825	1.637	1.647	1.990	1.792	2.006
100P/Cu	1.018	1.070	1.109	1.173	1.140	1.127	1.238	1.276	1.314
K/Ca	5.443	4.708	5.394	3.198	5.589	6.528	4.070	5.980	4.272
K/Mg	5.023	4.553	5.139	5.246	4.379	5.338	2.774	4.653	4.107
100K/Fe	0.748	0.706	0.760	0.723	0.821	0.991	0.503	0.834	0.769
100K/Mn	5.287	5.450	5.645	5.200	6.700	6.845	3.940	5.004	5.005
100K/Zn	12.166	10.908	11.735	9.513	11.660	14.607	8.988	12.909	11.758
100K/Cu	6.797	7.469	7.382	7.192	7.087	10.799	5.864	8.725	7.849
Ca/Mg	0.815	0.874	0.825	0.891	0.717	0.721	0.805	0.766	0.926
100Ca/Fe	0.145	0.154	0.157	0.160	0.154	0.151	0.164	0.163	0.180
100Ca/Mn	1.209	1.380	1.373	1.375	1.348	1.263	1.311	1.243	1.418
100Ca/Zn	2.410	2.683	2.505	2.674	2.387	2.440	2.898	2.688	2.935
100Ca/Cu	1.571	2.014	1.846	2.012	1.695	1.876	2.158	2.166	2.160
100Mg/Fe	0.209	0.202	0.222	0.220	0.246	0.234	0.209	0.220	0.218
100Mg/Mn	1.923	2.034	2.192	2.198	2.270	1.761	1.775	1.776	1.792
100Mg/Zn	3.625	3.742	3.711	4.012	4.051	4.167	3.734	3.659	3.617
100Mg/Cu	2.530	3.065	2.910	3.249	3.027	3.452	2.898	3.132	2.508
Fe/Mn	8.521	9.266	9.094	9.066	8.863	8.805	9.089	7.877	8.011
Fe/Zn	17.005	17.407	16.436	17.065	15.428	16.793	16.740	16.959	14.762
Fe/Cu	10.773	12.919	11.513	12.626	10.810	12.984	13.491	13.852	11.846
Mn/Zn	2.613	2.536	2.359	2.516	2.049	2.380	2.885	2.745	2.787
Mn/Cu	1.427	1.635	1.473	1.564	1.356	1.611	1.849	1.912	1.789
Zn/Cu	0.645	0.734	0.702	0.708	0.680	0.743	0.726	0.810	0.718

3 讨 论

应用 DRIS 指数判别矿质营养元素需求次序,不受作物生育阶段限制,能在早期获得诊断结果并及时矫正营养失调问题,效果较佳。但是,DRIS 指数与施肥量并没有直接关系,它必须借助于土壤分析结果,临界营养水平或其他诊断措施,综合考虑,做出合理决策。

建立一套适应面广、准确度高的矿质营

养综合诊断指标,需要包含各种地理、气候和人为因素。在特定区域获得的玉米矿质营养综合诊断指标,受土壤肥力,环境条件及栽培措施的制约,用于指导大范围玉米施肥实践时,还需要不断充实数据库,逐步加以完善。

参 考 文 献

- [1] Beaufils E. R., 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System(DRIS): A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. (下转第 68 页)

(上接第 61 页)

Soil Science Bulletin. No. 1, University of Natal, Pietermaritzburg. South Africa.

[2] Sumner M. E. , 1977. Application of Beaufils' diagnostic indices to maize data published in the literature irrespective of age and conditions. Plant and Soil. 46:359—369

[3] Elwali A. M. O. and Gascho G. J. , 1988. Supplemental fertilization of irrigated corn guided by foliar critical nutrient levels and diagnosis and recommendation integrated system norms. Agronomy Journal. 80:243—249

[4] Walworth J. L. , 1988. Generation of corn tissue norms from a small, high—yielded data base. Communication

in Soil Science and Plant Analysis. 19:563—577

[5] Claassen M. E. and Wilcox G. E. , 1974. Comparative reduction of calcium and magnesium composition of corn tissue by $\text{NH}_4\text{—N}$ and K fertilization. Agronomy Journal. 66:521—522

[6] 张军等, 高产玉米叶片中营养元素相关性及施肥效应, 《土壤·资源·生态·环境》, 青岛海洋大学出版社, 1992 年, 245—252 页。

[7] 王庆成等, 高产夏玉米养分吸收分配规律的研究, 《土壤肥料》, 1993 年, 第 3 期, 23—27 页。

[8] 直春水野, 生长在缺铜土壤上的小麦植株内碳水化合物和可溶性固形物的组成、水分及其形态变化(张军译), [日]土壤学与植物营养, 1983 年, 第 29 卷, 第 1 期。