

# 小麦和玉米中后期大量元素叶面施用的生物效应\*

徐国华 沈其荣 郑文娟 唐胜华 史瑞和

(南京农业大学资环学院农业部作物生长与调控开放实验室, 南京 210095)

**摘要** 采用盆栽和田间小区试验研究了小麦和玉米叶面 10g/L 尿素、10g/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  和 5.4g/L KCl 及其配合施用的一些生理效应。叶面施用尿素, 尤其是 N、P 和 K 的配合施用可显著延缓两种作物在拔节后其根系活力的下降。叶面追肥增强了两种作物功能叶的生理活性, 在 N、K 或 P + K 三者之间, 尿素的效果较佳。三者的配合施用是最大限度延长叶片寿命的措施。作物后期喷尿素 +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  能显著增加小麦和玉米的籽粒产量。叶面施用 N、P、K 肥不仅提高了作物体内 N、P、K 的含量, 而且改变了它们在不同部位的分配, 促进 N 素向籽粒运转, 10g/L 尿素 + 10g/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  处理可分别提高小麦和玉米籽粒的蛋白质含量的绝对值 22g/kg 和 4.9g/kg。

**关键词** 叶面营养, N, P, K, 小麦, 玉米

**中图分类号** S147.26

玉米和小麦的生长重心在孕穗后由营养生长转向生殖生长。此时可溶性碳水化合物和一些移动性强的营养元素大量迅速地从茎叶向新发育的营养库花与种子部分转移, 要求营养元素的供应最为迫切。但随着地上部向根部运输的光合产物和营养元素的减少甚至停止, 根系得到的有机养分大大缩减, 从而影响根系活力及其对水分、养分的吸收和激素的合成<sup>[1~3]</sup>。生产实践表明, 在目前中高产条件下, 穗粒重对小麦产量的进一步提高起主导作用<sup>[4]</sup>。因此, 改善根系营养条件, 延长籽粒灌浆期谷类作物功能叶寿命及促进同化物向籽粒的运转应有助于提高作物产量和品质。

作为土壤施肥的补充, 叶面施肥具有养分吸收和转化快的特点<sup>[5,6]</sup>, 在生产上经常加以提倡。由于作物需要量大而叶面喷施每次用量又有限, 谷类作物大量元素叶面喷施在生产上还没有广泛采用<sup>[1,3]</sup>。有一些研究表明正是由于叶片养分非常迅速地向生殖器官运输, 谷类作物依靠叶面施肥仍然不能充分维持灌浆期叶片的养分浓度<sup>[1]</sup>。但在一些寒冷地区或生长季节, 低温限制作物根系对养分的吸收, N、P 和 K 的叶面施用往往很有效<sup>[1]</sup>。即使是在温热气候条件下, 如美国 Hawaii 地区, N、P 和 K 的喷施已作为菠萝和甜菜两种作物的常规施肥措施。大量元素的叶面喷施效果往往不尽一致<sup>[1,3,7]</sup>, 并且田间不能重现盆栽试

\* 国家自然科学基金资助项目, 批准号: 39470423

收稿日期: 1997-12-25; 收到修改稿日期: 1999-03-30

验的结果<sup>[8~10]</sup>。显然,叶面营养效果与作物本身的生长发育及营养状况有关<sup>[8~11]</sup>,然而这方面的研究甚为缺乏。因此本研究通过比较不同生育期不同大量元素叶面配合施用对小麦、玉米根系活性、本身养分状况、功能叶生理活性等的影响,为生产谷类作物中后期叶面合理施肥提供理论依据。

## 1 材料与与方法

### 1.1 玉米砂培试验

每盆装石英砂 18kg(用 $\phi 35\text{cm} \times 30\text{cm}$ 的塑料桶),采用霍格兰完全营养液<sup>[12]</sup>,进入拔节期后,视玉米生长速度,每隔 7~10 天更换一次营养液。玉米品种:掖单 13 号,紧凑型。玉米经催芽后,5 月 8 号播种,出苗后每盆定植 3 株,拔节孕穗后(6 月 17 日)每盆定植 1 株。分别在拔节孕穗期(6 月 17 日),抽雄期(7 月 7 日),吐丝期(7 月 27 日)叶面追施 3 次。叶面追施前先更换营养液。选取中位叶(第 8 叶)进行不同营养液的涂抹处理,其中拔节孕穗期(6 月 17 日)同时增加下位叶(第 5 叶)的处理。

叶面追肥方法:将含有 37.28mg N(8ml 10g/L 或 4ml 20g/L 的尿素),18.22mg P(8ml 10g/L 或 4ml 20g/L 的  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )和 22.98mg K (8ml 5.4g/L 或 4ml 11.0g/L 的 KCl 或来自  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  的 K)的 8ml 溶液在下午 3 时后分次均匀涂抹于叶片正反两面。叶面营养液配比和用量见表 1。尿素的  $^{15}\text{N}$  丰度为 101.9g/kg。

同时在吐丝期(7 月 27 日)将 40ml 10g/L 的  $^{15}\text{N}$  标记的尿素加入到上述霍格兰完全营养液中,进行根部追肥处理,比较玉米后期叶面与根系追施效果。

分别于 7 月 7 日,7 月 27 日和 8 月 16 日采取处理的植株,分根、茎、叶鞘、不同部位叶片、穗或苞谷及籽粒测定生物量与养分吸收分配的数量及根系活性。8 月 12 日测定倒 3 叶光合速率及细胞分裂素含量。另外设相同的 6 个处理,同上时间分 3 次将 150ml 营养液喷施叶片上(每次 50ml),测定苞谷产量。每个处理均重复 3 次。

### 1.2 小麦田间微区试验

供试土壤为黄棕壤,采自田间微区 0~30cm 层,其基本性状为: pH: 5.83,全氮(N): 1.08g/kg,有效磷

表 1 玉米和小麦大量元素叶面施肥处理

Table 1 Foliar feeding treatments of nutrition on corn and wheat

处 理 号	叶面营养液 Foliar nutrient solution	小麦 Wheat				玉米 Corn			
		浸泡溶液所含养分浓度(mg/ml) Nutrient				涂抹溶液所含养分浓度(mg/ml) Nutrient			
		content in dipping solution (mg/ml)				content in the solution wiped on leaf(mg/ml)			
		N	$^{15}\text{N}^{1)}$	P	K	N	$^{15}\text{N}^{1)}$	P	K
1	对照	0	0	0	0	0	0	0	0
2	10g/L 尿素 $^{15}\text{N}$	4.66	0.458	0	0	4.66	0.458	0	0
3	5.5g/L 氯化钾	0	0	0	2.87	0	0	0	2.87
4	10g/L 磷酸二氢钾	0	0	2.28	2.87	0	0	2.28	2.87
5	10g/L 尿素 $^{15}\text{N}$ +5.5g/L 氯化钾	4.66	0.458	0	2.87	4.66	0.458	0	2.87
6	10g/L 尿素 $^{15}\text{N}$ +10g/L 磷酸二氢钾	4.66	0.458	2.28	2.87	4.66	0.458	2.28	2.87

1) 按照 N 标记尿素的  $^{15}\text{N}$  丰度为 101.9g/kg, 减去其自然  $^{15}\text{N}$  丰度 3.62g/kg 计算。

(P, Olson 法): 17mg / kg, 速效钾(K): 115mg / kg。每盆装风干土 10kg, 基肥用量: N, 0.15g / kg; P, 0.05g / kg; K, 0.10g / kg。95 年 11 月 30 日播种, 品种: 长江 9409。出苗后, 每盆定植 4 株。分别于小麦拔节孕穗期(3 月 28 日), 抽穗期(4 月 17 日), 齐穗期(4 月 27 日)进行叶面施肥处理。分别用置于小试管中的 15ml 不同营养液浸泡每穗的倒数第 2 叶叶片, 每盆处理 4 叶。N, P, K 肥料的种类和浓度同上玉米试验(见表 1)。每个处理重复 3 次(12 张叶片)。浸泡分 2 次进行, 即间隔 2h, 共浸泡 4h。采用美国 Michigan 大学 Jung W.H 等提出的“叶片清洗技术”<sup>[13]</sup>和同位素示踪法<sup>[14]</sup>研究 <sup>15</sup>N 标记的尿素被小麦叶片吸收和分配状况。于灌浆期分两次(5 月 4 日和 15 日)测定小麦功能叶片的光合生理特性及细胞分裂素含量。与盆栽试验处理的相同时间和处理, 同时在田间分 3 次喷施, 每微区 1m<sup>2</sup>喷 200ml。重复 4 次。5 月 30 日与 6 月 5 日分别收获盆栽和田间小麦。最后测定各处理的剑叶生物量和叶面积, 籽粒千粒重和实际产量。

### 1.3 测定方法

<sup>15</sup>N 丰度: 采用光谱法<sup>[14]</sup>。土壤和植株 N、P、K 及籽粒蛋白质分析测定: 参见土壤农化分析<sup>[15]</sup>。叶绿素含量: 用日产 502 型叶绿素计测连体叶片的 SPAD 值, 再根据 Arnon 法<sup>[16]</sup>测定叶绿素实际含量(mg / gFW), 获得 SPAD 值与叶绿素之间的标准曲线。叶片净光合速率: 用日产 HORIBA-ASSA-1010 植物 CO<sub>2</sub> 同化分析仪闭路气路测定。RUBP 羧化酶活性测定: 参照徐增高的方法<sup>[17]</sup>, 剪取叶片中段作试材, 采用 <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> 法, 在美国 Backman 公司生产的 LA-9800 液体闪烁计数器上测定, 计算样品的酶活性。细胞分裂素含量测定: 用酶联免疫法测定<sup>[18]</sup>。可溶性蛋白含量测定: 参照 Read 和 Northcote(1981)的方法<sup>[19]</sup>, 采用考马期亮蓝 G-250 染色, 以牛血清蛋白(BSA)作标准曲线, 求得样品中蛋白质含量。根系活性测定: 采用靛蓝四唑法(TTC)<sup>[20]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 营养状况与根系活力

图 1 显示了从拔节至吐丝期连续 3 次叶面施肥对玉米成熟时养分状况的影响, 叶面施 N、P、K 肥不仅增加了相应元素的含量, 同时也促进了对其它 2 种养分的吸收。此外, 叶面

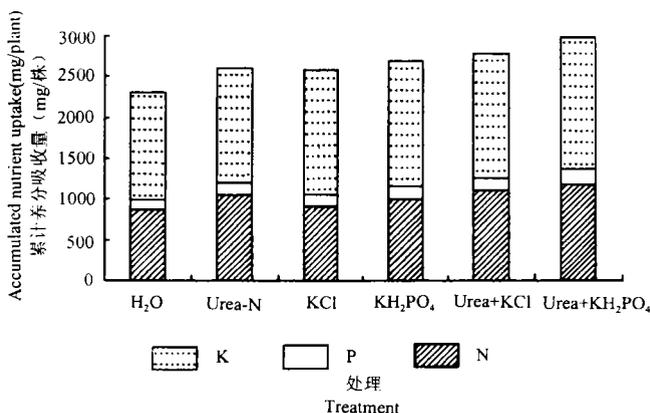


图 1 玉米中后期不同叶面营养处理对营养状况的影响

Fig.1 Effects of foliar feeding of macro-nutrients in middle and latter growing periods on nutrition status of corn

N、P、K 肥之间呈现显著的交互作用, 尿素 + KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 处理的玉米养分吸收较单施尿素处理, P 和 K 分别增加 10.7% 和 4.5%; 较单施 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 处理, N 素增加 13.1%。同样, 小麦叶面施肥也有类似的作用。以抽穗至齐穗期喷施尿素处理为例, 叶面施氮可同时提高植株后期体内 N、P 和 K 的含量, 并且可以使小麦灌浆期体内养分维持稳定的水平(表 2)。这种促进效应可从叶面施肥对根系活力的影响得到

表2 田间叶面喷施尿素处理对单株小麦N、P、K营养状况的影响

Table 2 Effect of foliar sprays of urea-N on N, P and K nutrition of wheat plant in field

时期(月/日) Period(m/d)	累计吸收量(mg/株) Accumulated uptake (mg/plant)					
	N		P		K	
	对照 CK	施氮 Urea	对照 CK	施氮 Urea	对照 CK	施氮 Urea
抽穗(4/17)~齐穗期(4/27)	31.7	43.8	11.31	14.38	35.9	42.1
齐穗(4/27)~灌浆期(5/17)	34.0	55.9	11.18	16.23	34.0	41.8
灌浆(5/17)~成熟(5/29)	32.1	55.5	10.94	16.37	31.2	39.8

反映。

图2表明玉米生育中后期随着生长重心转移,根系活力均迅速下降,但叶面施肥可明显延缓根系活力下降。以N、P、K混施影响最大。以玉米灌浆初期(7月27日)根系活性测定值为例,对照为1.46mg TTC / g. FW.h,而单施N(尿素);P、K合施( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )与N、P、K混施(尿素 +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )分别为1.89, 2.13和2.34mgTTC / g. FW. h, 分别比对照增加了29.4%, 45.9%与60.3%。表3的试验结果也证明,玉米生育后期N、P、K肥混合追施,尽管根部追施量(每株40ml 10g / L尿素)是叶面施肥(每株8ml 10g / L尿素)的5倍,但根施对根系活性影响很小,而叶施能显著改善根系活性(较对照提高25.9%~56.8%)。此外,较上部叶(第8

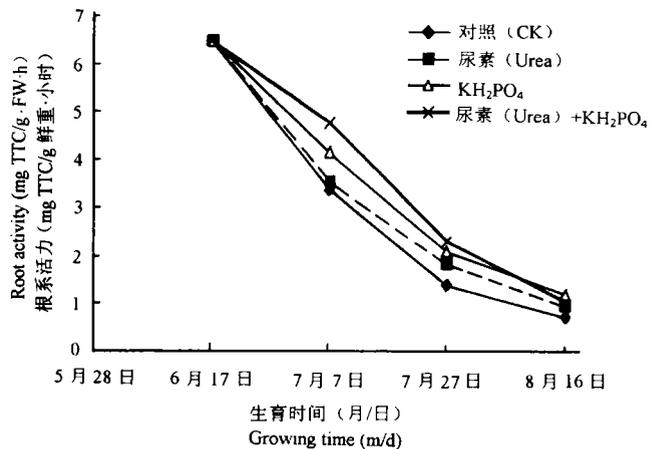


图2 玉米生育中后期叶面施肥对延缓根系活性下降的影响  
Fig.2 Effect of foliar feeding in middle and latter growing period on delay of root activity decline of corn

表3 不同叶位及叶施与根施对玉米根系活性影响的比较 (mg.TTC/g鲜重.小时)

Table 3 Effect of foliar sprays of urea-N and  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  to fifth and eighth leaves and root dressing on root activity of corn (mg TTC/g.h)

处理 Treatment	叶位(抽雄期) Leaf position (tassel sprouting)		叶施与根系追施(成熟) Foliar and root dressing (ripening)	
	第5叶 Fifth leaf	第8叶 Eighth leaf	叶施 Foliar feeding	根施 Root topdressing
	对照	3.41	3.41	0.81
尿素	3.68	3.54	1.02	0.79
磷酸二氢钾	4.16	4.16	1.27	0.88
尿素+磷酸二氢钾	5.08	4.79	1.14	0.91

叶),下部叶位(第5叶)施肥有提高根系活性的趋势,但差异不明显。

## 2.2 叶片光合生理特性与细胞分裂素

从玉米灌浆期功能叶的光合速率和细胞分裂素的含量差异(表4)可看出,吐丝期叶面施肥对延长叶片寿命,增强叶片的生理活性作用显著,而5倍叶面施用量的根系追肥效果较差,这与上述两种追肥方式分别对根系活性的影响是一致的。此外,叶面施用氮肥效果强于钾或磷钾肥,而后期根系追肥则以磷钾肥优于氮肥,但总的来说,无论是叶施还是根施,N、P、K配合(尿素 +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )效果均明显好于单施。

表4 玉米后期叶面施肥与根系追肥对叶片(倒3叶)光合速率与细胞分裂素含量的影响<sup>1)</sup>

Table 4 Effect of foliar feeding and root dressing on net-photosynthetic rate of the third leaf from the apex and cytokinin content of corn

处理 Treatment	叶面施肥 Foliar application		根系追肥 Root topdressing	
	净光合速率	细胞分裂素	净光合速率	细胞分裂素
	Net-Photosynthetic rate ( $\text{CO}_2 \mu\text{mol}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}$ )	Cytokinin ( $\text{pmol}/\text{g FW}$ )	Net-Photosynthetic rate ( $\text{CO}_2 \mu\text{mol}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}$ )	Cytokinin ( $\text{pmol}/\text{g FW}$ )
对照	34.2 a A <sup>2)</sup>	164 a A	34.2 a A	164 a A
尿素	46.3 b B	231 b BD	33.8 a A	179 ac A
氯化钾	39.1 c A	188 c C	——	——
磷酸二氢钾	38.5 acA	224 b B	36.3 a A	209 b B
尿素+氯化钾	45.8 b B	211 b BC	——	——
尿素+磷酸二氢钾	45.5 b B	247 d D	38.4 a c A	221 b B

1) 灌浆期倒3叶测定值。

2) 表中相同大小写字母分别代表在5%和1%水平上统计无显著性差异。下同。

比较小麦剑叶(功能叶)的各项生理指标(表5)不难发现:虽然抽穗期叶面追肥都增强了功能叶的生理活性,但是在N、K或P+K三者之间,除了RUBP总活性和5月17日的净光合速率以外,仍然是尿素的效果最佳, $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 与KCl的效果相近。同样,三者的配合施用是最大限度延长叶片寿命的措施。在所有这些指标中,细胞分裂素、叶绿素含量提高最显著,尿素 +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 处理较对照几乎增加一倍。测定田间小麦剑叶面积和生物量的变化

表5 不同叶面营养处理对小麦功能叶光合生理的影响

Table 5 Effect of foliar sprays of urea, KCl and  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  on photosynthetic physiologic of function leaf of wheat

处理 Treatment	可溶蛋白	RUBP羧化酶 <sup>*</sup>		净光合速率 <sup>1)</sup>		叶绿素	细胞分裂素
	Soluble protein	RUBPase Activities		Net photosynthesis rate		Chlorophyll	Cytokinin
	( $\text{mg}/\text{gFW}$ )	起始活性 Initial	总活性 Total	5月4日 May4	5月17日 May17	( $\text{mg}/\text{gFW}$ )	( $\text{pmol}/\text{gFW}$ )
对照	11.70	8.95	19.07	3.80	1.41	1.13	11.72
尿素	14.87	9.95	21.86	5.32	2.23	1.93	22.26
氯化钾	14.67	8.97	19.98	5.07	2.12	1.86	18.71
磷酸二氢钾	14.24	9.66	22.15	5.07	2.52	1.61	16.67
尿素+磷酸二氢钾	14.85	9.84	23.84	5.46	2.59	2.05	23.14

1) RUBP羧化酶与净光合速率单位分别为 $\text{CO}_2 \mu \text{mol}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}$ 和 $\text{CO}_2 \text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$

表6 中后期叶面施肥对小麦剑叶生长的影响(田间试验)

Table 6 Effect of foliar feeding in middle and latter growing periods on the growth of flag leaf of wheat (Field experiment)

处理 Treatment	叶面积(平方厘米) Leaf area (cm <sup>2</sup> )	叶生物量干重(mg/叶) Leaf biomass DW (mg/leaf)
对照	20.4	118
尿素	21.4	139
磷酸二氢钾	20.5	143
尿素+磷酸二氢钾	20.8	149

(表6)则表明中后期叶面喷施大量元素肥料对功能叶叶面积影响不大,主要增加了厚(密)度。由此可以认为叶面施肥大大提高了叶片生产光合产物的能力。

### 2.3 穗粒产量和籽粒蛋白质含量

如表7和表8所示,中后期叶面施肥可以增加小麦籽粒产量3.0%~9.8%,玉米苞谷产量提高2.1%~12.2%,另外,受叶面施肥影响的小麦千粒重与籽粒产量呈极其显著的正相关(相关系数 $r$ 值达0.9452\*\*,  $n=6$ ),说明在实践上千粒重可以用来反映小麦喷肥的效果。统计结果表明,对小麦而言,尽管叶面施肥所有处理均高于对照,其中 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 效果与KCl相近且明显好于尿素,但只有尿素+KCl和尿素+ $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 两个喷施处理较对照有显

表7 不同叶面施肥对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响

Table 7 Effect of foliar feeding with urea, KCl and  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  on the grain yield and protein content of wheat

处理 Treatment	平均籽粒产量 Average grain yield		千粒重 1000 grain weight (g)	蛋白质含量 Protein content (g/kg)
	数量(干重/穗) Amount (DWg/ear)	相对产量(%) Relative yield(%)		
	对照	1.125 aA	100.0	42.1 aA
尿素	1.159a AB	103.0	42.3 abA	152
氯化钾	1.202 ab AB	106.8	44.0 c B	144
磷酸二氢钾	1.209 ab AB	107.5	43.6 bc AB	141
尿素+氯化钾	1.222 b AB	108.6	44.8 c B	149
尿素+磷酸二氢钾	1.235 b B	109.8	44.5 c B	156

表8 叶面施肥对玉米苞谷产量和籽粒蛋白质含量的影响

Table 8 Effect of foliar fertilizer application on ear yield and grain protein content of corn

处理 Treatment	苞谷产量干重(g/株) Ear yield DW(g/plant)	籽粒产量干重(g/株) Grain yield DW (g/plant)	籽粒蛋白质(g/kg) Grain protein (g/kg)
对照	166.8.a A	68.4a A	84.2
尿素	176.3 ab A	72.8 ab A	88.6
氯化钾	170.3 ab A	71.6 ab A	83.4
磷酸二氢钾	180.2 ab A	75.1 ab AB	88.2
尿素+氯化钾	177.6 ab A	74.9 ab AB	85.1
尿素+磷酸二氢钾	187.2 b A	75.8 b B	89.1

著增产。而在玉米上只有尿素 +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 处理的苞谷和籽粒才较对照有显著和极显著差异。分析尿素、KCl 和  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 三者叶面施肥的产量效应和小麦千粒重差异,可以认为,小麦后期喷肥的效果其趋势是 K 大于 N 和 P,而对玉米的效果则 N、P 和 K 三者同等重要。

对谷类作物而言,籽粒蛋白质是非常重要的一个营养品质指标,从本试验结果(表 7 和表 8)来看,中后期叶面喷施尿素或  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 或它们的配合施用,籽粒蛋白质绝对含量小麦可提高  $15\text{g}/\text{kg}\sim 22\text{g}/\text{kg}$ ,玉米可提高  $4.0\text{g}/\text{kg}\sim 4.9\text{g}/\text{kg}$ 。相比之下,喷施 KCl 对蛋白质的影响不明显。

### 3 讨论

谷类作物叶面大量元素施肥的效益、适宜的施肥时间及中后期叶面施肥对籽粒的品质是实践上应引起重视的问题。从图 2 可看出,该品种玉米抽雄后根系生物量基本上停止增加,根系活力迅速降低。但吐丝期根系追肥与叶面施肥对根系活性和地上部叶片光合生理状况效应(表 3 和表 4)差异表明玉米后期单靠改善根部营养很难对延长叶片光合作用功能期和促进光合产物向籽粒的分配起显著作用,相反,叶面大量元素配合施肥可能是通过影响叶片的激素合成和运输从而增强叶片的光合效率和光合产物向籽粒和根系的运转,最终提高其经济产量。

在齐穗至成熟期,小麦根部几乎停止对养分的吸收,甚至出现严重的排钾现象(表 2),但此时小麦叶片仍具有较强的吸收能力。从表 2 可以发现,较对照,叶面施氮不仅增加了氮素累积吸收量,显著减少成熟期养分损耗量,而且对磷、钾的吸收也有相同趋势,这可能与叶面施氮提高了根系活性从而促进根系对土壤养分特别是钾的吸收有关。本试验中发现  $10\text{g}/\text{L}$   $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 对小麦 N 和 K 吸收和分配及籽粒产量等影响效应与  $5.4\text{g}/\text{L}$  KCl 处理几乎无差异,而对玉米的效应明显高于后者。由于栽培小麦的供试土壤速效磷较高(Olson-P:  $17\text{mg}/\text{kg}$ ),而玉米为砂培试验,因此这种差异究竟是来自玉米体内 P 素缺乏还是 Cl 素的效应还有待区分。

小麦灌浆期从根系吸收或从营养器官中转移到籽粒中的 N 与面筋的醇溶蛋白和谷蛋白合成关系十分密切<sup>[2]</sup>。后期叶面喷施 N 肥或与  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 的配合施用促进了养分特别是氮素向籽粒的运转从而大大提高了籽粒中蛋白质的含量(表 7、表 8),这对改善小麦和玉米的营养品质,尤其是小麦的烘烤品质是非常有意义的。比较尿素、KCl 和  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 三者叶面施肥间的产量效应和小麦千粒重(表 7 与表 8),可以认为,小麦后期喷肥的贡献 K 大于 N 和 P,而对玉米的贡献则 N、P 和 K 三者同等重要。这与谭金芳等试验结果相近<sup>[4]</sup>。磷肥对小麦穗粒数作用大,对千粒重影响钾肥最大,其次是氮肥,小麦超高产栽培中氮和钾配合的主效应最显著。总的来说, N、P、K 三者叶面配合施用效果最佳,表明谷类作物叶面营养仍然应注意平衡供应,这与先前在蔬菜作物上的试验结果一致<sup>[21]</sup>。

### 参 考 文 献

1. Hanway J J. Foliar application of fertilizers on grain crops. In Neumann P M. ed. Plant Growth and Leaf-applied Chemicals CRC Press Inc. USA 1988. 101~109

2. Gooding M J. Foliar urea fertilization of cereals: a review. *Fertilizer Research*, 1992, 32:209~222
3. Neumann P M. Late season foliar fertilization with macronutrients—is there a theoretical basis for increased yields? *J. Plant Nutr.*, 1982, 5:209~213
4. 谭金芳,郭天财,王化芬. 氮磷钾配施与超高产冬小麦穗部性状的关系的研究. 见:胡廷积、郭天财、王志和主编. 小麦穗粒重研究. 北京:中国农业出版社,1995. 206~210
5. Seshadri K. Role of foliar fertilization on plant nutrition. In Baligar V C, Duncan R R. eds. *Crops as Enhancers of Nutrient Use*. Academic Press Inc. USA 1990. 313~347
6. Grata U C. Efficiency of foliar as soil application micronutrient anions for crop utilization. In *Transactions 14th International Congress of Soil Sci.*, Tokyo, Japan. 1990. 4:238~242
7. Goswami B K, Srivastava G C. Effect of foliar application of urea on leaf and senescence photosynthesis in sunflower. *Photosynthetic*, 1988,22(1):99~104
8. 金绍龄,马永泰,程志斌等. 小麦叶面喷施磷酸二氢钾效果研究报告. *甘肃农业科技*,1992, (1):19~24
9. 金绍龄,马永泰,程志斌等. 小麦磷营养条件对叶面喷施磷酸二氢钾效果的影响. *甘肃农业科技*,1992, (2):26~29,13
10. 金绍龄,马永泰,程志斌等. 磷酸二氢钾根施和叶喷效果比较. *甘肃农业科技*,1992, (3):25~27
11. Bowman D C, Paul J L. The foliar adsorption of urea. *J. Plant Nutr.*, 1990,13:105~113
12. 毛达如主编. *植物营养研究方法*. 北京:北京农业大学出版社,1994,12~23
13. Jyung W H. Foliar absorption of mineral nutrients with special references to the use of radioscopy and the "leaf washing technique". M. T. Thesis, Michigan State University, East Lansing, USA. 1959.45
14. 陈铨荣,米恩富. 用光谱法测定土壤和植物中的微量<sup>15</sup>N. *原子能农业应用*. 1987, (2):48~52
15. 史瑞和,鲍士旦主编. *土壤农化分析*. 北京:中国农业出版社. 1986
16. Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, 1949, 24:1~15
17. 徐增高,方志伟,张荣铎. 小麦二磷酸核酮糖羧化酶和导度与光合速率的关系. *南京农业大学学报*,1990,15(4):5~11
18. 杨中汉,陈良甫. 纯化、测定植物中细胞分裂素的免疫新层析法和酶联免疫法. *植物生理学通讯*,1993,29(1):56~59
19. Smand R, Northeote D H. Minimization of variation in the responses to different proteins of the Coomassie Blue G dyebinding assay for protein. *Anal. Biochem.*, 1981, 116:53~64
20. 山东农学院,西北农学院编. *植物生理实验指导*. 山东科技出版社. 1980,187~190
21. 徐国华,沈其荣. 叶面营养对黄瓜生物效应的影响. *植物营养与肥料学报*,1997,3(1):36~42

## BIOLOGICAL RESPONSES OF WHEAT AND CORN TO FOLIAR FEEDING OF MACRONUTRIENT FERTILIZERS DURING THEIR MIDDLE AND LATTER GROWING PERIODS

Xu Guo-hua Shen Qi-rong Zhen Wen-juan Tang Shen-hua Shi Rui-he

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

### Summary

Pot sand culture of summer corn with Hoagland solution and soil culture of winter wheat with application of routine dosage of 0.15g N, 0.05 g P and 0.10 g K per kg of soil were carried out in greenhouse of Nanjing Agricultural University. Leaves of corn and wheat were wiped or dipped with  $^{15}\text{N}$ -labelled 10 g / L urea, 10 g / L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 5.4 g / L KCl and their combinations from jointing stage of both crops to the silking of corn or heading stage of wheat. The root activities of both crops were rapidly declined after jointing stage, but this decline apparently delayed as foliar application of urea, especially foliar feeding with N, P and K cooperated. Foliar feeding with macro-element fertilizers enhanced physiological activity of function leaves. Among the three elements for raising physiological indexes of function leaves urea-N was most efficient except small variation of total activity of RUBPase. Foliar application of N, P and K cooperated would be the measure for prolonging the life of leaves to the most limit. Statistical results showed that compared to foliar spray of water, urea + KCl and urea +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  increased the yield of wheat significantly, while for corn only urea +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  increased its ear and grain yields. Foliar application not only increased N, P and K content of plants, but also changed their distribution in organs and stimulated translocation of N to grain. Absolute protein contents of wheat and corn grains increased by 22 g / kg and 4.9 g / kg, respectively, due to foliar feeding during the middle and latter growing periods.

**Key words** Foliar nutrition, Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Wheat, Corn