

春粟增粒的氮素营养及氮素高效期

张家口地区农业科学研究所

李东辉 崔文生 赵连元

前言

春粟籽实产量,是由单位面积总粒数和千粒重两个因素决定的。单位面积上成穗多,分支小穗群多,小穗花多,则总粒数也多。而千粒重则是除去空壳,由饱满粒和秕粒的重量组成的。这些因子,互有联系,又常受栽培和气候条件影响而发生变化。根据1961—1962年丰产栽培试验,1955—1956年中熟、早熟品种的密度试验,品系比较试验,以及在群众田块上的调查,我们曾得出单位面积成粒数多少是决定粟产量高低的主导因素,增粒是提高粟产量主要措施的结论。

与增粒有关的营养条件除水分外主要是矿质营养,其中以氮肥和磷肥为主。从增粒的观点出发,研究春粟不同发育期对氮、磷营养的反应,明确施肥的有效时期和高效期,可以为增产和经济用肥提供理论基础。

前人关于春粟氮肥的研究,多偏重于拔节期及抽穗前期施肥增产效果的比较,没有按春粟不同发育时期,从产量结构系统比较其效应,一般结论是抽穗前施氮素肥料优于拔节期。我们认为这样的结论还不足以说明春粟氮素营养的最大效应。众所周知,春粟从拔节到抽穗,相距四十至四十七天,要经历四个发育时期。每个发育时期对氮素反应不尽相同,等量的氮素肥料按不同发育时期分别施用,无论在生理生化方面,以及农艺性状方面都有不同表现,因此还应比较其效

果,找出施肥的最适宜时期,即高效期。

试验方法

本试验以盆栽为主结合田间大区试验。盆栽土壤肥力。全氮含量为0.0169%—0.0369%,速效氮10—16p.p.m.,速效磷为22p.p.m.速效钾为128—155p.p.m.,有机质为0.4016%—0.8877%。田间土壤肥力,全氮含量为0.0148%—0.0454%,速效氮12—20p.p.m.,速效磷35—37p.p.m.,速效钾142—155p.p.m,有机质0.8540—0.9733%,土壤肥力中等。盆栽试验分为:拔节、枝梗分化、小穗分化、花分母细胞四分体初期、盛期、开花等六种追肥时期,又分每亩追施硫酸铵30斤及60斤两组,另设灌浆期追施硫酸铵60斤一个处理。重复三次。田间试验每亩追肥30斤。处理与盆栽同,重复两次。盆栽试验和田间试验,皆以不追肥及花粉母细胞四分体盛期(代表前人研究结果,相当于抽穗前)为对照。

研究结果

一、氮素对产量结构的影响

根据盆栽及大田试验资料统计,追施氮素肥料,可以增加一穗粒数及千粒重,但对分支小穗群数无影响;氮素的增粒原因,主要是由于小穗花数增多。参阅表1:

由于一穗粒数增多,就提高了一穗的粒重。据38盆152株的穗成粒数与穗粒重的资料分析,其相关系数 $r=0.948$,二者的回归

表 1 追施氮肥对春粟产量结构的影响

处	理	穗 长 (厘米)	分枝小穗群数 (个)	一 穗 粒 数		一穗成粒数		秕粒率 (%)	空壳率 (%)	一穗粒重 (克)	千粒重 (克)
				粒 数	相当对照 %	粒 数	相当对照 %				
盆栽试验	高 氮 肥 组	21.11	105.0	5,387	157.1	4,724	169.1	25.7	12.3	16.49	3.49
	少 氮 肥 组	19.44	106.7	4,323	126.1	3,670	131.3	25.9	15.1	12.26	3.34
	不 追 肥 (对照)	17.55	105.5	3,427	100	2,793	100	24.2	18.5	9.08	3.25
大田试验	追 肥 区	27.44	105.4	5,378	107.34	4,768	112.1	23.13	12.81	17.20	3.54
	不追肥区(对照)	25.50	104.8	5,010	100	4,250	100	23.75	17.90	14.60	3.45

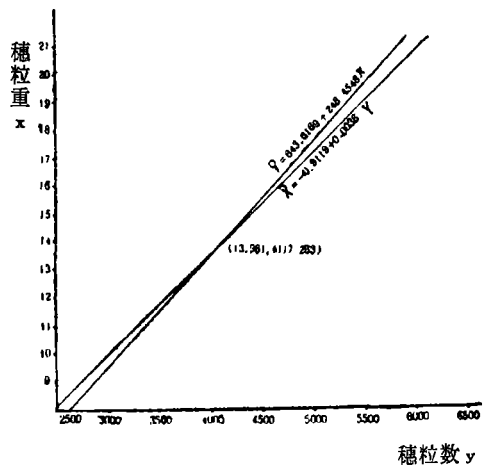


图 1 春粟一穗成粒数与穗粒重的回归直线图

关系如图 1。即一穗成粒数与一穗粒重呈显著正相关。说明增粒是提高粟产量的主要途径。

二、春粟增粒的氮素有效作用
时期及最高效用时期

所谓有效作用时期，是指对产量或品质有良好作用的起止期。试验结果见表 2：

根据试验结果，高氮肥组各处理的穗粒重，比不施肥的增加 22.4—125%，穗粒数增加 5.9—119.8%；少氮肥组各处理的穗粒重比不施肥的增加 27.8—51.8%，穗粒数增

表 2 不同发育期追施氮肥穗粒重及产量比较

试 验 类 别			拔节期	支梗分化	小穗分化	花粉母细胞四分体初期	花粉母细胞四分体盛期	开花期	灌浆期	不追肥(对照)
盆 栽 试 验	高氮肥组	平均穗粒重(克)	16.77	20.56	18.44	16.44	14.05	12.65	11.02	9.00
		穗粒重当对照%	184.8	225.0	204.8	182.6	156.1	140.6	122.40	100.0
		产量当四分体盛期%	119.3	146.3	131.3	117.0	100	90.0	—	64.0
	少氮肥组	平均穗粒重(克)	11.66	13.82	11.90	12.68	11.63	11.68	—	9.10
		穗粒重当对照%	128.1	151.8	130.7	139.3	127.8	128.3	—	100.0
		产量当四分体盛期%	100.2	168.8	102.3	109.0	100	100.4	—	78.2
大 田 试 验	平均穗粒重(克)		17.05	20.75	21.55	16.25	17.00	15.50	15.90	13.70
	穗粒重当对照%		131.75	152.18	158.02	120.21	124.09	113.21	116.21	100.00
	产量当四分体盛期%		91.2	101.8	106.6	96.3	100	—	—	94.1

加 5.3—66.2%；大田试验也有类似结果，但由于受群体所制约，增加幅度比盆栽试验为小。高氮肥组开花与灌浆期两处理的穗粒重高于对照的原因，主要是千粒重增加所致。例如灌浆期追氮的千粒重为 3.72 克，而对照（不施肥）的为 3.25 克，提高了 14.4%，并且籽粒中的蛋白质含量也明显的比对照为高，说明灌浆期植株仍有吸收氮素合成蛋白

质的能力。据此可以看出，从拔节期到灌浆期都是春粟的氮素有效作用时期。

但是，从表 2 还可以看出，各个时期追施氮肥的增产效果是不一致的。前人研究的结果，认为抽穗前（相当于本试验的四分体盛期）追施氮素效果最好；但从本试验的结果比较，无论盆栽试验或田间试验均以支梗分化期追施氮肥效果最好，即其增产效应要

比四分体盛期高些；说明支梗分化期是春粟施氮的最高效用时期。惟田间试验的支梗分化期追氮的有轻微倒伏，产量受了影响，其产量比小穗分化期追肥的略低；因此从群体的生长发育考虑，在生产上具体应用时，可根据土壤氮素肥力基础，将追肥时期适当后延至小穗分化期。

三、不同发育期追施氮肥
对产量结构的影响

在春粟的各发育时期追施氮肥，都有增粒作用。但由于对产量结构的影响不同，所以其增粒作用有大有小。见表3：

表3 不同发育时期追施等量氮肥籽粒考察

考 察 项 目	与对照比较	拔 节	支梗分化	小穗分化	四分体初期	四分体盛期	开 花 期	不 施 肥 (对照)
穗 粒 数 (个)	平 均	4,465	4,880	4,346	4,200	3,793	3,508	2,795
	当对照%	159.70	174.50	155.40	150.20	135.70	125.50	100
千 粒 重 (克)	平 均	3.20	3.50	3.46	3.46	3.40	3.45	3.25
	当对照%	98.40	107.60	106.70	106.70	104.60	106.10	100
秕 粒 率 (%)	平 均	29.70	27.80	24.10	24.00	26.20	22.80	25.65
	当对照%	115.70	108.30	93.90	93.50	102.10	88.80	100
空 壳 率 (%)	平 均	24.00	18.54	10.60	9.20	12.00	10.30	18.50
	当对照%	129.70	99.10	57.20	49.70	64.80	55.60	100

从上表可以看出，拔节与支梗分化期追施氮素穗粒数比对照增加59.7%至74.5%。其主要原因在于增加了小穗花数，这从拔节期及支梗分化期追肥的空壳率及秕实率高于对照可以证明。因此可以认为拔节及支梗分化期追施氮肥增粒的原因，不是通过降低空壳率实现的。而小穗分化期及四分体初期、盛期，特别是开花期的追氮增粒效应，主要表现在空壳率及秕实率降低，从而增加了成粒数。这种现象，为今后研究解决粟秕粒问题提供了线索。

四、氮素增粒高效期的生理基础

1. 氮素对叶面积的影响：氮素不仅促进植株高度，而且对单株叶面积的影响也十分

显著。据抽穗期测定，对照单株叶面积为890.5cm²，而追肥的各处理单株叶面积均在1,000—1,188.2cm²之间，比对照单株叶面积增加11%—13.34%。尤其是支梗分化期追肥的单株叶面积为1,188.2cm²比对照增加297.7cm²。开花期叶片虽然已开始衰老枯死，但根据测定结果，追肥的单株叶面积普遍较不追肥的为大，并仍保持在高度的水平。例如，灌浆期测定结果追肥的比不追的单株叶面积高13%，尤其是支梗分化期追肥的比对照高46.1%。追肥不但促进叶片发育，同时可以延长叶片寿命。据八月九日调查追肥的比不追肥的少5—6个黄叶，证明追施氮肥可以延长叶片寿命，从而延长了叶片功能时期，加强后期光合作用，有利于充实籽粒。参看表4。

表4 不同时期追施氮肥各生育期叶面积系数动态

处 理 \ 月 日	5/7	9/7	18/7	24/7	4/8	9/8	18/8	26/8
不追肥(对照)	0.9	1.1	2.3	2.9	3.3	3.5	3.0	2.8
拔节期追肥	0.9	1.0	2.5	3.4	4.1	3.9	3.4	3.26
支梗分化期追肥	—	1.04	2.7	3.0	4.5	4.8	4.4	4.4
小穗分化期追肥	—	2.5	2.9	4.2	4.9	3.7	3.8	3.6
四分体初期追肥	—	—	—	4.0	3.9	4.2	3.1	2.5
四分体盛期追肥	—	—	—	4.22	4.1	3.6	3.01	3.3

2. 氮素对植株干物重的影响: 根据在不同生育期测定各处理植株干物质积累结果, 追氮肥的植株干物质积累量均比不追氮肥的高。例如: 8 月26日测定, 追肥的单株干物质积累量为32.71克, 而不追肥的仅为27.83克。此外追肥时期不同, 干物质积累量也有所不同。从各处理绝对数比较, 以支梗分化

期追肥的地上部干物质积累量为最大, 比对照高53.2%, 比其它各处理高37.5%; 其次是四分体分化盛期、小穗分化期、四分体分化初期追肥等处理, 地上部干物质积累量比对照高11.3%。地上部干物质积累量不等, 影响到植物体各器官干物质的积累与分配也不同。见表 5:

表 5 不同发育时期追施氮肥对植株干物质积累分配的影响

测定日期	处 理	叶		鞘		茎		穗		地上部合计
		干 重 (克)	占地上部 %	干 重 (克)	占地上部 %	干 重 (克)	占地上部 %	干 重 (克)	占地上部 %	
七月二十四日	拔 节 期	5.72	41.33	3.01	21.75	5.09	26.78	0.015	1.08	13.84
	支梗分化期	5.66	40.03	3.24	25.91	5.19	36.70	0.050	3.54	14.14
	小穗分化期	4.41	49.72	2.44	27.5	2.00	22.55	0.022	2.48	8.87
	不追肥(对照)	4.80	38.87	2.97	24.05	4.56	36.92	0.015	1.21	12.35
抽穗期八月四日	拔 节 期	6.06	30.10	3.48	17.29	8.43	41.88	2.16	10.73	20.13
	支梗分化期	6.76	29.19	4.23	18.26	10.51	45.38	1.66	7.17	23.16
	小穗分化期	5.64	29.3	3.56	18.49	8.09	42.03	1.96	10.18	19.25
	四分体初期	5.41	27.15	3.22	16.16	8.79	44.10	2.51	12.59	19.93
	不追肥(对照)	4.91	29.97	3.0	18.32	7.03	42.92	1.44	8.79	16.38
腊熟期八月二十六日	拔 节 期	5.71	20.37	2.8	9.99	10.36	36.96	9.16	32.68	28.03
	支梗分化期	7.47	17.49	3.48	8.15	16.26	38.08	15.49	36.28	42.70
	小穗分化期	6.28	18.81	3.44	10.30	10.07	30.16	13.60	40.71	33.39
	四分体初期	5.6	17.67	3.5	11.04	10.13	31.97	12.46	39.32	31.69
	四分体盛期	5.76	17.06	3.33	9.86	12.44	36.81	12.23	36.23	33.76
	开 花 期	6.01	20.75	2.89	9.98	9.96	34.39	10.10	34.88	28.96
	灌 浆 期	6.69	21.98	3.9	12.80	10.00	32.80	9.85	32.35	30.44
	不追肥(对照)	5.18	18.58	3.08	11.05	9.26	33.21	10.36	37.15	27.83

根据处理间叶面积及干物质积累现象, 我们认为:

(一) 拔节期追肥对植株营养体生长及生殖器官生长在一定时期有促进作用, 尤其是在瘦薄土地上效果更为显著。但到后期测定干物质积累量并不理想, 尤其穗部发育不论是绝对数或是百分数均不如对照。主要原因是过早追肥, 虽能促进营养体的生长, 但不能保证生殖器官生长发育时的养分供应, 因而直接影响到穗部的小穗花数和成粒数。

(二) 支梗分化期追肥, 各器官干物重绝对数, 均高于其它处理。说明不但促进了植株营养体的生长, 同时也保证了生殖器官的生长发育, 解决了营养体生长和生殖器官发育的矛盾, 因此穗大、花多、粒重, 提高

了产量。

(三) 后期追施速效氮肥对植株营养体生长发育影响很小, 不能挽救由于前期缺氮而造成的株矮、穗小的损失。但是由于保证了小穗花的发育所必须的矿质营养, 因此有降低空壳率提高成粒数的作用, 这从后期追肥的穗干物质积累量占地上部的百分数大于早期追肥处理可以说明。

3. 不同发育时期追施氮肥对植株氮素代谢的影响: 在春粟整个生育期中, 各器官含氮百分比随生长期而变化。当拔节后植株由营养生长开始转入生殖生长阶段, 各营养器官含氮百分比呈逐渐下降趋势; 而穗部从灌浆开始含氮百分比逐渐增加, 表明生育后期叶部蛋白质开始分解向穗部运转。这种消长

过程是春粟体内氮素代谢的变化规律，但是也受追肥措施的影响。在拔节期追施速效氮肥，植株体内氮素含量显著增加，尤其是可溶性氮含量较高，因而增强了体内氮素代谢程度；但是不能保证后期的营养，因此效应不大。例如表 6 中九月二十六日成熟前测定，拔节期追肥的叶、鞘、茎、穗全氮含量分别为 1.11%、0.579%、0.294%、1.76%，而对照分别为 1.121%、0.601%、0.394%、1.791%，追肥的反而偏低（参阅表 6）。

在生育中期追肥，如支梗分化期、小穗分化期、四分体初期、四分体盛期等处理，均优于早期及晚期追肥的。其原因在于解决了营养生长与生殖器官发育对营养条件要求的矛盾，不仅提高了氮素代谢水平，同时也维持了适宜的氮碳比率。支梗分化期正处于

营养生长与生殖生长并进阶段，此后即逐渐转向以生殖器官发育为中心的时期，因此这时追肥，不仅加大了光合作用面积，提高了光合能力，而且使氮素在各器官内得到均衡分配，并且氮素含量较高。例如表 6 中八月二十六日测定，叶、鞘、茎、穗全氮含量分别为 2.298%、0.879%、0.558%、1.621%，而四分体盛期追肥的处理分别为 2.163%、0.524%、0.393%、1.41%；到九月二十六日测定，支梗分化期追肥的处理，叶、鞘、茎、穗全氮含量分别为 1.458%、0.751%、0.386%、1.770%，而四分体盛期追肥的处理分别为 1.141%、0.601%、0.393%、1.823%。显然，四分体盛期追肥的茎、穗全氮含量虽稍高于支梗分化期追肥的，但叶、鞘全氮含量则低于支梗分化期追肥的（参阅表 6）。

表 6 春 育期追施氮肥植株体内氮素含量比较

(单位: %)

测定部位	测定日期	不 追 肥 (对照)	追 肥 时 期						
			拔 节 期	支梗分化	小穗分化	四分体初期	四分体盛期	开 花 期	灌 浆 期
叶	7.9	3.276	4.673	3.694					
	7.24	2.797	3.356	3.372	2.950				
	8.26	2.022	1.594	2.298	2.087	2.208	2.163	2.412	2.033
	9.26	1.121	1.111	1.458	1.158	1.205	1.141	1.330	1.147
片	7.9	1.708	2.116	1.996					
	7.24	1.024	1.148	1.036	0.980				
	8.26	0.744	0.909	0.879	0.797	0.952	0.524	0.911	1.072
	9.26	0.601	0.579	0.751	0.654	0.701	0.601	0.643	0.751
茎	7.9	1.932	2.460	2.675					
	7.24	1.000	1.132	1.008	0.925				
	8.26	0.394	0.366	0.558	0.317	0.482	0.393	0.360	0.437
	9.26	0.394	0.294	0.386	0.375	0.349	0.343	0.483	0.482
穗	8.26	1.226	1.212	1.621	1.650	1.523	1.410	1.429	1.858
	9.26	1.791	1.760	1.770	1.844	1.792	1.823	1.665	1.653

以上结果说明，支梗分化期追施氮肥，可以提高植株生育前期的氮素代谢，并延续到乳熟阶段，而且保持了器官之间氮素代谢的平衡，提高生育后期的光合能力，有利于充实籽粒。

4. 不同发育时期追施氮肥对植株碳素代谢影响：从总的趋势看，追施速效性氮肥比

不追肥的植株含糖量为低。这是由于增施速效性氮肥，提高了植株体内营养水平，因而蛋白质及淀粉合成较多。试验资料表明，追施氮肥的营养体内蛋白质氮和穗部淀粉含量均高于不追肥的，尤其是穗部淀粉含量更为突出。例如在七月二十四日测定，拔节期追氮的，茎、叶的糖和淀粉含量分别为 5.38%、

3.55%，支梗分化期追氮的分别为10.47%、5.0%，不追肥的则为10.71%、3.56%，证明拔节期追施速效氮肥，碳素代谢不旺，茎、叶内糖和淀粉含量较少，尤以茎秆内糖和淀

粉含量降低更为显著；因此影响了纤维素的合成，茎秆不壮，容易发生倒伏。据调查，拔节期追施氮肥处理区倒伏面积占40%，而不追肥区仅占10%左右（参阅表7）。

表 7 春粟不同发育期追氮对植株体内碳水化合物含量比较

(单位：%)

测定部位	测定日期	不 施 肥 (对照)	追 肥 时 期						
			拔 节 期	支梗分化期	小穗分化期	四分体初期	四分体盛期	开 花 期	灌 浆 期
叶	7.9	9.98	4.37	11.83					
	7.24	5.56	3.55	5.00	4.14	2.95			
	8.9	3.89	1.13	6.37	6.44	2.78	9.29	13.94	
	8.26	5.55	5.36	5.49	—	4.53	4.56	5.59	4.31
鞘	7.9	13.14	11.64	11.72					
	7.24	13.35	12.17	12.57	9.37				
	8.9	10.17	12.02	13.57	13.16	9.18	14.70	6.14	
	8.26	9.20	7.93	12.02	5.20	7.90	11.83	12.13	
茎	7.9	13.96	9.07	13.76					
	7.24	10.71	5.39	10.47	11.69	6.38			
	8.9	12.93	10.97	10.49	10.97	8.74	10.59	13.06	
	8.26	9.55	5.35	7.96	6.21	7.01	7.76	9.88	11.33
穗	8.9	13.50	14.63	14.76	14.41	10.83	14.21		
	8.26	19.77	25.47	34.63	30.17	14.58	27.72	26.27	37.77

开花期追施氮肥对于植株体内淀粉积累有一定作用。据八月二十六日测定，开花期追施氮肥的，叶、鞘、茎、穗淀粉含量分别为5.04%、11.83%、8.98%、25.74%，不施肥区分别为5.18%、8.50%、7.99%、19.44%。后期追施氮肥穗部淀粉含量显著增加，其原因在于提高了植株体内氮素含量，增加叶片叶绿素含量，延长叶片寿命，维持了叶片光合能力。据九月十日测定，开花期追施氮肥的，叶片叶绿素含量比对照区提高四十七倍。但是由于植株前期生长受到抑制，虽然后期营养条件有所改善，也不能获得高产。

支梗分化期追施氮肥，由于前期有一部分可塑性营养物质用于促进营养体的生长，因此在抽穗前几次测定植株茎、叶的糖和淀粉含量，皆低于不追肥的。但到生育中、后期，由于营养体较大，有更多的糖分运往穗

部以淀粉状态贮存，其含量百分比超出不追肥的很多。与拔节期及四分体盛期追肥的相比，支梗分化期追肥的氮碳代谢水平皆好。例如在生育中期测定叶片全氮含量，支梗分化期追肥的为3.372—3.585%，拔节期追肥的为2.226—4.673%，四分体盛期追肥的为3.192%；而茎、穗全糖及淀粉含量，分别为10.47%、5.39%及10.71%。证明在支梗分化期追施速效性氮肥，氮碳代谢皆极旺盛，营养器官与生殖器官的生长发育协调，因此支梗分化期追施氮素效应最大。

从穗分化进程来看，支梗分化期正是小穗花形成与发育的关键时期，小穗花着生的越多，成粒的机会也越多。在此关键时期内，及时追肥，提高氮碳代谢水平，奠定物质基础，其增产效益，比四分体盛期追施氮肥为高，这就是春粟增粒氮素高效期的生理基础。