

春小麦三要素营养的相关性 及其对产量的影响*

鄭邦基 王书錦 孙鴻烈 胡思敏 馬庆霖

(中国科学院林业土壤研究所)

一、引言

含有不同营养成分的肥料(特别是化学肥料),如何合理配合施用,以达到既經濟而又高产的目的,确是农业生产上存在的实际問題。这一問題的解决,一方面有賴于对土壤条件的了解,另一方面也必须探明植物本身对营养物质的需要。

植物需要多种营养元素,这些元素在生理上都直接或间接地存在着一定的相互关系。譬如,氮素营养与磷素营养就有明显的依賴性;当磷素供应不足时,氮素的吸收与代謝就会遭到严重的破坏;反之,氮素又是植物利用磷素不可缺少的条件。鉀素营养与氮素代謝亦有密切的相关;不少試驗証明,当鉀素供应充足时,进入植物体内的氮素就較多,形成的蛋白質亦較多。

植物所吸收的营养元素在各种离子的数量上亦存在着一定的平衡关系,在这方面,貝尔(F. E. Bear 1950)^[7]与夏尔賴(K. Scharrer 1955)^[2]等人都先后作过研究,証明植物吸收离子是遵守一定的电化学原則的;并且貝尔曾根据同电性离子之間的拮抗作用,建議用鈣来部分代替鉀,以增高苜蓿的飼料价值。但是,正如夏尔賴等所指出的,鉀的吸收量受同电性其他离子的拮抗影响較小;这在万·埃特利(Th. B. Van Itallie 1938)^[3]更早的試驗資料中也可以清楚地看到这一点。因此,即使在总的离子电性平衡原則下,植物体内各个同性离子之間亦并不是都可以随便进行当量代替的;如果被迫代替了,对获得高額产量亦是不利的。例如,貝尔等人曾經指出,当鈣与鉀的比例(阳离子当量比)大于4:1时,苜蓿的产量将会降低,而植物对鉀的施用也将具有良好的反应;但比例不增至接近于8:1时,将不出現鉀的飢餓征状^[4,5]。

由此可見,植物为了正常的生长发育并获得高額的产量,是需要一定范围的营养元素比例的。如果某一元素缺乏而使比例失調,势必造成植物对其他元素不能充分利用,或引起其他元素的有害影响。因此,植物所要求的这种比例,应该作为生产上合理配合肥料的理論依据之一。

此外,植物在不同的生长发育时期对营养元素比例的要求是不同的。根据茹尔宾茨基(З. И. Журбицкий)对蔬菜作物的研究^[6,7],植物的矿物組成(即营养元素比例)随着

* 参加試驗工作的尚有郭紹仪、周景胜、馬树刚、任桂芬、孟繁榮等同志。本文曾承姚归耕教授审阅与指数,特此致謝。

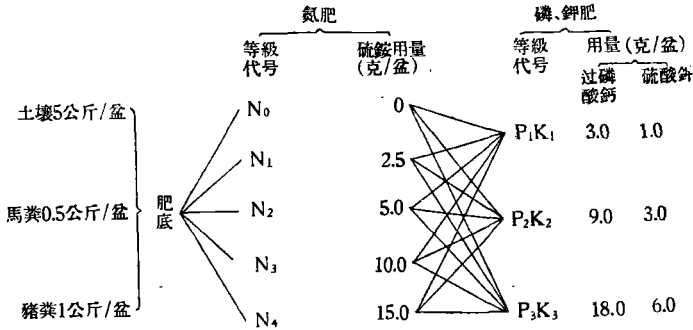
年龄有规律性的变化;施肥能否促进这种变化的通过,对植株生长发育有显著的影响。因此,如果充分了解植物所要求的营养元素比例的变化规律,及其与各个时期所发生的器官、性状之间的关系,势必有可能通过调节营养元素之间的比例,来促使植物的生长发育向我们所需要的方向发展。

本研究是本所春小麦控制条件试验的一部分,它是通过在不同肥料配合处理的基础上分析植物的方法,来探讨不同氮素供应水平对春小麦吸收磷素与钾素的影响,以及植物吸收氮、磷、钾的比例与植株生长发育及最终产量之间的关系;同时相应于植株正常生长发育与获得高额产量的处理,找出春小麦最适宜的氮、磷、钾营养比例,及其在不同生长发育时期的变化规律,以作为合理施肥的依据。

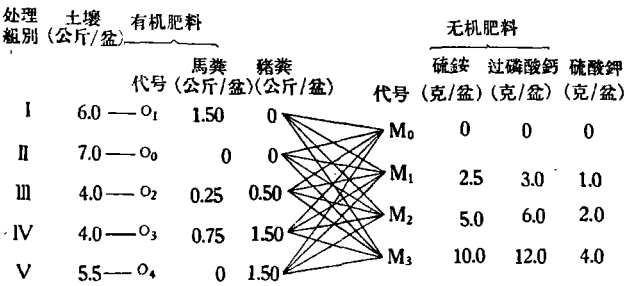
二、试验材料与方 法

(一) 盆栽试验

第一部分 为了造成土壤中氮、磷、钾有不同的比例,在同样施用足量有机肥料的基础上,把化学肥料分成若干级差较大的等级,其氮肥等级与磷、钾肥等级相互排列组合,构成各种不同配合的处理。试验重复 4 次。具体方案如下:



第二部分 在不同种类与数量的有机肥料基础上,施入不同数量等级但是同样配合比例的氮、磷、钾化肥,构成各种有机、无机肥料配合的处理。由于不同有机肥料中养分及有机质含量的差异,亦必然造成各处理土壤有效氮、磷、钾水平及影响这种水平的微生物活动的差异。试验重复 3 次。具体方案如下:



两部分试验一律采用 20 × 20 厘米的密氏瓷盆;供试土壤皆为沈阳地区冲积性草甸土;马粪皆为半腐熟的纯粹粪便;猪粪混有猪圈土。土壤及有机肥料的养分与有机质含量

如下(表 1):

表 1 供試土壤与有机肥料的养分及有机質含量

試 料	全N(%)	全 P ₂ O ₅ (%)	速 效 N (毫克/100克土)	速效 P ₂ O ₅ (毫克/100克土)	有机質 (%)
土 壤	0.17	0.41	8.16	65.00	2.32
馬 糞	1.10	0.88	—	—	25.67
猪 糞	0.40	0.51	54.00	156.00	4.98

試驗用的硫銨含氮 18%，过磷酸鈣含有效磷 (P₂O₅) 14%，硫酸鉀含 K₂O 48%。

供試春小麦品种为当地推广的明-2761，种子經過粒选消毒，于 4 月 6 日播种，4 月 30 日定苗，每盆选留健壮一致的麦苗 20 株。

小麦开花末期可視為母代与子代生长发育在形态上的相对分界綫，物質累积与運轉的轉折点^[8]。因此就在此时取样分析植物。氮用凱氏法測，磷用鉬蓝光电比色法測，鉀用火焰光度計測。

(二) 田間試驗

在總結前人研究成果及农民丰产經驗的基础上，經過有农民参加的充分討論¹⁾，設置 6 个綜合性的处理。各处理在同样基肥的基础上，同时分四个时期进行追肥；追肥的总用量相同，但各个追肥时期各处理氮、磷、鉀的配合比例各异（具体方案見表 2），以达到不仅在营养元素的总量上能够充分滿足植物的要求，而且在各个生长发育时期营养元素的配合比例上，也能創造出一个最适于植物生长与发育的处理。在生长发育期間对各个处理分期采样，分析植物体内氮、磷、鉀的含量；并根据最后产量結果，选取最好的处理来討論各个生长发育时期营养比例的变化規律。

試驗地的土壤是沈阳地区的冲积性草甸土。在春天播种前分小区定量施入充分混勻的有机肥料 2.0 万公斤/公頃(其中人糞土:棉仁餅:优質堆肥 = 1:2:15)。

表 2 田間試驗方案*

处理代号	追肥时期与肥料配合成分				总追肥量 (公斤/公頃)		
	三叶期末	分蘖盛期	孕 穗 期	灌 浆 前	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
I	N ₂ P ₁ K ₁	N ₃ P ₁ K ₃	N ₁ P ₃ K ₃	N ₀ P ₁ K ₂	200	200	300
II	N ₂ P ₁ K ₁	N ₃ P ₃ K ₃	N ₁ P ₁ K ₃	N ₀ P ₁ K ₂			
III	N ₂ P ₁ K ₁	N ₁ P ₃ K ₃	N ₃ P ₁ K ₃	N ₀ P ₁ K ₂			
IV	N ₂ P ₁ K ₁	N ₃ P ₃ K ₁	N ₀ P ₁ K ₃	N ₁ P ₁ K ₃			
V	N ₂ P ₁ K ₁	N ₃ P ₁ K ₁	N ₁ P ₃ K ₂	N ₀ P ₁ K ₄			
VI	N ₂ P ₁ K ₁	N ₁ P ₃ K ₁	N ₁ P ₀ K ₃	N ₂ P ₂ K ₄			
VII	对 照						

* 表內 N、P、K 右下角所标明的数字为追肥用量等級。

試驗重复 3 次。小区面积 10 平方米。供試春小麦品种为当地推广的甘肅 96 号。追肥全用速效化肥。每次追肥之后立即灌水，使之充分發揮效力。生长发育期間經常进行

1) 我們在討論試驗計劃及試驗初期曾聘請农民专家卢玉峯同志一同参加工作。

除草、灌溉等细致管理。

三、試驗結果的分析与討論

(一) 盆栽試驗

(1) 春小麦吸收三要素(氮、磷、鉀)的比例及其与产量的关系

第一部分試驗的产量結果列于表 3。由表 3 可以看出,增施氮肥,籽实产量显著增加,但增施磷鉀肥却并无增产效益;各个磷鉀等級之間产量差异的机率 $P > 0.05$, 差异不显著。不仅籽实产量如此,总产量也是如此(表 10)。由此可见,在本試驗中,施入有机肥料的土壤只是非常缺氮,但并不缺少磷、鉀。这从土壤及有机肥料的分析結果亦可得到証明(表 1)。至于土壤富含鉀素,則更是东北地区所习見之事。植物对营养元素的吸收亦与产量相符,无论对氮素,抑或对磷、鉀的吸收,皆随氮肥用量的增加而增加,并不依磷、鉀肥施用的多寡为轉移(表 4)。这就表明氮素的不足,对植物充分利用磷、鉀有明显的限制作用;亦即說明春小麦三要素营养具有密切的相互关系。

表 3 氮、磷、鉀不同数量配合对春小麦籽实产量的影响

磷鉀等 級 氮等級	P ₁ K ₁	P ₂ K ₂	P ₃ K ₃	平均產量 (克/盆*)	相對產量
	籽 實 產 量 (克/盆*)				
N ₀	14.0±0.3	14.7±0.7	15.1±0.3	14.6±0.3	100
N ₁	22.9±0.4	25.4±0.9	26.4±0.6	24.9±0.5	170.5
N ₂	37.7±0.9	37.8±0.7	41.7±0.4	39.1±0.7	267.8
N ₃	45.8±0.5	46.4±1.0	47.3±0.8	46.5±0.4	318.5
N ₄	48.2±0.3	48.3±0.7	47.6±0.5	48.0±0.3	328.8
肥 底 對 照	15.5±0.9				
	11.2±0.3				

* 每盆定植 20 株春小麦。

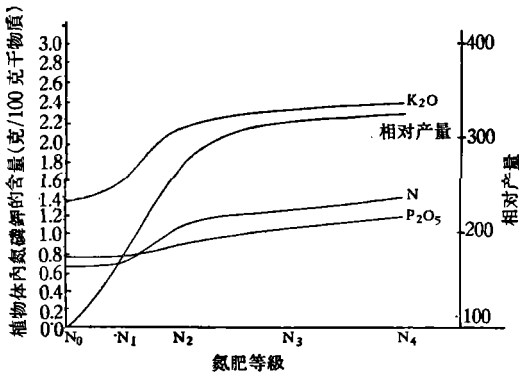


图 1 在不同氮素营养情况下,植物体内营养元素含量与产量的关系

既然磷、鉀各等級处理間的产量与植物所吸收的营养元素含量皆无显著差异,則可把这些数字加以平均(表 3 和表 4);并可根据这些平均数字来作出依氮肥等級变化的增产曲线和植物体内营养元素的含量曲线(图 1)。

(a) 随着氮肥用量的增加(N_2 以上),产量曲线上升并达到最大限度;在这种情况下,植物体内氮、磷、鉀含量三条曲线即趋向于相互平行,表现出稳定比例关系。而在氮肥供应不足时(N_2 以下),植物体内氮、磷、鉀的含量則减少,并且上述比例关系遭到破坏,产量曲线急剧下降。因此,为了获得最高产量,春小麦需要吸收一定比例的

表 4 氮、磷、钾不同数量配合对春小麦吸收营养元素的影响

处 理		N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
氮肥等级	磷、钾肥等级	%	平均(%)	%	平均(%)	%	平均(%)
N ₀	P ₁ K ₁	0.65±0.01	0.64±0.02	0.72±0.00	0.74±0.01	1.33±0.00	1.32±0.02
	P ₂ K ₂	0.69±0.01		0.76±0.02		1.35±0.00	
	P ₃ K ₃	0.58±0.01		0.73±0.02		1.27±0.03	
N ₁	P ₁ K ₁	0.64±0.02	0.66±0.01	0.68±0.01	0.73±0.02	1.37±0.01	1.52±0.06
	P ₂ K ₂	0.66±0.01		0.73±0.01		1.48±0.00	
	P ₃ K ₃	0.69±0.01		0.77±0.03		1.71±0.06	
N ₂	P ₁ K ₁	1.06±0.06	1.05±0.02	0.87±0.00	0.87±0.01	2.02±0.07	2.11±0.05
	P ₂ K ₂	1.05±0.05		0.87±0.01		2.19±0.05	
	P ₃ K ₃	1.04±0.04		0.86±0.03		2.13±0.05	
N ₃	P ₁ K ₁	1.21±0.02	1.24±0.02	1.00±0.01	1.06±0.02	2.27±0.02	2.30±0.02
	P ₂ K ₂	1.21±0.01		1.03±0.02		2.30±0.02	
	P ₃ K ₃	1.30±0.04		1.10±0.03		2.34±0.02	
N ₄	P ₁ K ₁	1.44±0.01	1.38±0.03	1.21±0.06	1.18±0.02	2.44±0.03	2.38±0.02
	P ₂ K ₂	1.31±0.04		1.19±0.04		2.38±0.03	
	P ₃ K ₃	1.38±0.01		1.15±0.01		2.33±0.03	
肥 底		0.64±0.01		0.75±0.01		1.27±0.06	
对 照		0.63±0.02		0.72±0.01		1.20±0.04	

氮、磷、钾营养元素。这一相应于最高产量的比例,我们称之为最适三要素营养比例。

(b) 当产量达到当时环境下的最大限度以后,植物体内氮、磷、钾的含量亦不再显著增加,几乎与产量曲线处于平行状态,并未发现有如普菲菲尔等(1919)对燕麦所指出的“奢侈消耗”现象^[9]。这很可能与取样时期或其他条件有关。

(c) 由于氮素缺少,对春小麦吸收磷与钾都有限制作用;但对吸收钾的限制作用比对磷的大。

上述的试验结果,在第二部分试验中得到了进一步的证实。这部分试验是利用有机肥料的不同配合来调节土壤营养水平,在此不同营养水平的基础上施用不同等级的化肥,以期得出各种不同的产量曲线,并与这些产量曲线相对应,来探讨植物吸收氮、磷、钾三要素之间的关系。

第二部分试验的产量结果列于表 5。从表 5 可以看出,由第 I 组处理至第 V 组处理,基础产量 (M₀ 的产量)依次增高,而化肥增产效率则依次减低,但最高绝对产量 (M₃ 的产量)各组处理结果则相当接近 (第一组处理尚未达到最高产量)。由此可以作出五条各自代表不同肥力基础的增产曲线 (图 2 I—V)。各组处理肥力基础之不同,主要在于氮素营养水平的差异。这不但可以从土壤与有机肥料的分析结果 (表 1) 求得了解 (应该指出,马粪含有大量未完全腐熟的纤维素;在其分解过程中,必然引起微生物与植物争夺氮素),而且在生长发育期间所进行的缺素征状观察与用 B. B. 切尔林格方法^[10]所作出的组织测定亦证明了此点。

各组处理植物所吸收的氮、磷、钾营养元素的数量列于表 6,并与产量曲线相应地作

表 5 不同有机、无机肥料配合对春小麦产量(克/20株)的影响*

处理组别	有机肥料 / 无机肥料	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃
I	O ₁	4.2±0.5 (100)	9.7±0.5 (231)	18.3±0.4 (436)	43.4±1.1 (1033)
II	O ₀	11.2±0.3 (100)	27.7±0.7 (247)	37.3±1.7 (333)	46.4±0.6 (414)
III	O ₂	13.3±0.4 (100)	27.9±1.6 (210)	38.8±0.3 (292)	44.8±0.3 (337)
IV	O ₃	18.4±0.5 (100)	26.9±1.2 (146)	38.5±0.6 (209)	45.8±1.1 (249)
V	O ₄	29.4±0.8 (100)	39.4±0.6 (134)	43.5±0.3 (148)	46.5±0.9 (158)

* 括弧内数字为相对产量。

图(图 2 I—V)表明。从图 2 I—V 同样可以清楚地看出第一部分试验所揭露的规律;并且由于从图 2 I 至图 2 V 各个产量曲线的陡度不同,可以更广泛地看出春小麦氮素营养对磷、钾营养的影响,以及三要素营养比例与产量水平的关系。

表 6 在不同有机、无机肥料配合下,春小麦所吸收的营养元素(克/100克干物质)

处理組別	无机肥料 营养元素		M ₀	M ₁	M ₂	M ₃
	有机肥料					
I	O ₁	N	0.34	0.43	0.42	0.86
		P ₂ O ₅	0.59	0.65	0.69	0.86
		K ₂ O	1.00	1.11	1.15	1.71
II	O ₀	N	0.63	0.73	0.83	1.11
		P ₂ O ₅	0.72	0.72	0.80	0.88
		K ₂ O	1.20	1.44	1.68	1.78
III	O ₂	N	0.43	0.59	1.00	1.05
		P ₂ O ₅	0.72	0.72	0.80	0.86
		K ₂ O	0.92	1.44	1.75	1.79
IV	O ₃	N	0.68	0.84	0.99	1.12
		P ₂ O ₅	0.80	0.74	0.81	0.86
		K ₂ O	1.26	1.43	1.65	1.75
V	O ₄	N	0.69	0.88	0.87	1.09
		P ₂ O ₅	0.74	0.74	0.77	0.86
		K ₂ O	1.54	1.72	1.80	1.88

在图 2 I 中,产量曲线急剧上升,并且最后尚未达到最高水平;在这种情况下,氮、磷、钾三条曲线并未出现前述之最适比例关系,氮素曲线一直被迫低于磷素曲线,但这种关系随着产量曲线的进一步升高而有改进的趋势。从图 2 II 至图 2 V 则可依次看出最适三要

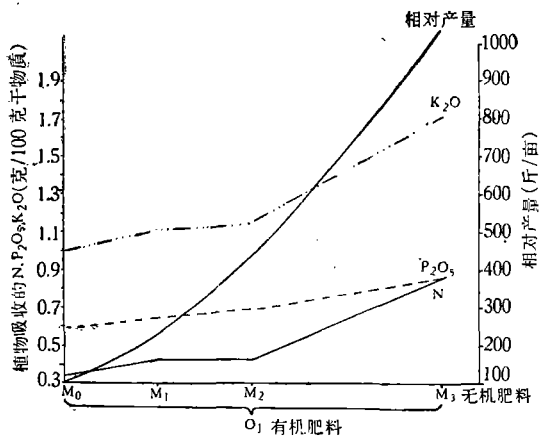


图 2—I. 在大量马粪与不同数量化肥配合施用下,春小麦产量与植物吸收养分的关系

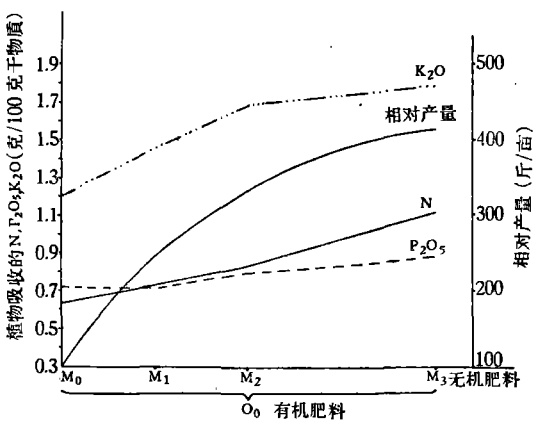


图 2—II. 在施入不同数量化肥的情况下,春小麦产量与植物吸收养分的关系

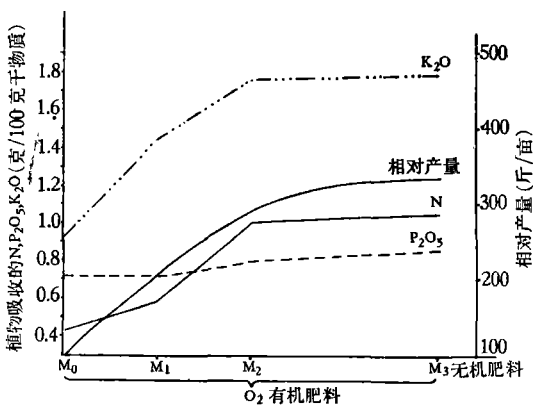


图2—III. 马粪、猪粪与不同数量化肥配合施用下,春小麦产量与植物吸收养分的关系

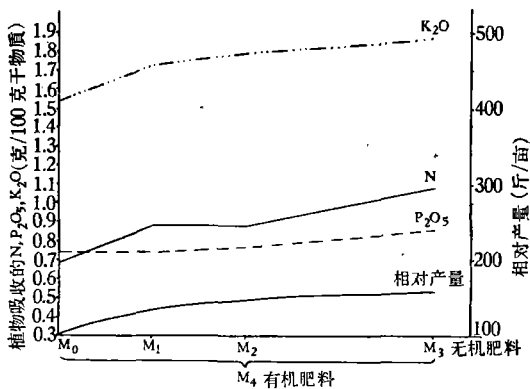


图 2—IV. 在大量马粪、猪粪与不同数量化肥配合施用下,春小麦产量与植物吸收养分的关系

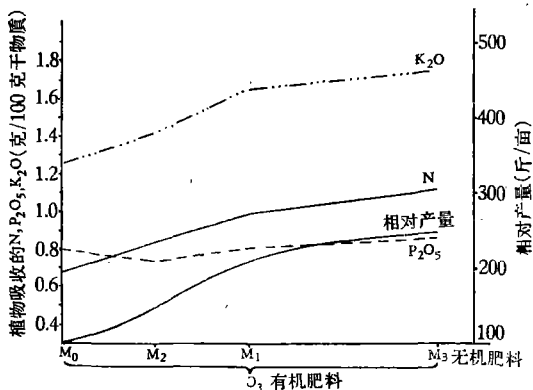


图 2—V. 在大量猪粪与不同数量化肥配合施用下,春小麦产量与植物吸收养分的关系

素营养比例的形成过程;氮、磷、鉀三条曲线随着产量曲线的愈平稳(达到最高水平)而愈趋向于平行,并且与产量曲线也几成平行状态。这种平行关系,是否在其他生长发育时期取样分析也能发现,则尚不敢肯定,但是在开花末期植物体内氮、磷、鉀含量相应于产量而维持常数平衡状况,即氮、磷、鉀成一定的比例关系的事实,是非常有意义的。日本人对水稻的研究,也发现不同氮、磷、鉀处理的植株,在抽穗阶段剑叶内的氮-磷-鉀平衡关系几近一常数;但他们并没有注意其与产量的关系。

各組处理相应于最高产量的氮、磷、鉀比例值之間,及其与第一部分試驗所得出的这一比例值之間都是十分接近的(表 7)¹⁾。由此可見,在同一气候地区,春小麦为了正常生长发育与获得最高产量,需要吸收一定比例的氮、磷、鉀营养元素;植物本身的这种要求,并不因土壤肥力水平或施肥水平的不同而有严重改变,只有可能被迫得不到满足。根据

表 7 在沈阳地区春小麦明-2761 为了获得最高产量所需要的
氮、磷、鉀比例(截至开花末期为止)

試驗組別	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O (重量比)
第一部分試驗	1 : 0.85 : 1.85
第二部分試驗 II	1 : 0.80 : 1.55
III	1 : 0.82 : 1.70
IV	1 : 0.77 : 1.56
V	1 : 0.79 : 1.72
平 均	1 : 0.81±0.01 : 1.68±0.06

两部分試驗的平均資料,在沈阳地区春小麦明-2761 所要求的最适三要素营养比例为: N:P₂O₅:K₂O = 1:0.81:1.68。这一比例乃是截至开花末期为止的累計比例,代表开花末期以前的整个生长发育过程对氮、磷、鉀比例的总要求;在已经了解土壤养分平衡的情况下,可以作为配合肥料的理論依据。但并不是說在开花末期以前,春小麦都是按照这一比

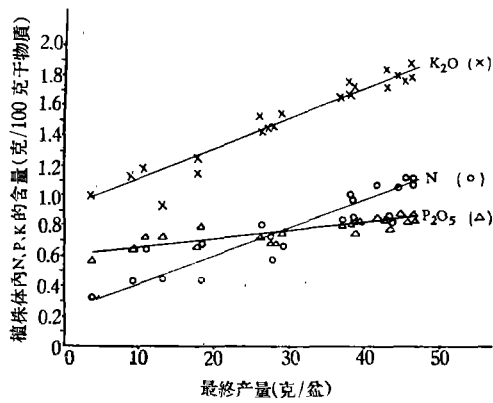


图 3 春小麦在开花盛期植株体内的氮、磷、鉀含量与最终产量的关系

例吸收三要素的;恰恰相反,在不同的生长发育时期,它需要吸收不同比例的营养元素(見后文)。因此,所配合的肥料如果要分期施入的話,就必须根据各个时期对营养元素比例的要求来分配。

如果我们把整个第二部分試驗的植物分析結果与产量結果作成相关图(图 3),則可以看出:

(a) 春小麦在开花盛期,植株体内的氮、磷、鉀含量与最终产量具有明显的正相关;即植物体内氮、磷、鉀含量愈高,最终产量亦愈高。根据这种关系,在此时期对植

1) 第二部分試驗植物氮、磷、鉀含量绝对值較第一部分試驗的稍微低一些,是由于前者分析样本烘干磨碎后在空气中放置了许多天才称样分析,因此含有一部分吸湿水的緣故。

株整个地上部的分析似可以测知三要素营养的保证程度。但是，由于三要素营养的相互影响（尤其是氮与钾），即使测出其保证程度很低，也很难判断土壤中是否三者皆缺，还是仅缺一种元素（如氮），从而限制了植物对其他元素的吸收。但这是否可以根椐三要素营养比例的变化来判断（尤其是氮与磷），则尚待进一步研究。

(b) 不论氮素供应水平与产量水平如何，植物对氮素与钾素的吸收几乎具有平行的关系，而氮素与磷素则只有当氮素供应充足，能够达到当时环境下的最高产量的情况下才具有这种关系（见图 1、图 2 I—V），随着氮素供应的愈益缺乏及产量的渐次降低，植物对磷素的吸收不如钾素减少得严重，因而从图上可以看出氮与磷之间的交叉关系。由此可见，氮素营养水平对春小麦吸收磷素与吸收钾素的影响是不尽相同的。至于这种差异是因为 PO_4^{3-} 与 K^+ 为异性离子，还是因为 N 与 K 在生理上比 N 与 P 之间有着更单纯的相互关系，则尚须作进一步的探讨。

(2) 三要素营养比例与植株生长发育及产量结构的关系

根据前面的分析，我们知道在本试验中最适三要素营养比例的破坏是由于氮素缺乏引起的；并且在第一部分试验中大致以 N_2 为转折点，硫酸铵用量在 N_2 以上比例趋向正常，低于 N_2 以下遭到破坏。这种破坏，不仅严重地影响了产量，而且对植株的生长发育也发生了深刻的影响。

由于氮素缺少，最适三要素营养比例被迫破坏的植株，在不同程度上表现出矮小、发黄、分蘖减弱。从株高度的调查结果（表 8）可以看出，所有调查时期最适比例破坏的处理，植株高度都比比例正常的要小。干物质的累积亦出现了同样的情况（表 9）。

表 8 三要素营养比例与植株高度(厘米)的关系

处理		调查日期 植株高度 (厘米) 营养比例状况	5 月 5 日		5 月 19 日		6 月 2 日		6 月 16 日	
				平均		平均		平均		平均
肥 底		最适比例破坏	14.1		30.0		46.6		57.5	
N_0	P_1K_1		16.0		27.2		44.3		62.0	
	P_2K_2		16.2	16.4	27.0	27.8	43.8	45.2	63.0	63.1
	P_3K_3		17.0		29.1		47.4		64.3	
N_1	P_1K_1	比例趋向正常	17.5		32.1		51.8		69.2	
	P_2K_2		17.8	17.6	31.8	31.9	51.7	52.7	69.7	69.5
	P_3K_3		17.5		31.7		54.6		69.5	
N_2	P_1K_1	比例趋向正常	18.4		33.0		55.3		75.0	
	P_2K_2		18.0	18.1	33.6	33.4	58.3	56.6	73.8	74.7
	P_3K_3		18.0		33.6		56.3		75.3	
N_3	P_1K_1	比例趋向正常	18.5		33.4		58.9		73.5	
	P_2K_2		17.8	18.1	33.4	33.7	57.9	58.7	72.0	72.7
	P_3K_3		18.1		34.2		59.3		72.5	
N_4	P_1K_1	比例趋向正常	18.4		35.5		59.2		74.8	
	P_2K_2		18.2	18.2	34.0	33.9	58.7	58.7	70.3	73.4
	P_3K_3		18.0		32.1		58.3		75.0	

表 9 三要素营养比例与干物质累积的关系

处 理	肥底	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄
营 养 比 例 状 况	最 适 比 例 破 坏			比 例 趋 向 正 常		
开花盛期植株干物重(克/20 株)	14.5	16.5	25.0	30.0	32.0	33.5

在生长发育期方面(表 10)也大致可以根据三要素营养比例状况来划分界线。由于氮素缺少最适比例遭到破坏,植物生长发育期较比例正常的普遍缩短。这与古雪夫及薩比宁的观察结果似相矛盾;他们发现土壤中氮素不足会使小麦延迟抽穗^[11]。这种分歧很可能是因为氮素缺乏程度不同的关系;在氮素极端不足,严重阻碍生长发育的情况下确实会延迟抽穗;第二部分试验的第 I 组处理也表现出这种现象;但如果在非极端的程度上缺少氮素,由于磷、钾对氮素的比例相对增高,则会加速发育,缩短生长发育期。这样缩短生长发育期与获得高产是相矛盾的。

三要素营养比例对产量结构的影响也是相当显著的。这里所指的产量结构,包括构成总产量的籽粒与茎叶的比率,以及构成籽粒产量的穗数、粒数与粒重的组成关系。从表 11 可以看出,由于氮素缺少所引起的比例破坏,减低了籽实在总产量中的比率,而增高了茎叶的比率。这一点寻常是无人注意的,一般只考虑到氮肥过多会使植物贪青徒长,从而增加废品产率(即茎叶产率)。其实,这很可能是三要素比例失调,特别是生长发育后期失调的结果。如果按适当的三要素营养比例充分地满足植物的氮素要求,不仅不会增加废

表 10 三要素营养比例与生长发育期(天数)的关系

处 理		生长发育期 (天数)	播种—出苗		出苗—抽穗		抽穗—成熟		播种—成熟	
			•	平均		平均		平均		平均
肥 底		最 适 比 例 破 坏	14		46		33		93	
N ₀	P ₁ K ₁		14		45		33		92	
	P ₂ K ₂		14	14	45	45	33	33	92	92
	P ₃ K ₃		14		45		33		92	
N ₁	P ₁ K ₁	比 例 趋 向 正 常	14		45		33		92	
	P ₂ K ₂		14	14	45	45	33	33	92	92
	P ₃ K ₃		14		45		33		92	
N ₂	P ₁ K ₁		14		47		34		95	
	P ₂ K ₂		14	14	47	47	34	34	95	95
	P ₃ K ₃		14		47		34		95	
N ₃	P ₁ K ₁	比 例 趋 向 正 常	14		48		35		97	
	P ₂ K ₂		14	14	48	48	35	35	97	97
	P ₃ K ₃		14		48		35		97	
N ₄	P ₁ K ₁		14		48		37		99	
	P ₂ K ₂		14	14	48	48	37	37	99	99
	P ₃ K ₃		14		48		37		99	

表 11 三要素营养比例与产量结构的关系之一

结构因素 营养比例状况 处理			总产量(克/盆)		籽实产量(克/盆)		籽实比率(%)	
			克/盆	平均	克/盆	平均	%	平均
肥 底		最 适 比 例 破 坏	41.5		15.5		37.3	
N ₀	P ₁ K ₁		36.5		14.0		38.4	
	P ₂ K ₂		38.5	37.8	14.7	14.6	38.2	38.6
	P ₃ K ₃		38.5		15.1		39.2	
N ₁	P ₁ K ₁	比 例 趋 向 正 常	57.1		22.9		40.1	
	P ₂ K ₂		62.7	61.9	25.4	24.9	40.5	40.2
	P ₃ K ₃		65.9		26.4		40.0	
N ₂	P ₁ K ₁		89.8		37.7		42.0	
	P ₂ K ₂		86.0	90.3	37.8	39.1	44.0	43.3
	P ₃ K ₃		95.2		41.7		43.8	
N ₃	P ₁ K ₁		104.9		45.8		43.7	
	P ₂ K ₂		100.2	103.7	46.4	46.5	45.5	44.5
	P ₃ K ₃		106.1		47.3		44.6	
N ₄	P ₁ K ₁		109.4		48.2		43.9	
	P ₂ K ₂		111.8	111.4	48.3	48.0	43.2	43.1
	P ₃ K ₃		112.9		47.6		42.2	

表 12 三要素营养比例与产量结构的关系之二

结构因素 营养比例状况 处理			穗数/盆		粒数/穗		千粒重(克)	
			穗数/盆	平均	粒数/穗	平均	千粒重(克)	平均
肥 底		最 适 比 例 破 坏	26.5		22.5		26.3	
N ₀	P ₁ K ₁		24.5		18.9		30.1	
	P ₂ K ₂		24.5	25.2	19.9	18.9	30.1	30.8
	P ₃ K ₃		26.5		17.9		32.1	
N ₁	P ₁ K ₁	比 例 趋 向 正 常	41.3		17.5		31.7	
	P ₂ K ₂		45.2	44.6	18.1	17.6	31.2	31.8
	P ₃ K ₃		47.2		17.2		32.5	
N ₂	P ₁ K ₁		59.0		22.5		28.5	
	P ₂ K ₂		58.0	59.0	22.1	22.3	29.5	29.8
	P ₃ K ₃		60.0		22.3		31.3	
N ₃	P ₁ K ₁		65.0		23.9		29.5	
	P ₂ K ₂		64.5	66.1	24.0	23.6	30.0	29.8
	P ₃ K ₃		68.7		23.0		30.0	
N ₄	P ₁ K ₁		69.2		24.1		28.9	
	P ₂ K ₂		72.0	71.6	23.2	23.3	29.0	28.9
	P ₃ K ₃		73.7		22.6		28.7	

品产率,而且在增加总产量的同时,会降低废品产率,提高商品产率(即籽粒产率)。

分析构成籽实产量的三大产量因素的结果(表 12)表明,由于氮素缺少所引起的最适比例破坏,使每盆穗数减少最重,其次是每穗粒数,而千粒重则反有增加趋势。因而使构成产量的三大因素之间的关系发生了重大的改变。由于穗数与粒数的严重减少,这种改变的总结果极其有害于产量。

綜上所述,由于氮素缺少所引起的最适三要素营养比例的破坏,会使春小麦生产失常,产量急剧降低,产量结构严重变劣。

(二) 田間試驗

春小麦在不同生长发育时期三要素营养比例的变化规律。根据田間試驗的产量结果(表 13),得知第 II 种处理产量最高;又根据取样考种的结果(表 14),第 II 种处理的产量结构与成熟情况也都较好。因此我们就取第 II 种处理的植物分析结果(表 15)来讨论不同生长发育时期三要素营养比例的变化规律。

表 13 在各個时期的追肥中三要素的不同配合对春小麦产量的影响

处 理 代 号	籽实产量 (公担/公顷)	相对产量(%)
I	28.9	115.6
II	31.6	126.4
III	26.2	104.8
IV	24.5	98.0
V	25.9	103.6
VI	24.3	97.2
VII	25.0	100

表 14 在各個时期的追肥中三要素的不同配合对产量结构与成熟度的影响

处 理 代 号	总 产 量 (克/平 方米)	籽 实 重 (克/平 方米)	莖 叶 重 (克/平 方米)	籽实/ 莖叶 比率 (%)	成 熟 的				未 成 熟 的				籽粒成熟率 (%)
					穗数/ 平方米	粒数/ 穗	千粒重 (克)	籽粒 总重 (克/平 方米)	穗数/ 平方米	粒数/ 穗	千粒重 (克)	籽粒 总重 (克/平 方米)	
I	1625	455	1170	38.9	520	26.6	28.6	395.6	220	11.9	20.2	59.4	86.9
II	1775	515	1260	40.9	600	26.7	29.2	467.2	172	12.7	22.1	48.2	90.6
III	1480	418	1062	39.4	582	25.0	27.2	395.6	90	12.9	19.6	22.8	94.6
IV	1400	320	1080	29.7	518	19.0	26.2	256.2	300	10.6	19.3	61.6	80.8
V	1350	415	935	44.4 (?)	546	23.1	29.2	368.0	192	10.9	22.4	47.0	88.7
VI	1580	357	1223	29.2	490	23.2	24.0	273.2	298	14.3	19.6	83.8	76.5
VII (对照)	1450	386	1064	36.3	482	24.2	31.6	369.2	76	10.9	20.9	17.2	95.5

根据表 14 所列的资料并结合生长发育观测结果,可以作出各个生长发育时期的三要素百分比例变化图(图 4)。从图 4 可以清楚地看出:

春小麦甘肃 96 号在生长锥伸长期的三要素营养比例以氮最高,磷次之,钾更次。此时光照阶段的发育开始进行,植株将要开始分蘖。

在小穗原始体分化期仍然存在这种比例关系;但是氮、磷所占比例逐渐下降,钾逐渐

表 15 春小麥甘肅 96 号在不同时期植株体内的三要素含量及其百分比

取样日期	4 月22日			5 月 6 日			5 月28日			6 月22日		
营 养 元 素	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
含 量 (克/100克干物质)	2.64	2.17	1.63	2.53	2.22	2.06	1.62	1.13	2.20	1.05	0.92	1.74
百 分 比 例 (N+P ₂ O ₅ +K ₂ O=100)	41.0	33.7	25.3	37.2	32.6	30.2	32.7	22.8	44.5	28.3	24.8	46.9

上升。此时植株正在大量分蘖。

在小花原始体分化期，氮、磷繼續下降，鉀繼續上升，并先后与磷、氮趋向于平衡，而轉向新的方向。在此期最后完成光照阶段，植株开始进入拔节期。

在前三个时期之中，植株进行了分蘖及穗子的发育。根据庫别尔曼与斯坦柯夫等的研究，此时加强氮肥对增加分蘖与小穗数、小花数有良好的效果，而加强鉀肥则有效地抑制了分蘖^[12]。如前所述，此时三要素营养比例随着年龄的变化方向是：占优势的氮素逐漸下降，占劣势的鉀素逐漸上升。根据 3. И. 茹尔宾茨基对蔬菜作物的研究，如果施肥能够促进該植物在矿物組成(即营养元素比例)方面通过年龄变化，則植物的发育加速，相反則延緩^[6]。氮、鉀肥料的上述效应，很可能系氮肥能够阻碍营养元素比例通过年龄变化延緩发育，从而有利于此时原有器官(側枝、小穗、小花)的增生，而鉀肥則恰好相反，由此也可知側枝的形成与小穗、小花原始体的分化是需要占优势比例的氮素的。

在性器官形成期，三要素营养比例已发生了重大的改变；氮繼續下降，磷起初繼續下降而后稍有上升，鉀則繼續上升并开始显著地超过氮、磷。此时正通过 B. A. 諾維科夫等所指出的第三发育阶段与第四发育阶段^[13]；并且从这一时期开始，植株生长大大加速(干物质累积曲綫急剧上升)。

在胚胎发育时期仍然維持如前的比例关系，但鉀已趋向于平稳，磷繼續稍有上升。此时植株干物质累积仍在強烈地进行。

在后两个时期中鉀素比例的绝对优势，可能由于此时生长最旺，干物质累积最强烈，而鉀有促进物质运轉的緣故；这和 B. A. 諾維科夫等所指出的，在光强度临界期(第四发育阶段)追施鉀肥的良好效果^[13]是相符的。

据上所述，在春小麦的个体发育过程中，在光照阶段快要通过的时期，恰好是三要素营养比例发生轉变的时期。这种轉变很可能与此时植物正处在強烈的质变过程之中有关。根据許多人的研究，小麦在此时期对各个主要营养元素都迫切需要，缺少任一元素不仅对植株不利，而且会使籽实顆粒无收^[11]。

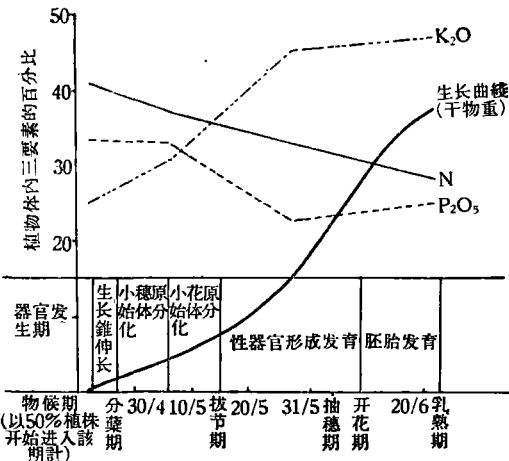


图 4 春小麥甘肅 96 号在不同生长发育时期的三要素营养比例变化情况

从比例变化图(图 4)上,可以找出春小麦甘肃 96 号在沈阳地区各个生长发育时期的三要素营养比例(表 16)。这些比例可视为春小麦阶段营养一项指标,也可作为合理施肥

表 16 春小麦甘肃 96 号在不同生育时期的三要素营养比例

生长发育时期	三要素营养比例 (N : P ₂ O ₅ : K ₂ O 的累进比例)
分蘖期	1:0.87:0.68
拔节期	1:0.81:1.03
抽穗期	1:0.74:1.45
开花期	1:0.78:1.52
乳熟期	1:0.89:1.68

的一种依据。但这些数值并未表明春小麦在各个生长发育时期对三要素绝对量的要求(在这方面前人已有许多研究,这里不加叙述)。同时必须指出,在配合肥料时,不能只根据植物对营养比例的需要,而应该同时考虑到土壤中各种养分的平衡情况。例如,东北土壤通常缺氮而富钾,因此为了满足植物对营养比例的要求,并免于浪费肥料,就宜相应地增施氮肥,减施或不施钾肥;特别是生长发育前期应该如此。

四、小 结

1. 春小麦三要素营养具有密切的相互关系。当土壤中氮素不足时,会限制植物对磷素与钾素的吸收;但其对钾素吸收的限制影响比对磷素的大。根据开花末期取样分析的结果,在各种不同程度的缺氮情况下,植物对钾素与氮素的吸收几乎具有平行的关系,而磷素与氮素则只有在氮素供应充足,能够获得当时环境下的最高产量的情况下,才具有这种关系。在开花盛期,植物体内的氮、磷含量与最终产量亦具有密切的正相关。

2. 在一定的气候地区,当土壤中养分供应充足,春小麦获得了当时环境下的最高产量的情况下,其植株所吸收的氮、磷、钾营养元素具有一定的比例关系(获得最高产量的各种施肥处理,在开花盛期植物体内的氮-磷-钾平衡几为一常数)。这一相应于最高产量的比例,称之为最适三要素营养比例。如果土壤中氮素缺乏,这一比例就遭到破坏,结果植株生长发育失常,产量急剧降低,产量结构严重变劣。

3. 在沈阳地区,春小麦明-2761 截至开花盛期为止的最适三要素营养比例为 $N:P_2O_5:K_2O = 1:0.81:1.68$ 。这一累进总比例,代表开花盛期以前的整个生长发育过程对三要素营养平衡的总要求;在具备土壤养分平衡研究资料的情况下,可以作为对整个这一生长发育过程合理配合肥料总量的理论依据。但是并不是在开花盛期以前,春小麦就一直按这一比例来吸收三要素的,因此,所配合的肥料总量如果要分期施用的话,就必须依据三要素营养比例在不同生长发育时期的变化情况来分配。

4. 在沈阳地区,春小麦甘肃 96 号三要素营养比例在生长发育期间的变化情况是:在小花原始体分化期(拔节始)比例趋向平衡,以此作为转折点,在前期以氮为优势,其次是磷,在后期以钾为优势,其次是氮。因此,在前期应该配合磷肥着重施用氮肥;这样不仅可以满足植物对氮素在比例上的优势要求,而且可以在小穗、小花原始体分化期从营养元素比例上阻碍其通过年龄变化以延缓发育,增加小穗数与小花数。但是在东北地区的土壤中,通常缺氮而富钾,故后期对钾肥的效应实际上并不显著。

参 考 文 献

- [1] Bear, F. E.: Cation and Anion Relationship in Plants and Their Bearing on Crop Quality. *Agro. Jour.* Vol. 42, No. 4, p. 176, 1950.
- [2] Scharrer, K. and Jung J.: Der Einfluß der Ernährung auf das Verhältnis von Kationen zu Anionen in der pflanze. "Zeitschrift für Pflanzen-ernährung Düngung Bodenkunde" 71, 76—94, 1955.
- [3] Van Itallie, Th. B.: Cation Equilibrium in Plants in Relation to the Soil. *Soil Science* Vol. 46: 175—186, 1938.
- [4] Bear, F. E. and Toth, S. J.: Influence of Calcium on Availability of Other Soil Cations. *Soil Science*. 65: 69—74, 1948.
- [5] Hunter, A. S., Toth, S. J. and Bear, F. E.: Calcium-Potassium Ratios for Alfalfa. *Soil Science* 55: 61—72, 1943.
- [6] Журбицкий, З. И.: 矿物营养是植物发育的因素, 植物生理学通讯, 2:57, 1958.
- [7] Журбицкий, З. И.: Потребность растений в питании как основа применения удобрений. Изд. АН СССР. 1958.
- [8] 薩摩赫瓦洛夫, Г. К.: 矿质营养与植物个体发育, 科学出版社, 1958.
- [9] 雷宏倬: 植物的磷素营养, 植物生理学通讯, 1:1—14, 1958.
- [10] Церлинг, В. В.: Новый прибор для диагностики питания растений. Удобрение и урожай, 7: 25—28, 1958.
- [11] 諾薩托夫斯基, А. И.: 小麦生物学, 財政經濟出版社, 1956.
- [12] 庫別尔曼, Ф. М.: 小麦栽培生物学基础, 第一卷, 第二卷, 科学出版社, 1958.
- [13] Новиков, В. А. 等: 植物的第三和第四发育阶段, 科学出版社, 1958.

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ТРЕМЯ ОСНОВНЫМИ ПИТАТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В ВЫРАЩИВАНИИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И ИХ ДЕЙСТВИЕ НА ЕЕ УРОЖАЙНОСТЬ

Чжоу Бан-цзи и др.

(Институт леса и почвы АН КНР)

(Резюме)

Вегетационные и полевые опыты проведены на аллювиальных луговых почвах за городом Шэньян в целях выяснения зависимости урожайности и состава пшеницы от доз азотных, фосфорных и калийных удобрений при их разных отношениях. Выводы, вытекающие из полученных данных опытов, кратко изложены в следующем.

1. Три основных питательных элемента яровой пшеницы тесно связаны друг с другими. Недостаток азота в почвах ограничивает поглощение фосфора и калия культурами, при этом влияние на калий выражается более резко, чем на фосфор. Результаты анализа навесок, взятых в конечном периоде цветения, показывают, что поглощение калия и азота культурами имеет почти параллельную корреляцию, а для фосфора и азота такая корреляция может выявляться только в том случае, когда снабжение азотом достаточно обеспечено и при этом культуры дают максимальную урожайность. Окончательный урожай культур также тесно связан с содержанием в них азота и фосфора в фазе полного расцветания.

2. В определенных климатических районах при достаточном снабжении пищей в почвах и достижении максимальной урожайности яровой пшеницы количество усвоения N, P, K растениями имеет определенное корреляционное соотношение (в вариантах с удобрениями, получивших максимальную урожайность, азото-фосфор-калийный баланс в растениях в фазе полного расцветания почти представляет собой неизменный констант). Количественное отношение трех основных питательных элементов, при котором получен максимальный урожай, называется оптимальным отношением. При недостатке азота такое отношение будет подвергаться разрушению, что и приведет к ненормальному росту и развитию растений, резкому снижению урожайности, а также существенному ухудшению структуры урожая.

3. В Шэньянском районе для яровой пшеницы сорта Мин-2761 оптимальным отношением трех основных питательных элементов является $N:P_2O_5:K_2O=1:0.81:1.68$. Оно показывает общее требование растений от баланса трёх основных питательных элементов во всех процессах их роста и развития до полного расцветания. В случае существования данных по балансу почвенных питательных веществ это отношение может служить теоретическими основами установления рационального сочетания доз удобрений во всех процессах роста и развития растений. Но это не значит, что до фазы полного расцветания яровая пшеница всегда усваивает эти три основных питательных элемента по указанному отношению. Таким образом, при дробном внесении удобрений необходимо установить рациональное сочетание доз трех основных питательных элементов по колебаниям их оптимального отношения в отдельных фазах роста и развития растений.

4. В Шэньянском районе оптимальное отношение трех основных питательных элементов для яровой пшеницы сорта Ганьсу-96 в отдельных фазах роста и развития растений подвергается следующим изменениям: В фазе дифференциации зачатков цветков (в начале выхода в турбку) оно имеет тенденцию к равновесию. Если рассматривать эту фазу как переломную точку, то до этой фазы первое место занимает азот, второе—фосфор, а после этой фазы первое—калий, второе—фосфор. Поэтому до этой фазы следует применить повышенную дозу азотных удобрений в сочетании с определенной дозой фосфорных удобрений, что не только может удовлетворить повышенную потребность растений в азотных удобрениях, но и будет задерживать поступление фаз зачатков и колосков, и тем самым увеличивать их количество. На Северо-востоке Китая почвы обычно бедны азотом, а богаты калием, следовательно в практике значительного эффекта не имеет применение калийных удобрений после указанной фазы развития растений.