

# 我国北方地区几种主要作物氮营养诊断及追肥推荐研究<sup>①</sup>

## Ⅲ. 春小麦氮营养诊断及追肥推荐体系的研究

李志宏

张福锁 王兴仁

(山西农业科学院蔬菜研究所,太原 030031)

(中国农业大学植物营养系,北京 100094)

### 摘 要

通过田间试验研究了两种快速诊断方法,二苯胺法和反射仪法在春小麦氮营养诊断中的应用。提出春小麦最佳氮营养诊断时期和诊断部位为拔节前茎基部节间组织。确定了春小麦用两种方法进行氮素诊断的临界值分别为 $2.55(\text{NO}_3^- \text{-N色阶,二苯胺法})$ 和 $2600\text{mgkg}^{-1}(\text{NO}_3^-, \text{反射仪法})$ 。同时建立了氮营养诊断的追肥推荐模型。

**关键词** 氮 营养诊断 快速测定 春小麦

春小麦是我国北方一些地区的主要粮食作物,氮营养是限制其高产的重要因子之一。研究如何通过植株氮素分析来诊断和矫正春小麦缺氮状况具有重要意义。春小麦不同生长阶段体内氮含量变异很大,Engel<sup>[1]</sup>研究表明,在不同生长阶段,体内氮变化在 $1.8\% \sim 5.6\%$ 之间。在某具体生长阶段,体内氮含量和春小麦生长曲线有很好的相关性。但他采用全氮作为衡量指标,难以作为快速营养诊断的依据。Elliott<sup>[2]</sup>研究了生长在南澳肥沃土壤上的春小麦对氮肥的需求规律,通过对比不同采样部位,认为茎基部 $\text{NO}_3^-$ 含量是最适合诊断氮素缺乏的指标。一般认为,作物根系吸收的硝态氮一部分沿木质部向地上部运输,到叶部还原,参与氨基酸合成;剩余部分大多贮存于茎基部<sup>[3]</sup>。因此,茎基部累积的硝态氮在很大程度上受施氮量的影响<sup>[4]</sup>。Gardner等<sup>[6,8]</sup>也曾采用不同生长阶段小麦基部一定长度的输导组织中 $\text{NO}_3^-$ 浓度的差异来预报获得最大子粒产量的供氮量。

春小麦生长前期,在出苗后5~11周内茎基部 $\text{NO}_3^-$ 含量都能反映作物供氮状况,其中包括分蘖期和拔节期<sup>[2,7,8]</sup>。同时也有研究表明,麦类作物吸氮高峰在拔节期和孕穗期。这两个时期,氮素缺乏对后期生长影响很大,和子粒产量也有很大关系<sup>[9,10]</sup>。因此,本研究通过在分蘖期、拔节期和孕穗期三个不同生长阶段进行氮素诊断,确定最佳诊断时期,并建立春小麦诊断临界值,以及诊断值与追肥量之间的关系,以期为指导春小麦合理追肥提供依据。

<sup>①</sup>北京市和国家自然科学基金资助项目

收稿日期:1996-08-08

## 一、材料与方方法

试验于1993~1994年度在内蒙古自治区五原县和通辽市进行。供试土壤理化性状见表1。试验为氮、磷二因素 $4 \times 3$ 设计,3次重复,随机区组排列。氮肥(N)4个水平为0、90、180、270 $\text{kg hm}^{-2}$ ,磷肥( $\text{P}_2\text{O}_5$ )3个水平为0、75、150 $\text{kg hm}^{-2}$ 。全部磷肥作为底肥一次施入;氮肥分底肥、分蘖肥、拔节肥各占40%、30%、30%施入。试验中进行详细田间调查。

表 1 供试土壤基本理化性状  
Table 1 The properties of soils

地点 Site	有机质 O.M. (C, %)	全氮 Total N (N, %)	有效氮 Available N (N, $\text{mg kg}^{-1}$ )	有效磷 Olsen-P ( $\text{P}_2\text{O}_5$ , $\text{mg kg}^{-1}$ )	有效钾 $\text{NH}_4\text{Ac-K}$ ( $\text{K}_2\text{O}$ , $\text{mg kg}^{-1}$ )	pH
五原	2.23	0.121	112.0	27.5	235.0	7.80
通辽	2.50	0.130	125.0	38.1	250.0	7.50

在春小麦分蘖期、拔节期、孕穗期之前采集茎基部约0.5cm长组织作为待测样品,所有植株样品均在追肥前采集。每小区留出测产区后,采样60株,所有样品采集都在上午8:00~11:00进行。因在这段时间,作物生理活性处于动态平衡状态,植株体内无机养分贮量最能反映养分吸收和养分同化需要量之间的相对关系,最具有诊断意义。样品用二苯胺法和反射仪两种方法测定硝态氮色阶或硝酸盐含量<sup>[11]</sup>。

## 二、结果与讨论

### (一)春小麦营养诊断时期

麦类作物氮营养诊断国内外都有大量研究。但大多集中于冬小麦,对春小麦研究报道不多。春小麦主茎的地下部分、地上部0~5cm、5~10cm、叶片和整个地上部等部位都有累积 $\text{NO}_3^-$ -N的能力,这几个部位中 $\text{NO}_3^-$ -N含量都随施氮量增加而增加。随距地面高度的增加,茎中 $\text{NO}_3^-$ -N含量下降。茎基组织中 $\text{NO}_3^-$ -N含量最高,用来表征作物供氮状况比用叶片或全株 $\text{NO}_3^-$ -N含量作为指标敏感。试验结果表明,春小麦茎基部节间 $\text{NO}_3^-$ -N含量随供氮量不同而不同,变化很灵敏(图1)。可以作为春小麦生长前期氮素营养诊断部位。

春小麦生产实践中,分蘖期、拔节期和孕穗期都可以作为追肥时期,因此,在这三个发育期分别采集茎基部样品测定组织中 $\text{NO}_3^-$ -N含量,以此来确定最佳采样期。试验结果表明,在这三个时期,茎基部硝态氮含量与施氮量和产量都呈极显著正相关,与产量的相关系数分别达到 $0.8469^{**}$ 、 $0.8885^{**}$ 和 $0.8508^{**}$ 。其中拔节期茎基部 $\text{NO}_3^-$ -N色阶和施肥量及产量相关性最好(图1、图2)。在分蘖期,作物地上部还比较小,茎基部节间尚未完全展开,在采样上存在一定困难,不太适于作为诊断时期。孕穗期茎基部木质化程度增加,输导组织发达,压汁很不容易,对测定结果有较大影响。此外是否需要追施穗肥目前还有争议。因此以拔节期作为春小麦营养诊断时期较为适宜。

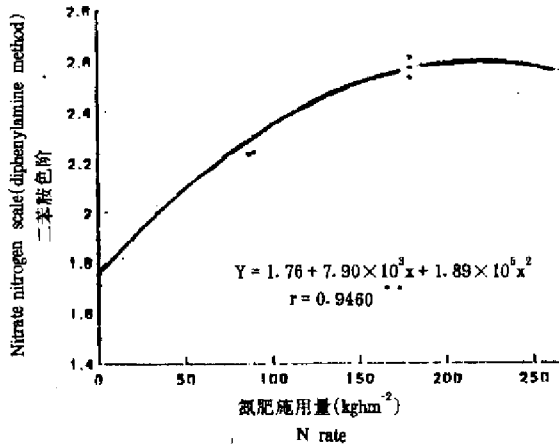


图1 春小麦拔节期茎基部硝态氮色阶随施肥量变化关系

Fig.1 The relationship between nitrate nitrogen scale measured by diphenylamine method and rates of N applied at jointing stage of spring wheat

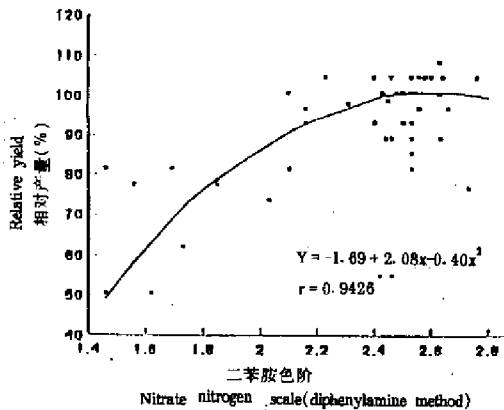


图2 春小麦茎基部二苯胺色阶与产量的关系

Fig.2 The relationship between nitrate nitrogen scale measured by diphenylamine method and the grain yield in spring wheat

(二)春小麦氮营养诊断临界值

临界值确定是营养诊断的关键步骤。所谓临界值是指当作物生长量(或产量)显著下降或出现缺乏症状时的植株体内养分含量。一般将最高产量减少5%~10%时养分含量作为临界值。在生长量与植株体内养分含量关系图中,临界值位于过渡区,但在实际生产中,由于影响养分含量的因素较多,在多数情况下,体内养分不易于控制在最适含量,所以,要经常使养分含量保持在足量范围内。养分临界值应稍高于最适含量,以保证作物有充足的养分而不至于减产。

由于田间试验结果受多种未知和无法预见因素的影响,在确定养分临界值时需要考虑作物产量。因此我们参照Sharma<sup>[12]</sup>的方法确定养分临界值。

经计算,春小麦氮营养诊断临界值用二苯胺色阶和反射仪测定值表示分别为2.40~2.55( $\text{NO}_3^-$ -N色阶)和2600 $\text{mgkg}^{-1}$ ( $\text{NO}_3^-$ )(表2)。

表 2 春小麦氮营养诊断临界值

Table 2 The critical values of nitrogen diagnosis in spring wheat

地点 Site	临界值 Critical value	
	二苯胺法 Diphenylamine method	反射仪法 ( $\text{mgkg}^{-1}$ , $\text{NO}_3^-$ ) Nitrate test strip
五原县	2.55	2600
通辽市	2.40	-

由表2发现,两个实验点临界值的存在差异。这是因为作物体内物质组成是季节和地区性差异的综合反映,两个试验点环境条件不同,因而临界值也存在一定的差异。但因麦类作物体内硝酸盐临界浓度比较稳定<sup>[12]</sup>,所以两个点的临界值差异不大。

Gardner和Jackson<sup>[5]</sup>首先应用植株 $\text{NO}_3^-$ -N含量作为指标来研究春小麦氮营养,虽然没有建立一个确定的 $\text{NO}_3^-$ -N含量作为临界水平,但他们认为,如果体内 $\text{NO}_3^-$ -N含量低于2000 $\text{mgkg}^{-1}$ ,就表示作物缺氮。在成熟前任何一个生长阶段体内 $\text{NO}_3^-$ -N含量低于该值会发生可见的缺素症并对产量产生影响。进行营养诊断时,如果临界水平是通过体内养分含量和最终产量之间的关系确定,这种诊断称为“预测诊断”(Prognosis)<sup>[14]</sup>;如果临界水平是通过体内养分含量和当时生物学产量之间的关系来确定,这种诊断称为“实时诊断”(Diagnosis)<sup>[15]</sup>。在生产中应用较多的是“预测诊

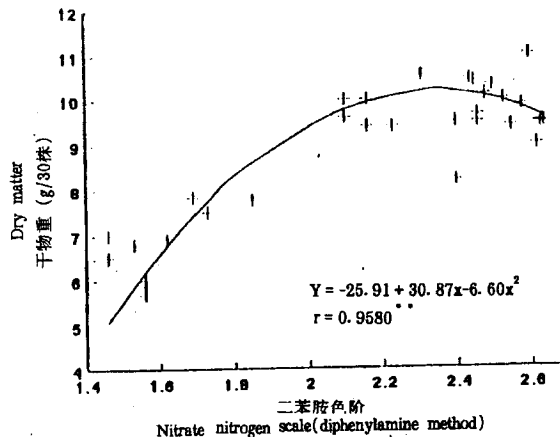


图3 拔节前植株体内 $\text{NO}_3^-$ -N含量色阶和地上部干物重的关系

Fig. 3 The relationship between dry matter of shooting and the nitrate nitrogen scale (diphenylamine method) before jointing stage in spring wheat

断”。许多研究表明,在特定的生长阶段,植株 $\text{NO}_3^-$ -N含量和产量之间存在良好的相关性<sup>[6]</sup>。但是从某一生长阶段至成熟期作物受多种外界因子的控制,早期诊断结果和后期产量之间的关系也受相应的影响。因此所得的临界水平应该用 $\text{NO}_3^-$ -N和采样期植株生物产量进行校验。试验结果表明,拔节前春小麦茎基部 $\text{NO}_3^-$ -N含量与植株地上部干物重之间有良好的相关性(图3)。经计算,茎基部 $\text{NO}_3^-$ -N含量色阶的临界值为2.33。该值正好处于作物生长曲线的过渡区内,小于通过子粒产量所获得的临界值。从另一个侧面说明以子粒产量为收获目的时,施肥量通常要略高于作物正常需要量,使养分供应保持在足量范围内,不至于因养分供应不足而减产。

### (三)春小麦氮营养诊断值和追肥量的关系

1. 模型选择 营养诊断的目的就是要了解作物生长过程中养分供应状况能否满足作物生长的需要。当诊断值低于临界值时,说明养分供应不足,需要补充供给养分,即通过追肥的方式来提供作物养分。因此,必须解决不同诊断值对应追肥量的问题。

追施拔节肥之前,作物所吸收的氮素是由土壤有效氮、底肥和分蘖肥共同供给的,植株 $\text{NO}_3^-$ -N诊断值是三方面共同作用的反映。这种关系可记作:

$$N_b = KT \quad (1)$$

式中 $N_b$ 为拔节前由土壤和肥料共同提供的有效氮, $T$ 为拔节前氮营养诊断的测试值, $K$ 为作用系数。

为简化问题,在不考虑土壤在生长后期对作物提供的养分时,作物全生育期氮供应量为:

$$N_i = N_b + N_d \quad (2)$$

式中 $N_i$ 为作物全生育期氮供应量, $N_d$ 为追肥用量。如果忽略后期追肥对土壤有效氮矿化能力的影响,则可以将土壤在生长后期提供给作物的有效氮作为模型修正系数来考虑。假定作物产量对氮营养的效应模型为:

$$Y = b_0 + b_1 N_i + b_2 N_i^2 \quad (3)$$

式中 $b_0$ 与通常肥料效应方程中常数项有些不同。作为模型修正系数,其取值范围是:

$$0 \leq b_0 < C$$

$C$ 为试验地的基础产量。将(1)和(2)式代入(3)式中,得:

$$Y = b_0 + b_1(KT + N_d) + b_2(KT + N_d)^2 \quad (4)$$

用非线性拟合的Marquardt方法<sup>[10]</sup>对式(4)进行拟合。拟合过程中,各参数的Jacobi矩阵为:

$$\frac{\partial Y}{\partial b_0} = 1$$

$$\frac{\partial Y}{\partial b_1} = KT + N_d$$

$$\frac{\partial Y}{\partial b_2} = (KT + N_d)^2$$

$$\frac{\partial Y}{\partial K} = 2b_2 N_d T + 2b_2 K T^2 + b_1 T$$

约束条件为:  $0 \leq b_0 < C$

通过NLM方程得到四个参数 $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 和 $K$ 的值后,即建立起基于诊断值和追肥量的产量预测模型,此时,

$$\text{对式(4)令 } \frac{\partial Y}{\partial N_d} = 0$$

$$\text{得 } N_d = -\frac{b_1}{2b_2} - KT \quad (5)$$

式(5)即为追肥量和诊断值的对应关系。将各参数值代入即可得到春小麦的氮营养诊断追肥模型。通过该方法获得的追肥模型,和应用肥料效应函数推荐施肥相似,需经过检验试验后,才可进行推广应用。

2. 模型预测结果及检验 根据(4)式拟合后得到两个点春小麦氮肥推荐模型,模型各参数见表3。由表中参数求得各个点具体模型为:

五原点:

$$\text{二苯胺法: } N_d = 158.5 - 58.1T_d \quad (6)$$

$$\text{反射仪法: } N_d = 158.5 - 0.062T_r \quad (7)$$

通辽点:

$$\text{二苯胺法: } N_p, Y(6) \quad (8)$$

式中 $T_d$ 为二苯胺法测试值, $T_r$ 为反射仪法测试值,当6~8式中 $N_d = 0$ 时,所得的 $T$ 值也可以作为诊断临界值,该值和上节中所得出结果比较一致。

表 3 春小麦追肥模型有关参数

Table 3 The parameters of topdressing model in spring wheat

参数 Parameters	五原县 Wuyuan county		通辽市 Tongliao city
	二苯胺法 Diphen. method	反射仪法 (mgkg <sup>-1</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> ) Nitrate test strip	二苯胺法 Diphen. method
	$b_0$	1337.5	1337.5
$b_1$	50.4	50.4	40.1
$b_2$	-0.159	-0.159	-0.120
$k$	58.1	0.062	63.6

1994年在五原县加设了两块校验田,以验证模型的准确性,两个点校验结果见表4。表中结果说明,两个点诊断值均接近临界值,因此推荐追肥量都很低。同时,该模型对春小麦产量预测及拔节肥追施的推荐效果比较好,其预测结果与真实产量差异为9.4%~22.5%。即该模型预测产量偏高,这可能与选用的模型有关。因二次模型推荐施肥量一般偏高<sup>[17,18]</sup>。

表 4 五原县春小麦追肥模型校验结果

Table 4 The correction results of topdressing model in spring wheat at Wuyuan county

校验区 Correction plot	诊断值 Diagnosis value	追肥量 Topdressing (kg $hm^{-2}$ )	产量预测 Prediction (kg $hm^{-2}$ )	实产 Yield (kg $hm^{-2}$ )	误差 Error (%)
I	2.50	14.3	5331.1	4875	+9.4
II	2.53	12.9	5331.1	4350	+22.5

### 三、结 论

1. 旱作条件下,春小麦施肥应以氮调为主,植株体内硝态氮含量随施氮量增加而有规律地变化,可以通过硝态氮植株诊断来定量地指导后期施肥。

2. 二苯胺法和反射仪法均可作为春小麦氮营养诊断方法,用来指导春小麦追肥。二苯胺方法在春小麦追肥前茎基部累积 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 较少时,其测定值与植株体内 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 含量有很好的相关性,可以作为春小麦氮素快速诊断的方法。

3. 拔节期可以作为春小麦氮营养诊断时期,诊断临界值为二苯胺法测定值 $2.40 \sim 2.55$  ( $\text{NO}_3^- \text{N}$ 色阶),相应的反射仪法测定值为 $2600 \text{mgkg}^{-1}(\text{NO}_3^-)$ 。

4. 春小麦氮营养诊断追肥推荐模型与当地土壤与气候条件有关,在不同地区略有差异。五原点推荐模型为 $N_d = 158.5 - 58.1T_d$ (二苯胺法)和 $N_d = 158.5 - 0.062T_d$ (反射仪法)。通过点推荐模型为 $N_d = 167.1 - 63.3T_d$ (二苯胺法)。

### 参 考 文 献

- Engel RE and Zubrski JC. Nitrogen concentration in spring wheat at several growth stages. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1982, 15(7):531~544.
- Elliott DE, Reuter DJ, Crowden B et al. Improved strategies for diagnosing and correcting nitrogen deficiency in spring wheat. *J. Plant Nutr.*, 1987, 10(9~16):1761~1770.
- Zhen RG and Leigh RA. Nitrate accumulation by wheat (*Triticum aestivum*) in relation to growth and tissue nitrogen concentration. *Plant and soil*, 1990, 124:157~160.
- Papastylianou I and Puckridge DW. Stem nitrate nitrogen and yield of wheat in a permanent rotation experiment. *Aust. J. Agric. Res.*, 1983, 34:599~606.
- Gardener BR and Jackson EB. Fertilization, nutrient corn position and yield relationships in irrigated spring wheat. *Agron. J.*, 1976, 68:75~79.
- Gardener BR and Roth RL. Midrib nitrate concentration as a means for determining nitrogen needs of broccoli. *J. Plant Nutr.*, 1989, 12(1):111~125.
- Knowles TC, Doerge TA and Ottman MJ. Plant part selection and evaluation of factors affecting analysis and recovery of nitrate in irrigated durum wheat tissue. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1989, 20:607~622.
- Papastylianou I and Graham RD. Diagnosis of the nitrogen status of wheat at tillering and prognosis for maximum grain yield. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1984, 15:1423~1436.
- Beathgen WE and Alley MM. Optimizing soil and fertilizer nitrogen use by intensively managed winter wh 0.009 Beathgen WE and Alley MM Optimizing soil and fertilizer nitrogen use by intensively managed winter wheat I. crop nitrogen uptake. *Agron. J.*, 1989, 81:116~120.
- 李截然,李文雄. 氮肥施用期对春小麦氮素利用率和蛋白质产量的影响. *东北农学院学报*, 1991, 22(3):205~215.
- 李志宏等. 植株硝酸盐快速诊断方法的研究. *植物营养与肥料学报*, 1997, 3(3):268~274.
- Sharma VC. A simple mathematical model of determining the critical values. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 1991, 39:509~513.
- Papastylianou I and Puckridge DW. Nitrogen nutrition of cereals in a shoot term rotation I. Influence of one season treatment on soil nitrogen and production of subsequent cereal crops. *Aust. J. Agric. Res.*, 1981, 32:703~712.
- Rayment GE. Prediction of response to sulfur by established stralo/ grass pasture to south eastern Queensland. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 1983, 23:280~287.
- Reuter DJ and Robinson JB. *Plant Analysis: An Interpretation Manual*. Kata Press Proprietary Ltd. Melbourne and Sydney. 1986, 1~19.
- 方开泰. 实用回归分析. 科学出版社, 1988.

17 Paris Q. The return of Von Liebig's "Law of the minimum". *Agron. J.*, 1992, 84:1040~1046.

18 毛达如,张承东. 推荐施肥技术中施肥模型与实验设计研究. *土壤通报*, 1991, 22(5):216~218.

## NITROGEN NUTRITIONAL DIAGNOSIS AND RECOMMENDATION AS TOPDRESSING FERTILIZER N FOR SEVERAL CROPS IN NORTH CHINA

### III. Nitrogen nutritional diagnosis and recommendation as topdressing fertilizer N for spring wheat

Li Zhihong

*(Vegetable Res. Inst. Shanxi  
AAS, Taiyuan 030031)*

Zhang Fusuo Wang Xingren

*(Department of Plant Nutrition CAU,  
Beijing 100094)*

#### Summary

Two quick test methods (diphenylamine method and nitrate test strip) for diagnosing nitrogen nutritional status in spring wheat were studied in field experiment. The results suggested that the optimum diagnosis parts of plants was the stem base just prior to jointing stage, and the critical values of nitrate was considered to be 2.55 (diphenylamine method) and  $2600\text{mgkg}^{-1}\text{NO}_3^-$  (nitrate test stripe). Based upon the results from nitrogen nutritional diagnosis, a fertilizer N topdressing recommendation model was set up.

**Key words** Nitrogen Nutritional diagnosis Quick test Spring wheat