植物营养与肥料学报 2006,12(5):656－661
Plant Nutrition and Fertilizer Science

棉花氮素营养状况的诊断研究

王晓静[1,2]，张 炎[2*]，李 磐[2]，侯秀玲[1,2]，文启凯[1]
(1 新疆农业大学资源环境学院，新疆，乌鲁木齐 830052；2 新疆农业科学院土壤肥料研究所，新疆，乌鲁木齐 830000)

摘要：为进行棉花氮素营养诊断指标和追肥推荐，应用反射仪开展了不同氮肥用量对棉花倒四叶叶柄的硝酸盐浓度影响的研究。田间试验在新疆阿瓦提县丰收三场二连进行。设5个氮肥用量，分别为N 0、180、240、300、360 kg/hm^2。结果表明，畦灌条件下的陆地棉花期、花铃期和铃期的叶柄硝酸盐浓度和施氮量之间有显著正相关，用一元二次模型模拟氮肥与产量之间的关系，得到最佳经济施氮量为304 kg/hm^2，对应的经济产量为2420 kg/hm^2；初步确立花期和铃期叶柄硝酸盐诊断临界值分别为10463和6901mg/L。花期、花铃期和铃期时棉株叶柄硝酸盐浓度与产量间有极显著相关性。以此为依据，建立了棉花植株硝酸盐诊断的氮肥推荐模型，并根据该模型计算出棉花各生育期不同硝酸盐测试值所对应的氮肥追肥用量。

关键词：棉花；叶柄硝酸盐；营养诊断；氮肥推荐
中图分类号：S562.01　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2006)05-0656-06

Study on cotton nitrogen diagnosis with reflectance meter

WANG Xiao-jing[1,2], ZHANG Yan[2*], LI Pan[2], HOU Xiu-ling[1,2], WEN Qi-kai[1]
(*1 College of Resour. and Environ., Xinjiang Agric. Univ., Urumqi 830052, China;*
2 Soil and Fertilizer Inst., Xinjiang AAS, Urumqi 830000, China)

Abstract: Cotton plant nitrogen diagnosis and nitrogen fertilizer recommendation adapting nitrate concentration in the 4th expanding petiole as index was studied under field conditions. Reflectance Meter was used to measure nitrate concentration in petiole. The experiment was situated in Fenshou farm, Awati county, Xinjiang. Five fertilization rates (N 0, 180, 240, 300, 360 kg/ha) were set up fertilized with urea. The results showed that NO_3^- concentration in the 4th expanding petiole at flowering stage; flowering and boll stage and boll stage was significantly correlated with rates of N applied. Using quadratic model simulating the relation between N fertilization and yield found that optimal economic N application rate was 304 kg/ha with the corresponding yield being 2420 kg/ha. The diagnostic critical value of NO_3^- concentration were preliminarily set up as 10463 mg/L and 6901mg/L separately for flowing and boll stage; NO_3^- concentration of cotton in primary growth stages were significantly correlated with lint cotton yield. Based on this phenomenon a cotton nitrogen fertilizer recommendation model was developed and the rate of nitrogen topdressing could be recommended consequently using this model.

Key words: cotton; nitrate; nutrition diagnosis; nitrogen fertilizer recommendation.

硝酸盐测试技术是一种比较成熟的植物氮素营养状况快速诊断技术。利用这一诊断技术，一方面能够大大提高氮肥利用效率，降低过量施氮对环境造成的负面影响；另一方面，通过合理追施氮肥，调控作物的生长发育，实现作物的高产优质高效生产[1]。这种技术已在欧洲普遍采用[2-3]，并且成功地应用于多种作物的诊断[4-8]。

大量研究发现，植物体内硝酸盐累积与植株全氮量有关，当全氮含量超过某一值时硝酸盐开始累积，并且在根、茎叶中有类似的趋势，因此分析输导组织汁液中的硝酸盐浓度可以快速、灵敏地反映作物的氮营养状况。通常棉花采用倒四叶叶柄进行硝

收稿日期：2005-07-21　　修改稿收到日期：2005-11-17
基金项目：农业部948项目(2003-Z53)；加拿大钾磷肥研究所项目(NMS-Xinjiang 200201)资助。
作者简介：王晓静(1980—)，女，新疆奎屯人，硕士研究生，主要从事植物营养方面的研究。　*通讯作者

酸盐诊断[9-10]，根据不同生育期棉花需氮情况准确指导追肥，使在减少施氮总量的情况下获得较好的产量和品质。

针对南疆棉农在氮肥的施用上存在偏重基施或“基追各半”的现象，采用反射仪测定棉花叶柄硝酸盐，进行植株氮素营养状况诊断，并在此基础上提出氮肥推荐，为该地区棉花合理施肥提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验于 2004 年安排在新疆阿瓦提县丰收三场二连。该区年平均降雨量为 61.2 mm，年平均蒸发量为 2337.4 mm，光照充足，热量丰富，年均日照时数 2778h，≥10℃积温 4252.2℃，无霜期 205d。

试验地前茬棉花，供试土壤为砂壤质潮土，土壤 pH 值为 8.25，有机质为 10.4 g/kg，全氮 0.58 g/kg，速效氮 26.9 g/kg，速效磷 38.0 mg/kg，速效钾 128 mg/kg。采用重铬酸钾法测有机质，碱解扩散法测土壤速效氮，钼锑抗比色法测土壤速效磷，火焰光度法测土壤速效钾。供试棉花品种为陆地棉中棉 35。

试验设 5 个氮肥用量处理，即：N 0、180、240、300、360 kg/hm^2，基肥量占总施用量的 45%，追肥占 55%，于棉花初花—花铃期分别以 15%、25% 和 15% 的比例分 3 次随水追施。各处理施氮量见表 1。各处理磷、钾肥用量分别为 P_2O_5 138 kg/hm^2 和 K_2O 72 kg/hm^2，做基肥一次施入。棉花采用超宽膜覆盖高密度(278260 株/hm^2)种植。试验采用随机区组排列，各处理重复 3 次，小区面积 7.84m × 8.5m。

所有处理全生育期灌水量为 1200 m^3/hm^2，畦灌，分 4 次浇灌。

表 1　试验各处理施肥方案 (kg/hm^2)

Table 1　N rates of treatments in cotton experiments

处理	总量 Total amount			基肥 Basal fertilizer			追施 N 肥 N topdressing rates		
Treatments	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	1st (24/6)	2nd (13/7)	3rd (4/8)
N0	0	138	72	0	138	72	0	0	0
N1	180	138	72	81	138	72	27	45	27
N2	240	138	72	108	138	72	36	60	36
N3	300	138	72	135	138	72	45	75	45
N4	360	138	72	162	138	72	54	90	54

1.2　调查测定项目与方法

在棉花主要生育期蕾期、花期、花铃期、铃期于上午 10：00～12：00 之间采样，每小区随机选取 3 株有代表性的棉株(蕾期取 5 株)，将采集的植株样品编号、装袋，然后将植株烘干后测生物量。

棉花产量以测产、实收产量两种方式获得。测产方法为试验小区内每隔 2 株测一株，调查结铃数，计算全区株数、铃数及单株结铃数。棉花吐絮后每小区分 3 次采收下、中、上部 30、50、20 朵完全吐絮棉桃，测定平均单铃重和衣分，计算棉花产量。实收产量方法为每试验小区棉花全部采收完毕后计算棉花产量。

叶柄硝酸盐浓度的测定：选晴朗无云天气采样，在棉花主要生育期蕾期、花期、花铃期、铃期于上午 10：00～12：00 每小区采集 10 片棉株倒四叶，混合后放入塑料袋并编号，采样结束后取出样品用蒸馏水洗净，叶柄与叶片分离，将叶柄剪碎、压汁，汁液稀释后在反射仪(Reflectance Meter)上测定硝酸盐浓度。

土壤养分采用常规方法测定：重铬酸钾法测有机质，碱解扩散法测土壤速效氮，钼锑抗比色法测土壤速效磷，火焰光度法测土壤速效钾。

试验数据均用 Excel 和 SPASS 等统计软件进行分析。

2　结果与分析

2.1　棉花叶柄硝酸盐浓度与施氮量之间的关系

图 1 表明，除棉花蕾期外，花期、花铃期和铃期的倒四叶叶柄硝酸盐含量随氮肥施用量增加而增加；当施肥量达到某一水平后，硝酸盐变化变缓，补给氮肥，植株体内硝酸盐浓度增加很少，甚至开始逐渐下降。可见，棉花花期、花铃期和铃期叶柄硝酸盐含量和施氮量间可用一元二次曲线方程或线性方程拟合，相关性好。说明这 3 个时期进行氮素营养诊断较为可靠、稳定。

图 1 还看出，蕾期时叶柄硝酸盐含量处理间、重复间都表现为差异不显著，说明播前施用一定量氮肥作为基肥能够充分满足棉株苗期、蕾期生长的氮

素需求,但施用过多会造成浪费,相当一部分氮肥可能由于灌水或降雨等原因已经淋失。因此。在土壤自身供氮能力较高时,应考虑减少基施氮肥用量,以避免氮肥用量过高造成硝酸盐奢侈吸收。

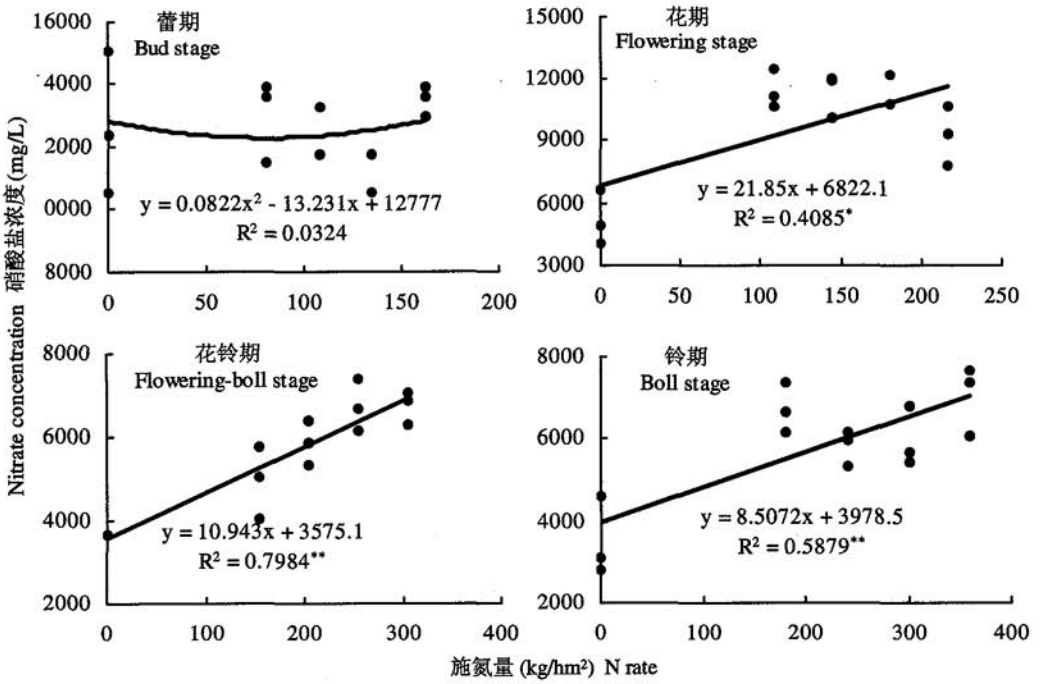

图1 棉花各生育期叶柄硝酸盐浓度和施氮量之间的关系

Fig.1 Relationship between nitrate concentration of petiole and the rates N applied at different growth stages of cotton

2.2 棉花不同生育期叶柄硝酸盐浓度与产量的关系

对棉花4个主要生育期不同处理叶柄硝酸盐浓度与其产量进行相关分析表明,除蕾期外,棉株花期、花铃期和铃期的倒四叶叶柄硝酸盐浓度和产量之间的关系可以用二次曲线方程来拟合,达到极显著水平。一定范围内棉花产量随着叶柄硝酸盐浓度的增加而增加,当叶柄硝酸盐浓度累积到一定程度后,产量略有下降。棉花硝酸盐浓度与产量之间的这种极显著回归关系为氮素定量化诊断追肥提供了依据。

图2看出,蕾期时硝酸盐浓度与产量间没有相关性,这与危常州等[11]的试验结果认为的蕾期硝酸盐浓度与产量显著相关,可作为棉花追肥推荐的诊断时期不一致。原因可能是本试验基肥氮偏高,引起硝酸盐积累。可见,蕾期是棉花进行第一次追肥的关键时期,应当根据实测土壤供氮量确定基肥施用比例,避免基肥过量施用造成的不良影响。花期时各处理硝酸盐浓度有所降低,产量随着硝酸盐浓度的增加而增加,原因是此时棉花营养生长和生殖生长并进,氮素同化速度非常快;花铃期、铃期时棉花以生殖生长为中心,叶柄硝酸盐浓度随施氮量增加而增加,累积到一定量后,产量很少增加或略有下降。说明不同生育期的施氮量都应适当控制,尽量减少硝酸盐的相对累积,以保证棉花有充足氮营养供应而又不因过量施氮造成浪费。

2.3 棉花不同生育期氮营养诊断临界值的确立

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植株体内的养分含量。一般将最高产量减少5%~10%时养分含量作为临界值。通常情况下养分临界值应稍高于最适含量,以保证作物有充足养分而不至于减产[9]。各生育期叶柄硝酸盐浓度低于各临界浓度时,就表示作物缺氮并对产量产生影响。

然而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硝酸盐浓度与采样期植株生物产量进行校验[9]。图3表明,花期和铃期时叶柄硝酸盐浓度与植株地上部干物重之间有良好的相关性,可作为棉花营养诊断时

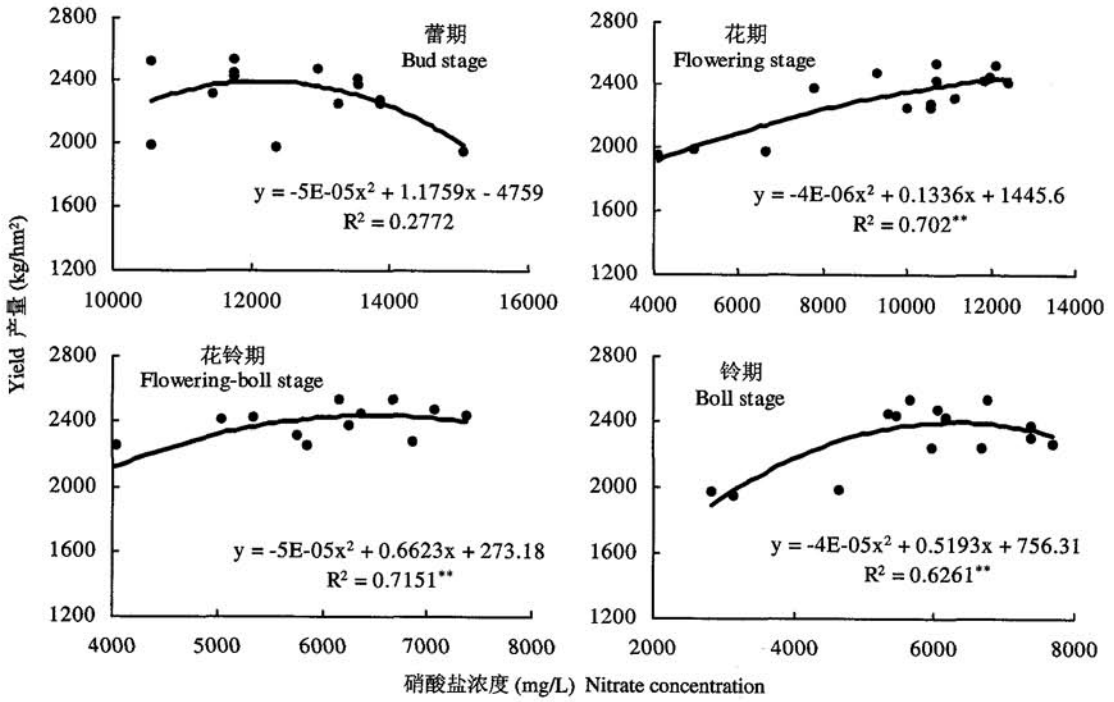

图 2　棉花各生育期叶柄硝酸盐浓度和产量之间的关系

Fig.2　Relationship between nitrate concentration in petiole and yield at different growth stages of cotton

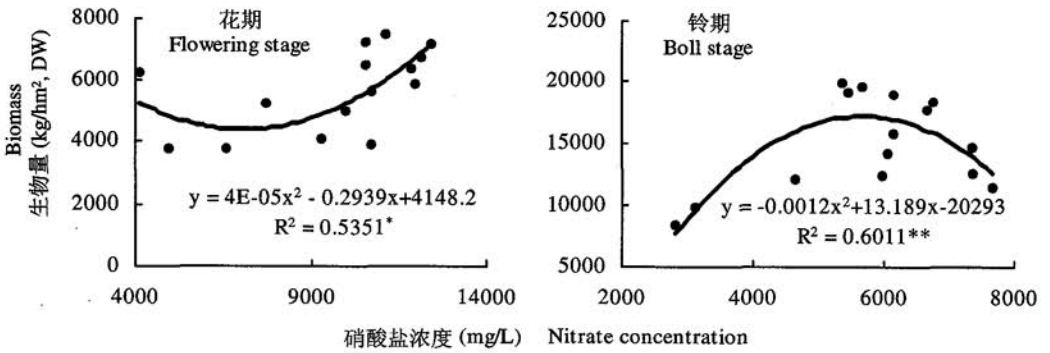

图 3　棉株硝酸盐浓度和地上部干物重的关系

Fig.3　Relationship between nitrate concentration in petiole and dry weight at different growth stages of cotton

期,叶柄硝酸盐诊断临界值分别为 10463mg/L、6901mg/L。若叶柄硝酸盐浓度低于此临界值,就表示棉花缺氮且对产量将产生影响,这与胡明芳等[12]的研究结果相似。

2.4　氮肥对棉花皮棉产量的影响

经过统计,南疆畦灌条件下,施氮量不同会对棉花产量及部分产量构成因素造成影响(表 2)。其中,铃数和单株铃数与施氮量之间可以用二次曲线方程来拟合,达到极显著水平。受产量构成因素影响,籽棉、皮棉产量均随施氮量增加而增加,至 N3 后亦呈下降的趋势。

用一元二次方程对棉花的氮肥效应进行拟合,得出施氮量与棉花产量的相关关系如下:

$$y = -0.0039x^2 + 2.6895x + 1962.9$$

$$R^2 = 0.9576^{**}$$

式中,y 为皮棉产量,x 为施氮量。

通过边际分析确定在试验条件下,最高施氮量为 345 kg/hm²,相应最高产量为 2427 kg/hm²。最佳经济氮量为 304 kg/hm²,相应产量为 2420 kg/hm²。

2.5　棉花叶柄硝酸盐诊断追肥模型的建立

根据以上棉花各生育期植株体内叶柄硝酸盐浓度与施氮量之间以及硝酸盐浓度与产量之间的关系

表2 不同氮肥用量棉花产量及产量结构

Table 2 Yield and components of cotton at different nitrogen application

处理 Treatment	株数 Plant number (No./hm²)	铃数 Boll number (No./hm²)	单株铃数 Boll per plant (No./plant)	单铃重 Wt. per boll (g)	衣分 Lint (%)	产量 Yield (kg/hm²) 籽棉 Unginned	皮棉 Ginned
N0	236716 b	904661 c	3.8 c	5.4	40.1 a	4917.8 d	1969.9 d
N1	242984 ab	1094368 b	4.5 b	5.3	39.5 ab	5784.5 c	2284.8 c
N2	243193 ab	1130095 a	4.6 ab	5.4	39.3 b	6061.0 ab	2383.4 b
N3	244655 ab	1144720 a	4.7 a	5.5	39.7 ab	6246.6 a	2481.5 a
N4	245491 a	1124454 a	4.6 ab	5.3	39.7 ab	6013.6 bc	2388.8 ab

注(Note)：每一列中不同字母表示差异达5%显著水平，下同 Different letters in same column means signify cant at 5% level, same as follows.

可以建立相应的植株体内硝酸盐含量诊断追肥模型。

$$Nd = Nopt - Nfert \quad (1)$$

式中 Nd 为推荐追氮量；Nopt 为最佳施氮量；Nfert 为与植株硝酸盐诊断值相对应的施氮水平。

图1中，植株硝酸盐诊断值 Tr 和与其相对应的施氮水平 Nfert 之间具有线性回归关系：

$$Tr = a + b\,Nfert，即\ Nfert = (Tr - a)/b \quad (2)$$

式2中 a、b 均为回归系数，Tr 为植株硝酸盐测定值，Nfert 为施氮量，以下均与此相同。

将(2)式代入(1)式得到诊断推荐追肥模型：

$$Nd = Nopt + a/b - Tr/b \quad (3)$$

由图1施肥量与植株硝酸盐浓度的线性关系可以得到回归系数 a、b 值，将其代入上述推荐模型式(3)，可以得到各生育期氮肥推荐追肥模型(表3)。

表3 棉花各生育期氮肥推荐追肥模型

Table 3 Nitrogen fertilizer recommendation models at different growth stages of cotton

陆地棉生育期 Growing stage	a	b	推荐施肥模型 Recommended fertilizer model
花期 Flowering stage	6822.1	21.9	Nd = 615.5 - 0.0458Tr
花铃期 Flowering-boll stage	3575.1	10.9	Nd = 632.0 - 0.0914Tr
铃期 Boll stage	3978.5	8.5	Nd = 772.1 - 0.1175Tr

参照棉花主要生育期氮肥推荐追肥模型，得出相应时期的氮肥追肥推荐表(表4)，测得结果用于推荐相应时期之后的总的氮肥追用量。实际生产中若底肥氮肥施用不合理，可以在中后期运用追肥加以调控。

然而生产环境中影响叶片养分浓度的因素很多，包括气候、土壤状况和作物品种等；土壤水分状况和无机氮含量对植物累积硝酸盐有直接的影响，水分胁迫下植物会累积较多的硝酸盐。因此在应用植株硝酸盐测试推荐施氮时要注意这些因素的影响。在多数情况时，养分不易于控制在最适含量，因此要经常使体内养分含量保持在足量范围内，保证棉花有充足养分支持营养生长和生殖生长。

3 结论

由于过量施氮将对产量和环境造成负面影响，基肥和追肥用量应根据实际测定的土壤供氮量和叶柄硝酸盐浓度进行推荐。

本试验结果表明：南疆棉区畦灌条件下，不同氮肥施用量对陆地棉叶柄硝酸盐含量具有显著影响，硝酸盐含量随施氮量增加而有规律的变化，因此采用反射仪测量叶柄硝酸盐浓度进行棉花氮素营养诊断可以定量地指导中后期追肥。发现蕾期叶柄硝酸盐含量处理间、重复间均表现为不显著，说明基肥用量偏高，应考虑减少氮肥作为基肥的用量。

经研究分析，花期、花铃期和铃期等3个时期棉花叶柄硝酸盐含量与施氮量、产量之间有很好的相关性，与氮肥施用量之间的关系可以用线性方程拟合，与产量可用二次曲线进行拟合。因此，花期、花铃期和铃期可作为棉花氮素营养诊断时期，进行氮素营养诊断。棉株花期和铃期的氮营养诊断临界值分别为 10463mg/L、6901mg/L。

表4　棉花叶柄硝酸盐浓度和主要生育期氮肥追肥推荐表

Table 4　Table of nitrate concentration of cotton plant and the nitrogen topdressing Recommendation at different growth stage

硝酸盐诊断值 Nitrate concentration ($\times 10^3$ mg/L)	追氮量 Topdressing amount		
	花期 Flowering stage	花铃期 Flowering-bolll stage	铃期 Boll stage
5～5.5	—	129.3～175.0	125.8～184.6
5.5～6	—	83.6～129.3	67.1～125.8
6～6.5	—	37.9～83.6	8.3～67.1
6.5～7	294.9～317.8	0～37.9	0～8.3
7～7.5	272.0～294.9	0	0
7.5～8	249.1～272.0	0	0
8～8.5	226.2～249.1	0	0
8.5～9	203.3～226.2	0	0
9～9.5	180.4～203.3	0	0
9.5～10	157.5～180.4	0	0
10～10.5	134.6～157.5	0	0
10.5～11	111.7～134.6	0	0
11～11.5	88.8～111.7	0	0
11.5～12	65.9～88.8	0	0
12～12.5	43.0～65.9	0	0
12.5～13	20.1～43.0	0	0

参考文献：

[1] 梅待，迟范民．冬小麦穗粒形成的生物学分析及其肥水调控[J]．河南职技师范学报，1990，18(3)：1.
Mei D, Chi F M. Biological analyses of spike formation and its fertilizer control on wheat[J]. Henan Technology Training Paper, 1990, 18 (3): 1.

[2] Zhen R G, Leigh R A. Nitrate accumulation by wheat (*Triticum aestirum*) in relation to growth and tissue nitrogen concentration[J]. Plant and Soil, 1990, 124 :157-160.

[3] Elliott D E, Eeuter D J, Growden B. Improved strategies for diagnosing and correcting nitrogen deficiency in spring wheat[J]. J. Plant Nutr., 1987, 10 (9) : 1761-1770.

[4] Verly R B. Stem testing as a real-time guide to tomato seeding N and K fertilization[J]. Commum. Soil Sci .Plant Anal. 1994, 25(5-6) : 664-670.

[5] Carter J N, Fensen M E. Interpreting the rate of change in nitrate-nitrogen in suger beet petioles[J]. Agron. J., 1971, 63: 669-674.

[6] Tabor J A, Warrick A W, Spatial D W. Variability of nitrate in irrigated cotton. I. Petioles[J]. Soil Sci. Soc. Am. J.,1984, 48: 602-607.

[7] Geraldson C M J. Plant analysis as an aid in fertilising vegetable crops [A]. Welsh L M *et a*1. Soil testing and plant analysis[M]. Madison, Wiaconsin USA: Soil Sci. Soc. Amer. Inc., 1990. 365-379.

[8] Roth G W, Fox R H. Plant tissue test for predicting nitrogen fertilizer requirment of winter wheat[J]. Agron. J., 1989, 81: 502-507.

[9] 陈新平，李志宏，王兴仁，等．土壤、植株快速测试推荐施肥技术体系的建立与应用[J]．土壤肥料，1999 (2)：6-10.
Chen X P, Li Z H, Wang X R *et al*. Establishment and application of fertilizer recommendation system through soil/plant quick testing[J]. Soils and Fertilizers, 1999 (2): 6-10.

[10] 李志宏，王兴仁，张福锁．我国北方地区几种主要作物氮营养诊断及追肥推荐研究 III．春小麦氮素营养诊断及追肥推荐研究[J]．植物营养与肥料学报，1997，3 (4) ：350-356.
Li Z H, Wang X R, Zhang F S. Nitrogen nutritional diagnosis and recommendation as topgressing fertilizer N for several crops in north China III. Nitrgen nutritional diagnosis and recommendation as topdressing fertilizer N in spring wheat[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1997, 3 (4) :350-356.

[11] 危常州，张福锁，朱和明，等．新疆棉花氮营养诊断及追肥推荐研究[J]．中国农业科学，2002，35(12)：1500-1505.
Wei C Z, Zhang F S, Zhu H M *et al*. Study on cotton nitrogen diagnosis and topdressing recommendation in North Xinjiang[J]. Science Agricultura Sinica, 2002, 35(12): 1500-1505

[12] 胡明芳，田长彦，马英杰，等．土壤/植株硝态氮含量与棉花产量及其相关因素之间的关系[J]．西北农业学报，2002，11(3)：128-131.
Hu M F, Tian C Y, Ma Y J. The relations between soil/plant tissue nitrate－N concentration and cotton yield or other related factors[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Scinica, 2002, 11(3): 128-131.