植物营养与肥料学报 2002,8(4):404～408
Plant Nutrition and Fertilizer Science

京郊大白菜的氮素吸收特点及氮肥推荐

陈　清[1]，张宏彦[1]，张晓晟[1]，吴建繁[2]，李晓林[1]
（1 农业部植物营养学重点实验室、教育部植物-土壤相互作用重点实验室、中国农业大学植物营养系，北京 100094；
2 北京市农业局土壤肥料工作站，北京 100029）

摘要：在京郊露地生产条件下，研究不同供N处理对秋季大白菜的生长、N吸收和土壤N矿化及损失的影响，并根据土壤－作物系统中N的“借贷”平衡原理确定大白菜N供应的合理目标值。结果表明，大白菜的产量和N吸收随施N水平的增加呈线性－平台的增长趋势。在作物的目标产量(120 t/hm^2)和N吸收数量(N 200 kg/hm^2)的情况下，适宜的N素供应水平，即目标值为N 350 kg/hm^2。大白菜的N吸收量随生育期逐渐增加，包心前期平均每周的N吸收量为N 8.5 kg/hm^2，而在包心后期达到N 22.0 kg/hm^2。在作物的整个生育期间土壤N的净矿化数量为N 37 kg/hm^2，平均每周的土壤表观N损失为N 7.8 kg/hm^2。这些参数有助于利用简单的N“借贷”平衡指导京郊秋季大白菜的推荐施肥。

关键词：大白菜；氮素供应；氮素吸收
中图分类号：S634.106.2　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2002)04-0404-05

Characteristics of N uptake and N recommendation for autumn Chinese cabbage in Beijing Suburb

CHEN Qing[1], ZHANG Hong-yan[1], ZHANG Xiao-sheng[1], WU Jian-fan[2], LI Xiao-lin[1]
(*1 Key Lab. of Plant Nutr. MOA; Key Lab. of Plant-Soil Interactions, MOE, Department of Plant Nutrition, China Agric. Univ., Beijing 100094, China; 2 Soil and Fertilizer Extension Service Center, Beijing Agricultural Bureau, Beijing 100029, China*)

Abstract: Effects of different nitrogen supply levels on the growth, N uptake of autumn Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. Penkinensis (Lour) Olsson), net N mineralization and N loss in soil were investigated in the open field of Beijing Suburb. The target value of optimized N supply level for Chinese cabbage was also decided based on the principle of N balance model. The results showed that the yield and N uptake in Chinese cabbage increased with applied N rate as linear-plateau trends ($y = 3085 + 10.5x$, when $0 < x \leqslant 318$; $y = 6420$, when $x > 318$; y: Dry matter yield of Chinese cabbage, kg/hm^2; x: N supply level, N kg/hm^2). Under the target yield of 120 t/hm^2 and target N uptake of N 120 kg/hm^2, the optimum N supply level was N 318 kg/hm^2, however considering the risk of yield reduction, N 350 kg/hm^2 should be adapted in practice. N uptake amount by Chinese cabbage increased with developing stage. During the six weeks after seeding (before head forming), average weekly N uptake amount was N 8.5 kg/hm^2, however, after heading forming until harvest, the value increased up to N 22.0 kg/hm^2. During the crop growth stage, average soil net N mineralization amount was N 37 kg/hm^2 and apparent weekly N loss was N 7.8 kg/hm^2. Considering soil N_{min} residue, these parameters are very practical in N recommendation based on balanced calculation for Chinese cabbage growth in Beijing Suburb.

Key words: Chinese cabbage; N supply; N uptake

收稿日期：2001-10-30
基金项目：北京市自然科学基金项目(6991004)，国家重点基础研究规划项目(G1999011807)
作者简介：陈 清(1968—)，男，山东文登人，讲师，主要从事蔬菜营养调控方面的研究。

传统的蔬菜施肥管理模式容易造成水肥浪费、土壤养分比例失调和蔬菜硝酸盐累积,不利于无公害蔬菜的生产[1,2]。定量化的肥料管理要求针对目标产量所需要的养分数量,在了解土壤地力的基础上,估算需要补充的养分数量[3]。因蔬菜的生育期较短,根系发育较弱及不同蔬菜品种的养分吸收规律不同,需要采用养分平衡的"借贷"管理理论指导高产、高效的蔬菜生产[4,5]。合理的N素管理,重要的是了解蔬菜的养分吸收规律。Fink等提出N_{min}缓冲值的概念,即在初步了解N素损失和作物需求特点的情况下,它被看作为不影响作物正常生长时根层土壤的N_{min}临界残留数量,或不影响作物生长时土壤无机N的最低浓度。因此N素供应的合理目标值应当充分考虑N素推荐期间的N素损失、作物需求和N_{min}缓冲值[6]。作物根系深度决定了耕种前土壤无机N的有效性大小;而N素的损失数量则往往是由作物的生长状况、土壤供N水平、季节性变化和推荐期的长短等因素决定的,因此,采用简单的数学估算N素损失数量对定量化的肥料管理起很重要的推动作用。目前,由于京郊过量施肥已带来环境、蔬菜病害等问题,所以了解土壤-作物生产系统中的N_{min}残留数量、土壤N素的矿化和损失特点、N素吸收累积规律等对指导蔬菜作物的平衡施肥具有十分重要的意义。

为此,以京郊露地生产条件下的秋季大白菜为研究对象,研究不同的N素供应水平对土壤-作物系统中N素吸收、累积和土壤N素损失、净矿化的影响特点,初步确定适用于京郊地区大白菜N素平衡施肥时可以考虑的推荐参数。

1　材料与方法

试验位于昌平县昌平镇三街村的石灰性潮土,耕层(0~30cm)土壤有机质含量为22.2g/kg,全N 1.25 g/kg,Olsen-P 94.5 mg/kg,交换性K 87.8 mg/kg,pH 8.3;0~30、30~60、60~90cm土层无机N(N_{min})分别为58.6、50.6、29.3 kg/hm^2。供试作物为大白菜,品种为京新3号。1999年8月5日直播,9月2日定苗,定植密度为27500株/hm^2。试验设施N量为0、90、180、360、720 kg/hm^2 5个N水平,重复3次。每个小区面积为20 m^2,随机区组排列。在大白菜播种前底施P_2O_5 75 kg/hm^2的普钙和K_2O 300 kg/hm^2的氯化钾以及每个N素处理中20%的N肥,其余分别按照总用量的30%、30%和20%在9月8日、9月23日和10月11日作追肥施用,所用的N肥为尿素。试验期间采用传统的畦灌方式浇水5次,11月5日收获。

在施底肥前采集耕层(0~30cm)的土壤样品,用于分析有机质、全N、速效P、速效K、pH等;同时分层采集0~90cm的土壤新鲜样品用于分析土壤N_{min}含量。在每次追肥前及最后收获时分层采集0~60cm的土壤样品,用2 mol/L的KCl溶液浸提,采用比色法测定土壤硝态N和铵态N的含量。其余分析项目按常规方法进行。在每次追肥前采集植株样品,每小区取4株,用于测试植株的干物质累积和N素吸收的数量。将植株样品烘干、粉碎过1mm筛后,用H_2SO_4-H_2O_2消煮,采用蒸馏法测定植株全N含量。

2　结果与分析

2.1　大白菜的产量和N素累积规律

收获时大白菜的上市产量和干物重随施N量的增加而增加。然而,当施N量大于N 180kg/hm^2时,产量随N肥施用量的增加没有明显增加(表1)。作物的产量对施N水平的反应表现为线性-平台的模型,根据模型得出最大干物质累积量为6420 kg/hm^2。显而易见,在本试验条件下,从肥料利用及施肥经济效益的角度来看,N 180 kg/hm^2的施N水平为该土壤条件下的适宜N肥用量。

表1　不同N素供应对收获时大白菜的生物产量和N素吸收的影响

Table 1　Effect of different nitrogen supply levels on dry matter yield and N uptake in Chinese cabbage at harvest

供N水平 N levels (kg/hm^2)	鲜重 Fr esh wt. (t /hm^2)	干重 Dry wt. (kg /hm^2)	N素吸收 N uptake (kg /hm^2)
N0	79.1 c	4560 c	108 c
N90	97.7 b	5712 b	171 b
N180	107.9 ab	6450 a	196 a
N360	112.4 a	6339 a	200 a
N720	115.9 a	6472 a	205 a

注(Note):不同字母表示差异达0.05显著水平. Different letters means significant at 0.05 level.

大白菜的N素吸收累积规律如图1所示。对每个施N处理来说,在播后30d内,大白菜对养分的吸收、累积数量都很低,此后则随生育期增加呈明显增长的趋势,而且在N素吸收数量方面,不同N素处理之间的差异也越来越显著。在整个作物生长期间施肥处理的大白菜累积N素的数量远远高于未施肥的对照处理。根据近3年对京郊500多个点的调查资料,高产大白菜的产量一般为120 t/hm^2(北京市土肥站资料),这与我们的试验结果基本相符。由此可知,京郊秋季高产大白菜的目标N素吸收量为N 200 kg/hm^2左右。根据图1中最适供N

水平(N 180kg/hm²)条件下作物的N素吸收变化规律建立植株N素累积与生育期之间的一元二次方程:

$$y = 0.0215x^2 + 0.2725x - 4.4818,$$
$$r^2 = 0.992$$

式中x:播种后的天数,y:N素吸收量kg/hm²。

根据方程,大白菜从播种至包心前期(1～7周),平均每周的N素吸收量为N 8.5 kg/hm²;但从包心前期至收获期(8～13周),每周的N素吸收量平均N为22 kg/hm²(图1)。这表明在大白菜中后期及时追施N素对于满足作物养分需求是非常必要的。

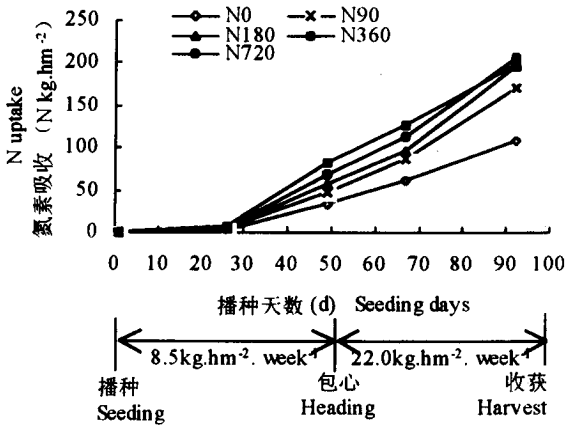

图1 不同氮素供应水平对大白菜氮吸收累积规律的影响

Fig. 1 Effect of different N supply levels on N accumulation in Chinese cabbage

2.2 N素的矿化和N素平衡

根据对照区0～60cm土层的不同生育期土壤N_{min}含量的变化及该期间大白菜对N素吸收数量,计算出大白菜N素的净矿化数量(表2)。从中看出,自播种至大白菜的包心前期,作物对N素的吸收数量相对较少,而土壤0～60cm的无机N素含量很高,因此这期间N素的净矿化,表现出一个净固定的趋势。但自包心前期至收获,由于作物进入快速生长阶段,对N素的需求量增加很快,因此造成土壤N素的净矿化数量很高。从整个生育期来看,N素的净矿化数量为N 38 kg/hm²,平均每周的N素的净矿化数量约为N 3 kg/hm²。

随着施N水平的增加,土壤的表观N素损失数量也在增加(表3)。在适宜施N水平条件下,整个生育期土壤的表观N素损失为N 101 kg/hm²,平均每周的损失数量为N 7.8 kg/hm²。N素损失系数是平均每周表观N素损失数量和N素供应水平的比值。可以看出,随着施N量的增加,表观N素的损失系数随供N水平的增加而增大。在施N量为180 kg/hm²的情况下,表观N素损失系数为0.024。

表2 大白菜不同生育期间(包心前、包心后和整个生育期)未施肥处理土壤的有机N素的净矿化量的估算

Table 2 Soil net nitrogen mineralization during the growth period of Chinese cabbage(N kg/hm²)

项目 Item	包心前 Before heading 99.08.05～99.09.23	包心后 After heading 99.09.23～99.11.05	整个生育期 Whole growth 99.08.05～99.11.05
时间(周) Time (week)	–	6	13
推荐前/播前0～60cm土层的N_{min} Soil N_{min} in the layer of 0～60cm before cultivation/before side dressing	109	52	109
对照区的N素吸收 N uptake in control treatment	33	75	108
下次推荐前0～60cm土层的N_{min} Soil N_{min} in the layer of 0～60cm before next side-dressing/at harvest	52	39	39
N素净矿化数量 Net N mineralization	−24	62	38

注(Note): N素净矿化数量=推荐前/播前土壤0～60cm的N_{min}值 − 该生育期间作物对N素的吸收值 − 下次推荐前/收获时土壤0～60cm的N_{min}值。N net mineralization amount = Soil N_{min}(0～60 cm deep) before recommendation/planting - N uptake during recommendation/planting − Soil N_{min}(0～60 cm deep) before next recommendation/harvesting.

表3　不同N素处理对土壤N素平衡的影响

Table 3　Effect of different N supply levels on soil nitrogen balance

项目 Item	施N水平 Nitrogen applied level			
	N90	N180	N360	N720
N素投入 N input	237	327	507	867
施用化学N素数量 N fertilization rate	90	180	360	720
施肥前0～60cm土壤N_{min}残留 N_{min} before fertilization	109	109	109	109
N素净矿化数量 Net N mineralization amount	38	38	38	38
N素输出 N output				
作物带走量 N removed by crop	171	196	200	205
N素剩余 N surplus	66	131	306	662
收获时的0～60cm土壤N_{min}残留量 N_{min} residue at harvest	49	30	31	54
表观N素损失量 Apparent N loss=N surplus-N_{min} at harvest	17	101	275	608
平均每周的表观N素损失量 Apparent weekly N loss	1.2	7.8	21.1	46.6
损失系数 Loss coefficient[1)]	0.005	0.024	0.042	0.053

1) 损失系数=平均每周的表观N素损失量/N素投入水平。N loss coefficient=average weekly N loss/N supply level.

确定每周的平均N素矿化数量和每周表观N素损失数量(损失系数)对于经常性分次追肥的蔬菜作物来讲具有非常重要的参考价值。由于蔬菜的收获标准因人而异,因此,延长收获时间意味着更多的N素吸收。此外,Fink等认为,如果在肥沃的菜田土壤上根据"借贷"平衡的方法进行N素的推荐,不考虑N素的净矿化则不容易得到很好的推荐效果[7]。在蔬菜生产中还有许多因素,如生育期差异很大的不同蔬菜品种、不同的灌溉方式等要求尽可能结合传统的追肥技术进行动态性的推荐。因此,平均每周的N素矿化和N素损失参数的确定为在短时间内的N素推荐提供参考。从另一方面来看,这也显出蔬菜作物的推荐施肥技术与大田作物的不同之处。

2.3　N素供应的目标值及N_{min}缓冲值

根据N素"借贷式"平衡原理,N素供应的目标值应当包括下列组分:

N素供应/支出的目标值(N kg/hm^2)　　(1)

输入 = 推荐前根层土壤无机N + N素矿化数量 + N素施用量;或

输出 = N素吸收+N_{min}缓冲值+N素损失

从上述试验的测定数据分析中可以看出,在适宜供N水平条件下(N 180 kg/hm^2),作物的N素吸收数量为N 196 kg/hm^2(表1),整个作物生育期间的有机N净矿化数量为N 38 kg/hm^2(表2),而表观N素损失为N 101 kg/hm^2(表3)。因此,从(1)中不难求出N素供应的目标值和N_{min}缓冲值。

根据大白菜收获时的干物质数量与不同的N素供应水平之间的线性-平台的描述性方程:

$$y=3085+10.5x$$

式中y:作物干物质数量,kg/hm^2 DW;x:供N水平,kg/hm^2。当$0<x\leqslant 318$时,$y=6420$;当$x>318$时,达到大白菜最高产量所需要的临界N素供应水平为N 318 kg/hm^2,这和前面分析的没有多大差异。由于生产上的土壤N_{min}测定的误差往往都是N 20～30 kg/hm^2,甚至更高,而且不合理灌溉等措施易导致施N效率的下降,因此较安全的N素供应水平应在临界目标值的基础上上浮N 20～30 kg/hm^2。

采用安全的N素供应目标值(N 350 kg /hm^2),同时结合本试验的数据对收获时0～60cm土层中土壤N_{min}缓冲值进行了估算(表4),这一数值比在德国推广使用的N 40 kg/hm^{2}略高。这一点可以理解,因为德国的大白菜生产的目标产量通常为70 t/hm^2,而N素供应的目标值为N 210 kg/hm^2[4],远低于本试验条件下各个参数的数值。因此在京郊地区确定秋季大白菜的目标产量为120 t/hm^{2}时,采用基施和追施相结合的方式,如果在不考虑N素矿化作用的情况下,合理N素供应的目标值可定为N 300 kg/hm^{2}左右。为了便于推广,可以采用下面的公式进行推荐:

推荐的N素用量=适宜N素供应目标值(N 300 kg/hm^2)－根层土壤(0～60cm)N_{min}残留量　(2)

表 4 秋季大白菜生产不同的 N 素推荐所需要的参数值(N kg/hm²)

Table 4 Optimum parameters in relation to target value of N_{min} supply for autumn Chinese cabbage

项目 Item	N 素推荐 N recommendation for the whole growth period
N 素供应水平 N supply level	350
N 素净矿化数量 Net N mineralization	38
不考虑 N 素净矿化的 N 素供应水平 N supply level without N from net mineralization	312
N 素吸收量 N uptake	200
计算的 N 素表观损失 Apparent N loss[1)]	101
N_{min}缓冲值 N_{min} buffer	56

1)根据 N 素损失系数进行计算,这里选择在不影响产量前提下最小的 N 素损失。Based on the coefficient of N loss, here selected the minimum N loss without significant yield loss.

从分析不同 N 素供应水平条件下的土壤 N 素去向和作物 N 素吸收规律的角度来看,京郊地区大白菜的合理 N 素供应的目标值为 N 350 kg /hm²。在 N 素损失和 N_{min}缓冲值比较固定的情况下,这一目标值将随着目标产量的变化而变化。与之不同的是,刘明池[8]采用 3 因素二次正交旋转回归设计的方法,研究了大白菜产量和 N、P、K 施用量的关系。在京郊的大兴、通州和顺义的田间试验表明,获得大白菜的最佳施 N 量为 N 300～330 kg/hm²,其结论明显高于本试验的结果。这可能与其选择不同的模型以及本试验地块播前土壤无机 N 含量较高有关。但采用上述正交旋转回归设计方法的困难在于无法将其试验结论推广应用于不同地块和不同产量水平的作物上。采用 N 素供应目标值的"借贷"平衡方法则避免了这个问题,但其中参数的修正则需要建立在许多试验资料的基础上根据产量反应、植株硝酸盐诊断等指标不断反馈修正而完善。有关土壤 N 素的净矿化和表观 N 素损失的估算对于种植不同蔬菜的露地菜田土壤都是适用的,否则就降低其应用范围而增加推广的难度。而采用"借贷"平衡方法进行露地蔬菜 N 素推荐的优点可以与现行的卡片推荐方式结合起来,在避免 N 素过量施用方面可以起到很好的作用。

3 结论

建立蔬菜的合理施肥制度是保证无公害蔬菜生产的基础。"借贷式"N 素平衡的原理考虑到土壤有机 N 素的供应和推荐末期的最低土壤无机 N 残留值,即 N_{min}缓冲值的概念。简单的推荐只需要在了解种植前根层土壤无机 N 的情况下即可进行;而更加精确的 N 素推荐是建立在作物生长时期的 N_{min}缓冲值、作物的 N 素吸收规律、每周的 N 素损失和矿化的特点,特别是要了解有机肥料中的 N 素释放特点。因此这需要许多资料的累积和研究,建立和不断完善蔬菜 N 素营养诊断的反馈机制,为蔬菜 N 素的推荐及参数的修正提供依据。

参考文献:

[1] 肖千明,高秀兰,娄春荣,孙文涛,杨永华 . 辽宁省蔬菜保护地土壤肥力现状分析[J]. 辽宁农业科学,1997, 3:17－21

[2] 吴建繁,王运华,夏江 . 京郊菜田肥力现状研究与应用[J]. 华北农学报,2000, 15:23-26.

[3] 程季珍,亢青选 . 蔬菜平衡施肥技术研究[J]. 植物营养与肥料学报,1997, 3(4):372-375.

[4] Lorenz H P. Kulturbegleitendes N_{min} Sollwert (KNS-System)[M]. Ministerium for Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Mainz. 1989.

[5] Ziegler J, Strohmeier K and Brand T. Nitrogen supply of vegetable based on the 'KNS-System'[J]. Acta Hortic., 1996, 428: 223-233.

[6] Fink M and Scharpf H C. N-Expert-A decision support system for vegetable fertilization in the field[J]. Acta Hortic., 1993, 339: 67-74.

[7] Fink M and Scharpf H C. Apparent nitrogen mineralization and recovery of nitrogen supply in field trials with vegetable crops[J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2000, 75 (6): 723-726.

[8] 刘明池 . 施肥量对大白菜优质高产的数学模型及其不同地块间的比较[J]. 华北农学报,1996, 11 (4):99-103.