



李波,陈喜昌,朴琳,等.氮肥一次性供给量对寒地春玉米氮素利用及物质积累的调控效应[J].黑龙江农业科学,2022(6):31-38.

氮肥一次性供给量对寒地春玉米氮素利用及物质积累的调控效应

李波¹,陈喜昌¹,朴琳¹,张立国¹,张宇¹,钱春荣²,陈阳³

(1. 黑龙江省农业科学院 玉米研究所,黑龙江 哈尔滨 150086;2. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所,黑龙江 哈尔滨 150028;3. 北大荒垦丰种业股份有限公司,黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:为深入研究寒地春玉米植株生物量生产积累和氮素吸收积累对氮肥供给的响应,进一步明确氮肥供给对春玉米籽粒氮含量及产量形成的调控机制,本研究以德美亚3号为试验材料,设置氮肥传统分期施肥(NP)和一次性基施(N0~N1.2)两种施肥方式,共7个施氮量(N0、N0.8、N0.9、N1.0、N1.1、N1.2和NP)处理,测定不同处理成熟期穗位叶面积,SPAD值,干物质积累,氮素的吸收、积累和转运量,以及产量和氮肥的利用效率。结果表明:相较于氮肥减施和增施处理,等量氮肥供给的叶面积指数、SPAD值、氮素积累量和干物质积累量均显著增加;相较于传统分期施肥,氮肥一次性供给处理很好地维持了生育后期叶片的功能性,氮素的吸收利用使得地上干物质快速增长期延长2~6 d,增加了籽粒中的养分物质积累,群体籽粒产量和氮肥利用效率显著增加。

关键词:春玉米;一次性施氮肥;产量;干物质积累;养分利用效率

氮素肥料的大量投入是我国玉米产量迅速增长的重要因素,近30年我国已经成为全球氮素肥料施用量最大的国家(近30年我国氮肥的年施入量增加超过43倍),我国每年的氮肥消耗量占世界总量的30%以上^[1-2],大量的氮肥施入土壤中除作物吸收固定的氮素营养外,相当比例的氮素营养被淋溶损失掉,随着肥料在土壤中滞留的时间越长,这种损失越大,且这部分氮素营养是造成土壤板结、水体富营养化环境负担加重的主要原因。因此氮肥减投,无论对节约生产成本,还是对提升作物资源利用效率以及环境持续发展方面都具有重要的意义^[3-4]。国内外的专家学者做了大量的工作,总结出相较于常规“尿素”型氮素肥料,缓释型“包膜尿素”的肥力更具有持久性。考虑到节约多次追肥的人工成本及机械消耗,氮素肥料的一次性供给更适合未来农业全程机械化生产的发展趋势。且在氮素营养利用效率影响因子中,施氮量是影响玉米氮素利用效率的主要因素,肥

料类型和施肥方式也能起到一定的积极作用^[5]。氮素肥料的施用量对玉米产量的影响符合报酬递减率,即当氮肥供给量低于阈值,玉米的籽粒产量随氮肥施用量的增加而增加;但当玉米的供肥量超过阈值,其籽粒产量将不再继续增加,反而呈下降趋势^[6]。因此基于对氮素高效利用节本增效的运筹策略探索的研究目标,考虑当地区域土壤质地、气候生态类型特点、推广玉米杂交品种特性及在售肥料类型等制约因素,氮素营养的供给策略应做出相应的调整,其供给量、供给方式及利用效率仍需进一步探讨。在现有研究成果的基础上,借鉴成功的可行性施肥技术,依据不同地域生产现状、土壤质地和环境气候类型进行设计试验,并以植株物质生产积累及产量形成作为量尺,探寻肥料运筹最佳阈值,是充分发挥品种产量潜力和资源高效利用最切实可行的方法。

本研究所选择的黑龙江寒地玉米种植区是我国最重要的玉米生产基地之一,年产出玉米的量占全国第一,玉米也是该区域最重要的粮食作物。于是在以产量为最终目标导向的生产管理中,氮肥的过度施用、粗放管理和不适合的土壤耕作制度在该区域普遍存在^[7-8]。为响应国家减烧禁烧秸秆的政策要求,秸秆半量还田、覆盖还田、碎混还田及翻埋还田在该区域内不断试行推广,处理区域逐年增加^[9-10]。在秸秆的降解过程中,微生物

收稿日期:2022-03-11

基金项目:黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX12-12);黑龙江省农业科学院黑龙江省自然科学基金联合引导项目(LH2020C096);2020年度院级科研项目(2020YYF028)。

第一作者:李波(1975—),男,硕士,副研究员,从事玉米栽培生理研究。E-mail:13936104996@139.com。

通信作者:陈喜昌(1966—),男,硕士,研究员,从事玉米栽培生理生态研究。E-mail:ymzhsh2003@126.com。

物会优先固定矿化土壤中的氮素,与玉米幼苗争夺营养从而限制其生长,且不同的还田方式影响不同^[11],因此在秸秆还田基础上,更有必要提高生育前期供氮量和重新考虑氮素肥料的运筹策略。本研究结合该区域春玉米的种植特点,开展不同量氮肥一次性供给对春玉米氮素利用及物质积累的调控效应研究,旨在探索一次性氮肥供给量及其对寒地春玉米养分利用的规律调控,明确其物质积累产量形成对供氮量的响应,以期为本区域春玉米高产稳产的氮素肥料运筹策略提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2017—2018 年在黑龙江省八五二农业科学试验站(46°06′N,132°54′E)进行,供试土壤为岗地白浆土。本试验区的前茬作物是春玉米。试验区历年生长季内(4 月 27 日至 9 月 30 日)平均无霜期 125 d 左右,平均≥10℃活动积温 2 450℃,年平均气温 18.65℃,累计日照时数 1 161 h,年降雨量 391 mm(表 1)。试验田耕层土壤基础肥力(0~20 cm):有机质 3.4%、全氮 0.19%、碱解氮 173.8 mg·L⁻¹、有效磷 33 mg·L⁻¹、速效钾 108 mg·L⁻¹、pH6.21。

表 1 2017 和 2018 年玉米生长季降雨量、平均温度和日照时数

月份	降雨量/mm		平均温度/℃		日照时数/h	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
4 月	25.20	40.00	79.60	67.80	7.48	7.18
5 月	64.50	43.40	85.65	86.90	15.77	14.96
6 月	68.00	68.80	58.97	63.30	18.33	19.30
7 月	171.90	116.30	96.61	53.45	23.35	23.57
8 月	62.10	153.80	59.77	47.26	20.49	19.51
9 月	58.90	156.50	69.67	74.87	14.83	14.54

1.2 材料

供试材料为早熟耐密型春玉米杂交种德美亚 3 号。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 德美亚 3 号种植密度为 75 000 株·hm⁻²,小区采用机械起 1.3 m 大垄,垄上双行,行距 0.65 m,面积 39 m²(6 行区,行长 10 m),3 次重复。于上一生长季果穗成熟采收后,利用重型机组将试验田的玉米秸秆进行粉碎

翻埋至地下 25 cm,耙平旋耕起大垄达到待播状态,同时施入氮肥 177 kg·hm⁻²,磷肥 76 kg·hm⁻²和钾肥 68.25 kg·hm⁻²作基肥(N1.0,普通尿素与缓控释尿素按 4:6 比例混合),全生育期再无追肥。设置 5 个氮肥一次性施入量处理,分别为不施氮对照(N0);减量 20%(N0.8);减量 10%(N0.9);增量 10%(N1.1);增量 20%(N1.2);氮肥分期施入处理(NP,采用普通尿素按基追比为 3:7 分两次施入)。其中一次性氮肥处理均为普通肥与缓释尿素的混合肥,增减量基于 N1.0 处理施肥量计算,各处理具体施肥量详见表 2。人工精量点播,机械压实,病、虫、草害管理同当地较高生产投入水平管理,且全生育期无灌溉处理。

表 2 各处理施肥量

处理	单位:kg·hm ⁻²				
	普通尿素	缓释尿素	过磷酸钙	氯化钾	追肥
N0	0	0	165	90	0
N0.8	116.6	175.1	165	90	-
N0.9	131.3	196.8	165	90	-
N1.0	145.8	218.7	165	90	-
N1.1	160.4	240.6	165	90	-
N1.2	174.9	262.5	165	90	-
NP	109.4	0	165	90	255.2

1.3.2 测定项目及方法 干物质积累量:分别于苗期(V3)、拔节期(V8)、吐丝期(R1)和成熟期(R6)在田间选取长势一致的 3 株取样(边行除外),分割为叶片、茎秆和籽粒样本,在 105℃杀青 30 min,80℃恒温烘至恒重,分开称重计入干物质积累。生长模型 Logistic 方程(1),以播种后天数为自变量,干物质质量为因变量进行拟合,对 Logistic 方程求二阶导数,可得两个拐点在 t 坐标上的值 t1 和 t2,试验结束时间 t3,确定干物质积累过程的 3 个阶段,分别为缓慢增长期(0~t1)、快速增长期(t1~t2)和增长持续期(t2~t3)并根据公式(2)和(4)计算最大干物质积累日(T_{max})和干物质积累最大速率(G_{max})等特征参数^[12-13]:

$$Y = \frac{a}{1 + be^{-ct}} \tag{1}$$

$$T_{\max} = \frac{\ln b}{c} \tag{2}$$

$$W_{\max} = \frac{a}{2} \tag{3}$$

$$G_{\max} = c \times W_{\max} \times [1 - \left(\frac{W_{\max}}{a}\right)] \tag{4}$$

其中, a 、 b 、 c 为方程参数, 根据模拟方程求得。

氮素积累与转运: 干物质积累样品烘干称重后的恒重干物质用磨样机研磨, 过 1 mm 的筛子, 采用浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮-蒸馏定氮法测定植株氮含量, 并根据公式(5)~(13)计算氮素的积累量($NAA, kg \cdot hm^{-2}$)、氮素吸收量($NA, kg \cdot kg^{-1}$)、转运量($NTA, kg \cdot hm^{-2}$)、转运效率($NTE, \%$)、氮转运对籽粒的贡献率($NTCR, \%$)、生理利用效率($NPE, \%$)、氮素利用率($NUE, \%$)、氮肥偏生产力($NPFP, kg \cdot kg^{-1}$)、氮肥农学效率($NAE, kg \cdot kg^{-1}$)。

$$NAA = NC \times W \quad (5)$$

$$NA = \frac{GY}{NAA_{总}} \quad (6)$$

$$NTA = NAA_{吐丝期} - NAA_{成熟期} \quad (7)$$

$$NTE(\%) = \frac{NTA}{NAA} \times 100 \quad (8)$$

$$NTCR(\%) = \frac{NTA}{NAA_{籽粒}} \times 100 \quad (9)$$

$$NPE(\%) = \frac{GY_{施N} - GY_{不施N}}{NAA_{施N} - NAA_{不施N}} \times 100 \quad (10)$$

$$NUE = \frac{NAA_{施N} - NAA_{不施N}}{N_{施入量}} \quad (11)$$

$$NPFP = \frac{GY}{N_{施入量}} \quad (12)$$

$$NAE = \frac{GY_{施N} - GY_{不施N}}{N_{施入量}} \quad (13)$$

式中: NC 为氮素含量($\%$), W 为干物质量($kg \cdot hm^{-2}$), GY 为籽粒产量($kg \cdot hm^{-2}$)。

叶绿素(SPAD 值): 成熟期, 选取边行除外的 15 棵连续植株, 采用手持式 SPAD-502 型叶绿素测定仪(Minolta, Ramsey, NJ, USA), 对穗位功能叶的 SPAD 值进行测定。

1.3.3 叶面积指数(LAI) 成熟期, 各处理选取长势一致连续 5 株, 测量叶片长和叶片最宽处计算叶面积(LA), 结合单株占地面积(GA)根据公式(14)计算 LAI。

$$LAI = LA/GA \quad (14)$$

产量及产量构成因素: 小区除边行外全部采收, 计数收获总株数、总穗数, 称取果穗鲜重, 根据穗数计算理论穗重, 并以此理论值分别于各重复内选取 10 个果穗进行室内考种, 脱粒测定籽粒含水量和出籽率。籽粒产量折算为 14% 含水量。

1.3.4 数据分析 采用 Excel 2016 和 SPSS 20.0 对试验数据进行方差分析和显著性检验。利用曲线专家(Curve expert 1.3)进行方程拟合, 应用 Sigma Plot 12.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥施用量对玉米叶面积和 SPAD 值的影响

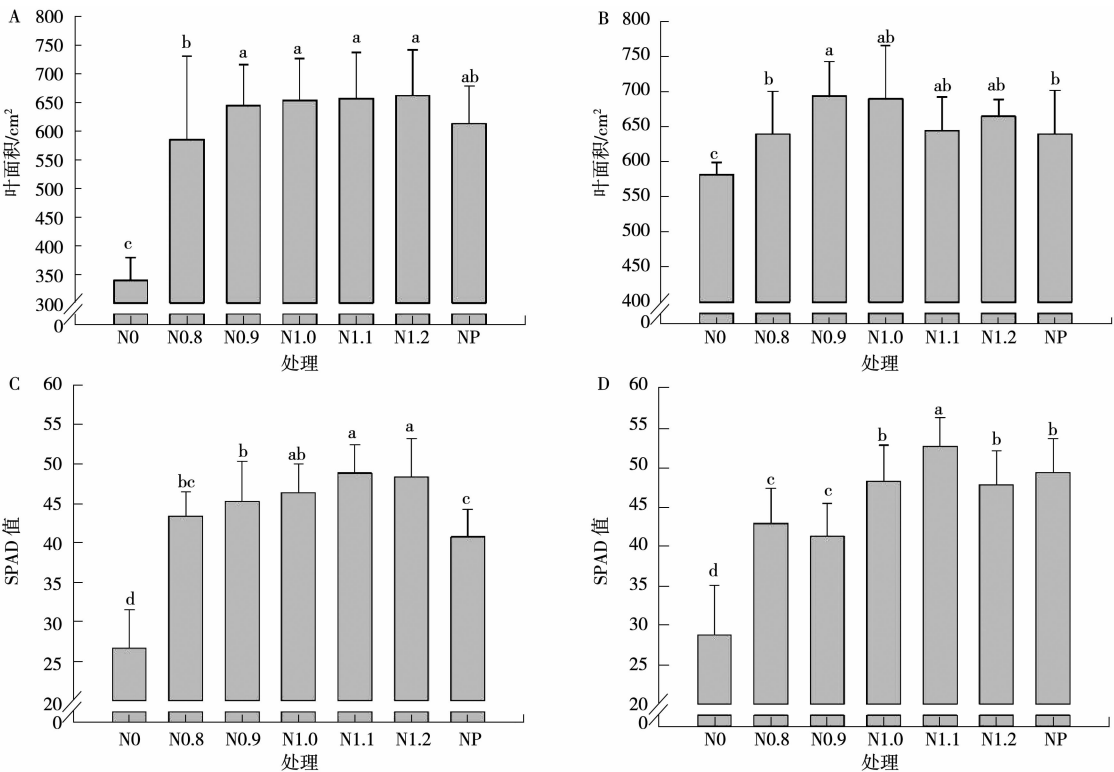
由图 1 可知, 不同氮肥供给量处理(N0.8~N1.2 及 NP), 成熟期玉米穗位功能叶的叶面积和 SPAD 值分别显著高于无肥处理(N0)9%~72%和 6%~83%。整体上随着氮肥施入量的增加, 叶面积和 SPAD 值呈先增加后降低的趋势, 但相较于传统分期施肥处理(NP), 氮肥一次性供给具有显著优势。速效肥料于生育后期大量消耗, 而长效缓释肥很好地保持了生育后期氮素的吸收和积累, 施肥量越多叶片功能性越强, 但是过量施肥会造成叶片生长过旺减少籽粒中的物质积累。

2.2 不同氮肥施用量对玉米植株氮素积累的影响

由图 2 可知, 不同氮素供给量处理下玉米植株的氮素积累量存在显著差异, 相较于无氮素供给处理(N0), 施用氮肥的 N0.8~N1.2 和 NP 处理氮素积累量显著增加 9%~200%。氮肥一次性施用处理(N0.9~N1.2)较氮肥分期施入处理(NP)成熟期氮素积累量增加 5%~37%。补给氮肥可显著提高植株的氮素积累量, 而氮素一次性供给相较于 NP 处理更有利于氮素的积累, 且氮素减施(N0.8~N0.9)和增施(N1.1~N1.2)的氮素积累量均小于氮素适量供给处理(N1.0), 但增施氮肥处理的差异并未达到显著水平。

2.3 不同氮肥施用量对玉米地上生物量积累的影响

氮素供给显著调控了地上生物量的积累, 相较于无氮素供给处理(N0), 氮肥(N0.8~N1.2 和 NP)处理有助于地上干物质的积累, 其中 2017 年 N1.0 处理成熟期地上干物质积累值最大, N1.1 和 N0.9 处理次之; 2018 年 N1.1 处理成熟期干物质积累质最大, N1.0 和 N1.2 处理次之, 但未达到显著水平。且氮素一次性供给处理(N0.8~N1.2)成熟期地上干物质积累量高于传统分期施肥处理(NP)(图 3A、B)。



A.2017年叶面积；B.2018年叶面积；C.2017年SPAD值；D.2018年SPAD值。

图 1 氮肥施用量对成熟期穗位叶面积和 SPAD 值的影响

注：不同小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

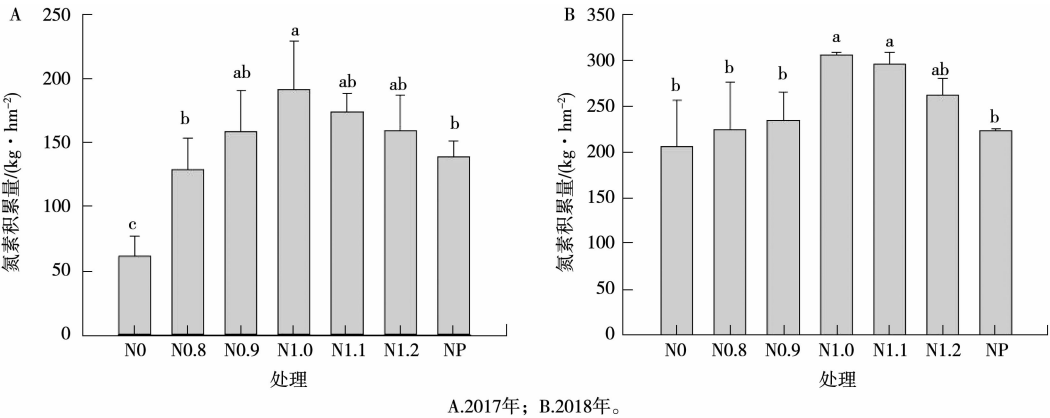


图 2 氮肥施用量对成熟期植株氮素积累量的影响

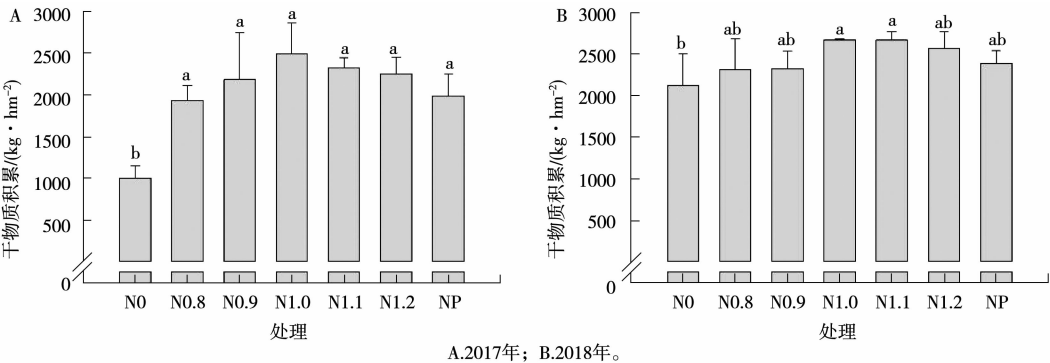


图 3 不同氮肥施用量对玉米地上干物质积累量的影响

用 Logistic 方程拟合计算作物物质积累参数,相较于不同氮肥供给处理,N0 的快速生长期相对拖后,而减量 20%供给处理(N0.8)、增量 20%供给(N1.2)和传统分期施肥(NP)相较其他处理,干

物质快速增长期提前 3~9 d(2017 年),随着施入氮肥总量的增加,干物质快速增长期延长 2~6 d,其中 N0.9 和 N1.1 处理,两年间快速增长期均较长,这也与地上干物质积累量较高相一致(图 4)。

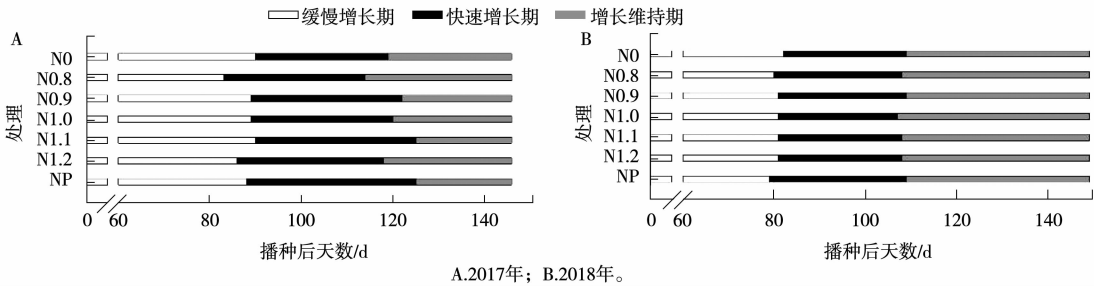


图 4 不同氮肥施用量下春玉米地上干物质积累动态

2.4 不同氮肥施用量对春玉米氮素营养转运的影响

氮肥供给 N1.0 处理氮素吸收量高于其他处理,营养器官转运量和氮素转运率低于其他施氮处理(除 N0.9 外),说明减施或过量的氮素供给会造成氮素营养的浪费,且一次性施用氮肥对于营养的吸收好于传统的分期施肥(NP);2017 年

N0.9~N1.1 处理的营养器官氮素再转运对籽粒的贡献和氮素收获指数显著低于传统的分期施肥处理(NP),说明缓释肥料的一次性投入,在玉米生育后期仍能保证肥力的释放,降低籽粒产量对母体营养转运的需求,使植株保持更好的氮素营养状态(表 3)。

表 3 不同氮肥施用量对春玉米氮素营养转运的影响

年份	处理	氮素吸收量/ (kg·t ⁻¹)	营养器官转运量/ (kg·hm ⁻²)	氮素转运 率/%	氮素转运对籽粒 贡献率/%	氮素收获 指数
2017	N0	11.25 b	7.56 b	34.59 b	18.11 c	71.56 c
	N0.8	12.33 ab	41.63 a	60.51 a	40.16 a	79.49 ab
	N0.9	14.13 ab	17.58 b	31.71 b	15.04 c	74.09 bc
	N1.0	16.73 a	22.00 ab	35.64 b	14.90 c	76.2 bc
	N1.1	14.18 ab	26.06 ab	36.53 b	19.10 c	77.41 bc
	N1.2	13.01 ab	40.61 a	60.30 a	32.26 ab	79.70 ab
	NP	12.50 ab	27.45 ab	49.46 ab	23.85 b	81.15 a
2018	N0	20.81 ab	21.48 b	24.88 a	18.00 a	68.59 ab
	N0.8	18.24 ab	52.15 ab	48.00 a	33.65 a	74.84 a
	N0.9	17.72 b	32.45 ab	30.44 a	20.84 a	68.74 ab
	N1.0	23.09 a	36.82 ab	27.95 a	22.26 a	66.11 b
	N1.1	22.62 ab	40.74 ab	29.21 a	19.18 a	69.51 ab
	N1.2	21.14 ab	60.78 a	46.09 a	31.78 a	72.83 a
	NP	18.48 ab	45.43 ab	48.92 a	37.51 a	74.53 a

注:不同小写字母表示处理间在 P<0.05 水平差异显著。下同。

2.5 不同氮肥施用量对玉米籽粒产量及氮素利用的影响

由表 4 可知,相较于不施氮肥处理(N0),施氮素处理(N0.8~N1.2)春玉米产量提高了34%~125%。2017 年 N0.9~N1.2 处理产量高于 NP 处理,且差异显著,较 NP 处理分别增产 1.3%~10.5%。2018 年产量间变化趋势同 2017 年一致,N0.9~N1.1 处理籽粒产量显著高

于 NP 处理 8.2%~9.5%。综合两年产量数据,一次性氮素供给量≥90%处理的产量表现明显好于传统氮素分期施用。处理 N0.9~N1.0 氮素利用率、氮素偏生产力和氮素农学利用效率大多高于处理 N1.1~N1.2 和传统氮素分期供给处理(NP)。说明适当减施氮肥有利于氮素肥料资源的高效利用,是春玉米高效生产可以考虑的肥料策略。

表 4 不同氮肥施用量对玉米籽粒产量及氮素利用的影响

年份	处理	籽粒产量/ [kg·(667 m ²) ⁻¹]	氮素利用率/%	氮素偏生产力/ (kg·kg ⁻¹)	氮素农学利用效率/ (kg·kg ⁻¹)
2017	N0	364.2 d	-	-	-
	N0.8	698.2 c	51.09 a	79.09 a	37.85 a
	N0.9	750.3 b	65.48 a	75.49 b	38.83 a
	N1.0	762.5 b	78.45 a	69.37 c	36.38 a
	N1.1	817.9 a	61.77 a	67.35 c	37.36 a
	N1.2	818.0 a	49.38 a	61.75 d	34.26 a
	NP	740.6 b	46.75 a	67.08 c	34.09 a
2018	N0	601.9 c	-	-	-
	N0.8	822.8 b	58.40 ab	93.16 a	25.01 ab
	N0.9	884.2 a	58.62 ab	88.99 b	28.41 a
	N1.0	884.6 a	77.10 ab	80.13 c	25.61 ab
	N1.1	874.1 a	97.47 a	71.98 d	22.41 bc
	N1.2	828.0 b	57.78 ab	62.50 e	17.06 d
	NP	807.6 b	39.16 b	73.15 d	18.63 cd

3 讨论

一次性施肥取代传统的多次追施策略成为越来越多高产栽培模式的肥料运筹策略,包膜缓释肥料的研制开发让这种集约节本的施肥策略成为可能,既满足玉米全生育期的营养需求又减少人工和机械成本^[14]。这种策略调整使得春玉米养分吸收利用、物质积累和产量形成调控的机理探索重新成为了当前玉米提质增效栽培研究的新议题。氮素供给量的确定,必然需要根据地域土壤类型、气候特点、生产水平等因素而调整,因此结合区域特点,开展氮素供给对春玉米氮素营养吸收利用及物质积累调控的研究显得尤为必要^[15-19]。

施氮肥处理相较于无肥处理产量提升甚至超过 100%,相比于传统分期施肥处理,其仍具有

5%以上的产量增益。在不增加氮肥供给或是减少供给的情况下,玉米群体籽粒产量的增益与肥料资源利用效率的提升显著正相关^[20]。春玉米地上植株氮素营养的再转运是籽粒产量形成的重要物质组成部分,也是氮素参与调控玉米生长发育及产量形成的重要方式之一,更是反映氮素供给量调控下春玉米生产提质增效研究的重要指标。增加或降低氮素供给反而造成氮素营养吸收的下降和转运量的升高。同时由于缓释肥料延长了氮肥释放的时间,缓解了籽粒形成时期对植株母体氮素营养的依赖,因此本研究在减氮 10%的情况下氮素利用效率、氮素偏生产力和氮素农学利用效率都高于传统分期施肥和过量施肥,是该地区未来玉米高效生产可以考虑的施肥用量。

叶片中叶绿素的含量是反映叶片光合性能的

重要指标,叶片叶绿素含量与叶片的叶色值(SPAD值)具有相关关系,因此跟踪不同生育期叶片SPAD值的变化,可以掌握叶片光合生理功能的变化,且叶色值和叶面积均受叶片氮素营养的吸收和积累的正向调控,合理范围增加氮肥施用量会增加叶面积指数和叶片叶绿素的积累,但是氮素亏缺和盈余的状况下,随着生育进程延长都会导致叶面积指数和叶绿素的下降^[21-22]。本研究中获得一致结论,相较于增施和减施,等量氮肥供给叶面积和SPAD值增加,氮肥一次性供给显著高于传统分期施肥,缓释肥料在氮肥释放的时间上相较于传统速效尿素具有显著的优势,更利于生育后期叶片功能的维持。

氮元素是植株营养体主要的结构元素,也是植株体内氨基酸、蛋白质和内源激素的主要组成成分^[23],也是籽粒产量形成的重要物质基础,春玉米籽粒中的氮素主要是营养积累氮素的再转运,灌浆期土壤中氮素营养的吸收,因此氮素供给在时空上与玉米需求的协调性很大程度决定了籽粒产量和品质的形成^[24]。因此合理的氮素供给运筹,通过调控玉米的氮素积累及物质生产,实现产量和资源效率的提高^[18,25]。也有研究认为,花后干物质的积累期对籽粒产量的提高起着决定性作用^[26]。相较于传统分期施肥,缓释氮肥的一次性供给,更有利于氮素在玉米植株中积累,且氮素一次性供给成熟期地上干物质积累量高于传统分期施肥处理。氮素亏缺会导致地上干物质快速增长长期拖后,随着施入氮肥总量的增加,干物质快速增长长期延长2~6d,氮素供给调控下地上生物量快速增长长期相对延长,是地上干物质积累、籽粒产量提高的主要原因。

4 结论

相较于传统分期施肥,缓释氮素肥料的一次性供给显著提高了北方寒地春玉米群体籽粒产量,其氮素利用效率和氮素偏生产力显著提高,缓释氮肥的一次性施用可实现生长季内氮肥减量10%,适宜的氮素供给显著改善了春玉米植株的叶片功能,氮素吸收、积累和转运量增加,干物质的快速增长长期延长2~6d,为籽粒产量的形成提供了必要的物质基础。

参考文献:

- [1] 曾宪坤. 中国化肥工业的现状与展望[J]. 土壤学报, 1995, 32(2): 117-125.
- [2] 李红莉, 张卫峰, 张福锁, 等. 中国主要粮食作物化肥施用量与效率变化分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1136-1143.
- [3] FAO. Statistical Databases, Food and Agriculture Organization (FAO) of The United Nations [DB/OL]. [2022-02-10]. <http://www.fao.org>.
- [4] TRENTON F S, JOSEPH G L. Crop grain yield response to crop ration and nitrogen over 35 years [J]. Agronomy Journal, 2008, 100: 643-650.
- [5] 易镇邪, 王璞, 陈平平, 等. 氮肥类型对夏玉米氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008(3): 472-478.
- [6] 王宜伦. 超高产夏玉米氮肥运筹效应及其生理基础研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2010.
- [7] 闫鹏. 播期、品种、氮肥管理对华北春玉米产量的影响及机理研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- [8] 张研, 钱春荣. 黑龙江省玉米单产水平现状与发展策略[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(7): 155-160.
- [9] 葛选良, 钱春荣, 李梁, 等. 秸秆还田配合施肥措施对玉米产量及耕层土壤质量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(1): 131-136.
- [10] 徐莹莹, 王俊河, 刘玉涛, 等. 秸秆还田方式对半干旱区春玉米生长特性、产量及水分利用效率的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(21): 128-132.
- [11] 田平, 姜英, 孙悦, 等. 不同还田方式对玉米秸秆腐解及土壤养分含量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(1): 100-108.
- [12] 朱庆森, 曹显祖, 骆亦其. 水稻籽粒灌浆的生长分析[J]. 作物学报, 1988(3): 182-193.
- [13] 周宝元, 孙雪芳, 丁在松, 等. 土壤耕作和施肥方式对夏玉米干物质积累与产量的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2129-2140.
- [14] 张哲, 孙占祥, 张燕卿, 等. 秸秆还田与氮肥配施对春玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(3): 144-152.
- [15] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学, 2002(9): 1095-1103.
- [16] 王启现. 夏玉米氮肥高效利用机制研究及周年氮素分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [17] 米国华, 陈范骏, 吴秋平, 等. 玉米高效吸收氮素的理想根构型[J]. 中国科学: 生命科学, 2010, 40(12): 1112-1116.
- [18] 葛均筑, 展茗, 赵明, 等. 一次性施肥对长江中游春玉米产量及养分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1073-1082.

- [19] 周宝元,王新兵,王志敏,等. 不同耕作方式下缓释肥对夏玉米产量及氮素利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(3):821-829.
- [20] 袁国印,何俊欧,陈文,等. 前季施肥对玉-稻轮作养分吸收及土壤养分表观平衡的影响[J]. 中国农学通报,2018,34(7):1-7.
- [21] FRANCONI C,PAGANI V,FOI M,et al. Comparison of leaf area index estimates by comptometer and pocket LAI smart app in canopies with different structures[J]. Field Crops Research, 2014,155:38-41.
- [22] 徐丽娜,黄收兵,陶洪斌,等. 不同氮肥模式对夏玉米冠层结构及部分生理和农艺性状的影响[J]. 作物学报,2012(2):301-306.
- [23] 孙昭安. 不同供氮条件下冬小麦生产向土壤碳库的输入及氮素损失特征[D]. 北京:中国农业大学,2018.
- [24] 李少昆,赵久然,董树亭,等. 中国玉米栽培研究进展与展望[J]. 中国农业科学,2017,50(11):1941-1959.
- [25] 王宜伦,李潮海,谭金芳,等. 超高产夏玉米植株氮素积累特征及一次性施肥效果研究[J]. 中国农业科学,2010,43(15):3151-3158.
- [26] 张月玲,王宜伦,谭金芳,等. 氮硅配施对夏玉米抗倒性和产量的影响[J]. 玉米科学,2012,20(4):122-125.

Regulation Effect of Single Basal Application of Nitrogen Fertilization on Nitrogen Utilization and Material Accumulation of Spring Maize in Cold Region of China

LI Bo¹, CHEN Xi-chang¹, PIAO Lin¹, ZHANG Li-guo¹, ZHANG Yu¹, QIAN Chun-rong², CHEN Yang³

(1. Maize Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Institute of Crop Tillage and Cultivation, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150028, China; 3. Heilongjiang Kenfeng Seed Industry Limited Company, Harbin 150090, China)

Abstract: In order to research the response of maize biomass production and nitrogen absorption, remobilization and accumulation to nitrogen fertilizer suppletion, to explore the regulation mechanism of nitrogen supply on grain nitrogen content and grains yield formation in cold region. Demeiya 3 was used as the experimental material in this study, and conventional fertilizer application in stages (NP) and one-time basal application (N0.8-N1.2) were set as fertilization methods; 7 nitrogen application rates (N0, N0.8, N0.9, N1.0, N1.1, N1.2, and NP). The leaf area, SPAD value, dry matter accumulation, nitrogen uptake, accumulation and transshipment, yield and nitrogen use efficiency of different treatments at maturity were studied. The results showed that to compared with the reduce and increase of nitrogen fertilizer, the leaf area, SPAD value, nitrogen accumulation and dry matter accumulation of equal amount nitrogen supplied increased significantly, to the contrary, compared with conventional fertilizer application in stages, one-time supply nitrogen treatment maintained the function of leaves in late growth stage, the absorption and utilization of nitrogen extended the rapid growth periods of aboveground dry matter by 2-6 days, increased the nutrient accumulation in grains. The grain yield and nitrogen use efficiency of population increased significantly.

Keywords: spring maize; single basal application of nitrogen fertilization; yield; dry matter accumulation; nutrient utilization efficiency

著作权使用声明

本刊已许可中国知网、维普网、万方数据等知识服务平台以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含著作权使用费,所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。

黑龙江农业科学编辑部