

氮肥运筹对科尔沁地区粮饲兼用玉米金山 10 产量、干物质及氮素积累的影响

宋桂云, 杨恒山*, 徐寿军, 侯迷红, 邵继承, 毕文波, 萨如拉
(内蒙古民族大学农学院, 内蒙古通辽 028042)

摘要:【目的】科尔沁地区粮饲兼用玉米高产栽培中偏施氮肥, 有机肥施用量不足。研究氮肥运筹对科尔沁地区粮饲兼用玉米产量、干物质和氮素积累的影响, 以期对科尔沁地区粮饲兼用玉米的合理施肥提供理论依据。【方法】以粮饲兼用玉米品种金山 10 为试验材料, 于 2012~2013 年进行了两季玉米田间试验。试验设 4 个处理: 不施氮肥 (CK); 推荐施氮量 260 kg/hm² (R); 氮肥 + 有机肥, 总氮量 260 kg/hm², 其中有机肥 15000 kg/hm², 含氮量 15 kg/hm², 氮肥含氮量 245 kg/hm² (C); 农民传统施氮量 270 kg/hm² (F)。研究不同施肥处理下粮饲兼用玉米产量结构、干物质和氮素积累特征。【结果】四个施肥处理以有机无机肥配施处理 (C) 金山 10 产量、穗长、穗粒数和百粒重最高, 其生物产量和经济产量分别比 CK 处理增加了 55.5% 和 50.8%, 比推荐施氮处理 (R) 提高了 4.6% 和 6.6%, 比农民传统施氮处理 (F) 增加了 3.7% 和 6.9%。有机无机肥配施处理收获后玉米秸秆中的粗蛋白和粗脂肪含量比推荐施氮处理分别提高了 12.7% 和 6.7%, 比农民传统施氮处理增加了 10.2% 和 5.2%。与推荐施氮和农民传统施氮方式相比, 有机无机肥配施处理提高了粮饲兼用玉米吐丝前、后干物质生产, 提高了吐丝后干物质积累率和干物质对产量的贡献率, 同时提高了干物质和氮素的终极生长量和最大累积速率, 增加干物质和氮素积累量。该处理干物质和氮素的终极生长量比其他施肥处理分别高 0.04~0.71 kg/m² 和 1.13~11.34 g/m², 干物质和氮素最大累积速率分别高 0.0162~0.0826 kg/(m²·d) 和 0.0448~0.8858 g/(m²·d)。【结论】科尔沁地区粮饲兼用玉米高产栽培中, 在不增加目前氮肥施用量的前提下, 以部分有机氮替代无机氮可显著提高玉米吐丝后干物质的积累量和积累速率, 在提高粮饲兼用玉米的产量的同时, 也提高了秸秆的饲用品质, 增加干物质和氮素积累量, 是较合理的施肥方式。

关键词: 玉米; 氮肥; 最大累积速率; 产量结构; 粗蛋白

Effects of nitrogen fertilizer management on yield, dry matter and N accumulation of maize cultivar Jinshan 10 used for both grain and feed purpose in Keerqin

SONG Gui-yun, YANG Heng-shan*, XU Shou-jun, HOU Mi-hong, TAI Ji-cheng, BI Wen-bo, SA Ru-la
(College of Agronomy, Inner Mongolia University for the Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028042, China)

Abstract: 【Objectives】Aiming at unreasonable method of applying fertilizer, such as using more N fertilizer and less organic matter, we did some research about effects of N fertilizer application on yield, dry matter and N accumulation of dual-purpose maize in Keerqin, Inner Mongolia, China. The purpose of this study was to supply the basis for reasonable application of fertilizers to high-yield cultivation of dual-purpose maize in Keerqin, Inner Mongolia. 【Methods】Maize cultivar of Jinshan 10 was selected as the test material in a field experiment. Four treatments were designed, namely no N fertilizer (CK), recommended N rate of 260 kg/hm² (R), 15 kg/hm² N from 15000 kg/hm² manure plus 245 kg/hm² N from fertilizer to make a combined application (C), and farmer's current N rate of 270 kg/hm² (F). The yield, dry matter and N accumulation of dual-purpose maize were analyzed

收稿日期: 2016-02-23 接受日期: 2016-11-06

基金项目: 教育部留学回国人员科研启动基金; 内蒙古自然科学基金 (2012MS0302) 资助。

作者简介: 宋桂云 (1970—), 女, 内蒙古赤峰人, 博士, 教授, 主要从事植物营养研究。E-mail: Songgy999@163.com

* 通信作者 E-mail: hengshanyang@yahoo.com.cn

in consecutive two growing seasons in Keerqin. **【 Results 】** The highest spike length, spikelet number, 100-grain weight and yield were all obtained in the C treatment, in which the biomass amount was 55.5%, 4.6% and 3.7% higher than those in the CK, R and F treatments, and the grain yield was 50.8%, 6.6% and 6.9% higher than those in the CK, R and F treatments ($P < 0.01$). The content of crude protein and fat in stem in the C treatment were 12.7% and 6.7%, 10.2% and 5.2% higher than those in the R and F treatments. The dry matter accumulation before and after the silking stage was significantly improved, and the dry matter accumulation rate and contribution rate to grain formation after the silking were also improved in the C treatment. The dry matter and N accumulation amount was improved through its higher limited growth amount and the maximum rate, the limited growth amount of dry matter and N uptake in the C treatment were $0.04\text{--}0.71\text{ kg/m}^2$ and $1.13\text{--}11.34\text{ g/m}^2$ higher than those in other treatments, the maximum rates of dry matter and N accumulation were increased by $0.0162\text{--}0.0826\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ and $0.0448\text{--}0.8858\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. **【 Conclusions 】** The manure N and fertilizer N combination is necessary for the dual-purpose maize production, as it can provide sufficient nutrient supply for the rapid growth and dry matter accumulation after the silking stage. With the manure and N fertilizer treatment, the last yield, the forage biomass and crude protein, crude fat content were all improved, which was good for the dual-purpose maize in Keerqin.

Key words: maize; nitrogen fertilizer; the maximum rate of accumulation; yield component; crude protein

科尔沁地区位于内蒙古自治区东部,主体处于西辽河下游的冲积平原上。由于灌溉条件比较好,气候和土壤条件比较适合玉米的种植,目前科尔沁地区是国家优质玉米的生产基地,世界著名的黄金玉米带,玉米种植面积稳定在 $6.0 \times 10^5\text{ hm}^2$ 左右^[1-2]。由于科尔沁地区养殖业所占比重较大,粮饲兼用玉米的需求量逐年增加。粮饲兼用玉米不仅可以保证粮食生产,而且有利于秸秆青贮发展畜牧业,有效地保证了本地区禁牧舍饲的饲料来源供给^[3-5],促进了本地区畜牧业的发展。玉米对氮肥需求量较多,施氮量多少和不同肥料之间搭配等都会影响玉米的产量和品质的提高^[6-7]。赵勇等^[8]指出,粮饲兼用玉米雅玉 8 号在中等种植密度下 ($9.75 \times 10^4\text{ plant/hm}^2$) 施氮 337.5 kg/hm^2 时,生物产量和经济产量最高;高种植密度下 ($12.75 \times 10^4\text{ plant/hm}^2$) 施氮 225 kg/hm^2 时,干物质积累量最高。王永军等^[9]指出,对于生长季内能收获 3 茬的墨西哥玉米,高氮水平下 (600 kg/hm^2) 底肥一次性施入可明显提高夏播墨西哥玉米的产量并改善其饲用品质。关于氮肥运筹对玉米产量、干物质和氮素积累报道很多。马国胜等^[10-11]指出,增施氮肥可以提高饲用玉米产量和干物质生产能力。李飒等^[12]、杨恒山等^[13]指出,玉米吐丝后干物质生产对玉米籽粒的贡献高于吐丝前。宋海星等^[14]、易镇邪等^[15]指出,高氮水平夏玉米营养器官氮素转运量及其对籽粒贡献率较高。李青军等^[16]、李志勇等^[17]指出,施氮和有机肥可以延长干物质和氮素积累的旺盛时期,使玉米干物质最大积累速率延后,

增加了玉米的干物质和氮素积累量,显著地提高了玉米的产量。Watson 等^[18]、王宜伦等^[19]指出有机无机肥料配施可协调养分的平衡供应,提高作物产量,同时可减少化肥用量,提高养分利用率。

总之,科学合理施用氮肥是玉米获得高产、高效的重要措施。关于氮肥运筹对粮饲兼用玉米产量、干物质和氮素积累的影响报道很少。本研究选用金山 10 为试验材料,通过不同化学氮肥施用量及有机肥与化肥的配施试验,研究氮肥运筹对科尔沁地区粮饲兼用玉米产量、干物质和氮素积累的影响,以期建立当地新型的施肥体系,达到高产和培肥同步,减少氮肥的损失,为科尔沁地区粮饲兼用玉米生产及农业可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

试验于 2012~2013 年在地处科尔沁地区的内蒙古民族大学农学院试验田 ($43^{\circ}36'\text{N}$ 、 $122^{\circ}22'\text{E}$, 海拔 178.5 m) 进行,该试验田为中温带半干旱大陆性季风气候,年平均日照时数 3000 h ,年平均气温 6.4°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温为 3184°C ,无霜期为 150 d ,多年平均降水量为 399.1 mm ,多集中在 7、8、9 月。农场土壤为灰色草甸土,播前耕层 ($0\text{--}20\text{ cm}$) 土壤养分状况:2012 年,有机质 16.6 g/kg 、碱解氮 59.7 mg/kg 、速效磷 25.11 mg/kg 、速效钾 79.22 mg/kg 、pH 为 8.2;2013 年,有机质 17.8 g/kg 、碱解

氮 62.1 mg/kg、速效磷 29.6 mg/kg、速效钾 80.75 mg/kg、pH 为 8.2。

供试玉米品种为科尔沁地区生产上大面积推广的粮饲兼用玉米品种金山 10, 该品种产量较高, 抗逆性能较好, 收获后秸秆的饲用价值较高, 较适合当地种植。

1.2 试验材料与设计

本试验在基肥施用等量磷、钾肥及微肥 (磷肥为过磷酸钙折合成 P_2O_5 为 105 kg/hm², 钾肥为硫酸钾折合成 K_2O 为 90 kg/hm², 锌肥为硫酸锌折合成 Zn 为 5 kg/hm²) 的基础上, 设 4 个施肥处理: 不施氮肥 (CK), 整个生育期不施氮肥; 推荐施氮 (R), 施氮

量 260 kg/hm²; 氮肥 + 有机肥 (C), 两种肥料中总氮量 260 kg/hm², 其中有机肥 15000 kg/hm², 含氮量 15 kg/hm², 氮肥含氮量 245 kg/hm²; 农民传统施氮 (F), 施氮量 270 kg/hm²。每个处理重复 3 次, 随机排列。氮肥为尿素 (46% N), 氮肥施用时期和配比见表 1。试验田为春季旋耕灭茬, 行、穴距为 50 cm × 25 cm, 小区面积为 60 m², 小区为南北行向。2012 年为 5 月 3 日播种, 5 月 18 日出苗; 2013 年为 4 月 28 日播种, 5 月 7 日出苗。2012 年和 2013 年分别为 9 月 29 日和 9 月 30 日收获测产。小区间用田埂隔开, 有机肥为当地农户常用的堆肥 (0.1% N)。试验田为井水灌溉, 其栽培管理同生产田。

表 1 各处理具体施氮水平与时期
Table 1 Application time and levels of N fertilizer in each treatment

处理 Treatment	代码 Code	施氮量 (kg/hm ²) N input	施氮时期与施用比例 Ratio and period of N application
不施氮 No N application	CK	0	基肥: 大喇叭口期肥: 抽雄期肥 = 0 : 0 : 0 Basal fertilizer : large trumpet fertilizer : tasseling fertilizer = 0 : 0 : 0.
推荐施氮 Recommended N application	R	260	基肥: 大喇叭口期肥: 抽雄期肥 = 3 : 6 : 1 Basal fertilizer : large trumpet fertilizer : tasseling fertilizer = 3 : 6 : 1
氮肥 + 有机肥 Combination of organic and inorganic fertilizer application	C	260	基肥: 大喇叭口期肥: 抽雄期肥 = 3 : 6 : 1 Basal fertilizer : large trumpet fertilizer : tasseling fertilizer = 3 : 6 : 1
农民传统施氮 Farm current N application	F	270	基肥: 大喇叭口期肥 = 2 : 8 Basal manure : large trumpet fertilizer = 2 : 8

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤理化性质的测定 播前 5 点梅花式取耕层土壤 (0—20 cm), 测土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾等指标。其中, 土壤有机质的测定采用重铬酸钾外加热法; pH 值的测定采用电位法; 土壤碱解氮的测定采用碱解扩散法; 土壤速效磷的测定采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法; 土壤速效钾测定采用 1 mol/L 中性 NH₄OAc 浸提—火焰光度法^[20]。

1.3.2 植株干重、含氮量及饲用品质的测定 分别在苗期、拔节期、大喇叭口期、抽雄期、吐丝期、乳熟期、蜡熟期和完熟期各处理分别选取长势一致、有代表性的植株 3 株, 置于烘箱中经 105℃ 杀青 0.5 h 后, 再 80℃ 烘干至恒重并称重, 研磨后用于养分分析, 氮和粗蛋白的测定采用凯氏定氮法, 粗脂肪的测定采用乙醚浸提法^[20]。

1.3.3 产量及产量结构的测定 收获时每处理随机选 10 m², 测定实际生物产量、经济产量, 同时选取代

表性穗数 10 穗考种, 测量穗长、穗粒数、百粒重等指标。

1.4 相关养分指标表述^[21]

吐丝前干物质积累量 = 吐丝期植株的总干物质重;

吐丝前干物质积累率 = 吐丝前干物质积累量/收获期干物质积累量 × 100%;

吐丝后干物质积累量 = 收获期干物质积累量 - 吐丝前干物质积累量;

吐丝后干物质积累率 = 吐丝后干物质积累量/收获期干物质积累量 × 100%;

干物质转运量 = 吐丝后 15 d 各器官干物质积累量 - 收获期各相应器官干物质积累量;

吐丝前干物质积累对产量的贡献率 = 干物质转运量/籽粒产量 × 100%;

吐丝后干物质积累对产量的贡献率 = 100% - 吐丝前干物质积累对产量贡献率。

1.5 数据分析

数据处理采用 Excel 和 DPS 统计软件。

2 结果与分析

2.1 氮肥运筹对粮饲兼用玉米产量结构及秸秆饲用品质的影响

氮肥施用显著提高了金山 10 的产量，氮肥 + 有机肥处理增产幅度最大，该处理使金山 10 的生物产量和经济产量比 CK 处理分别提高了 55.52% 和 50.83%，比推荐施氮处理分别增加了 4.60% 和 6.61%，比农民传统施氮处理增加了 3.70% 和 6.85%，该处理的经济产量和其它施肥处理间差异达极显著水平 ($P < 0.01$)。从产量构成因素分析，增施氮肥使金山 10 的穗长、穗粒数增加，百粒重提高，差异未达到显著水平。经济系数表现为 CK 处理最高，其次是氮肥 + 有机肥处理，农民传统施氮处理最低，且氮肥 + 有机肥处理与其他施肥处理间差异达极显著水平 ($P < 0.01$)。收获期玉米秸秆的粗蛋白和粗脂肪的含量表现为 CK 处理最低，氮肥 + 有机肥处理最高。氮肥 + 有机肥处理粗蛋白和粗脂肪含量分别比其他施肥处理高 0.86~3.18 个百分点和 0.15 ~

0.90 个百分点，该施肥处理的粗蛋白和其他施肥处理间差异达到极显著水平 ($P < 0.01$)。另外，氮肥 + 有机肥处理对提高收获期玉米秸秆中粗蛋白和粗脂肪效果明显高于推荐施氮和农民传统施氮处理，该处理粗蛋白和粗脂肪含量分别比推荐施氮处理提高了 12.74% 和 6.71%，比农民传统施氮处理提高了 10.20% 和 5.23%。以上分析说明，农民传统施氮和推荐施氮方式不利于粮饲兼用玉米产量和品质的提高，而有机无机肥配施处理获得了较高的生物产量和经济产量，且改善了秸秆的饲用品质，是该地区粮饲兼用玉米较合理的施肥方式。

2.2 粮饲兼用玉米干物质积累对产量的贡献

由表 3 可以看出，金山 10 干物质积累量和积累率均表现为吐丝前大于吐丝后，有机无机肥配施处理提高了粮饲兼用玉米吐丝前、后干物质的生产，该处理吐丝前、后干物质生产分别比其他施肥处理高 0.03~0.63 kg/m² 和 0.06~0.32 kg/m²。吐丝前干物质对产量的贡献率低于吐丝后，前者比后者分别低 8.74~19.08 个百分点，说明粮饲兼用玉米的生产中，吐丝后干物质的生产对提高玉米的产量作用很大，适当提高吐丝后干物质积累，产量有望进一步

表 2 粮饲兼用玉米的产量结构及秸秆的营养成分
Table 2 Yield indexes and nutrition of dual-purpose maize

处理 Treatment	生物产量 Biomass (t/hm ²)	经济产量 Grain yield (t/hm ²)	穗长 Spike length (cm)	穗粒数 Grain number per spike	百粒重 100-grain weight (g)	经济系数 Harvest index (%)	粗蛋白 Crude protein (%)	粗脂肪 Crude fat (%)
CK	17.11 ± 0.94 bB	9.62 ± 0.12 cC	17.04 ± 0.22 bB	569.67 bB	33.15 bB	56.23 aA	6.11 cC	2.12 bB
R	25.44 ± 1.28 aA	13.61 ± 0.30 bB	19.28 ± 0.43 aA	661.17 aA	37.09 aA	53.34 cC	8.24 bB	2.83 aA
C	26.61 ± 1.24 aA	14.51 ± 0.32 aA	19.41 ± 0.67 aA	682.33 aA	37.24 aA	54.51 bB	9.29 aA	3.02 aA
F	25.66 ± 1.04 aA	13.58 ± 0.27 bB	19.32 ± 0.18 aA	659.50 aA	37.09 aA	52.92 cC	8.43 bB	2.87 aA

注 (Note): 数据为 2012 年和 2013 年数据的平均值 Data are the means of 2012 and 2013; 数据后不同大、小写字母分别表示差异达 0.05、0.01 显著水平 Different capital letters and small letters show significantly different at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

表 3 粮饲兼用玉米干物质积累对籽粒贡献情况
Table 3 Accumulation and contribution of dry matter to grain of dual-purpose maize

处理 Treatment	干物质积累量 (kg/m ²) Dry matter accumulation		积累率 (%) Accumulation rate		对产量贡献率 (%) Contribution rate to grain	
	吐丝前 Before silking	吐丝后 After silking	吐丝前 Before silking	吐丝后 After silking	吐丝前 Before silking	吐丝后 After silking
CK	1.17	0.54	68.74	31.26	45.63	54.37
R	1.76	0.79	69.15	30.85	41.64	58.36
C	1.80	0.86	67.84	32.16	40.46	59.54
F	1.77	0.80	69.00	31.00	41.15	58.85

提高。从表中还可以看出, 氮肥 + 有机肥处理吐丝前干物质积累率和干物质对产量的贡献率最低, 吐丝后呈相反趋势, 该处理吐丝后干物质积累率和干物质对产量的贡献率分别比其他施肥处理高 0.90~1.31 个百分点 和 0.69~5.17 个百分点。说明有机无机肥配施处理可以明显提高粮饲兼用玉米吐丝前、后干物质的积累及吐丝后干物质对产量的贡献率, 该种施肥方式有利于该地区粮饲兼用玉米产量的进一步提高。

2.3 粮饲兼用玉米干物质积累特征

对金山 10 干物质积累动态特性进行曲线拟合, 以不同生育时期干物质积累量 ($\hat{y}$) 依出苗后的天数 (x) 的增长过程符合 Logistic 方程 $\hat{y} = A / (1 + b \times \exp^{-cx})$, 拟合方程的相关系数均达到极显著水平 (表 4)。从表

中可以看出, 增施氮肥可以提高玉米干物质最大累积速率, 使干物质最大累积速率提前。和 CK 相比, 不同施肥处理的最大累积速率提高 0.0556~0.0826 kg/(m²·d), 最大累积速率出现时间提前 14.81~15.65 d。有机无机肥配施处理提高干物质最大累积速率优于推荐施氮处理和农民传统施氮处理, 前者比后者分别高 0.0270 kg/(m²·d) 和 0.0162 kg/(m²·d)。玉米干物质的终极生长量表现为氮肥 + 有机肥处理最高, CK 处理最低, 氮肥 + 有机肥处理干物质的终极生长量比其他施肥处理高 0.04~0.71 kg/m²。干物质积累是产量形成的基础, 有机无机肥配施处理可以提高干物质累积速率和终极生长量, 使干物质快速累积起止时间提前, 有利于进一步提高粮饲兼用玉米的产量。

表 4 粮饲兼用玉米干物质积累的 logistic 方程
Table 4 The logistic equation of dry matter accumulation of dual-purpose maize

处理 Treatment	Logistic 方程 Logistic equation	<i>r</i>	A (kg/m ²)	V _{max} [kg/(m ² ·d)]	T _{max}	T ₁	T ₂	ΔT
CK	$\hat{y} = \frac{1.81}{1 + 34.81 \times \exp^{-0.0494x}}$	0.9972	1.81	0.0845	71.90	64.60	101.46	36.86
R	$\hat{y} = \frac{2.48}{1 + 31.03 \times \exp^{-0.0602x}}$	0.9944	2.48	0.1401	57.09	51.10	81.35	30.25
C	$\hat{y} = \frac{2.52}{1 + 50.72 \times \exp^{-0.0670x}}$	0.9960	2.52	0.1671	56.92	51.69	78.07	26.38
F	$\hat{y} = \frac{2.45}{1 + 38.17 \times \exp^{-0.0648x}}$	0.9964	2.45	0.1509	56.25	50.68	78.79	28.11

注 (Note): $\hat{y}$ —玉米干物质积累量 Dry matter accumulation of maize (kg/m²); V_{max}—为干物质最大累积速率 The biggest dry matter accumulation rate [kg/(m²·d)]; A—终极生长量 Limited growth amount (kg/m²); T_{max}—干物质最大累积速率起始时间 Time when the biggest rate of dry matter accumulation begins (d); T₁ 和 T₂ 分别为 Logistic 生长函数的两个拐点 T₁ and T₂ are Logistic growth inflection points of the function; ΔT = T₁ - T₂, 是干物质快速累积持续时间 ΔT = T₁ - T₂ is the time of biggest dry matter growth stage (d).

2.4 粮饲兼用玉米氮素积累特征

玉米氮素积累可用 Logistic 生长函数进行拟合, 拟合方程的相关系数达到极显著水平(表 5)。从表中可以看出, 增施氮肥使玉米氮素的终极生长量加大, 氮素最大累积速率提高, 最大累积速率起始时间提前。其中氮肥+有机肥处理这几项指标明显高于其他施氮肥处理, 该处理比 CK、R 和 F 处理终极生长量大 11.34, 1.13 和 1.18 g/m², 最大累积速率高 0.8858, 0.1480 和 0.0448 g/(m²·d), 最大累积速率出现时间提前 4.35, 1.09 和 1.18 d。CK 处理快速累积速率起止时间最晚, 但是由于氮素最大累积速率较低, 氮素积累量低于其他施肥处理。表明在氮肥施用量一定的条件下, 有机无机肥配施处理可以明显提高氮素的终极生长量和氮素累积速率, 从而增加

氮素积累量, 有利于提高粮饲兼用玉米的产量, 而农民的传统施氮和推荐施氮处理对提高粮饲兼用玉米的氮素积累效果较差。

3 讨论

马国胜等^[10]指出, 青贮型玉米科多 2 号吐丝前的干物质积累量大于吐丝后, 偏重于营养生长, 形成生物学产量的关键时期在吐丝前与大喇叭口期之间的这段时间内; 而粮饲兼用玉米陕单 310, 偏重于生殖生长, 吐丝后的灌浆期为干物质积累量最大的时期, 形成生物学产量和籽粒产量的关键时期在灌浆期。本研究结果表明, 随着生育进程, 不同氮肥处理下粮饲兼用玉米金山 10 干物质和氮素的积累逐渐上升, 苗期到拔节期增长较慢, 拔节至大口期增长

表 5 粮饲兼用玉米氮素积累的 logistic 方程
Table 5 The logistic equation of N accumulation of dual-purpose maize

处理 Treatment	Logistic 方程 Logistic equation	r	A (g/m ²)	V _{max} [g/(m ² ·d)]	T _{max}	T ₁	T ₂	ΔT
CK	$\hat{y} = \frac{17.49}{1 + 138.87 \times \exp^{-0.0872x}}$	0.9936	17.49	1.5038	56.57	52.43	73.30	20.87
R	$\hat{y} = \frac{27.70}{1 + 82.98 \times \exp^{-0.0829x}}$	0.9993	27.70	2.2416	53.31	48.96	70.92	21.96
C	$\hat{y} = \frac{28.83}{1 + 84.12 \times \exp^{-0.0849x}}$	0.9990	28.83	2.3896	52.22	47.97	69.42	21.44
F	$\hat{y} = \frac{27.65}{1 + 101.30 \times \exp^{-0.0865x}}$	0.9992	27.65	2.3448	53.40	49.23	70.27	21.04

注 (Note): $\hat{y}$ —玉米氮素积累量 N accumulation amount of maize (g/m²); V_{max}—氮素最大累积速率 The biggest N accumulation rate[g/(m²·d)]; A—终极生长量 Limited growth amount (g/m²) ; T_{max}—氮素最大累积速率起始时间 Time when the biggest rate of N accumulation begins (d); T₁ 和 T₂ 分别为 Logistic 生长函数的两个拐点 T₁ and T₂ are Logistic growth inflection points of the function; ΔT = T₁ - T₂, 是氮素快速积累持续时间 ΔT = T₁ - T₂ is the time of biggest N growth stage (d).

速度逐渐加快,大口至乳熟期增长速度最快,乳熟至完熟积累速度逐渐减慢,整个增长过程符合 Logistic 方程。不同氮肥处理下,有机无机肥配施处理使粮饲兼用玉米干物质和氮素的终极生长量最高,最大累积速率最大,最大累积速率和快速累积速率均提前最多,有利于增加干物质和氮素积累量,进而提高玉米的产量。李青军等^[16]指出,施氮不足可能导致营养体运往籽粒的氮素过多,不利于经济产量的形成。本研究结果也表明,不施氮肥 (CK 处理),使干物质和氮素快速累积速率起止时间出现晚,最大累积速率低,导致干物质和氮素积累量低于其它施肥处理,不利于粮饲兼用玉米产量和品质的提高。

吴迪等^[22]、吕鹏等^[23]研究表明,施用氮肥显著提高了玉米的生物产量、经济产量及饲用品质。张吉旺等^[5]指出,对于不以籽粒为收获目的的青饲玉米应在拔节前一次追施氮肥,不但可以获得较高的生物产量,而且还能减少劳动力的投入。对于以收获籽粒为目的的粮饲兼用玉米,拔节期、大口期和抽雄期应分 2 次施氮肥,特别要重视生育后期的追肥,保证后期氮肥的供应,既可以保证玉米籽粒产量,又能提高玉米的生物产量,改善玉米的饲用品质。本试验中农民传统施氮即在大口期追一次肥,和有机无机肥配施处理相比,有利于粮饲兼用玉米吐丝前干物质的积累,吐丝前干物质积累率和对籽粒的贡献率分别比后者高 1.2 和 0.7 个百分点,有机无机肥配施处理为大口和抽雄期分 2 次追肥,该种施肥方式有利于提高吐丝后干物质积累,吐丝后干物质积累率和对籽粒的贡献率分别高于其他施肥处

理,有助于提高粮饲兼用玉米的产量和饲用品质。本研究还发现,粮饲兼用玉米生产过程中,在氮施用量相同的条件下,有机无机肥配施处理比推荐施氮处理对提高玉米的产量和改善饲用品质效果明显,前者比后者生物产量和经济产量分别提高了 4.6% 和 6.6%,秸秆中粗蛋白和粗脂肪含量分别增加了 12.7% 和 6.7%。另外,有机无机肥配施处理比农民传统施氮处理节约肥料 N10 kg/hm²,但前者比后者生物产量和经济产量分别提高了 3.7% 和 6.9%,秸秆中的粗蛋白和粗脂肪的含量分别增加了 10.2% 和 5.2%。习斌等^[24]、高洪军等^[25]指出,有机无机肥配施,不仅能有效调节氮素积累和转运,还能提高氮肥利用效率,既减少了化肥氮的投入,又能增加土壤供氮能力。本研究中有有机无机肥配施处理可以培肥地力,该处理两年中使土壤有机质、速效氮等养分的含量均有不同程度的提高,如使土壤有机质和碱解氮分别提高 0.04~0.20 g/kg 和 1.05~3.62 mg/kg。近年来,在科尔沁地区粮饲兼用玉米生产中,由于有机肥的施用呈减少趋势,长期大量施用化肥造成土壤板结和土壤肥力下降,导致肥料的利用率低,施肥成本高,经济效益下降。为了实现农业的可持续发展,通过有机无机肥配施,建立新型土壤培肥体系,既可以提高玉米的产量,减少氮肥施用量,同时又能培肥地力,保持土壤供肥力。

4 结论

科尔沁地区粮饲兼用玉米高产栽培中,金山 10 的产量及饲用品质随着氮肥施用量的增加而增加,以有机无机肥配施处理作用效果最明显,该处理生

物产量和经济产量分别比其他施肥处理增加了 3.7%~55.5% 和 6.6%~50.8%, 粗蛋白和粗脂肪的含量比其他施肥处理高 0.9~3.2 个百分点和 0.2~0.9 个百分点。有机无机肥配施处理还可以提高玉米吐丝前、后干物质的生产, 该处理吐丝后干物质的积累率和干物质对产量的贡献率分别比其他施肥处理高 0.9~1.3 个百分点和 0.7~5.2 个百分点。另外, 有机无机肥配施处理还可以提高玉米干物质和氮素的最大累积速率和终极生长量, 增加干物质和氮素积累量, 有助于提高粮饲兼用玉米的产量。因此, 有机无机肥配施是适合科尔沁地区粮饲兼用玉米高产栽培的施肥方式。

参 考 文 献:

- [1] 陈彦才. 内蒙古种植业现状潜力与发展[M]. 呼和浩特: 内蒙古科技出版社, 1996.
Chen Y C. The potential and development of plant industry in Inner Mongolia [M]. Huhehaote: Science and Technology Press of Inner Mongolia, 1996.
- [2] 白美兰, 刘兴汉, 邸瑞琦, 等. 内蒙古西辽河流域特种玉米品种特性及气候区划[J]. 气象科技, 2005, 33(5): 437-441.
Bai M L, Liu X H, Di R Q, *et al.* Characteristic analysis and climate regionalization of special variety corn over West Liaohe drainage area of east Inner Mongolia [J]. Meteorological Science and Technology, 2005, 33(5): 437-441.
- [3] 吕淑果, 高聚林. 粮饲兼用玉米的开发利用及效益分析[J]. 内蒙古农业科技, 2002, (S1): 36-37.
Lü S G, Gao J L. The development and utilization and economic analysis of dual-purpose maize [J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2002, (S1): 36-37.
- [4] 宁堂原, 李增嘉, 焦念元, 等. 不同熟期玉米品种春夏套作对全株饲用营养价值的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(5): 443-448.
Ning T Y, Li Z J, Jiao N Y, *et al.* Effects of different maturity maize cultivars relay-cropping in spring-sowing and summer-sowing on nutritive values of whole plant for feeding forage nutritive value [J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(5): 443-448.
- [5] 张吉旺, 王空军, 胡昌浩, 等. 施氮时期对夏玉米饲用营养价值的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1337-1342.
Zhang J W, Wang K J, Hu C H, *et al.* The influence of different nitrogen application stages on forage nutritive value of summer maize [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(11): 1337-1342.
- [6] Zhu Z L, Chen D L. Nitrogen fertilizer use in China-contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies [J]. Nutrient Cycling in Agro-ecosystems, 2002, 63: 117-127.
- [7] 赵营, 同延安, 赵护兵. 不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 622-627.
Zhao Y, Tong Y A, Zhao H B. Effects of different nitrogen levels on nutrient accumulation, transformation, and yield of summer maize [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(5): 622-627.
- [8] 赵勇, 杨文钰. 种植密度和施氮量对粮饲兼用玉米雅玉 8 号产量的影响[J]. 玉米科学, 2006, 14(2): 119-123.
Zhao Y, Yang W Y. Effects of growing density and nitrogen amount on yield of dual-purpose maize Yayu No. 8 [J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(2): 119-123.
- [9] 王永军, 王空军, 董树亭, 等. 氮肥用量、时期对墨西哥玉米产量及饲用营养品质的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(3): 492-497.
Wang Y J, Wang K J, Dong S T, *et al.* Effects of different nitrogen application strategies on yield and forage nutritive quality of *Zea Mexicana* [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(3): 492-497.
- [10] 马国胜, 薛吉全, 路海东. 不同类型饲用玉米品种干物质的积累与运转规律的研究[J]. 玉米科学, 2005, 13(4): 66-69.
Ma G S, Xue J Q, Lu H D. Laws of dry matter accumulation and transfer in different types of silage maize [J]. Journal of Maize Sciences, 2005, 13(4): 66-69.
- [11] 马国胜, 薛吉全, 张仁和, 等. 氮肥运筹对粮饲兼用玉米群体质量与产量影响[J]. 草业科学, 2006, 23(10): 63-67.
Ma G S, Xue J Q, Zhang R H, *et al.* Effects of nitrogen application on the population quality and yield of dual-purpose maize [J]. Pratacultural Science, 2006, 23(10): 63-67.
- [12] 李飒, 彭云峰, 于鹏, 等. 不同年代玉米品种干物质积累与钾素吸收及其分配[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 325-332.
Li S, Peng Y F, Yu P, *et al.* Accumulation and distribution of dry matter and K in maize varieties released in different years [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(2): 325-332.
- [13] 杨恒山, 张玉芹, 徐寿军, 等. 超高产春玉米干物质及养分积累与转运特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 315-323.
Yang H S, Zhang Y Q, Xu S J, *et al.* Characteristic of dry matter and nutrient accumulation and translocation of super-high-yield spring maize [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(2): 315-323.
- [14] 宋海星, 李生秀. 玉米生长量、养分吸收量及氮肥利用率的动态变化[J]. 中国农业科学, 2003, 36(1): 71-76.
Song H X, Li S X. Dynamics of dry matter accumulation, nutrient absorption, and N use efficiency of maize [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(1): 71-76.
- [15] 易镇邪, 王璞, 申丽霞, 等. 不同类型氮肥对夏玉米氮素累积、转运与氮肥利用的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(5): 772-778.
Yi Z X, Wang P, Shen L X, *et al.* Effects of different kinds nitrogen fertilizer on N accumulation, translocation, and N fertilizer utilization in summer maize [J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(5): 772-778.
- [16] 李青军, 张炎, 胡伟, 等. 氮素运筹对玉米干物质积累、氮素吸收分配及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 755-760.
Li Q J, Zhang Y, Hu W, *et al.* Effects of nitrogen management on maize dry matter accumulation, nitrogen uptake and distribution and maize yield [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(3): 755-760.
- [17] 李志勇, 王璞, 魏亚萍, 等. 不同施肥条件下夏玉米的干物质积累、产量及氮肥利用效率[J]. 华北农学报, 2003, 18(4): 91-94.
Li Z Y, Wang P, Wei Y P, *et al.* Dry matter accumulation, yield, and nitrogen usage efficiency of summer maize under different fertilizer application condition [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2003, 18(4): 91-94.

- [18] Watson C A, Atkinson D. Using nitrogen budgets to indicate nitrogen use efficiency and losses from whole farm system, a comparison of three methodological approaches [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1999, 53: 259–267.
- [19] 王宜伦, 李潮海, 谭金芳, 等. 氮肥后移对超高产夏玉米产量及氮素吸收和利用的影响[J]. *作物学报*, 2011, 37(2): 339–347.
Wang Y L, Li C H, Tan J F, *et al.* Effects of postponing nitrogen on yield, nitrogen uptake and utilization in super-high-yield summer maize [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(2): 339–347.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版) [M]. 北京: 农业出版社, 2005.
Bao S D. *Soil agricultural chemistry analysis (3rd edition)* [M]. Beijing: Agricultural Publication House, 2005.
- [21] 戴明宏, 陶洪斌, 王利纳, 等. 不同氮肥管理对春玉米干物质生产、分配及转运的影响[J]. *华北农学报*, 2008, 23(1): 154–157.
Dai M H, Tao H B, Wang L N, *et al.* Effects of different nitrogen management on dry matter accumulation, distribution, and transportation of spring maize [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(1): 154–157.
- [22] 吴迪, 黄绍文, 金继运. 氮肥运筹、配施有机肥和坐水种对春玉米产量与养分吸收转运的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(2): 317–326.
Wu D, Huang S W, Jin J Y, *et al.* Effects of nitrogen fertilizer management, organic matter application, and bed-irrigation sowing on maize yield, and nutrient translocation [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(2): 317–326.
- [23] 吕鹏, 张吉旺, 刘伟, 等. 施氮量对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(4): 852–860.
Lv P, Zhang J W, Liu W, *et al.* Effects of nitrogen application on yield and nitrogen use efficiency of summer maize under super-high yield conditions [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(4): 852–860.
- [24] 习斌, 翟丽梅, 刘申, 等. 有机无机肥配施对玉米产量及土壤氮磷淋溶的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(2): 326–335.
Xi B, Zhai L M, Liu S, *et al.* Effects of combination of organic and inorganic fertilization on maize yield and soil N and P leaching [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(2): 326–335.
- [25] 高洪军, 朱平, 彭畅, 等. 等氮条件下长期有机无机配施对春玉米的氮素吸收利用和土壤无机氮的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(2): 318–325.
Gao H J, Zhu P, Peng C, *et al.* Effects of partially replacement of inorganic nitrogen with organic matter on N uptake and soil inorganic N content of spring maize under the same N input [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(2): 318–325.