



葛礼姣,许建平,杨颜榕,等. 施氮水平对不同切花菊品种生长及氮素累积和分配的影响[J]. 南京农业大学学报,2024,47(2):222-231.
GE Lijiao, XU Jianping, YANG Yanrong, et al. Effects of nitrogen levels on growth, nitrogen accumulation and allocation of different cut chrysanthemum varieties[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2024, 47(2): 222-231.

施氮水平对不同切花菊品种生长及氮素累积和分配的影响

葛礼姣^{1,2}, 许建平¹, 杨颜榕¹, 管志勇¹, 陈素梅¹, 房伟民¹, 陈发棣¹, 赵爽^{1*}

(1.南京农业大学园艺学院/农业农村部景观农业重点实验室/钟山生物育种实验室,江苏南京210095;
2.江苏沿江地区农业科学研究所,江苏南通226012)

摘要:[目的]针对当前菊花生产中氮肥使用过量、氮效率低下和不同氮素营养特性菊花品种氮素吸收及分配规律不明等问题,本文研究不同施氮水平对不同切花菊生长、氮效率及氮素累积和分配的影响,以明确不同切花菊品种对氮素吸收利用特性,为切花菊的高效生产提供理论依据。[方法]以9个不同家系的切花菊品种为材料,测定了高氮(每株800 mg)、正常氮(每株400 mg)和低氮水平(每株50 mg)下,9个切花菊品种全生育期生长指标、氮效率指标和各部位氮素累积量。[结果]9个切花菊品种的株高、茎粗、叶干重、茎干重、根干重、总根长、一级分枝数、着花数等生长指标和根氮累积量、叶氮累积量、植株氮累积量等氮累积量指标均随氮水平的增加而增加,氮效率指标随氮水平的增加而降低;正常氮水平下,9个菊花品种的花干重、冠幅、花径和花氮累积量最高,花期最早。不同氮水平下,‘南农丽黄’在茎粗、各部位生物量、平均根直径、根体积、冠幅、花径、氮吸收效率、农艺氮效率、植株氮累积量和花氮累积量指标上显著高于其他品种($P<0.05$);‘南农雪峰’和‘南农紫峰’的株高、茎粗、各部位生物量、冠幅、花径、氮吸收效率、农艺氮效率和植株氮累积量较其他品种低。苗期和生殖生长期,9个菊花品种植株中叶氮累积量最高,茎次之,根最低;盛花期时,植株中叶和茎氮累积量比例显著下降,花器官的氮累积量显著高于其他器官。不同氮水平下,9个菊花品种的植株氮累积量与花干重、冠幅、花径、一级分枝数、着花数、花期呈显著正相关($0.39\leq r\leq 0.83$),花氮累积量与花干重、花期呈显著正相关($0.53\leq r\leq 0.89$)。[结论]高氮水平促进了菊花的营养生长,抑制了菊花的氮效率和品质形成,菊花的全生育期生长规律和氮素累积分配规律一致,植株氮累积量和花氮累积量对菊花开花品质的形成具关键作用。

关键词:氮水平;切花菊品种;生长品质;氮效率;氮素累积量

中图分类号:S682.1⁺1

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2024)02-0222-10

Effects of nitrogen levels on growth, nitrogen accumulation and allocation of different cut chrysanthemum varieties

GE Lijiao^{1,2}, XU Jianping¹, YANG Yanrong¹, GUAN Zhiyong¹, CHEN Sumei¹,
FANG Weimin¹, CHEN Fadi¹, ZHAO Shuang^{1*}

(1.College of Horticulture/Key Laboratory of Landscaping, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/
Zhongshan Biological Breeding Laboratory, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;
2. Jiangsu Yanjiang Institute of Agricultural Sciences, Nantong 226012, China)

Abstract:[Objectives] Aiming at the problems of excessive nitrogen fertilizer application, low nitrogen efficiency and unclear nitrogen uptake and allocation rules of chrysanthemum varieties with different nitrogen nutrient characteristics in chrysanthemum production, the effects of different nitrogen levels on the growth, nitrogen efficiency, nitrogen accumulation and allocation of different cut chrysanthemum varieties were investigated in this paper to clarify the characteristics of nitrogen uptake and utilization of different cut chrysanthemum varieties. The results of this study would provide a theoretical basis for efficient production of cut chrysanthemum. [Methods] The growth indexes, nitrogen efficiency indexes and nitrogen accumulation in different parts of 9 cut chrysanthemum varieties from different families were measured under high nitrogen (800 mg per plant), normal nitrogen (400 mg per plant) and low nitrogen (50 mg per plant) levels during the whole growth stage. [Results] The growth indexes such as plant height, stem diameter, leaf dry weight, stem dry weight, root dry weight, total root length, principal branch number, flower number, and nitrogen accumulation indexes such as root nitrogen accumulation, leaf nitrogen accumulation, plant nitrogen accumulation, increased with nitrogen level

收稿日期:2023-02-17

基金项目:国家自然科学基金项目(32072603);国家现代农业产业体系项目(CARS-23-A18);江苏省种业振兴揭榜挂帅项目(JBGS[2021]020);江苏现代农业产业技术体系建设项目(JATS[2022]012)

*通信作者:赵爽,博士,副教授,主要从事菊花营养与土壤微生物研究,E-mail:zhaoshuang@njau.edu.cn。

increasing, while the nitrogen efficiency indexes decreased with nitrogen level increasing. Under normal nitrogen level, the flower dry weight, crown breadth, flower diameter and flower nitrogen accumulation of 9 chrysanthemum varieties were the highest, and the flowering stage was the earliest. Under different nitrogen levels, 'Nannonglihuang' was significantly higher than other varieties in stem diameter, biomass of each part, average root diameter, root volume, crown breadth, flower diameter, nitrogen uptake efficiency, agronomic nitrogen efficiency, plant nitrogen accumulation and flower nitrogen accumulation ($P < 0.05$). The plant height, stem diameter, biomass of each part, crown breadth, flower diameter, nitrogen uptake efficiency, agronomic nitrogen efficiency and plant nitrogen accumulation of 'Nannongxuefeng' and 'Nannongzifeng' were lower than those of other varieties. During the seedling stage and reproductive growth stage, leaf nitrogen accumulation of the 9 chrysanthemum varieties was the highest, followed by stem and root. At full-bloom stage, the proportion of nitrogen accumulation in leaves and stems decreased significantly, and the nitrogen accumulation in flowers was significantly higher than those in other organs. Under different nitrogen levels, plant nitrogen accumulation was significantly positively correlated with flower dry weight, crown breadth, flower diameter, principal branch number, flowering number and flowering date ($0.39 \leq r \leq 0.83$). And flower nitrogen accumulation was significantly positively correlated with flower dry weight and flowering date ($0.53 \leq r \leq 0.89$). [**Conclusions**] High nitrogen level promoted the vegetative growth of chrysanthemum, but inhibited the nitrogen efficiency and quality formation of chrysanthemum. The growth rule of chrysanthemum during the whole growth stage was consistent with nitrogen accumulation and allocation. Plant nitrogen accumulation and flower nitrogen accumulation played a key role in the formation of flowering quality of chrysanthemum.

Keywords: nitrogen levels; cut chrysanthemum varieties; growth quality; nitrogen efficiency; nitrogen accumulation

氮是作物生长和产量形成所必需的矿物质营养^[1]。氮肥的投入与作物增产具有显著的相关性,是提高作物产量的有效手段^[2]。在传统农业中,一般认为作物的生产力和质量取决于种植系统中氮的大量投入,然而,伴随着氮肥的大规模施入,氮肥的利用率却低于 40%,甚至对作物的产量与品质带来严重的负效应^[3]。梁文超等^[4]研究表明,氮是肥料三因素中影响观赏海棠‘长寿冠’叶片生理特性的首要因素,氮素水平对‘长寿冠’各项生理指标均产生显著影响。合理施氮可增加小麦产量,施氮过多或过少均不利于穗粒数和千粒重的提高^[5]。赵春波等^[3]发现,不同氮效率黄瓜品种的干物质累积量、经济产量和氮素累积量有显著差异,且均随氮素水平的增加而增高,过量的氮素供应后,黄瓜的干物质、经济产量和氮素累积量增加效果不明显,且有下降的趋势。氮效率受品种的影响显著^[6],氮肥的施用是次于品种的一个主要因素^[7]。宋柏权^[8]发现不同大豆品种间产量、品质和氮代谢差异显著,不同品种对氮素的敏感度不同,适当施氮对大豆的品质、产量和氮代谢酶活性具有促进作用。因此,依据作物品种的氮素营养类型施用氮肥是解决氮肥利用效率低下最有效、最快捷的方式。

切花菊是我国主要出口创汇花卉,观赏价值和经济价值极高^[9]。目前,关于不同氮水平下不同品种的生长规律和营养分配规律的研究主要集中在小麦^[10]、大豆^[8]和玉米^[11]这三大作物上,有关不同切花菊品种在不同氮水平下的全生育期生长规律、氮效率、氮素累积和分配规律尚未见系统报道。为此,本研究分析了不同生育阶段下 9 个切花菊品种在不同氮水平下的生长指标、氮效率指标、氮素累积量和分配比例,旨在确定施氮水平对不同切花菊品种生长品质、氮素累积量和氮效率的影响,切花菊在不同生育阶段和不同氮水平下氮素累积和分配规律以及氮素累积量对菊花花朵品质的影响,为提高切花菊的氮素管理水平和氮效率提供重要参考,也为高产高效的切花菊生产提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 供试材料

试验于 2020 年 4 月至 2021 年 1 月在南京农业大学中国菊花种质资源保存中心进行。供试材料为 9 个南京农业大学自主培育的切花菊品种:‘南农丰收’‘南农落雁’‘南农紫峰’‘南农旭日’‘南农雪峰’‘南农岱华’‘南农春茶’‘南农小金帽’和‘南农丽黄’,由南京农业大学中国菊花种质资源保存中心提供。基质为混合的纯椰糠和珍珠岩(体积比 2:1),混合后基质的化学性质:全氮 $7.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷 $0.33 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾 $20.56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH 值 7.01,EC $458 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。试验选取的氮、磷、钾肥分别为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P_2O_5 18%)和硫酸钾(含 K_2O 50%)。将 9 个菊花品种扦插生根后,取生长一致的扦插苗定植于温室基质槽内进行常规管理。

1.2 试验方法

试验采用裂区试验设计,氮素营养水平设为主区,品种设为副区,共9个品种,3个重复,每重复小区50株。试验设3个氮水平,分别为:每株纯氮50 mg(低氮)、400 mg(正常氮)和800 mg(高氮);磷肥统一为每株 P_2O_5 80 mg;钾肥统一为每株 K_2O 500 mg。肥料分别以滴灌的形式分6次施入,每次间隔15 d。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长指标的测定 不同氮水平下,每品种随机选取6株长势一致的菊花植株,测定植株株高(植株基部到生长点)、茎粗(植物下部至上1/3处的粗度)、花径(每单株随机取3朵,测定花序水平方向最大直径的平均值)、冠幅(植株水平方向的最大宽幅)、一级分枝数(为植株顶部第2枝开始向下直至地上部分主干1/3处的一级分枝数)、着花数(单个植株中地上部上1/3处开放花朵的总数)。另外,将植株的根系漂洗后,吸干表面水分,采用EPSON EXPRESSION根系扫描仪和WinRHIZO Pro 5.0软件测定总根长、根体积、根表面积、平均根直径。将样品分为根、茎、叶和花4个部分于105℃杀青30 min后,置于75℃烘干至恒重,测定根、茎、叶和花干重,其中花干重为每单株随机3朵花干重的平均值。

1.3.2 开花时期的记录 现蕾期:目测记录植株长出第一丛花蕾的日期;显色期:目测记录植株50%以上花蕾显色的日期;初花期:目测记录植株20%花蕾开放的日期;盛花期:目测记录植株50%以上花蕾开放,其他花蕾均已显色的日期;末花期:目测记录植株50%花蕾枯萎的日期;花期:植株从初花期到末花期的时间。

1.3.3 植物氮素含量的测定 将烘干的样品用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮后,使用AA3型连续流动分析仪测定植株全氮。

1.3.4 氮效率相关指标的计算^[3,12-16] 氮累积量=干物质重×氮含量;氮素吸收效率=植株氮累积量/施氮量;氮素利用效率=干物质重/氮素累积量;农艺氮效率=氮素吸收效率×氮素利用效率。

1.4 数据处理和统计分析

采用Excel 2010软件进行数据初步统计与整理;采用Graphpad Prism 8软件绘图;采用SPSS 22.0软件进行双因素方差分析,采用Duncan's多重比较法进行多重比较,显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同氮水平和品种对菊花生长品质的影响

由表1可知:氮水平、品种及氮水平和品种互作显著影响9个菊花品种的各生长指标。植物的株高、茎粗、根干重、茎干重、叶干重随着氮水平的增加和生育期的推移而增加。植株的根系指标在不同氮水平和不同生育期表现出不同的规律。苗期和生殖生长期,高氮水平下植株总根长和根表面积显著高于正常氮和低氮水平,低氮水平下,植株根体积显著低于其他氮水平,平均根直径最高。盛花期时,氮水平对根表面积无显著影响,正常氮水平下植株总根长最长,低氮水平下,平均根直径和根体积显著高于正常氮和高氮水平。开花品质与氮水平呈非线性关系,其中一级分枝数和着花数从多到少的处理依次为高氮、正常氮、低氮,而花干重、冠幅和花径从大到小的处理依次为正常氮、高氮、低氮。

不同生育阶段下,9个菊花品种在各个生长指标上表现出较大变异范围。综合指标来看,苗期‘南农丽黄’‘南农落雁’‘南农小金帽’和‘南农旭日’表现优于‘南农春茶’‘南农岱华’‘南农丰收’‘南农雪峰’和‘南农紫峰’,‘南农雪峰’生长最差。其中,‘南农小金帽’苗期株高、根干重、茎干重、总根长、根表面积显著高于其他品种。生殖生长期,‘南农丽黄’在总根长和根表面积指标上无显著优势,其余指标上均具有显著优势。‘南农春茶’在株高上具有显著优势,但在其余生长指标上表现较差。‘南农雪峰’在各生长指标上均表现较差,处于9个品种中相对靠后的位置。盛花期,‘南农丽黄’茎粗、根干重、茎干重、叶干重、平均根直径、根体积、花干重、冠幅、花径表现最好。盛花期9个生长指标中,在茎粗、根干重、总根长、根表面积、根体积指标上表现最差的品种均为‘南农春茶’,在株高、茎干重、叶干重上表现最差的为‘南农紫峰’。5个开花指标中,花干重和冠幅最低的为‘南农雪峰’,在花径、一级分枝数和着花数上表现最差的分别为‘南农紫峰’‘南农春茶’和‘南农落雁’。‘南农丰收’具有最高的一级分枝数和着花数。综上所述,在不同发育阶段,‘南农丽黄’茎粗、各部位生物量、平均根直径、根体积指标、冠幅和花径均具有显著优势。相反,‘南农雪峰’和‘南农紫峰’的株高、茎粗和生物量较其他品种低,其中,‘南农雪峰’的花干重、冠幅、花径显著低于其他8个品种。

表 1 不同供氮水平和品种对 9 个生长指标和 5 个开花指标的影响

Table 1 Effects of different nitrogen levels and varieties on 9 growth indexes and 5 flowering indexes

生育期 Growth stage	变异来源 Source of variation	株高/ cm PH	茎粗/ cm SD	根干重/ g RDW	茎干重/ g SDW	叶干重/ g LDW	总根长/ cm TRL	根表面 积/cm ² RSA	平均根直 径/mm ARD	根体积/ cm ³ RV	花干重/ g FDW	冠幅/ cm CB	花径/ mm FD	一级分 枝数 PB	着花 数 FN	
苗期 Seedling stage	氮水平 N	高氮 HN	31.32 ^a	3.97 ^a	0.25 ^a	0.71 ^a	1.45 ^a	497.03 ^a	103.29 ^a	0.64 ^b	1.54 ^a					
		正常氮 NN	28.70 ^b	3.85 ^b	0.24 ^a	0.58 ^b	1.27 ^b	475.76 ^b	89.69 ^b	0.62 ^c	1.32 ^b					
		低氮 LN	20.56 ^c	3.29 ^c	0.15 ^b	0.38 ^c	0.91 ^c	316.75 ^c	68.98 ^c	0.68 ^a	1.09 ^c					
	品种 V	南农春茶 CC	29.25 ^d	3.09 ^e	0.13 ^e	0.46 ^e	1.09 ^f	262.26 ^f	45.70 ^d	0.62 ^{cd}	0.69 ^d					
		南农岱华 DH	23.09 ^f	2.75 ^f	0.21 ^d	0.36 ^f	0.67 ^g	506.11 ^e	96.56 ^e	0.64 ^{cd}	1.56 ^{bc}					
		南农丰收 FS	28.46 ^e	4.19 ^b	0.14 ^e	0.64 ^c	1.19 ^e	232.07 ^g	46.12 ^d	0.66 ^{bc}	0.79 ^d					
		南农丽黄 LH	30.87 ^e	5.55 ^a	0.29 ^b	0.80 ^{ab}	1.66 ^b	413.47 ^e	95.36 ^e	0.80 ^a	1.56 ^{bc}					
		南农落雁 LY	31.87 ^b	4.03 ^c	0.27 ^c	0.59 ^d	1.36 ^d	452.00 ^d	110.15 ^b	0.68 ^b	1.79 ^a					
		南农小金帽 XJM	32.59 ^a	3.85 ^d	0.33 ^a	0.83 ^a	1.54 ^c	646.88 ^a	128.53 ^a	0.64 ^{cd}	1.68 ^{ab}					
		南农旭日 XR	30.56 ^c	4.30 ^b	0.20 ^d	0.78 ^b	2.20 ^a	481.57 ^c	103.05 ^{bc}	0.63 ^{cd}	1.50 ^c					
		南农雪峰 XF	16.20 ^h	3.07 ^e	0.13 ^e	0.32 ^f	0.57 ^h	269.18 ^f	52.34 ^d	0.61 ^d	0.77 ^d					
		南农紫峰 ZF	18.83 ^g	2.51 ^g	0.20 ^d	0.25 ^g	0.60 ^h	605.07 ^b	108.09 ^b	0.55 ^e	1.49 ^c					
	氮水平 N	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***					
	品种 V	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***					
	N×V	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***					
生殖生 长期 Reprodu- ctive stage	氮水平 N	高氮 HN	75.41 ^a	6.26 ^a	0.57 ^a	4.31 ^a	4.27 ^a	677.01 ^a	147.06 ^a	0.69 ^b	2.40 ^a					
		正常氮 NN	67.12 ^b	6.04 ^b	0.56 ^a	3.48 ^b	3.42 ^b	644.29 ^b	139.38 ^b	0.70 ^b	2.40 ^a					
		低氮 LN	58.89 ^c	5.65 ^c	0.43 ^b	2.62 ^c	2.49 ^c	442.93 ^c	99.37 ^c	0.74 ^a	1.83 ^b					
	品种 V	南农春茶 CC	77.88 ^a	4.65 ^g	0.23 ^h	3.06 ^e	3.14 ^e	223.28 ^f	51.43 ^f	0.70 ^c	0.90 ^g					
		南农岱华 DH	66.52 ^f	5.25 ^e	0.54 ^d	2.73 ^f	2.40 ^f	717.01 ^b	171.94 ^{ab}	0.76 ^b	3.07 ^b					
		南农丰收 FS	67.83 ^c	7.58 ^b	0.46 ^e	4.43 ^b	3.79 ^d	538.96 ^d	119.01 ^d	0.71 ^c	2.00 ^e					
		南农丽黄 LH	76.76 ^b	8.08 ^a	1.03 ^a	5.71 ^a	5.24 ^a	588.29 ^c	151.29 ^c	0.91 ^a	3.50 ^a					
		南农落雁 LY	75.04 ^d	6.09 ^d	0.61 ^c	3.78 ^c	3.93 ^c	708.78 ^b	163.80 ^b	0.71 ^c	2.45 ^c					
		南农小金帽 XJM	76.06 ^c	6.50 ^c	0.75 ^b	4.39 ^b	3.69 ^d	821.68 ^a	176.12 ^a	0.69 ^{cd}	3.05 ^b					
		南农旭日 XR	63.36 ^g	6.08 ^d	0.37 ^f	3.44 ^d	4.53 ^b	467.28 ^c	87.19 ^e	0.62 ^e	1.32 ^f					
		南农雪峰 XF	49.91 ⁱ	4.88 ^f	0.30 ^g	2.07 ^g	2.06 ^h	444.58 ^c	91.22 ^e	0.67 ^d	1.38 ^f					
		南农紫峰 ZF	50.92 ^h	4.75 ^g	0.39 ^f	1.62 ^h	1.79 ⁱ	782.79 ^a	145.44 ^c	0.62 ^e	2.23 ^d					
	氮水平 N	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***					
	品种 V	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***					
	N×V	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***					
盛花期 Full- bloom stage	氮水平 N	高氮 HN	94.66 ^a	6.76 ^a	1.29 ^a	12.77 ^a	5.12 ^a	943.34 ^b	226.10 ^a	0.74 ^b	4.13 ^b	0.31 ^b	21.54 ^b	58.15 ^b	13.30 ^a	26.26 ^a
		正常氮 NN	91.88 ^b	6.73 ^a	1.22 ^{ab}	11.40 ^b	5.01 ^b	994.50 ^a	230.56 ^a	0.74 ^b	4.31 ^b	0.32 ^a	22.17 ^a	61.50 ^a	12.74 ^b	23.85 ^b
		低氮 LN	83.84 ^c	6.21 ^b	1.15 ^b	8.15 ^c	3.64 ^c	861.14 ^c	234.62 ^a	0.83 ^a	4.67 ^a	0.29 ^c	18.80 ^c	58.06 ^c	11.00 ^c	16.30 ^c
	品种 V	南农春茶 CC	101.00 ^e	5.10 ^h	0.42 ^f	10.69 ^d	3.84 ^f	335.94 ^f	75.46 ^e	0.74 ^{cd}	1.22 ^e	0.37 ^b	17.79 ^e	52.81 ^f	9.78 ^e	17.44 ^e
		南农岱华 DH	84.75 ^f	5.70 ^f	1.37 ^b	7.71 ^f	3.50 ^g	1 409.37 ^a	329.26 ^a	0.71 ^d	6.17 ^a	0.27 ^d	17.65 ^e	56.22 ^e	13.11 ^c	20.56 ^d
		南农丰收 FS	89.63 ^e	8.27 ^b	1.17 ^c	11.88 ^b	4.84 ^e	1 165.57 ^b	272.15 ^e	0.76 ^{cd}	5.07 ^b	0.24 ^e	22.04 ^e	59.86 ^e	16.56 ^a	36.00 ^a
		南农丽黄 LH	102.96 ^b	8.71 ^a	2.77 ^a	16.70 ^a	7.38 ^a	951.89 ^c	296.07 ^b	0.96 ^a	6.29 ^a	0.47 ^a	30.03 ^a	85.19 ^a	13.67 ^c	25.22 ^c
		南农落雁 LY	100.47 ^d	6.49 ^e	1.47 ^b	11.31 ^c	4.99 ^d	941.23 ^c	263.11 ^c	0.78 ^c	5.20 ^b	0.31 ^c	18.89 ^d	70.66 ^b	10.44 ^e	14.22 ^f
		南农小金帽 XJM	105.16 ^a	7.46 ^c	1.34 ^b	16.27 ^a	5.46 ^b	1 144.18 ^b	264.35 ^c	0.74 ^{cd}	4.74 ^b	0.36 ^b	23.20 ^b	57.52 ^d	14.44 ^b	27.11 ^b
		南农旭日 XR	83.90 ^g	6.85 ^d	0.85 ^d	8.54 ^e	5.30 ^c	753.87 ^d	161.36 ^d	0.67 ^e	2.30 ^d	0.30 ^c	21.80 ^e	57.77 ^d	12.33 ^d	17.44 ^e
		南农雪峰 XF	79.70 ^h	5.37 ^g	0.66 ^e	7.27 ^f	3.43 ^g	595.52 ^e	147.14 ^d	0.84 ^b	3.30 ^c	0.20 ^g	13.99 ^f	51.78 ^g	10.44 ^e	20.33 ^d
		南农紫峰 ZF	63.58 ⁱ	5.14 ^h	0.94 ^d	6.30 ^g	2.57 ^h	1 099.38 ^b	264.93 ^c	0.75 ^{cd}	5.05 ^b	0.22 ^f	22.12 ^e	41.32 ^h	10.33 ^e	20.89 ^d
	氮水平 N	***	***	**	***	***	***	***	ns	***	**	***	***	***	***	***
	品种 V	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
	N×V	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

注:1) N: Nitrogen level; V: Variety; HN: High nitrogen; NN: Normal nitrogen; LN: Low nitrogen; PH: Plant height; SD: Stem diameter; RDW: Root dry weight; SDW: Stem dry weight; LDW: Leaf dry weight; TRL: Total root length; RSA: Root surface area; ARD: Average root diameter; RV: Root volume; FDW: Flower dry weight; CB: Crown breadth; FD: Flower diameter; PB: Principal branch number; FN: Flower number; CC: Nannongchuncha; DH: Nannongdaihua; FS: Nannongfengshou; LH: Nannonglihuang; LY: Nannongluoyan; XJM: Nannongxiaojinmao; XR: Nannongxuri; XF: Nannongxuefeng; ZF: Nannongzifeng。2) 变异来源为氮水平时,不同小写字母表示不同氮水平间差异显著($P < 0.05$),变异来源为品种时,不同小写字母表示不同品种间差异显著($P < 0.05$)。下同。Different letters in source of variation of N indicate significant differences among nitrogen levels at 0.05 level, different letters in source of variation of V indicate significant differences among varieties at 0.05 level。3) ns: Not significant; *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$ 。The same as follows。

2.2 不同氮水平和品种对菊花开花时期的影响

由图1可见:菊花的开花时期受氮水平和品种的影响。高氮、正常氮和低氮水平下,9个切花菊品种的花期分别为38、41和42 d。低氮和高氮水平下,9个切花菊品种的现蕾期、显色期、初花期和盛花期推迟,其中平均盛花期推迟的天数最多,相较于正常氮水平分别推迟了4和5 d。9个切花菊品种间的开花时期差异较大。‘南农紫峰’‘南农落雁’‘南农春茶’和‘南农旭日’的花朵发育较快,在不同氮水平下的现蕾期为定植后65~74 d,显色期为定植后91~94 d,初花期为定植后103~107 d,盛花期为定植后106~111 d。‘南农雪峰’的花朵发育最慢,其在不同氮水平下的平均现蕾期、平均显色期、平均初花期和平均盛花期分别为82、109、117、120 d。9个切花菊品种中,‘南农小金帽’的花期最长,平均花期为58 d。‘南农落雁’的花期最短,平均花期为36 d。

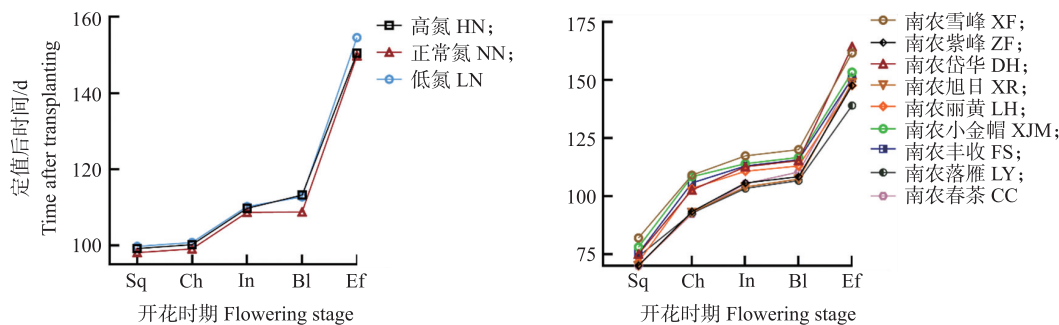


图1 不同氮水平对不同切花菊品种开花时期的影响

Fig. 1 Effects of different nitrogen levels on flowering stage of different cut chrysanthemum varieties

Sq、Ch、In、Bl、Ef 分别代表现蕾期、显色期、初花期、盛花期和末花期。

Sq, Ch, In, Bl, Ef represent squaring stage, chromogenic stage, initial bloom stage, full-bloom stage and end flowering stage, respectively.

2.3 不同氮水平和品种对菊花氮效率指标的影响

由表2可知:氮水平、品种及二者间的互作显著影响9个菊花品种的氮吸收效率、氮利用效率和农艺氮效率。不同生育期,植株氮吸收效率、氮利用效率和农艺氮效率随氮水平的增加而降低,低氮水平下,3个氮效率指标显著高于正常氮和高氮水平。与低氮水平相比,正常氮和高氮水平下9个菊花品种的平均氮吸收效率分别下降77.5%和31.2%,平均氮利用效率分别下降28.8%和13.7%,平均农艺氮效率分别下降82.4%和42.5%。说明低氮可促进9个切花菊品种氮效率的提高,高氮对9个切花菊品种的氮效率有抑制作用。其中,切花菊的氮吸收效率下降幅度显著高于氮利用效率,供氮水平对切花菊氮吸收效率的影响程度更大。

表2 不同供氮水平和品种对氮效率指标的影响

Table 2 Effects of different nitrogen levels and varieties on nitrogen efficiency indexes

变异来源 Source of variation	苗期 Seedling stage			生殖生长期 Reproductive stage			盛花期 Full-bloom stage		
	氮吸收效率 NupE	氮利用效率 NutE	农艺氮效率 ANE	氮吸收效率 NupE	氮利用效率 NutE	农艺氮效率 ANE	氮吸收效率 NupE	氮利用效率 NutE	农艺氮效率 ANE
	氮处理 N								
高氮 HN	0.20 ^c	46.03 ^c	9.05 ^c	0.27 ^c	63.97 ^c	17.16 ^c	0.30 ^c	113.91 ^c	33.75 ^c
正常氮 NN	0.28 ^b	56.95 ^b	15.67 ^b	0.34 ^b	80.03 ^b	27.98 ^b	0.54 ^b	116.27 ^b	63.06 ^b
低氮 LN	1.35 ^a	76.90 ^a	86.40 ^a	1.51 ^a	113.57 ^a	166.34 ^a	2.21 ^a	168.64 ^a	355.07 ^a
品种 V									
南农春茶 CC	0.52 ^e	43.94 ^g	23.34 ^e	0.63 ^d	78.21 ^f	56.54 ^e	1.08 ^d	117.31 ^g	142.18 ^d
南农岱华 DH	0.17 ^f	82.60 ^a	14.76 ^g	0.59 ^e	80.01 ^e	55.34 ^e	0.60 ^f	152.58 ^b	109.02 ^e
南农丰收 FS	0.69 ^d	52.03 ^f	40.46 ^d	0.84 ^c	85.38 ^d	85.90 ^c	0.92 ^e	164.46 ^a	161.02 ^c
南农丽黄 LH	0.91 ^b	54.01 ^e	54.67 ^b	1.38 ^a	77.19 ^f	121.83 ^a	1.89 ^a	124.37 ^f	271.81 ^a
南农落雁 LY	0.76 ^c	52.63 ^f	45.21 ^c	0.61 ^{de}	101.90 ^b	71.92 ^d	1.05 ^d	128.22 ^e	157.28 ^c
南农小金帽 XJM	0.91 ^b	54.01 ^e	54.77 ^b	0.89 ^b	88.81 ^c	92.89 ^b	1.39 ^b	133.35 ^d	204.41 ^b
南农旭日 XR	1.16 ^a	58.55 ^d	72.08 ^a	0.52 ^f	114.59 ^a	70.47 ^d	1.15 ^e	108.18 ^h	142.53 ^d
南农雪峰 XF	0.17 ^f	69.05 ^c	12.90 ^g	0.51 ^f	72.49 ^h	42.99 ^f	0.50 ^g	148.47 ^c	85.85 ^f
南农紫峰 ZF	0.18 ^f	72.80 ^b	15.18 ^f	0.40 ^g	74.13 ^g	36.56 ^g	0.60 ^f	119.53 ^g	81.55 ^f
氮处理 N	***	***	***	***	***	***	***	***	***
品种 V	***	***	***	***	***	***	***	***	***
N×V	***	***	***	***	***	***	***	***	***

Note: NupE: Nitrogen uptake efficiency; NutE: Nitrogen utilization efficiency; ANE: Agronomic nitrogen efficiency.

不同生育期下,‘南农丽黄’和‘南农小金帽’的氮吸收效率和农艺氮效率显著高于其他品种,‘南农雪峰’‘南农紫峰’和‘南农岱华’的氮吸收效率和农艺氮效率显著低于其他品种。‘南农旭日’在苗期具有高氮吸收效率和农艺氮效率,而在生殖生长期和盛花期时的氮吸收效率和农艺氮效率没有显著优势。9个切花菊品种的氮吸收效率和农艺氮效率指标在不同生育阶段下的规律稳定一致,而氮利用效率的规律不明显,不同品种在不同生育阶段下氮利用效率的变化不同。例如‘南农春茶’在生殖生长期时氮利用效率出现负增长,而盛花期时氮利用效率显著增加。苗期,‘南农岱华’‘南农紫峰’和‘南农雪峰’的氮利用效率高于其他品种,‘南农春茶’氮利用效率最低;生殖生长期,‘南农旭日’和‘南农落雁’的氮利用效率显著高于其余品种,‘南农雪峰’和‘南农紫峰’的氮利用效率低于其他品种;盛花期,‘南农丰收’‘南农岱华’和‘南农雪峰’的氮利用效率高于其他品种,‘南农旭日’‘南农紫峰’‘南农春茶’的氮利用效率低于其他品种。

2.4 不同氮水平和品种对氮素累积和分配的影响

2.4.1 不同氮水平对菊花各部位氮累积及分配的影响 由图 2 可知:菊花植株氮累积量随植株生长发育进程而不断累积。在不同发育期,根、茎、叶中氮的分配规律不同。在根中氮的分配表现为 3 个发育期无显著差异。在茎中氮的分配表现为生殖生长期氮分配率最高,苗期和盛花期氮分配率相差不大。在叶中氮的分配率随生育阶段的推进而不断降低。在苗期时,75.83%~83.99%的氮素分配在叶中,12.39%~18.21%分配在茎中,3.62%~5.96%分配于根中。在生殖生长期时,66.09%~70.91%的氮素分配在叶中,22.15%~28.05%分配在茎中,5.13%~6.93%分配于根中,茎氮累积量在植株中的比例相较于苗期显著上升,叶氮累积量在植株中比例显著下降。菊花的盛花期,氮累积中心转移至花器官,植株中 38.72%~44.03%的氮素分配在花中,34.63%~39.43%分配在叶中,14.05%~17.23%分配在茎中,4.11%~6.53%分配在根中。9个菊花品种的花氮累积量显著高于其他部位氮累积量,叶氮累积量和茎氮累积量在植株中的总比例显著下降。不同氮水平下,9个菊花品种各部位氮累积量表现出不同规律。苗期和生殖生长期,菊花各部位氮累积量表现出相同规律,根、茎和叶的氮累积量随着氮水平的增加而增加。盛花期,根氮累积量、叶氮累积量和植株氮累积量随着氮水平的增加而增加,花氮累积量和茎氮累积量在高氮和正常氮水平下无显著差异。

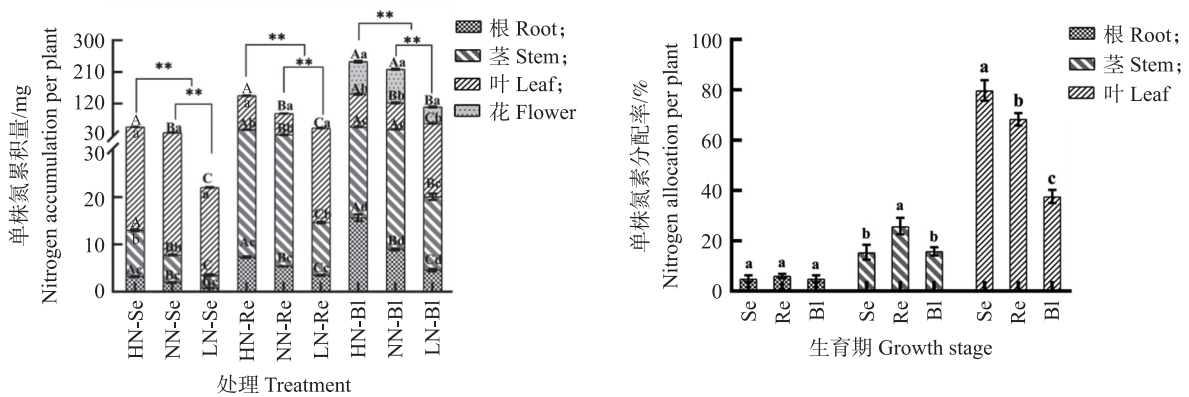


图 2 不同生育期和氮水平下不同切花菊品种的氮素累积及分配规律

Fig. 2 The rule of nitrogen accumulation and allocation of different cut chrysanthemum varieties under different growth stages and nitrogen levels

Se, Re, BI 分别代表苗期、生殖生长期和盛花期。下同。

Se, Re, BI represent seedling stage, reproductive stage and full-bloom stage, respectively. The same as follows.

2.4.2 9个菊花品种的氮素累积和分配特性 由图 3 可见:菊花的植株氮累积量受品种和生育期影响。苗期时,‘南农丽黄’‘南农落雁’‘南农小金帽’和‘南农旭日’单株氮累积量高于其他品种,在不同氮水平下的单株氮累积范围为 27.79~81.93 mg。‘南农岱华’‘南农雪峰’‘南农紫峰’在不同氮水平下单株氮累积量较低,为 2.97~37.25 mg。生殖生长期,‘南农丽黄’‘南农丰收’和‘南农小金帽’在不同氮水平下具有较高的单株氮累积量,累积范围为 58.41~226.03 mg,‘南农岱华’‘南农雪峰’和‘南农紫峰’在不同氮水平下单株氮累积量较低,累积范围为 26.50~120.84 mg。其中,‘南农丽黄’的单株氮累积量最高,累积范围为 101.43~226.03 mg,‘南农紫峰’单株氮累积量最低,累积范围为 26.50~97.05 mg。从苗期到生殖

生长期,9个切花菊品种的根、茎、叶氮累积量逐渐升高,不同氮水平下由大到小表现为高氮、正常氮、低氮。盛花期时,‘南农丽黄’在不同氮水平下的单株氮累积量和花氮累积量最高,其中单株氮累积量范围为206.17~405.04 mg,花氮累积量范围为单株84.27~186.38 mg。‘南农雪峰’的单株氮累积量最低,累积范围为42.51~162.92 mg。在不同氮水平下,除‘南农落雁’外,各品种花氮累积量在植株氮累积量中的比例均达30%以上,‘南农春茶’‘南农岱华’‘南农丽黄’和‘南农小金帽’4个品种的花氮累积量比例为41.41%~57.36%。随氮水平的增加,各菊花品种花氮累积量呈现不同的变化规律。不同氮水平下,‘南农紫峰’‘南农雪峰’‘南农丽黄’‘南农丰收’‘南农岱华’‘南农旭日’的花氮累积量由大到小的处理为正常氮、高氮、低氮;‘南农落雁’‘南农小金帽’‘南农春茶’的花氮累积量由大到小的处理为高氮、正常氮、低氮。

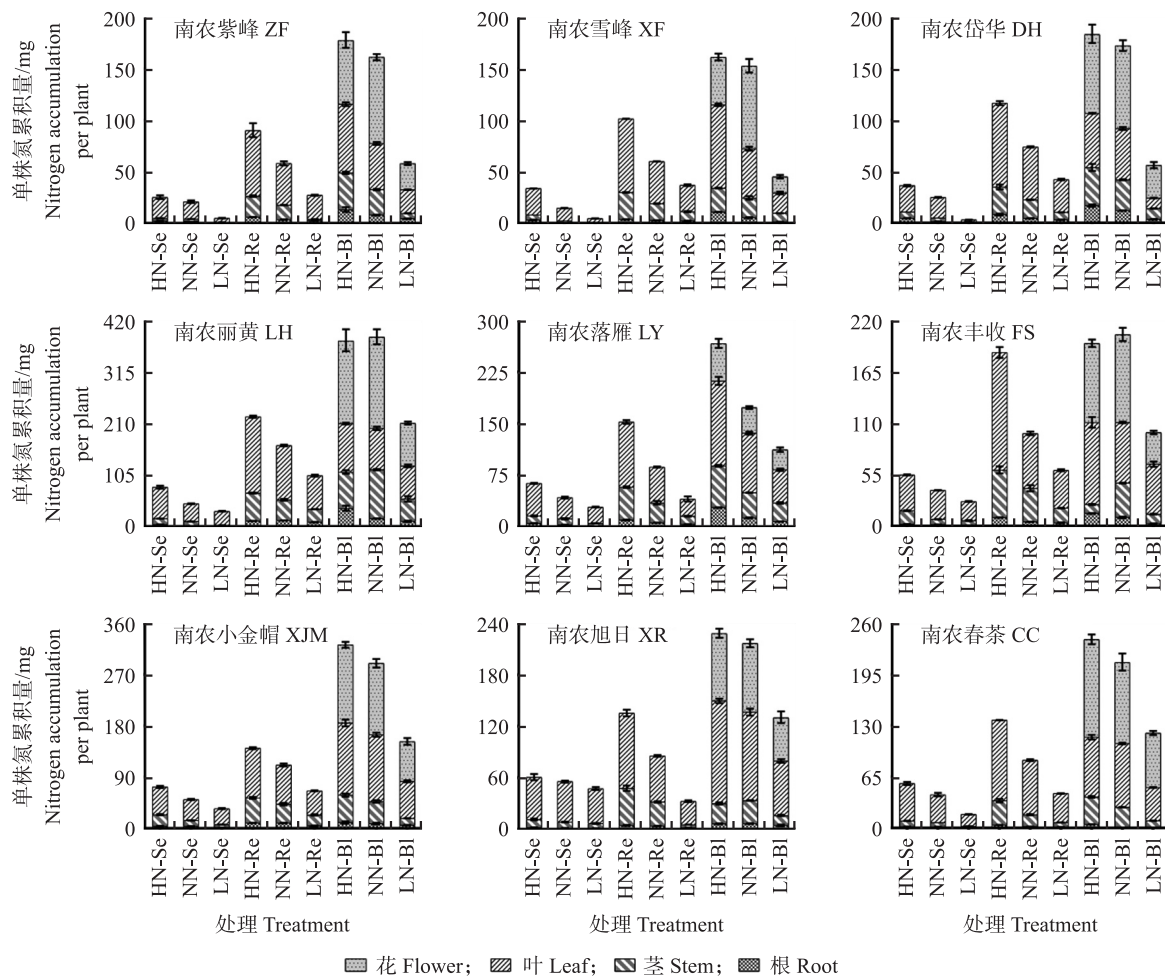


图3 不同生育期下不同切花菊品种氮素累积和分配特性的比较

Fig. 3 Comparison of nitrogen accumulation and allocation characteristics of different cut chrysanthemum varieties at different growth stages

2.5 氮累积量与菊花花朵品质的关系

植株氮素累积量影响菊花的开花品质。不同氮水平下,9个菊花品种的植株氮累积量与花干重、冠幅、花径和一级分枝数4个开花指标间存在极显著正相关关系($0.49 \leq r \leq 0.83$),与着花数和花期呈显著正相关($0.39 \leq r \leq 0.46$)。其中,植株氮累积量与花干重的相关性最强($r=0.83$),其次是冠幅($r=0.70$),与花期相关性最弱($r=0.39$),6个开花指标随着植株氮累积量的增加而增加(图4-A)。不同氮水平下,9个切花菊品种的花氮累积量与花干重、花期2个指标呈极显著正相关($0.53 \leq r \leq 0.89$),与冠幅、花径、一级分枝数和着花数4个指标间无显著相关性($0.14 \leq r \leq 0.31$)。其中,花氮累积量与花干重关系最密切($r \geq 0.87$),花期次之($r=0.53$),与花径关系最小($r=0.14$)(图4-B)。花氮累积量对各开花指标的贡献度低于植株氮累积量。

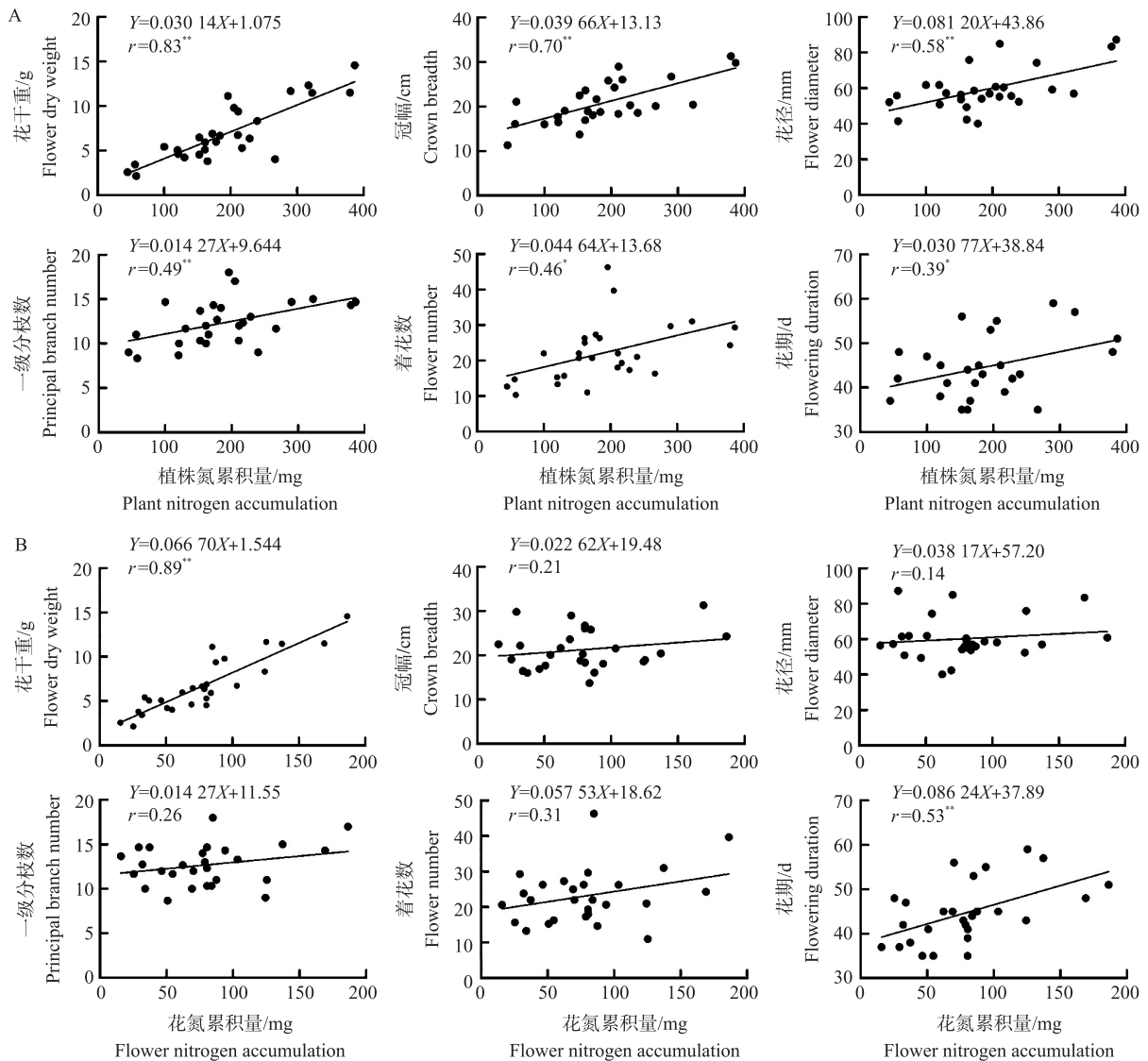


图4 不同氮水平下不同切花菊品种氮素积累量与6个开花指标间的关系

Fig. 4 Relationship between nitrogen accumulation and 6 flowering indexes of different cut chrysanthemum varieties under different nitrogen levels

A. 植株氮积累量与6个开花指标间的关系;B. 花氮积累量与6个开花指标间的关系。

A. Relationship between plant nitrogen accumulation and 6 flowering indexes;B. Relationship between flower nitrogen accumulation and 6 flowering indexes.

3 讨论

研究表明,基因型和氮水平显著影响作物的生长与产量^[10,17]。本研究发现,9个菊花品种的生理指标受氮水平、基因型以及基因型和氮水平互作影响显著,这与前人在玉米^[17-18]、小麦^[10]和大豆^[8]等作物上的研究结果相一致。不同生育期下,9个菊花品种的株高、茎粗、根干重、茎干重和叶干重等营养生长指标随氮水平的增加而增加,氮吸收效率、氮利用效率和农艺氮效率等氮效率指标随氮水平的增加而降低,开花指标与氮水平呈非线性相关,正常氮水平下9个菊花品种的平均冠幅、平均花干重、平均花径和平均花期达到最大值,花朵发育最快;高氮水平下,冠幅、花干重和花径显著下降,说明氮水平的增加显著促进菊花的营养生长,而菊花的花朵品质和氮效率不随氮水平的增加而增加,高氮对其有抑制作用。研究人员通过研究拟南芥^[19-20]、玉米^[21]和水稻^[22]等植物在不同氮营养环境下的根系形态发现,植物可以通过改变根系构型来响应根际氮营养环境的变化。本研究结果显示,苗期和生殖生长期,9个菊花品种的总根长、根表面积和根体积随氮水平的增加而增加;盛花期时,菊花对氮肥的需求降低,9个菊花品种的根体积随氮水平的增加而降低,根表面积在不同氮水平下无显著变化;不同生育期下,9个切花菊品种的平均根直径

随氮水平的增加而降低,表明菊花在不同氮环境和生育期下具有根系形态可塑性,可以通过改变根系形态进一步调整氮素营养吸收,从而达到符合自身养分需求的目的。

本研究中,菊花在苗期和生殖生长期的氮素累积中心和营养中心为地上部分,菊花各部分氮累积量和干物重随氮水平的增加而增加,其中叶的干物重和氮累积量最高,茎次之,根最小。盛花期时氮素累积中心转移至花中,花氮累积量显著高于其他部位氮累积量。正常氮水平下9个菊花品种的平均花氮累积量最高,整体花朵品质最佳。说明菊花的氮素累积规律与生长规律一致,不同生育期下各器官的氮素累积量和分配比例与其生理功能相对应,这与褚屿等^[23]在番茄中的研究结果相同。研究表明,氮素可通过影响器官结构、生理特性、物质合成及其分布,进而影响作物产量和品质^[24]。本研究发现,盛花期菊花的花干重、花期指标与花氮累积量的相关性强于植株氮累积量,而冠幅、花径、着花数和一级分枝数等指标则依赖于各部位氮累积量的共同作用,说明较高的花氮累积量促进了花朵的生长发育及其品质形成,而较高的植株氮累积量则是促进了菊花整体观赏性状的形成,植株氮累积量和花氮累积量对菊花品质的形成起关键作用。综上所述,菊花的不同发育阶段需氮水平不同,菊花的苗期和花芽分化初期主要为营养生长,氮素累积中心为叶片部分,此时应适量增施氮肥,促进菊花营养生长。在农业生产中,氮素缺乏或过量施用通常会导致早花或晚花成熟^[25-26]。花芽分化后期及花期,植株中的氮素需分配到花器官中,以促进花朵品质的形成,此时过高的施氮水平对菊花花朵品质和花朵氮素累积具有抑制作用,应适量控氮,以防徒长。

本试验发现,9个菊花品种的生长指标和氮效率指标在不同生长阶段差异显著。本课题组前期筛选出的苗期最优品种‘南农丽黄’在茎粗、生物量、平均根直径、氮吸收效率、氮效率、根体积、冠幅和花径等指标上均具显著优势^[27],氮低效品种‘南农雪峰’和‘南农紫峰’整体生长和氮效率弱于其他供试品种^[27],其中‘南农雪峰’在花干重、冠幅、花径和一级分枝数指标上显著低于其他品种,说明氮高效品种在不同生育期和氮水平下营养生长、花朵品质和氮效率上具有稳定优势。因此,菊花在生长品质和氮效率方面的品种效应大于氮水平效应,选用特定的品种及适当的氮肥管理是提高菊花品质和氮素利用效率的关键。

综上,不同氮水平和品种显著影响9个切花菊品种的生长品质、氮效率和氮素累积能力,高氮水平促进了9个菊花品种的营养生长,降低了9个菊花品种的氮效率和开花品质,而正常氮水平下9个切花菊品种的花朵品质最佳,花朵发育最快。菊花营养生长时期,氮素累积和生长中心集中于地上部分,叶氮累积量最高。盛花期,叶和茎中的氮素分配比例显著下降,氮素累积中心和生长中心转移至花器官,9个菊花品种的全生育期生长规律和氮素累积分配规律一致,植株氮累积量和花氮累积量对其生长发育和品质的形成具关键作用。不同切花菊品种的生长品质、氮效率和氮素累积能力差异显著,根据品种氮素营养特性搭配适宜的氮素管理是提升切花菊品质、促进切花菊产业发展的必要条件。

参考文献 References:

- [1] Gaju O, Allard V, Martre P, et al. Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and grain nitrogen concentration in wheat cultivars[J]. *Field Crops Research*, 2014, 155: 213-223.
- [2] Yang G D, Hu Z Y, Huang R D, et al. Effect of nitrogen on the starch formation and yield of high-density sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] in northern China[J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2020, 18(4): 5727-5741.
- [3] 赵春波. 黄瓜不同品种氮效率类型分析[D]. 长春:吉林农业大学, 2015.
Zhao C B. Nitrogen efficiency types analysis on differences cucumber varieties[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [4] 梁文超, 步行, 罗思谦, 等. 氮磷钾复合肥对增温促花后‘长寿冠’海棠生理特性的影响[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2022, 46(5): 81-88.
Liang W C, Bu X, Luo S Q, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium compound fertilization on the physiological characteristics of *Chaenomeles speciosa* ‘Changshouguan’ after processing of warming in the post floral stage[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2022, 46(5): 81-88 (in Chinese with English abstract).
- [5] 马东辉, 王月福, 赵长星, 等. 施氮量和花后土壤含水量对小麦氮代谢特性和子粒蛋白质含量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(6): 1035-1041.
Ma D H, Wang Y F, Zhao C X, et al. Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on characteristics of nitrogen metabolism and grain protein content in wheat[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(6): 1035-1041 (in Chinese with English abstract).
- [6] 熊淑萍, 吴克远, 王小纯, 等. 不同氮效率基因型小麦根系吸收特性与氮素利用差异的分析[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(12): 2267-2279.

- Xiong S P, Wu K Y, Wang X C, et al. Analysis of root absorption characteristics and nitrogen utilization of wheat genotypes with different N efficiency[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(12): 2267–2279 (in Chinese with English abstract).
- [7] 郭佩, 王佳艺, 史晓龙, 等. 施氮量对不同基因型花生结瘤特性及氮素利用的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2022, 53(4): 385–393.
Guo P, Wang J Y, Shi X L, et al. Effects of nitrogen application rate on nodule characteristics and nitrogen utilization in different peanut genotypes[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2022, 53(4): 385–393 (in Chinese with English abstract).
- [8] 宋柏权. 不同基因型大豆产质量形成及其氮素调控[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009.
Song B Q. Differences between yield and quality of different genotypes soybean and its adjustment of nitrogen [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [9] 顾春笋. 菊花 *CmNRTs* 基因的克隆及功能鉴定[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
Gu C S. Cloning and functional analysis of *CmNRTs* in *Chrysanthemum* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012 (in Chinese with English abstract).
- [10] Manschadi A M, Soltani A. Variation in traits contributing to improved use of nitrogen in wheat; implications for genotype by environment interaction[J]. *Field Crops Research*, 2021, 270: 108211.
- [11] Liu Z, Hu C H, Wang Y N, et al. Nitrogen allocation and remobilization contributing to low-nitrogen tolerance in stay-green maize [J]. *Field Crops Research*, 2021, 263: 108078.
- [12] 崔文芳, 高聚林, 于晓芳, 等. 高产氮高效玉米品种的筛选及其指标研究[J]. *作物杂志*, 2016(6): 38–43.
Cui W F, Gao J L, Yu X F, et al. Screening on indexes of nitrogen efficient maize varieties [J]. *Crops*, 2016(6): 38–43 (in Chinese with English abstract).
- [13] 孙梦蹊. 潘那利番茄渐渗系氮利用评价及高效品系的作用机制初探[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
Sun M X. Evaluation of nitrogen utilization in the *Solanum pennellii* introgression lines and preliminary study on mechanism of high-efficiency line [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018 (in Chinese with English abstract).
- [14] 王改丽. 新型甘蓝型油菜氮高效种质的筛选及其氮高效机制的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
Wang G L. Screening of high nitrogen efficient germplasms and its mechanism in new-type *Brassica napus* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014 (in Chinese with English abstract).
- [15] 张玉屏, 姜蕲琳, 朱德峰, 等. 早稻氮高效利用主栽品种的筛选[J]. *中国稻米*, 2019, 25(4): 44–46.
Zhang Y P, Jiang Q L, Zhu D F, et al. Screening of early rice with high nitrogen use efficiency [J]. *China Rice*, 2019, 25(4): 44–46 (in Chinese with English abstract).
- [16] 郝凤. 紫花苜蓿氮效率差异机制与氮营养阶段生育期划分的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
Hao F. Study on nitrogen efficiency mechanism and division growth period by nitrogen nutrition stage of alfalfa [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [17] 郭松, 曾祥忠, 陈琨, 等. 川中丘区玉米氮高效品种筛选及增产潜力分析[J]. *核农学报*, 2020, 34(11): 2569–2577.
Guo S, Zeng X Z, Chen K, et al. Screening of N-efficient maize varieties and analysis for their yield increase potentials in central Sichuan Basin [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(11): 2569–2577 (in Chinese with English abstract).
- [18] 王健, 韩金玲, 杨敏, 等. 不同氮高效玉米品种对氮素的吸收转运和代谢研究[J]. *核农学报*, 2020, 34(12): 2800–2812.
Wang J, Han J L, Yang M, et al. Study on the nitrogen uptake and metabolism in different nitrogen efficient maize varieties [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(12): 2800–2812 (in Chinese with English abstract).
- [19] Tabata R, Sumida K, Yoshii T, et al. Perception of root-derived peptides by shoot LRR-RKs mediates systemic N-demand signaling [J]. *Science*, 2014, 346(6207): 343–346.
- [20] Guan P Z, Wang R C, Nacry P, et al. Nitrate foraging by *Arabidopsis* roots is mediated by the transcription factor TCP20 through the systemic signaling pathway [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2014, 111(42): 15267–15272.
- [21] Gao K, Chen F J, Yuan L X, et al. A comprehensive analysis of root morphological changes and nitrogen allocation in maize in response to low nitrogen stress [J]. *Plant, Cell & Environment*, 2015, 38(4): 740–750.
- [22] 宋文静. 增硝营养调控不同硝响应型水稻品种根系生长的机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
Song W J. Physiological mechanisms of enhanced nitrate nutrition on root growth in rice genotypes with different nitrate responsivity [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012 (in Chinese with English abstract).
- [23] 褚屿, 骆洪义, 林举梅, 等. 番茄对氮磷钾及中微量元素的吸收规律研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2021(1): 247–255.
Chu Y, Luo H Y, Lin J M, et al. Study on the absorption law of nitrogen, phosphorus, potassium and trace elements of tomatoes [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2021(1): 247–255 (in Chinese with English abstract).
- [24] Maathuis F J. Physiological functions of mineral macronutrients [J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2009, 12(3): 250–258.
- [25] Zhang S N, Zhang Y Y, Li K N, et al. Nitrogen mediates flowering time and nitrogen use efficiency via floral regulators in rice [J]. *Current Biology*, 2021, 31(4): 671–683.e5.
- [26] Ye T H, Li Y W, Zhang J L, et al. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization affects the flowering time of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2019, 20: e00753.
- [27] 葛礼姣, 方馨妍, 张云月, 等. 菊花苗期氮高效品种资源筛选及氮效率评价体系建立 [J]. *南京农业大学学报*, 2021, 44(6): 1054–1062. DOI: 10.7685/jnau.202012017.
Ge L J, Fang X Y, Zhang Y Y, et al. Screening of nitrogen efficient varieties and its assessment system construction at seedling stage of chrysanthemum [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2021, 44(6): 1054–1062 (in Chinese with English abstract).