

控释尿素与尿素配施对杭白菊产量和氮肥利用率的影响

祝丽香, 毕建杰*, 王建华, 辛永东

(山东农业大学农学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东省作物生物学重点实验室, 山东泰安 271018)

摘要: 在大田栽培适量施肥和减量施肥条件下研究施用尿素、尿素与控释尿素配施对杭白菊 (*Chrysanthemum morifolium*) 产量和氮素利用率的影响。设 6 个处理: 对照不施氮肥 (CK₁₁); 适量施肥氮肥为尿素 (N₁₁); 适量施肥氮肥为尿素与控释尿素配施 (N₁₂); 减量施肥氮磷钾施用量均减少 1/4, 对照不施氮肥 (CK₂₂), 减量施肥为尿素 (N₂₁), 减量施肥尿素与控释尿素配施减量施肥 (N₂₂)。结果表明, 与对照相比, 施氮处理提高了株花序数、花序直径和单花序质量。采收期, 施肥量相同时, 控释尿素与尿素配施茎叶部氮素分配比例低于单施尿素处理, 花部高于单施尿素处理, 表明控释尿素与尿素配施有利于氮素向花序分配, 提高产量。适量施肥杭白菊产量高于减量施肥。适量施肥控释尿素与尿素配施比单施尿素增产 87.96 kg · hm⁻², 比减量施肥控释尿素与尿素配施增产 124.99 kg · hm⁻²。施用方式相同时, 适量施肥氮肥利用率高于减量施肥, 氮肥农学利用率低于减量施肥。施肥量相同时, 控释尿素与尿素配施氮肥利用率、氮肥农学利用率高于单施尿素。在本试验条件下, 施氮量 120 kg · hm⁻², 控释尿素 (150 d) 与尿素按 1:1 混合, 基施用量占总施氮量 50%, 控释尿素 (90 d) 与尿素按 1:1 混合, 8 月 15 日追施孕蕾肥, 施用量占总氮量 50%, 效果最佳。

关键词: 杭白菊; 控释尿素; 尿素

中图分类号: S 567.23⁺⁹

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2013) 04-0782-09

Effects of Mixture of Controlled-release Urea and Conventional Urea on the Yield and Nitrogen Use Efficiency of *Chrysanthemum morifolium*

ZHU Li-xiang, BI Jian-jie*, WANG Jian-hua, and XIN Yong-dong

(College of Agronomy, Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, China)

Abstract: Field experiment was conducted to study the effects of applying conventional urea, conventional urea combined with controlled-release urea on *Chrysanthemum morifolium* yield and nitrogen use efficiency. Six treatments with three replications were set up, i.e., control (CK₁₁), no nitrogen fertilizer applied; Suitable fertilization rate including single conventional urea (N₁₁), controlled-release urea combined with conventional urea (N₁₂), control (CK₂₂), no nitrogen fertilizer applied, phosphorous and potassium saved 1/4; Fertilization rate saved 1/4 including conventional urea (N₂₁), controlled-urea

收稿日期: 2012-10-10; 修回日期: 2013-03-11

基金项目: ‘十二五’国家科技支撑计划项目 (2011BAD11B01)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: jianjieb@163.com; Tel: 0538-8248076)

combined with conventional urea (N_{22}) . Results showed that applying nitrogen fertilization increased inflorescence diameter, inflorescence numbers per plant and dry weight per inflorescence significantly as compared with control. At harvesting stage, controlled-release urea combined with conventional urea decreased nitrogen distribution ratio to stem and leaf, and increased that to inflorescence comparing with single conventional urea under same fertilization rate, this indicated that controlled-release urea combined with conventional urea was more favorable to nitrogen allotting to inflorescence, and increased yield. Yield under suitable fertilization rate was higher than fertilization rate saved 1/4. Under suitable fertilizer rate, controlled-release urea combined with conventional urea increased yield by $87.96 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ compared with single conventional urea, and $124.99 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ higher compared with the same nitrogen fertilization mode under fertilization saved 1/4. Nitrogen use efficiency treated by suitable fertilization rate was higher than that of treated by fertilization saved 1/4 under the same nitrogen fertilization mode, while nitrogen agricultural use efficiency displayed reverse tendency. Both nitrogen use efficiency and nitrogen agricultural use efficiency treated by controlled-urea combined with conventional urea were significantly higher than those of treated by single conventional urea under the same fertilization rate. Considering from economic and practical view, controlled-release urea combined with conventional urea under suitable fertilizer rate was the best nitrogen fertilization mode, namely the suitable nitrogen fertilization rate was $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. 50% of the total was used as basal, which was controlled-release urea (150 d) combined with conventional urea at the ratio of 1 : 1; 50% of the total was used as dressing at vigorous stage, which was controlled-release urea (90 d) combined with conventional urea at the ratio of 1 : 1.

Key words: *Chrysanthemum morifolium*; controlled-release urea; conventional urea

施用氮肥是提高杭白菊 (*Chrysanthemum morifolium*) 产量的重要措施 (祝丽香 等, 2010; 刘大会 等, 2012)。目前, 杭白菊栽培中氮肥主要采取尿素基施和追施相结合的方法。随着人工费的增长, 生产成本逐年上升, 如何控制成本投入是杭白菊栽培中迫切需要解决的问题。控释肥料具有控制养分释放速度, 达到养分释放与作物对养分需求同步的效果, 在经济价值较高的作物、蔬菜、花卉等生产上广泛推广使用 (杜建军 等, 2007; 邵蕾 等, 2009)。研究表明, 控释肥料能够提高杭白菊的产量和品质 (祝丽香 等, 2009b)。由于控释肥料价格高于普通肥料, 限制了控释肥料的推广使用。根据普通肥料养分释放速度快, 控释肥料养分释放速度缓慢的特点, 采用控释肥料与普通肥料配施, 调节养分释放速率, 可提高产量, 降低生产成本 (陈贤友 等, 2010; 杨俊刚 等, 2010)。已有报道, 控释尿素与尿素配合施用使氮素长期效应与短期效应相结合, 具有提高嘉菊产量和氮肥利用率的优点 (祝丽香 等, 2012)。杭白菊为多年生宿根性植物, 在山东年生育期长达 7 个月, 根据此生长特性, 本研究中利用不同控释期的控释尿素与尿素混合, 采用基施与追施相结合的方式, 研究其对杭白菊产量和氮肥利用效率的影响, 以期为指导杭白菊科学施肥, 提高氮肥利用率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与供试材料

田间试验于 2011 年在山东农业大学药用植物栽培基地进行。该试验点位于东经 117.06° , 北纬 36.20° , 海拔高度 174.40 m, 属于温带大陆性半湿润季风气候区。年平均气温 13.4°C , 全年平均 \geq

0 °C的积温 4 731 °C, ≥10 °C的积温 4 213 °C, 无霜期平均 195 d, 年平均降水量 697.3 mm, 夏季降水最多, 占年降水量的 32.1%。

试验田土壤类型为棕壤。试验前耕层 0~30 cm 土壤有机质 36.24 g·kg⁻¹, 碱解氮 121.25 mg·kg⁻¹, 速效磷 33.71 mg·kg⁻¹, 速效钾 89.67 mg·kg⁻¹。

供试材料是从浙江桐乡高桥镇杭白菊种苗基地引种经作者鉴定为小白菊。控释期分别为 150 d、90 d 的树脂包膜控释尿素 (N 42%) 由山东金正大生态工程有限公司生产; 尿素 (N 46%) 由山东农大肥业有限公司生产。磷钾肥分别为过磷酸钙 (P₂O₅ 12%)、硫酸钾 (K₂O 50%), 均为市售。

1.2 试验设计

根据对杭白菊氮磷钾吸收积累规律的研究结果 (祝丽香 等, 2009a), 杭白菊年生长周期内对氮磷钾的吸收比例为 N:P₂O₅:K₂O = 1:0.89:1.58。试验设适量施肥和减量施肥两个施肥水平。适量施肥氮素施用量 120 kg·hm⁻², 磷素 106 kg·hm⁻², 钾素 189 kg·hm⁻²。① 对照 (CK₁₁) 不施氮肥; ② 氮肥为尿素 (N₁₁), 50% 基施, 15% 于 7 月 15 日追施, 25% 于 8 月 15 日追施, 10% 于 10 月 15 日追施; ③ 氮肥为尿素与控释尿素配施 (N₁₂), 控释尿素 (150 d) 与尿素等比例混合基施, 施用量占总施氮量的 50%, 控释尿素 (90 d) 与尿素等比例混合 8 月 15 日追施, 施用量占总施氮量的 50%。减量施肥氮素施用量 90 kg·hm⁻², 磷素 80 kg·hm⁻², 钾素 142 kg·hm⁻²。④ 对照 (CK₂₂), 不施氮肥; ⑤ 氮肥为尿素 (N₂₁); ⑥ 氮肥为尿素与控释尿素配施 (N₂₂), 减量施肥氮肥施用方式同适量施肥, 所有处理磷钾肥全部基施, 采用行间开沟方式追施氮肥。采用田间小区试验, 小区面积为 20 m², 随机区组排列, 3 次重复。2011 年 4 月 15 日选株高 10~13 cm、茎粗 5~7 mm 的分蘖苗, 按照株距 50 cm, 行距 45 cm 种植。常规管理。

1.3 测定项目与方法

氮素累积量和生物学产量: 生长旺盛期 (8 月 14 日)、采收期 (11 月 6 日) 取样测定。每小区采样 3 株, 用水冲洗干净, 按器官分开, 自然晾干至恒重, 称质量。随机取干样品, 粉碎过 0.25 mm 筛。H₂SO₄-H₂O₂ 消解, KDY-9820 凯氏定氮仪测定全氮含量 (鲍士旦, 2000)。各器官氮素累积量是含氮量与其相应部位干物质乘积之和, 根据下列公式计算各施肥处理氮肥利用率。

氮肥农学利用率 (agronomic efficiency of applied N, AEN, kg·kg⁻¹N) = (施氮区杭白菊产量 - 对照区杭白菊产量) / 施氮量。

氮肥利用率 (recovery efficiency of applied N, REN, %) = (施氮区植株吸氮量 - 对照区植株吸氮量) / 施氮量 × 100。

氮肥收获指数 (harvest index of N, NHI) = 花序氮积累量 / 植株总氮积累量。

产量及产量构成因素测定: 采收期每个小区取 3 株测定株花序数, 每株随机选 20 个花序测定花序直径、单花序舌状花数量、管状花部分直径。每个小区分别取 1 m² 测定杭白菊产量。

利用 Excel 2003 和 DPS 软件进行数据分析, 采用 LDS 进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对杭白菊生物量的影响

由表 1 可知, 生长旺盛期和采收期, 适量施肥控释尿素与尿素配施杭白菊生物累积量低于单施尿素, 减量施肥控释尿素与尿素配施杭白菊生物累积量高于单施尿素。生长旺盛期, 适量施肥单施尿素、控释尿素与尿素配施植株生物累积量比对照 CK₁₁ 分别增加 26.88% 和 26.13%, 减量施肥分别

比对照 CK₂₂ 增加 13.30% 和 28.89%; 采收期分别增加 44.07%、29.64%、30.10% 和 47.36%。

适量施肥植株茎部、叶部生物累积量生长旺盛期与采收期变化趋势一致, 茎部 N₁₁ > N₁₂, 叶部 N₁₂ > N₁₁。生长旺盛期, 根部生物累积量为 N₁₂ > N₁₁ 差异显著, 采收期差异不显著。

减量施肥植株根部、茎部、生物累积量生长旺盛期和采收期变化趋势相同, 即 N₂₂ > N₂₁。叶部生物累积量生长旺盛期 N₂₂ > N₂₁, 采收期 N₂₁ > N₂₂。施肥量相同时, 控释尿素与尿素配施花序生物累积量大于单施尿素, 表明控释尿素与尿素配施促进杭白菊花序生长和干物质积累, 为提高产量奠定基础。

表 1 不同施肥处理杭白菊各器官生物量积累

Table 1 Effects of different fertilizer treatments on biomass accumulation of *Chrysanthemum morifolium* (g · plant⁻¹)

时期 Stage	施肥处理 Treatment	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	花序 Inflorescence	总生物量 Total biomass
生长旺盛期 Vigorous stage	CK ₁₁	9.48 cd	20.29 d	21.34 b		51.12 b
N ₁₁	11.48 bc	29.60 a	21.86 b			64.86 a
N ₁₂	15.45 a	28.05 b	24.81 a			64.48 a
CK ₂₂	8.88 d	19.57 d	19.59 c			48.04 c
N ₂₁	10.98 cd	22.99 c	19.92 c			54.43 b
N ₂₂	13.32 ab	29.29 ab	22.98 ab			61.92 a
采收期 Harvest stage	CK ₁₁	17.71 c	80.01 d	21.25 d	24.27 bc	143.24 d
N ₁₁	33.76 b	112.18 a	33.74 b	26.70 b		206.38 a
N ₁₂	30.22 b	87.71 c	38.03 a	29.73 a		185.69 b
CK ₂₂	17.06 c	76.98 d	19.20 e	21.70 c		134.94 e
N ₂₁	31.59 b	88.60 c	33.45 b	21.93 c		175.56 c
N ₂₂	39.69 a	102.51 b	31.40 c	25.25 b		198.85 b

注: 同列同期不同字母表示处理间差异达 5% 水平。

Note: Different small letters in the same line meant significant difference among treatments at 0.05 level.

2.2 不同施肥处理对杭白菊产量及产量构成因素的影响

表 2 显示, 适量施肥 N₁₂、N₁₁ 单株花序数高于减量施肥 N₂₂、N₂₁; 花序直径 N₁₁ 最高, N₁₂、N₂₂、N₂₁ 差异不显著; CK₁₁、N₁₂、N₂₂、N₂₁ 单花序干质量差异不显著, 但 CK₁₁、N₂₁ 明显高于 CK₂₂ 和 N₁₁; 各施氮处理间单花序舌状花数量、管状花部分直径差异不显著, 但明显高于对照 (CK₁₁、CK₂₂)。各施肥处理产量高低顺序为 N₁₂ > N₁₁ > N₂₂ > N₂₁ > CK₁₁ > CK₂₂。N₁₂ 比 N₂₂ 高 124.99 kg · hm⁻², 比 N₁₁ 高 87.96 kg · hm⁻²。说明适量施肥时控释尿素与尿素配施更经济实用。

表 2 不同施肥处理杭白菊产量及产量构成因素

Table 2 Effects of different fertilizer treatments on yield and its component of *Chrysanthemum morifolium*

处理 Treatment	单株花序数 Inflorescence number per plant	花序直径/cm Inflorescence diameter	单序舌状花数 Ray floret number per inflorescence	管状花部分 直径/cm Tubulous flower part diameter	花序干质重/g Dry weight of inflorescence	产量/(kg · hm ⁻²) Yield
CK ₁₁	76.27 bc	3.85 c	93.73 b	1.41 b	0.201 a	861.21 c
N ₁₁	84.83 b	4.94 a	122.50 a	1.66 a	0.198 b	1035.41 ab
N ₁₂	88.81 a	4.53 b	117.33 a	1.67 a	0.201 ab	1123.37 a
CK ₂₂	70.53 c	3.57 c	92.35 b	1.43 b	0.198 b	749.61 d
N ₂₁	78.17 bc	4.42 b	119.35 a	1.72 a	0.202 a	946.77 b
N ₂₂	84.02 b	4.56 b	128.51 a	1.71 a	0.201 ab	998.38 ab

注: 同列不同字母表示处理间差异达 5% 水平。

Note: Different small letters in the same line meant significant difference among treatments at 0.05 level.

2.3 不同施肥处理对杭白菊氮素积累的影响

表3表明,施用氮肥显著增加了杭白菊生长旺盛期和采收期氮素累积量,且适量施肥植株氮素累积量高于减量施肥,差异显著。施肥量相同时,控释尿素与尿素配施植株氮素累积量均显著高于单施尿素,即 $N_{12} > N_{11}$, $N_{22} > N_{21}$ 。

生长旺盛期,适量施肥不同施氮处理植株叶部、茎部氮素累积量差异不显著,但控释尿素与尿素配施茎部与叶部氮素分配比例之和少于单施尿素。减量施肥,控释尿素与尿素配施叶部氮素累积量及分配比例高于单施尿素,茎部则相反。各处理不同器官氮素累积量顺序为叶部>茎部>根部,表明生长旺盛期叶部是植株氮素分配中心。

采收期,适量施肥控释尿素与尿素配施植株茎部、叶部氮素累积量显著低于单施尿素。减量施肥不同处理植株茎部、叶部氮素累积量差异不显著。施肥量相同时控释尿素与尿素配施植株茎部与叶部氮素分配比例之和少于单施尿素,花序氮素分配比例高于单施尿素差异显著。

从生长旺盛期至采收期,各处理花序氮素分配比例迅速上升,根部、叶部明显下降,叶部下降比例最大。说明在此阶段花序为植株氮素分配中心,根部、叶部累积的氮素逐步向花序转移。

表3 不同施肥处理杭白菊各器官氮素累积量

Table 3 Effects of different fertilizer treatments on N accumulation of *Chrysanthemum morifolium* ($\text{mg} \cdot \text{plant}^{-1}$)

时期 Stage	施肥处理 Treatments	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	花序 Inflorescence	氮素总累积量 N accumulation	根:茎:叶:花序 Root: Stem: Leaf: Inflorescence
生长旺盛期 Vigorous stage	CK ₁₁	90.72 c	120.74 c	241.07 bc		452.53 c	0.20:0.27:0.53:0
	N ₁₁	88.37 c	234.82 a	346.78 a		669.96 a	0.13:0.35:0.52:0
	N ₁₂	146.87 a	235.65 a	342.86 a		725.39 a	0.20:0.32:0.47:0
	CK ₂₂	86.31 c	127.18 b	216.08 c		429.57 c	0.20:0.31:0.49:0
	N ₂₁	107.63 b	172.22 ab	301.23 ab		581.08 c	0.19:0.30:0.52:0
	N ₂₂	87.08 c	164.02 b	337.94 a		589.04 b	0.15:0.28:0.57:0
采收期 Harvest stage	CK ₁₁	193.16 c	404.15 c	240.48 c	231.05 b	1068.83 d	0.18:0.38:0.22:0.22
	N ₁₁	230.81 b	751.61 a	368.89 b	233.63 b	1584.93 b	0.15:0.47:0.23:0.15
	N ₁₂	255.96 a	675.37 b	513.41 a	336.79 a	1781.53 a	0.14:0.38:0.29:0.19
	CK ₂₂	144.28 d	386.87 d	204.03 c	182.67 c	917.86 e	0.16:0.42:0.22:0.20
	N ₂₁	204.65 c	459.98 c	463.84 ab	131.95 d	1260.42 d	0.16:0.36:0.37:0.10
	N ₂₂	195.27 c	487.36 c	441.43 ab	213.57 b	1385.64 c	0.14:0.35:0.35:0.15

注: 同列同期不同字母表示处理间差异达5%水平。

Note: Different small letters in the same line meant significant difference among treatments at 0.05 level.

2.4 不同施肥处理对氮肥利用效率的影响

从表4可以看出,施用氮肥增加杭白菊氮素累计量。施肥量增加,氮素农学效率下降。施肥量相同时,控释尿素与尿素配施氮肥农学效率高于单施尿素, N_{12} 比 N_{11} 提高了 $0.98 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, N_{22} 比 N_{21} 提高了 $0.54 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。与氮肥农学效率相反,施肥量增加氮肥利用率同步增加。施肥量相同时,控释尿素与尿素配施氮肥利用率高于单施尿素, N_{12} 比 N_{11} 增加了8.12个百分点, N_{22} 比 N_{21} 增加了7.38个百分点。

可见,控释尿素与尿素配施提高氮肥增产能力和氮肥利用率。

表4 不同施肥处理对氮肥利用效率的影响

Table 4 Effects of different fertilizer treatments on nitrogen use efficiency

施肥处理 Treatment	总吸氮量/ Total N absorption	氮肥收获指数 N harvest index	氮肥农学效率/ ANUE	氮肥利用率/% NUE
CK ₁₁	64.13 cd	0.22 a		
N ₁₁	95.15 b	0.15 b	1.45 c	27.51 c
N ₁₂	106.89 a	0.19 a	2.43 b	35.63 a
CK ₂₂	55.07 d	0.20 a		
N ₂₁	75.63 c	0.11 b	2.36 b	25.54c
N ₂₂	90.17 b	0.15 b	2.84 a	32.92 b

注: 同列不同字母表示处理间差异达5%水平。

Note: Different small letters in the same line meant significant difference among treatments at 0.05 level.

3 讨论

3.1 不同施氮方式对杭白菊氮素吸收和产量的影响

杭白菊花序产量与其吸收和利用氮素的效率有关。已有研究表明, 在一定范围内, 施氮量增加杭白菊花序产量和氮素累积量(祝丽香等, 2010)。本研究表明, 适量施肥杭白菊花序氮素累积量和产量高于减量施肥, 控释尿素与尿素配施高于单施尿素, 表明控释尿素与尿素配施比单施尿素提高杭白菊产量。苏琳等(2010)研究控释尿素施用方式和用量对夏玉米影响也发现, 控释尿素与尿素配施能够充分发挥氮素的长期效应和短期效应, 满足作物整个生育期内对氮素的需求。

植物体内养分的有效循环利用是养分高效的生理机制之一(吴鹏飞和马祥庆, 2009)。对杭白菊氮磷钾及干物质积累变化规律研究表明, 杭白菊生育后期根、茎、叶累积的养分有向花序转移的特性(祝丽香等, 2009a)。花序是杭白菊的主要收获部位, 花序收获后茎叶中残留的氮素随茎叶枯萎凋落而损失, 茎叶累积的氮素占全株氮素的比例越大则氮素损失率越高。本研究发现, 采收期适量施肥茎叶中氮素累积量占全株氮素累积量的比例低于减量施肥, 花序中高于减量施肥。易镇邪等(2008)研究发现, 施氮量影响植株各器官碳氮代谢以及氮素的转移与分配。本研究结果与此相符, 说明适量施肥比减量施肥更有利氮素向花序转移, 提高产量。施肥量相同时, 采收期控释尿素与尿素配施茎叶中氮素累积量占全株氮素累积量的比例低于单施尿素, 花序则高于单施尿素。可见, 控释尿素与尿素配施更有利茎叶中累积的氮素向花序转移, 减少氮素浪费。

盛蒂(2006)和刘大会等(2009)研究施肥对杭白菊产量、品质的影响证明, 株花序数和单花序干质量是影响杭白菊产量的主要因素。本研究显示, 杭白菊产量增加主要由株花序数差异造成的, 相同施肥量不同施氮方式各处理间单花序干质量差异不显著。产生这种差异可能是孕蕾期采取控释尿素(90 d)与尿素配合追施, 控释尿素与尿素配施具有长效与短效结合, 促进花芽形成和花蕾发育。单施尿素在孕蕾期和花蕾发育期两次追肥, 速效氮肥多次施用对植物生长发育的促进效应与控释氮肥接近(杨雯玉等, 2005)。

3.2 不同施肥方式对氮素利用率的影响

氮肥利用率和农学效率是表征氮肥利用效率的重要指标(张福锁等, 2008)。本研究中施氮量增加氮肥利用率随之上升, 这与本研究氮肥施用量有关。本研究中适量施肥氮施用量 $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 低于杭白菊种植尿素最佳施用量 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (祝丽香等, 2010), 在此范围内施氮量增加氮肥利用率上升符合氮肥利用率变化规律(陈永春, 2009)。作物主要依靠根系吸收土壤中水分和养分, 发

达的根系扩大植株吸收养分的土壤空间(王艳等, 2003)。史正军和樊小林(2003)研究认为, 在一定范围内, 根系生长量与施氮量正相关, 发达的根系增加了根系对土壤中氮素吸收。根部生物累积量是根系生长状况的集中体现, 反映了根系发达程度。适量施肥杭白菊根系生物累积量大于减量施肥, 这可能是适量施肥氮肥利用率高于减量施肥的主要原因。

作物对氮肥的反应不仅受施氮量的影响, 还受土壤类型、肥料类型、施肥时期、基肥和追肥比例等的影响(张青等, 2005; 彭福田等, 2006; 苏伟等, 2010)。以往研究控释尿素采用基施方式, 尿素采取基施和一次性追施方式, 本研究不同控释期的控释尿素与尿素配合采用基施与一次性追施相结合, 单施尿素采用基施和多次追施方式。氮肥施入土壤后氨挥发和淋失是氮素从土壤—植物生态系统流失的主要途径(朱兆良, 2000)。苗期植株个体小, 对氮素吸收能力弱, 尿素由于速溶性施入土壤后短期内土壤中尿素态氮和铵态氮的大量积累, 造成氨挥发损失(Michael et al., 2003)。氮肥施入土壤后, 在土壤水分含量高的情况下, 氮素容易淋失, 降低氮肥利用效率(巨晓棠和张福锁, 2003)。山东7—8月为高温多雨季节, 在此期间仅施尿素处理追肥次数多于控释尿素与尿素配施。与尿素相比, 控释尿素控释氮的溶出速度, 减少氮素淋失(郑圣先等, 2004)。杜建军等(2007)研究认为, 尿素氨挥发损失率比控释尿素高30%以上, 淋溶损失率高60%以上。控释尿素与尿素配施氮素因挥发和淋失造成的损失低于单施尿素。

根系活力是根系吸收养分和水分能力, 适量施氮能够提高根系活力(章建新等, 2009)。控释尿素与尿素配施比单施尿素能提高了杭白菊发育中、后期根系活力和叶片硝酸还原酶活性(祝丽香等, 2012), 提高了氮素吸收效率。由此推测, 本研究中控释尿素与尿素配施氮肥利用率高于单施尿素是控释尿素减少氨挥发和淋溶造成的氮素损失, 提高根系活力的结果。

4 结论

综合考虑生产投入、菊花产量、氮素利用率三方面的因素, 在本试验条件下选用适量施氮量120 kg·hm⁻²、控释期150 d的控释尿素与尿素等量掺混基施, 施氮量占总施氮量50%, 控释期90 d控释尿素与尿素等量掺混用于8月追肥施氮量占总施氮量50%是最佳氮肥施用方式。由于田间试验进行仅一年, 不同年份之间气候变化可能会对试验结果产生一定的影响, 需要进一步研究验证。

References

- Bao Shi-dan. 2000. Agricultural soil analysis. Beijing: China Agriculture Press: 126–157. (in Chinese)
- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社.
- Chen Xian-you, Wu Liang-huan, Han Ke-feng, Li Jin-xian, Ying Jin-yao. 2010. Effects of different mixture rates of coated urea and prilled urea on rice grain yield and nitrogen use efficiency. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 16 (4): 918–923. (in Chinese)
- 陈贤友, 吴良欢, 韩科峰, 李金先, 应金耀. 2010. 包膜尿素和普通尿素不同掺混比例对水稻产量与氮肥利用率的影响. 植物营养与肥料学报, 16(40): 918–923.
- Chen Yong-chun. 2009. Biomass allocation and quantitative characters of *Echinochloa crusglli* Beauv under different nitrogen treatments. South Chinese Agriculture, (1): 55–56. (in Chinese)
- 陈永春. 2009. 不同施肥处理对款冬花生物量分配和产量的影响. 南方农业, (1): 55–56.
- Du Jian-jun, Wu Yong-liang, Tian Ji-lin, Wang Yi-quan, Cui Ying-de. 2007. Effect of several controlled/slow-release fertilizers on decreasing ammonia volatilization and N leaching. Journal of Soil and Water Conservation, 21 (2): 49–52. (in Chinese)
- 杜建军, 吴永龙, 田吉林, 王益权, 崔英德. 2007. 控/缓释肥料减少氨挥发和氮淋溶的效果研究. 水土保持学报, 21 (2): 49–52.
- Ju Xiao-tang, Zhang Fu-suo. 2003. Nitrate accumulation and its implication to environment in north China. Ecology and Environment, 12 (1): 24–28. (in Chinese)

- 巨晓棠, 张福锁. 2003. 中国北方土壤硝态氮的累积及其对环境的影响. 生态环境, 12 (1): 24 - 28.
- Liu Da-hui, Guo Lan-ping, Zhu Duan-wei, Hang Lu-qi. 2009. Effect of fertilization and plastic film mulching on yield and quality of *Chrysanthemum morifolium* flower. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 40 (5): 788 - 792. (in Chinese)
- 刘大会, 郭兰萍, 朱端卫, 黄璐琦. 2009. 施肥和覆盖地膜对福田河菊花产量与品质的影响. 中草药, 40 (5): 788 - 792.
- Liu Da-hui, Zhu Duan-wei, Guo Lan-ping, Liu Wei, Zuo Zhi-tian, Jin Hang, Yang Yan. 2012. Effects of nitrogen fertilization on growth, yield and quality of *Chrysanthemum morifolium*. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 18 (1): 188 - 195. (in Chinese)
- 刘大会, 朱端卫, 郭兰萍, 刘伟, 左智天, 金航, 杨雁. 2012. 氮肥用量对药用菊花生长及其药用品质的影响. 植物营养与肥料学报, 18 (1): 188 - 195.
- Michael S W, Peter W C, David W. 2003. Above-ground biomass accumulation and nitrogen fixation of broom (*Cytisus scoparius* L.) growing with juvenile *Pinus radiata* on a dry land site. Forest Ecology and Management, (184): 93 - 104.
- Peng Fu-tian, Peng Yong, Zhou Peng, Zhang Shou-shi. 2006. Effect of fertilizer being bag-controlled release on nitrogen utilization rate, growth and fruiting of Zhanhua Winter date (*Zizyphus jujuba* Mill. var. *inermis* Rehd.). Acta Horticulturae Sinica, 33 (2): 223 - 228. (in Chinese)
- 彭福田, 彭勇, 周鹏, 张守仕. 2006. 肥料袋控缓释对沾化冬枣氮素利用率与生长结果的影响. 园艺学报, 33 (2): 223 - 228.
- Shao Lei, Wang Li-xia, Zhang Min, Sun Zhi-jun. 2009. Effects of different controlled-release fertilizers and nitrogen level on N, P, K use efficiency. Journal of Soil and Water Conservation, 23 (4): 170 - 175. (in Chinese)
- 邵蕾, 王丽霞, 张民, 孙治军. 2009. 控释肥类型及氮素水平对氮磷钾利用率的影响. 水土保持学报, 23 (4): 170 - 175.
- Sheng Di. 2006. The comparative study on the characteristics of different cultivars and effects of fertilizers on yield and quality of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. [M. D. Dissertation] Nanjing: Nanjing Agricultural University. (in Chinese)
- 盛蒂. 2006. 不同栽培类型药用菊花性状比较和施肥对菊花产量、品质的影响[硕士论文]. 南京: 南京农业大学.
- Shi Zheng-jun, Fan Xiao-lin. 2003. Progress in root morphology for nitrogen efficiency acquisition in crop. Journal of Guangxi Agriculture and Biological Science, 22 (3): 225 - 229. (in Chinese)
- 史正军, 樊小林. 2003. 作物对氮素养分高效吸收的根系形态学研究进展. 广西农业生物科学, 22 (3): 225 - 229.
- Su Lin, Dong Zhi-xin, Shao Guo-qing, Li Zeng-jia, Ning Tang-yuan. 2010. Effects of different application modes and rates of controlled release urea on fertilizer nitrogen use efficiency and grain yield of summer maize. Chinese Journal of Applied Ecology, 21 (4): 915 - 920. (in Chinese)
- 苏琳, 董志新, 邵国庆, 李增嘉, 宁堂原. 2010. 控释尿素施用方式及用量对夏玉米氮肥效率和产量的影响. 应用生态学报, 21 (4): 915 - 920.
- Su Wei, Lu Jian-wei, Li Yun-chun, Li Xiao-kun, Ma Chang-bao, Gao Xiang-zhao. 2010. Effect of nitrogen management mode on yield, nitrogen using efficiency and nitrogen leaching of rapeseed. Chinese Journal of Oil Crop Science, 32 (4): 558 - 562. (in Chinese)
- 苏伟, 鲁剑巍, 李云春, 李小坤, 马常宝, 高祥照. 2010. 氮肥运筹方式对油菜产量、氮肥利用率及氮素淋失的影响. 中国油料作物学报, 32 (4): 558 - 562.
- Wang Yan, Mi Guo-hua, Chen Fan-jun, Zhang Fu-suo. 2003. Gemotypic differences in nitrogen uptake by maize inbred lines its relation to root morphology. Acta Ecologica Sinica, 23 (2): 297 - 302. (in Chinese)
- 王艳, 米国华, 陈范俊, 张福锁. 2003. 玉米氮素吸收的基因型差异及其与根系形态的相关性. 生态学报, 23 (2): 297 - 302.
- Wu Peng-fei, Ma Xiang-qing. 2009. Research advances in the mechanism s of high nutrient use efficiency in plants. Acta Ecologica Sinica, 29 (1): 427 - 437. (in Chinese)
- 吴鹏飞, 马祥庆. 2009. 植物养分高效利用机制研究进展. 生态学报, 29 (1): 427 - 437.
- Yang Jun-gang, Xu Kai, Tong Er-jian, Ni Xiao-hui, Xu Jun-xiang. 2010. Effects of applying controlled-release fertilizer blended with conventional nitrogen fertilizer on Chinese cabbage yield and quality as well as nitrogen losses. Chinese Journal of Applied Ecology, 21 (12): 3147 - 3153. (in Chinese)
- 杨俊刚, 徐凯, 佟二健, 倪小会, 许俊香. 2010. 控释肥料与普通肥料混施对春白菜产量、品质和氮素损失的影响. 应用生态学报, 21 (12): 3147 - 3153.
- Yang Wen-yu, He Ming-rong, Wang Yuan-jun, Wang Xiao-ying, Zhang Bin, Wu Cui-ping. 2005. Effect of controlled-release urea combined application with urea on nitrogen utilization efficiency of winter wheat. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 11 (5): 627 - 633. (in Chinese)
- 杨雯玉, 贺明荣, 王远军, 王晓英, 张宾, 吴翠平. 2005. 控释尿素与普通尿素配施对冬小麦氮肥利用率的影响. 植物营养与肥料学报, 11 (5): 627 - 633.

- 报, 11 (5): 627 - 633.
- Yi Zhen-xie, Wang Pu, Chen Ping-ping, Tu Nai-mei. 2008. Effect of different types of nitrogen fertilizer on nitrogen absorption and utilization of summer maize (*Zea mays L.*), 14 (3): 472 - 478. (in Chinese)
易镇邪, 王璞, 陈平平, 屠乃美. 2008. 氮肥类型对夏玉米氮素吸收和利用的影响. 植物营养与肥料学报, 14 (3): 472 - 478.
- Zhang Fu-suo, Wang Ji-qing, Zhang Wei-feng, Cui Zhen-ling, Ma Wen-qi, Chen Xin-ping, Jiang Rong-feng. 2008. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement. *Acta Pedologica Sinica*, 45 (5): 915 - 924. (in Chinese)
张福锁, 王激清, 张卫峰, 崔振岭, 马文奇, 陈新平, 江荣风. 2008. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. 土壤学报, 45 (5): 915 - 924.
- Zhang Jian-xin, Li Qiang, Xue Li-hua, Gan Yu-zhu. 2009. Effects of nitrogen fertilization on fibrous root distribution and activity in high yield sugar beet. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 15 (4): 904 - 909. (in Chinese)
章建新, 李强, 薛丽华, 甘玉柱. 2009. 氮肥施用量对高产甜菜纤维根系分布及活力的影响. 植物营养与肥料学报, 15 (4): 904 - 909.
- Zhang Qing, Peng Fu-tian, Jiang Yuan-mao, Peng Yong, Zhou Peng. 2005. Absorption and partition of different nitrogen forms in strawberry. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (6): 1070 - 1072. (in Chinese)
张青, 彭福田, 姜远茂, 彭勇, 周鹏. 2005. 草莓对不同形态氮素的吸收与分配. 园艺学报, 32 (6): 1070 - 1072.
- Zheng Sheng-xian, Liu De-lin, Nie Jun, Dai Ping-an, Xiao Jian. 2004. Fate and recovery efficiency of controlled-release nitrogen fertilizer in flooding paddy soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 10 (2): 137 - 142. (in Chinese)
郑圣先, 刘德林, 聂军, 戴平安, 肖剑. 2004. 控释氮肥在淹水稻田土壤上的去向及利用率. 植物营养与肥料学报, 10 (2): 137 - 142.
- Zhu Li-xiang, Wang Jian-hua, Bi Jian-jie, Guan Xin, Li Jin-li, Jia Shi-jun. 2010. Effect of N application rates on nutrients, accumulation, transformation and yield of *Chrysanthemum morifolium*. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 16 (4): 992 - 997. (in Chinese)
祝丽香, 王建华, 毕建杰, 关昕, 李金莉, 贾士军. 2010. 不同氮素用量对杭白菊养分积累、转运及产量的影响. 植物营养与肥料学报, 16 (4): 992 - 997.
- Zhu Li-xiang, Wang Jian-hua, Gao Xian-tao. 2012. Application of controlled-released urea combined with conventional urea on physiological indices, yield and quality of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 18 (2): 483 - 490. (in Chinese)
祝丽香, 王建华, 高先涛. 2012. 控释尿素与普通尿素配施对菊花生理指标及产量和质量的影响. 植物营养与肥料学报, 18 (2): 483 - 490.
- Zhu Li-xiang, Wang Jian-hua, Sun Yin-shi, Ma Hong-bing. 2009a. Absorption and distribution of nitrogen, phosphorus and potassium in *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 34 (23): 3003 - 3009. (in Chinese)
祝丽香, 王建华, 孙印石, 马红兵. 2009a. 杭白菊氮磷钾吸收、积累及分配规律研究. 中国中药杂志, 34 (23): 3003 - 3009.
- Zhu Li-xiang, Wang Jian-hua, Sun Yin-shi, Li Yu-peng, Sun Li-wen, Zhang Chun-ling. 2009b. Effects of two controlled-release fertilizers with different proportions of N, P and K on the nutrient uptake and growth of *Chrysanthemum morifolium*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20 (7): 1671 - 1677. (in Chinese)
祝丽香, 王建华, 孙印石, 李玉鹏, 孙礼文, 张春玲. 2009b. 两种配比的控释肥料对杭白菊养分吸收和生长效应的影响. 应用生态学报, 20 (7): 1671 - 1677.
- Zhu Zhao-liang. 2000. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction. *Soil and Environmental Science*, 9 (1): 1 - 6. (in Chinese)
朱兆良. 2000. 农田中氮肥的损失与对策. 土壤与环境, 9 (1): 1 - 6.