

两种配比的控释肥对抗白菊养分吸收和生长效应的影响*

祝丽香¹ 王建华^{1*} 孙印石¹ 李玉鹏² 孙礼文³ 张春玲⁴

(¹ 山东农业大学农学院, 山东泰安 271018; ² 山东省嘉祥县农业开发区管理委员会, 山东嘉祥 272400; ³ 济南市农业技术推广站, 济南 250021; ⁴ 山东省嘉祥县农业局, 山东嘉祥 272400)

摘要 利用盆栽试验研究两种不同配比的控释复合肥 CRFA(4% 树脂包膜, N: P₂O₅: K₂O 为 14: 14: 14) 和 CRFB(4% 树脂包膜, N: P₂O₅: K₂O 为 20: 8: 10) 及普通复合肥 CCF(N: P₂O₅: K₂O 为 15: 15: 15) 对抗白菊营养吸收和生长效应的影响. 结果表明: 普通复合肥 CCF1(每盆 6 g 氮素用量的 CCF) 和 CCF2(每盆 3 g 氮素用量的 CCF) 施入土壤后 30 d, 土壤中碱解氮、有效磷、有效钾含量分别为 163. 29 和 145. 26 mg · kg⁻¹、180. 39 和 163. 13 mg · kg⁻¹、300. 08 和 213. 15 mg · kg⁻¹, 而后迅速下降. 控释复合肥养分释放较慢, 其土壤碱解氮含量在施肥后缓慢升高, 在施肥后 60 d 达到高峰, 此时 CRFA1(每盆 6 g 氮素用量的 CRFA)、CRFB1(每盆 6 g 氮素用量的 CRFB)、CRFA2(每盆 3 g 氮素用量的 CRFA)、CRFB2(每盆 3 g 氮素用量的 CRFB) 分别为 129. 51、138. 65、118. 36、126. 31 mg · kg⁻¹; CRFA1 和 CRFA2 处理土壤有效磷含量与 CCF 处理变化趋势基本一致, 施肥后 30 d 分别达到 169. 54 和 133. 46 mg · kg⁻¹, CRFB1 和 CRFB2 处理在施肥后 60 d 左右达到释放高峰, 含量分别为 137. 13 和 84. 68 mg · kg⁻¹, 然后缓慢下降. 两种不同养分配比的控释复合肥处理植株叶面积、叶面积系数、分枝数、开花率、每株花数、鲜花直径等农艺性状均明显优于等氮素用量的普通复合肥处理, 其中 CRFB 控释效果优于 CRFA, 其更符合杭白菊对养分的需求, 且在本试验条件下, CRFB2 处理产量最高.

关键词 控释复合肥 杭白菊 生长 养分吸收 产量

文章编号 1001-9332(2009)07-1671-07 中图分类号 S147.22 文献标识码 A

Effects of two controlled-release fertilizers with different proportions of N, P and K on the nutrient uptake and growth of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. ZHU Li-xiang¹, WANG Jian-hua¹, SUN Yin-shi¹, LI Yu-peng², SUN Li-wen³, ZHANG Chun-ling⁴(¹ College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China; ² Jiexiang Agricultural Development Zone Committee, Jiexiang 272400, Shandong, China; ³ Jinan Agricultural Techniques Extension Station, Jinan 250021, China; ⁴ Jiexiang Agricultural Bureau, Jiexiang 272400, Shandong, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2009 20(7): 1671-1677.

Abstract: A pot experiment was conducted to study the effects of two controlled-release fertilizers CRFA (4% resin-coated, N: P₂O₅: K₂O = 14: 14: 14) and CRFB (4% resin-coated, N: P₂O₅: K₂O = 20: 8: 10) on the nutrient uptake and growth of *Chrysanthemum morifolium*, with common compound fertilizer CCF (N: P₂O₅: K₂O = 15: 15: 15) as the control. Six treatments were installed, i. e., CCF1 (CCF, 6 g N · pot⁻¹), CCF2 (CCF, 3 g N · pot⁻¹), CRFA1 (CRFA, 6 g · pot⁻¹), CRFA2 (CRFA, 3 g · pot⁻¹), CRFB1 (CRFB, 6 g · pot⁻¹), and CRFB2 (CRFB, 3 g · pot⁻¹). On the 30th day of applying common compound fertilizer CCF1 and CCF2, soil available N, P and K contents were 163. 29 and 145. 26 mg · kg⁻¹, 180. 39 and 163. 13 mg · kg⁻¹, and 300. 08 and 213. 15 mg · kg⁻¹, respectively, and decreased rapidly since then. In treatments CRFA1, CRFB1, CRFA2, and CRFB2, soil available N content increased slowly, and reached the peak on the 60th day after fertilizing, being 129. 51, 138. 65, 118. 36, and 126. 31 mg · kg⁻¹, respectively. Soil

* 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD10B07)资助。
* * 通讯作者。E-mail: jhwangjh@163.com
2008-11-19 收稿 2009-04-27 接受。

available P content had the same variation trend. Its maximum concentration was 169.54 and $133.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ in treatments CRFA1 and CRFA2 on the 30th day after fertilizing, and 137.13 and $84.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ in treatments CRFB1 and CRFB2 on the 60th day after fertilizing, and decreased slowly then. The agronomic traits such as leaf area, leaf area index, branch number, flowering rate, flower number, and flower diameter, etc., in treatments CRFA and CRFB were obviously better than those of the control, and CRFB was better than CRFA, suggesting that CRFB more matched the nutrient demand of *C. morifolium*. Under the conditions of present experiment, applying CRFB2 obtained the highest yield.

Key words: controlled-release fertilizer; *Chrysanthemum morifolium* Ramat; growth; nutrient uptake; yield

杭白菊(*Chrysanthemum morifolium* Ramat)作为药用和食用的经济植物在我国很多地区种植,其具有抗菌、抗炎、抗自由基、抗氧化等作用。对抗白菊的研究主要集中在成分的提取测定上^[1-3],而有关施肥对抗白菊生长发育和产量影响的研究报道较少^[4-7]。不同药用植物药效成分的化学组成不同和药用部位的差别,导致施肥对药材的影响也不一样,施肥不当会导致产量及药效成分下降^[8]。郭巧生等^[9]根据江苏种植白菊花的土壤肥力特点,研制了白菊花的专用肥,结果表明,施用专用肥后养分释放缓慢,肥效持久,供肥均匀,适宜白菊花生长。路伟等^[10]的研究表明,钾肥能够促进毫菊二次分枝,促进开花;刘大会等^[5]研究氮磷钾肥对福田白菊产量的影响,结果表明,对福田白菊生长的养分限制因子大小顺序为氮>磷>钾,氮、磷、钾配合施用能显著提高福田白菊的产量。但目前尚未见控释肥在杭白菊上应用的报道,控释肥能够控制养分释放,具有肥效长、稳定和利用率高的特点,在许多作物上都有良好的应用效果^[11-12]。为此,本文研究了不同控释肥料对抗白菊营养吸收、生长和产量的影响,探讨符合杭白菊养分需求规律的控释复合肥种类,为杭白菊生产中合理施用肥料,提高肥料利用率提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试杭白菊引自浙江桐乡。控释肥料为金正大公司生产的两种4%树脂包膜控释复合肥(CRF)。两种CRF的N:P₂O₅:K₂O分别为14:14:14(CRFA)和20:8:10(CRFB);普通复合肥(CCF)的N:P₂O₅:K₂O为15:15:15。

试验于2007年在山东农业大学东校区树木园进行,土壤类型为砂质壤土,土壤基本养分状况为:碱解氮 $104.41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷 $49.12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,

有效钾 $134.24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试验设7个处理:1)CK,空白对照,不施肥料;2)CCF1,肥料对照1,按每盆6g氮素用量施入CCF;3)CCF2,肥料对照2,按每盆3g氮素用量施入CCF;4)CRFA1,施入与CCF1等氮素用量的CRFA;5)CRFA2,施入与CCF2等氮素用量的CRFA;6)CRFB1,施入与CCF1等氮素用量的CRFB;7)CRFB2,施入与CCF2等氮素用量的CRFB。盆栽试验采用盆口直径35cm、高23cm塑料花盆,每盆装土10kg,将土壤与肥料充分混匀后装盆。2007年4月25日选取高度为15~16cm、茎粗3.03~3.24mm,且长势一致的菊花根蘖苗移栽,每盆3株,每重复10盆,每处理3次重复,共210盆,常规管理。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 杭白菊农艺性状与产量构成指标 每个处理随机选取10株标记,定期测定,株高用卷尺测定,茎粗用游标卡尺测定。杭白菊苗期、孕蕾期和开花期分别采主茎上、中、下3个部位发育成熟的叶片,用叶面积仪(LI-3000A)测定叶面积。采收期调查各处理杭白菊的分枝数,盛花期分别从每盆中随机选30朵盛开的鲜花测量花直径,每个处理测定10盆,然后取其平均数作为每盆菊花的平均花直径,同时调查每盆杭白菊总的花朵数,计算百朵鲜花质量:百朵鲜花质量=每盆采收的总鲜花质量/每盆的总花朵数 $\times 100$ 。当杭白菊头状花序舌状花70%开放时分批采收,在120℃杀青10min,55℃烘干,测定干花产量,并将各样品磨细装袋备用。试验结束时,测定植株根、茎、叶、花干质量。

1.2.2 菊花氮、磷、钾含量 在杭白菊苗期、孕蕾期、开花期每处理随机取5株用水清洗干净,吸干水分,在120℃杀青10min,55℃烘干,将各样品磨细测定植株氮、磷、钾含量。植物样品用浓硫酸消煮后,凯氏定氮法测定植株和菊花含氮量,钼锑抗比色法测定磷含量,火焰光度计法测定钾含量。

1.2.3 土壤有效养分 试验期间,每月 25 日进行取样.每处理随机取 2 盆,采取破坏性取样方式,将盆中土壤倒出,混合均匀,用对角线法取土样 250 g,风干,粉碎备用.碱解氮用碱扩散法测定;有效磷用 0.5 mol·L⁻¹碳酸氢钠浸提,钼锑抗比色法测定,速效钾用 1 mol·L⁻¹醋酸铵浸提,火焰光度计法^[13]测定.

1.3 数据处理

采用 DPS 统计软件进行数据处理,LSD 法进行多重比较,Microsoft Excel 软件制图.

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤有效养分的影响

2.1.1 土壤碱解氮 施肥后土壤中有效养分含量与肥料养分的释放规律密切相关.从图 1 可以看出,CRF 处理土壤碱解氮含量的变化曲线与 CCF 不同.CCF 处理在施肥后即快速释放,施入 30 d 后,CCF1 和 CCF2 处理的土壤碱解氮含量分别达到 163.29 和 145.26 mg·kg⁻¹,而后迅速下降.两种 CRF 处理土壤碱解氮在施肥后缓慢释放,其释放高峰在施肥后 60 d,此时 CRFA1、CRFB1、CRFA2、CRFB2 土壤碱解氮含量分别为 129.51、138.65、118.36 和 126.31 mg·kg⁻¹.可见,控释复合肥处理的土壤碱解氮含量释放高峰比普通复合肥推迟一个月,且高峰期土壤中碱解氮含量低于普通复合肥处理.在孕蕾期(栽后 150 d),CCF1 和 CCF2 处理的土壤碱解氮含量分别为 98.54 和 95.36 mg·kg⁻¹,而 CRFA1 和 CRFB1 处理的土壤碱解氮含量分别为 106.54 和 115.79 mg·kg⁻¹,比 CCF1 分别高 8.12%~17.51%,CRFA2、CRFB2 处理的土壤碱解氮含量分别为 99.89 和 103.28 mg·kg⁻¹比 CCF2 分别高 4.75%~8.31%.CRFB 处理土壤中碱解氮含量高于 CRFA 处理,开花期不同配比控释肥处理土壤中碱解氮含量与孕蕾期变化趋势一致.可见,在杭白菊生育后期控释复合肥比普通复合肥能提供更多的碱解氮.

2.1.2 土壤有效磷和有效钾 在杭白菊整个生长过程中,不同施肥处理土壤中有效磷和有效钾含量都呈逐渐减少趋势(图 1).CCF1 和 CCF2 处理土壤中有效磷、有效钾含量与碱解氮的变化趋势一致,在 30 d 左右有效磷含量分别为 180.39 和 163.13 mg·kg⁻¹,有效钾含量分别为 300.01 和 213.15 mg·kg⁻¹,然后迅速下降.不同控释肥处理土壤中有效磷含量变化并不一致,CRFA1、CRFA2 与 CCF 处理土

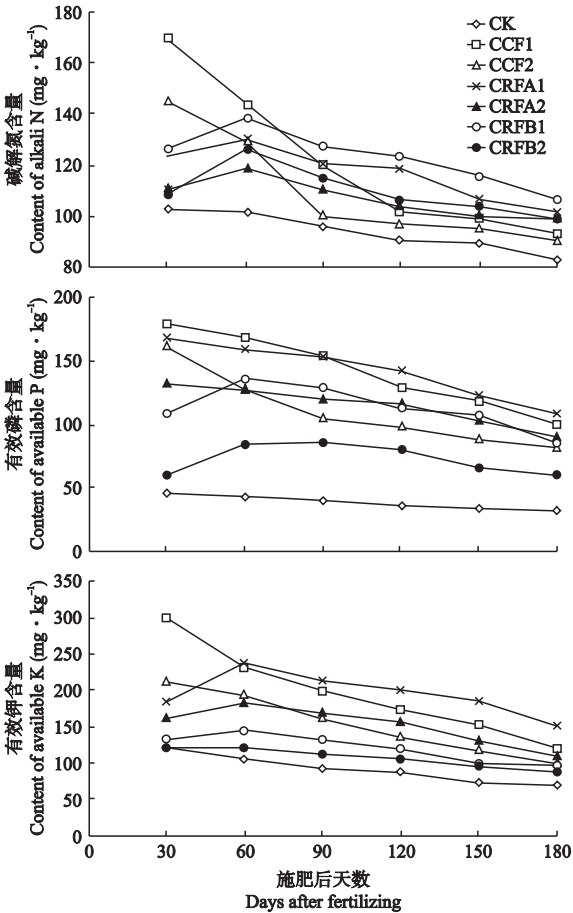


图 1 不同施肥处理土壤中碱解氮、有效磷和有效钾含量的变化
Fig.1 Changes of alkali N, available P and available K in soil under different fertilization treatments.

壤中有效磷含量变化基本一致,施肥后 30 d 分别达到 169.54 和 133.46 mg·kg⁻¹,而 CRFB1、CRFB2 处理在 60 d 左右达到释放高峰,分别为 137.13 和 84.68 mg·kg⁻¹,然后缓慢下降.两种不同配比控释复合肥处理土壤中有效钾含量变化趋势一致,施肥后 60 d,CRFA1、CRFA2、CRFB1、CRFB2 处理土壤中有效钾含量分别为 237.59、183.26、147.03 和 121.71 mg·kg⁻¹,随后变化平缓.这是因为普通复合肥施入土壤后迅速溶解,使土壤中有效磷和有效钾含量显著提高,而控释复合肥前期平稳而缓慢的释放磷素、钾素营养,使其在杭白菊生长的后期仍具有持续向土壤增加磷素和钾素营养的能力,其中,CRFB 对磷素的控释效果优于 CRFA.

2.2 不同施肥处理植株养分含量的变化

植株体内营养元素含量不仅与植物本身的营养特性有关,也与植株生长的环境条件有关.植株养分含量分析结果表明(表 1),施肥能够提高杭白菊植

表 1 不同施肥处理杭白菊植株养分含量的变化
Tab.1 Change of nutrient contents in the plants of *Chrysanthemum morifolium* under different fertilizer treatments

处 理 Treat- ment	N (mg · kg ⁻¹)			P (mg · kg ⁻¹)			K (mg · kg ⁻¹)		
	苗 期 Seedling	孕蕾期 Pregnant	开花期 Flower	苗 期 Seedling	孕蕾期 Pregnant	开花期 Flower	苗 期 Seedling	孕蕾期 Pregnant	开花期 Flower
CK	23. 38dD	25. 86gF	13. 48gG	4. 70dD	4. 02fD	3. 76gF	22. 63gG	20. 67fF	14. 21gG
CCF1	28. 81aA	30. 02cC	26. 19cC	5. 66aA	4. 94dC	4. 77aA	31. 04aA	21. 54eE	19. 69eE
CCF2	25. 62cC	26. 04fE	24. 25eE	5. 02bB	4. 39eD	4. 04dD	28. 43dD	20. 20gG	19. 31fF
CRFA1	27. 78bB	31. 54bB	29. 13bB	4. 87cC	5. 62bAB	4. 64bB	30. 67bB	24. 97aA	22. 14aA
CRFA2	23. 25eE	29. 97dC	24. 18fF	4. 11fF	6. 01aA	4. 01eD	27. 07fF	21. 75dD	20. 35dD
CRFB1	20. 39gG	33. 87aA	30. 48aA	4. 12fF	5. 31bcBC	3. 88fE	27. 37eE	23. 84bB	21. 59bB
CRFB2	22. 36fF	27. 33eD	24. 66dD	4. 45eE	5. 13cdC	4. 08cC	28. 63cC	22. 41cC	21. 29cC

同列不同小、大写字母分别表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平 Different small and capital letters in the same line meant significant difference among treatments at 0.05 and 0.01 levels , respectively. 下同 The same below.

株体内氮、磷、钾元素含量. 植株氮、磷含量随生育进程推进呈先升高后降低的趋势 ,以孕蕾期(栽后 150 d)最高 ,植株钾含量在幼苗期最高 ,随植株的生长发育逐渐降低 ,这可能是由于植株生长速度大于植株对钾的吸收速度 ,钾在植株体内被稀释所致. CK 和 CCF1、CCF2 处理植株氮、磷、钾含量开花期低于苗期 ,而 CRFA1、CRFA2、CRFB1、CRFB2 处理植株氮、磷含量开花期高于苗期. 孕蕾期 CRFA1 处理植株氮、磷、钾含量分别比 CCF1 处理高 5.06%、13.76%、15.92% ,CRFA2 处理植株氮、磷、钾含量分别比 CCF2 处理高 15.09%、36.90%、7.67% . 开花期 CRFA1 处理植株氮、钾含量分别比 CCF1 处理高 11.23% 和 12.44% ,磷含量比 CCF1 处理低 2.7% ,CRFA2 处理植株氮、磷含量与 CCF2 处理差异不显著 ,钾含量比 CCF2 处理高 5.39% . 在氮素用量相等的条件下 ,普通复合肥 CCF 与控释复合肥 CRFA 的 N:P₂O₅:K₂O 均为 1:1:1 ,但 CRFA 处理的植株氮、磷、钾含量高于 CCF 处理 ,二者差异显著. 说明控释复合肥的养分释放规律与杭白菊植株对养分的需求相吻合.

2.3 不同施肥处理对杭白菊生长的影响

2.3.1 对抗白菊生长动态影响 普通复合肥处理前

表 2 不同施肥处理杭白菊生长的动态变化
Tab.2 Dynamics of *Chrysanthemum morifolium* growth under different fertilizer treatments

处 理 Treat- ment	株 高 Plant height (cm)			叶面积 Leaf area (cm ²)			叶面积系数 Leaf area index		
	苗 期 Seedling	孕蕾期 Pregnant	开花期 Flowering	苗 期 Seedling	孕蕾期 Pregnant	开花期 Flowering	苗 期 Seedling	孕蕾期 Pregnant	开花期 Flowering
CK	50. 42cD	62. 91dD	64. 39bAB	10. 05cC	9. 84dD	9. 62dD	6. 02dD	6. 03cC	5. 67cC
CCF1	58. 33aA	65. 34bAB	66. 01bcBC	13. 49aA	12. 74cC	12. 46bC	7. 23aA	7. 02bB	6. 99bB
CCF2	57. 55aAB	63. 10dC	65. 29cBC	13. 47aA	12. 72cC	12. 32cC	7. 18aA	7. 11bB	6. 89bB
CRFA1	55. 20bBC	66. 62aA	67. 42abA	12. 68bB	13. 22abA	13. 11aAB	6. 44bB	7. 32aA	7. 30aA
CRFA2	53. 59bC	63. 21cdC	67. 60abAB	12. 66bB	12. 99bBC	12. 70bBC	6. 21cCD	7. 27aA	7. 23aA
CRFB1	54. 89bBC	64. 23bcBCD	67. 22abAB	12. 74bB	13. 23abAB	13. 18aA	6. 29cBC	7. 29aA	7. 21aA
CRFB2	53. 48bC	64. 8bBC	68. 56aA	12. 80bB	13. 46aA	13. 35aA	6. 18cCD	7. 26aA	7. 24aA

期养分释放较快 ,供应充足 ,有利于植株的营养生长 ,而控释复合肥处理养分释放较为平稳 ,因此 ,苗期等氮素用量控释复合肥处理的杭白菊株高低于普通复合肥处理. 在孕蕾期、开花期 ,不同施肥处理株高变化范围在 3 ~ 4 cm ,表明施肥对株高的影响不大. 植株叶面积、叶面积系数与光合作用和干物质积累密切相关 ,普通复合肥处理叶面积和叶面积系数在苗期最大 ,随生长发育进程逐渐下降 ,在开花期最小 ,而控释复合肥处理叶面积和叶面积系数在苗期最小 ,孕蕾期最大 ,开花期与孕蕾期的叶面积、叶面积系数差异不显著. 孕蕾期 ,不同氮素用量 CRFA 处理的叶面积比 CCF 处理增加 2.12% ~ 3.77% ,比对照增加 32.01% ~ 34.35% ,CRFB 处理的叶面积比对照增加 34.45% ~ 36.79% ,其中以 CRFB2 处理叶面积最大 ,比对照增加 36.79% . 开花期 ,不同氮素用量 CRFA 处理的叶面积比 CCF 处理增加 3.08% ~ 5.42% ,比对照增加 32.02% ~ 36.28% ,CRFB 处理的叶面积比对照增加 37.01% ~ 38.77% ,其中以 CRFB2 处理叶面积最大 ,比对照增加 38.77% ,叶面积系数与叶面积具有相似的变化规律.

2.3.2 对抗白菊生物量的影响 植物干物质积累是花形成的物质基础. 对不同施肥处理杭白菊的生物

表 3 不同施肥处理对抗白菊生物量的影响
Tab.3 Effects of different fertilizer treatments on biomass of *Chrysanthemum morifolium*

处 理 Treat- ment	地下部分 干物质量 Under- ground dry mass (g)	地上部分 干物质量 Above- ground dry mass (g)	总干物质量 Total dry mass (g)	根冠比 Root/ shoot
CK	12. 27dD	128. 50dD	140. 77eD	0. 095eC
CCF1	19. 69cC	207. 56aA	227. 27abA	0. 095cC
CCF2	17. 78dC	182. 71bB	200. 5cBC	0. 098cC
CRFA1	24. 23aA	201. 31aA	225. 53bA	0. 120bB
CRFA2	22. 77bB	170. 73cC	193. 5dC	0. 133bB
CRFB1	25. 46aA	207. 99aA	233. 47aA	0. 122bB
CRFB2	25. 60aA	181. 35bB	206. 97cB	0. 141aA

量进行统计分析(表 3)可以看出,施肥处理植株生物量明显高于对照,说明化学肥料在增加植株生物量的积累上起着重要作用,等氮素用量 CRFB 处理的生物学产量最高,CCF 处理的生物量比 CRFA 处理高。CRFB2 处理的根冠比最大,比对照高 48.42%,CRFA1 处理的根冠比比 CCF1、对照处理均高 26.32%,CRF2 处理的根冠比分别比 CCF2、对照处理高 35.71%和 40.01%。

2.4 不同施肥处理对抗白菊农艺性状的影响

农艺性状是植株生长发育过程中内在协调性好坏最直接的外在表现,在一定程度上反映植株生理代谢的强弱。不施肥(CK)处理植株生长较差,其农艺性状与施肥处理差异显著。株高和茎粗是反映植株长势强弱的重要指标,从采收期杭白菊的主要农艺性状(表 4)可以看出,CRFA1 茎粗比 CCF1 增加 18.3%,比对照增加 63.80%;CRFA2 比 CCF2 增加 38.17%,比对照增加 48.22%。杭白菊的花着生在分枝的顶端,分枝数、开花率直接影响花的产量。CRFA1 的分枝数、开花率分别比 CCF1 高 6.16%和 23.84%,比对照高 37.56%和 29.20%;CRFA2 的分枝数、开花率分别比 CCF2 高 70.42%和 96.63%,比对照高 70.42%和 114.28%;CRFB1 的分枝数、开花率分别比对照高 69.01%和 36.05%;CRFB2 的分枝数和开花率分别比对照高 36.15%和 82.31%。鲜花直径大小影响花的外观质量,杭白菊鲜花直径表现为 CRFA1 > CCF1,CRFA2 > CCF2。从杭白菊的农艺性状可以看出,适宜的氮素用量能够改善植株的生长特性,植株生长旺盛。控释复合肥延长了养分的释放时间,满足了杭白菊对养分的需求,使植株茎秆粗壮,提高了分枝数和开花率,有利于产量的提高。在两种控释复合肥中,CRFB 对抗白菊农艺性状的改善效果优于 CRFA。

表 4 不同施肥处理对抗白菊主要农艺性状的影响
Tab.4 Effects of different fertilizer treatments on the agronomic characters of *Chrysanthemum morifolium*

处 理 Treat- ment	株 高 Plant height (cm)	茎 粗 Stem diameter (mm)	分枝数 Branch number (No.)	鲜花直径 Flower diameter (cm)	开花率 Flower rate (%)
CK	60. 73 bCD	6. 74 fF	21. 3 bcA	4. 96cC	29. 4 dC
CCF1	60. 06 bcCD	9. 35 dD	27. 6 cA	5. 01cBC	30. 2 dC
CCF2	59. 64 dE	7. 23 cC	21. 3 cC	5. 01Cbc	32. 04 eE
CRFA1	61. 80 bBC	11. 04 aA	29. 3 abcA	5. 02Cbc	37. 4 cdAB
CRFA2	59. 58 bcCD	9. 99 bBC	36. 3 aA	5. 68aAB	63. 0 aA
CRFB1	67. 00 aA	10. 14 bB	36. 0 abA	5. 39abAB	40. 0 cdBC
CRFB2	65. 33 aAB	9. 72 cC	29. 0 abcA	5. 06cBC	53. 6 abAB

2.5 不同施肥处理对抗白菊产量及产量构成因素的影响

从产量构成因素来看,控释复合肥处理的杭白菊每株花数、百朵鲜花质量和产量均高于空白对照和普通复合肥处理,且差异显著(表 5)。CRFA1 处理杭白菊每株花数、百朵鲜花质量、产量分别比 CCF1 处理高 33.01%、23.61%、25.23%,比对照高 117.46%、60.13%、91.94%;CRFA2 处理杭白菊每株花数、百朵鲜花质量、产量分别比 CCF2 处理高 28.68%、16.11%、13.88%,比对照高 87.30%、46.57%、31.37%。CRFB1 处理杭白菊每株花数、百朵鲜花质量、产量分别比对照高 93.65%、51.98%、83.33%;CRFB2 处理杭白菊每株花数、百朵鲜花质量、产量分别比对照高 139.68%、37.61%、99.67%。增产的原因主要与控释复合肥提高每株花数有关。但不同配比控释复合肥增产效果不同,当施用 CRFB 控释复合肥,氮素施用量达到每盆 3 g 时,干花总产量最高;当施用 CRFA 控释复合肥,氮素施用量达到每盆 6 g 时,干花总产量最高。

表 5 不同施肥处理对抗白菊产量及产量构成因素的影响
Tab.5 Effects of different fertilizer treatments on yield and its component of *Chrysanthemum morifolium*

处 理 Treatment	每株花数 Flowers per plant (No.)	百朵鲜花 质 量 Fresh mass (g · 100 ⁻¹)	干花产量 Dry flower yield (g · pot ⁻¹)	比普通复 合肥增产 Yield increasing rate (%)
CK	25. 2 dD	61. 95 eE	9. 18 dD	—
CCF1	41. 2 cC	80. 25 cdCD	14. 07 bcAB	—
CCF2	36. 68fF	78. 2fF	10. 59fF	—
CRFA1	54. 8 abAB	99. 20 aA	17. 62 abAB	25. 2
CRFA2	47. 2 bcBC	90. 80 abABC	12. 06 cBC	13. 88
CRFB1	48. 8 bcBC	94. 15 abAB	16. 83 abAB	19. 6
CRFB2	60. 4 aA	85. 25 bcCD	18. 33 aAcrf	73. 09

3 讨 论

3.1 控释复合肥的控释效果与杭白菊养分吸收

从植物营养学角度来讲,最佳的施肥方式是施用能够提供整个生长期中植株生长并具有与杭白菊需肥规律相吻合的养分释放规律的肥料.控释肥是指通过各种机制预先设定肥料在作物整个生育周期的养分释放模式,使其养分释放规律与作物养分吸收规律相同步的一种新型肥料^[14],其在一些农作物和蔬菜上已经得到应用^[15-16].本试验中,CRFB 处理土壤中碱解氮、有效磷和有效钾含量与普通复合肥处理具有明显差异,施入 CRFB 后,养分被稳定而持续的释放,施用后 60 d 土壤中养分含量达到高峰,这与颜冬云等^[17]的研究结果一致. CRFA 处理土壤中碱解氮、速效钾含量的变化规律与 CRFB 处理相似,而土壤中速效磷的变化规律与 CCF 处理相似.不同时期土壤中的碱解氮含量表现为 CRFB 处理高于 CRFA 处理,表明 CRFB 的控释效果优于 CRFA.植株氮、磷、钾含量一方面与植物本身的吸收特性有关,另一方面与土壤中有效氮、磷、钾含量有关.杭白菊植株氮、磷、钾含量与土壤中有效氮、磷、钾含量的变化趋势一致,苗期普通复合肥处理植株氮、磷、钾含量高于控释复合肥处理,孕蕾期两种控释复合肥处理植株氮、磷、钾含量高于普通复合肥处理,开花期 CRFA 处理植株氮、钾含量高于 CCF 处理.这与不同肥料的养分释放规律一致,施肥后 150 d 控释复合肥处理土壤中碱解氮含量明显高于普通复合肥处理.控释复合肥由于包膜的作用控制了养分的释放速度,在杭白菊生长发育前期养分释放缓慢,因而在孕蕾期和开花期能够供给植株足够的养分使之更适合杭白菊生长发育需求,促进杭白菊对磷、钾的吸收.

3.2 控释复合肥对杭白菊生长发育和农艺性状的影响

与普通复合肥相比,控释复合肥能均衡、稳定地供给杭白菊生长发育所需的养分,促进其生长,这主要表现在叶面积和叶面积系数上,在杭白菊生育后期,控释复合肥处理叶面积和叶面积系数显著高于普通复合肥处理.研究表明,在一定范围内,植物产量与叶面积和叶面积系数呈明显正相关^[18],孕蕾期和开花期是杭白菊产量形成的关键时期,本试验中孕蕾期和开花期 CRFA 处理的叶面积比 CCF 处理分别增加 2.12% ~ 3.77%、3.08% ~ 5.42%,比对照分别增加 32.01% ~ 34.35%、32.02% ~ 36.28%,

CRFB2 处理叶面积比对照分别增加 34.45% ~ 36.79% 和 37.01% ~ 38.77%,较大的叶面积和叶面积系数有利于干物质积累和经济产量的形成.植株的生长发育与土壤中养分的供应密切相关,盛蒂等^[19]研究了不同有机肥对药用菊花生长的影响,结果表明,在药用菊花生长中后期,较高的土壤养分含量有利于植株生长和养分积累,与本研究结果一致.在营养生长和生殖生长并进的孕蕾期和开花期,两种控释复合肥处理植株的氮、磷、钾含量高于普通复合肥处理,促进了花的发育,提高了开花率.两种控释复合肥的养分配比不同,CRFB 有效钾含量低于 CRFA,但在开花期 CRFB 处理植株钾的含量最高.钾被称为品质元素,能够促进光合产物由源器官外运,有利于经济产量的形成,开花期植株钾素含量高能提高花的产量.从土壤中碱解氮、有效磷、有效钾含量和植株氮、磷、钾含量的综合指标来看,CRFB 的养分配比比 CRFA 更适合杭白菊的生长发育.

3.3 控释复合肥对杭白菊产量的影响

本研究表明,两种不同养分配比控释复合肥处理杭白菊花的产量均高于普通复合肥处理,这与土壤中养分供应和植株对养分的吸收能力有关.磷与花芽的分化和花蕾的形成密切相关,而花蕾的数量直接影响花的产量.孕蕾期是杭白菊吸收磷素最多的时期,土壤磷素的及时供应能够促进花蕾的形成,在孕蕾期,控释复合肥处理植株磷含量明显高于普通复合肥处理.开花期是杭白菊植株钾需求量最多的时期,钾能够促进花的发育,增加每株花数和百朵鲜花质量,提高杭白菊的产量^[6-7],两种不同养分含量控释肥处理开花期钾含量均高于普通复合肥处理,但不同用量和种类对杭白菊花的产量影响并不一致.钾对杭白菊生长发育和产量形成的影响与氮素供应水平有关,在低氮条件下,提高钾素的供应易造成植株营养失衡,降低花产量^[4].本试验中,杭白菊植株生物学产量表现为 CRFB1 > CRFA1、CRFB2 > CRFA2,而干花产量表现为 CRFA1 > CRFB1、CRFB2 > CRFA2,主要是因为 CRFA1、CRFA2 与 CRFB1、CRFB2 的养分比例不同,CRFA1、CRFA2 所含 N:P₂O₅:K₂O 为 14:14:14,CRFB1、CRFB2 所含 N:P₂O₅:K₂O 为 20:8:10.在高氮条件下,高钾含量能够增加杭白菊产量,当施氮量为每盆 6.0 g 时,杭白菊花产量为 CRFA1 > CRFB1;在低氮条件下,钾过高会降低植株的 Ca/K、Mg/K^[20],进而降低菊花产量,当施氮量为每盆 3.0 g 时,菊花产量为 CRFB2 > CRFA2. CRFB2 百朵鲜花质量低于 CRFA1、

CRFA2、CRFB1,这主要是由于 CRFB2 开花率高,库竞争加强影响所致。氮、磷、钾配合施用能促进杭白菊的正常生长发育,显著提高杭白菊的经济学产量和生物学产量,从经济效益方面考虑,CRFB2 处理效果最好。

参考文献

- [1] Huang B-M (黄保民), Wang L (王 蕾). Study of chemical constituents of volatile oil from *Chrysanthemum*. *Journal of Chinese Medicinal Materials* (中药材), 1997, **20**(3): 144–145 (in Chinese)
- [2] Liu J-Q (刘金旗), Wu D-L (吴德林), Wang L (王 兰), et al. Quantitative determination of contents of flavone glycosides in *Chrysanthemum morifolium*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* (中草药), 2001, **32**(4): 308–310 (in Chinese)
- [3] Li Z (李 宗), Chen Z-M (陈在敏), Liao L-S (廖雷声), et al. Determination chlorogenic acid in *Chrysanthemum morifolium* Ramat flower. *China Journal of Chinese Materia Medica* (中国中药杂志), 1999, **24**(6): 329–330 (in Chinese)
- [4] Liu X (刘 乡), Liu D-H (刘大会), Yang T-W (杨特武), et al. Effect of nitrogen potassium on growth yield and quality of medical *Chrysanthemum morifolium*. *Journal of Chinese Medicinal Materials* (中药材), 2007, **30**(11): 1356–1359 (in Chinese)
- [5] Liu D-H (刘大会), Zhu D-W (朱端卫), Zhou W-B (周文兵), et al. Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium on yield and quality of Futian's *Chrysanthemum morifolium*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* (中草药), 2006, **37**(1): 125–129 (in Chinese)
- [6] Cai G-M (蔡耕鸣), Fu Q-W (傅其伍), Qin B-S (覃步生), et al. The analysis of the influences of chemical fertilizer on the growth of young *Ginkgo* tree and its leaf flavone. *Journal of Guangxi Agriculture* (广西农学报), 2002 (suppl.): 83–87 (in Chinese)
- [7] Hu S-Q (胡尚钦), Huang L-L (黄璐琳), Zhang C (张 超), et al. Chlorogenic acid content in Honey suckle flower Influenced by fertilization and processing after picking. *Research and Practice on Chinese Medicine* (现代中药研究与实践), 2003, **17**(6): 26–28 (in Chinese)
- [8] Zhao Y-J (赵杨景). Medicinal Plant Nutrition and Fertilization. Beijing: China Agriculture Press, 2002 (in Chinese)
- [9] Guo Q-S (郭巧生), Liu D-H (刘德辉), Liang Z-H (梁珍海), et al. Study on the soil fertility changes in planting base to develop the special fertilizer for cultivation of *Chrysanthemum morifolium*. *China Journal of Chinese Materia Medica* (中国中药杂志), 2003, **28**(2): 121–125 (in Chinese)
- [10] Lu W (路 伟), Zhou K-J (周可金), Zhang L-G (章力干), et al. Effect of different NPK combinations on the agronomic traits and yield in *Chrysanthemum morifolium*. *Anhui Agricultural Science Bulletin* (安徽农学通报), 2007, **13**(7): 100, 118 (in Chinese)
- [11] Shaviv A. Advances in controlled-release fertilizers. *Advances in Agronomy*, 2000, **71**: 1–49
- [12] Chen J-S (陈建生), Xu P-Z (徐培智), Tang S-H (唐栓虎), et al. Nutrient use efficiency and yield increasing of single basal application of rice specific controlled release fertilizer. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(10): 1868–1871 (in Chinese)
- [13] Bao S-D (鲍士旦). Soil Agricultural-Chemical Analysis. 3rd Ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese)
- [14] Zhang H-J (张海军), Wu Z-J (武志杰), Liang W-J (梁文举), et al. Research advances on controlled-release mechanisms of nutrients in coated fertilizers. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14**(12): 2337–2341 (in Chinese)
- [15] Xie C-S (谢春生), Tang S-H (唐栓虎), Xu P-Z (徐培智), et al. Effects of single basal application of controlled-release fertilizers on growth and yield of rice. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2006, **12**(2): 177–182 (in Chinese)
- [16] Hou X-L (侯笑林), Zhang M (张 民), Duan L-L (段路路), et al. Effects of controlled release compound fertilizers on leaching loss of nutrient and growth of Calla. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2008, **22**(4): 157–162 (in Chinese)
- [17] Yan D-Y (颜冬云), Zhan M (张 民). Effect of controlled-release compound fertilizer on the growth and development of cabbage in pot. *Shandong Agricultural Sciences* (山东农业科学), 2003(3): 40–42 (in Chinese)
- [18] Wang X-L (王晓林), Zhen Z-G (甄志高), Duan Y (段 莹), et al. Relation between leaf area index and yield of peanut. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), 2003, **31**(6): 940–941 (in Chinese)
- [19] Sheng D (盛 蒂), Yan G-X (闫广轩), Liu D-H (刘德辉), et al. Effects of fertilization on yields and the content of total flavonoid, chlorogenic acid of *Chrysanthemum morifolium*. *Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农业大学学报), 2007, **30**(1): 75–78 (in Chinese)
- [20] E S-Z (俄胜哲), Yuan J-C (袁继超), Ding Z-Y (丁志勇), et al. Effect of N, P, K fertilizers on Fe, Zn, Cu, Mn, Ca and Mg contents and yields in rice. *Chinese Journal of Rice Science* (中国水稻科学), 2005, **19**(5): 434–440 (in Chinese)

作者简介 祝丽香,女,1965年生,副教授.主要从事药用植物栽培与开发利用的教学科研工作. E-mail: zhulix1965@163.com

责任编辑 张凤丽