

不同施氮模式对夏玉米生长、产量和氮素利用效率的影响

王晓菁¹,李中方²,臧贺藏^{3*},张杰³,胡峰³,李国强³,冯晓³,赵晴³,郑国清^{3*}
(1. 宁夏农林科学院 农产品质量监测中心,宁夏 银川 750002; 2. 焦作师范高等专科学校,
河南 焦作 454000; 3. 河南省农业科学院 农业经济与信息研究所,河南 郑州 450002)

摘要:以河南省的主栽玉米品种郑单 958 和先玉 335 为供试材料,在大田生产条件下设置 4 个施氮模式:0 kg/hm² (N0)、180 kg/hm² (N1,基肥 120 kg/hm² + 追肥 60 kg/hm²)、240 kg/hm² (N2,基肥 120 kg/hm² + 追肥 120 kg/hm²) 和 300 kg/hm² (N3,基肥 120 kg/hm² + 追肥 180 kg/hm²),研究不同施氮模式下 2 个高产玉米品种的干物质积累量、叶绿素含量、产量及氮素利用效率,以期为该地区玉米高产高效栽培提供理论依据。结果表明,随施氮量增加,2 个玉米品种群体干物质积累量均呈增加趋势,各模式先玉 335 的群体干物质积累量均高于郑单 958;2 个玉米品种叶绿素含量均呈增加趋势,各模式先玉 335 的叶绿素含量均高于郑单 958。随施氮量增加,郑单 958 和先玉 335 籽粒产量和氮素利用效率均先增加后降低,其中籽粒产量以 N2 模式最高,为 10 209.04 kg/hm² 和 11 115.08 kg/hm²;氮素利用效率以 N1 模式最高,为 57.37 kg/kg 和 57.01 kg/kg,与 N2 模式无显著差异;总体上先玉 335 的籽粒产量和氮素利用效率均高于郑单 958。综合认为,2 个玉米品种均以 N2 模式可以同步协调实现籽粒产量和氮素利用效率的提高,且先玉 335 优于郑单 958。
关键词:玉米;品种;氮肥;干物质积累;叶绿素含量;籽粒产量;氮素利用效率
中图分类号: S143.1;S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2015)10-0068-05

Effects of Different Nitrogen Application Modes on Growth, Yield and Nitrogen Utilization Efficiency of Summer Maize

WANG Xiaojing¹, LI Zhongfang², ZANG Hecang^{3*}, ZHANG Jie³, HU Feng³,
LI Guoqiang³, FENG Xiao³, ZHAO Qing³, ZHENG Guoqing^{3*}
(1. Analysis and Test Center of Agriculture, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences,
Yinchuan 750002, China; 2. Jiaozuo Teachers College, Jiaozuo 454000, China; 3. Agricultural Economy
& Information Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: With two main local wheat cultivars, Zhengdan 958 and Xianyu 335, as the test materials which were mainly planted in Henan province, the field experiments designed four nitrogen (N) application modes: 0 kg/ha (N0), 180 kg/ha (N1, base fertilizer of 120 kg/ha + topdressing of 60 kg/ha), 240 kg/ha (N2, base fertilizer of 120 kg/ha + topdressing of 120 kg/ha) and 300 kg/ha (N3, base fertilizer of 120 kg/ha + topdressing of 180 kg/ha), and the dry matter accumulation, chlorophyll content, yield and N utilization efficiency of two types of maize cultivars were studied under different N application modes, so

收稿日期:2015-05-15
基金项目:河南省重大科技专项(121100110900)
作者简介:王晓菁(1972-),女,陕西合阳人,副研究员,硕士,主要从事农产品质量安全分析等方面研究。
E-mail:wangxiaoj74@163.com
* 通讯作者:郑国清(1964-),男,河南淅川人,研究员,博士,主要从事农业信息技术研究。
E-mail:zgqzx@hnagri.org.cn
臧贺藏(1983-),女,河南驻马店人,助理研究员,博士,主要从事作物生理生态和农业信息技术研究。
E-mail:zanghechang@163.com

as to provide theoretical basis for high yield and efficient maize cultivation in Henan province. The results showed that with the increase of N application rate, population dry matter accumulation in two maize varieties showed a trend of increase, each mode's population dry matter accumulation amount of Xianyu 335 was higher than that of Zhengdan 958; chlorophyll content in two maize varieties increased, each mode's chlorophyll content of Xianyu 335 was higher than that of Zhengdan 958. With the increase of N application rate, grain yield and N utilization efficiency showed a increase-decrease curve for both cultivars, the highest grain yield was 10 209.04 kg/ha and 11 115.08 kg/ha in N2 mode; the highest N utilization efficiency was 57.37 kg/kg and 57.01 kg/kg in N1 mode, and there was no significant difference between N1 and N2 mode; each mode's grain yield and N utilization efficiency of Xianyu 335 was higher than that of Zhengdan 958. These results indicated that N2 mode in two maize varieties had higher grain yield and N utilization efficiency, and Xianyu 335 was superior to Zhengdan 958.

Key words: maize; cultivars; nitrogen fertilizer; dry matter accumulation; chlorophyll content; grain yield; nitrogen utilization efficiency

氮肥是影响夏玉米生长发育和产量形成的重要因素。在农业生产中,高产田不合理和盲目过量施氮现象相当普遍,不仅导致资源浪费、生产效益降低,而且带来一系列的环境问题^[1-7]。因此,合理施用氮肥,提高籽粒产量和氮素利用效率,是区域农业可持续发展亟待解决的重要问题。研究表明,在一定施氮量范围内,增加施氮量可以促进植株的氮素吸收,进而提高籽粒产量,而过量施氮则增产效应不显著^[8-10]。当施氮量在 120 ~ 180 kg/hm² 时,我国玉米的平均产量为 7.11 t/hm²,氮素利用效率仅为 29.18%,远低于美国的 43%^[11]。有研究表明,施氮量控制在 171 kg/hm² 以下,玉米产量可以达到 14.80 t/hm²,而氮素利用效率可以达 64%^[12-13]。合理施用氮肥是提高氮素利用效率的基础^[14]。不同玉米品种对氮肥反应不同,其产量和氮素利用效率也不同。因此,在高产高效栽培中需要考虑品种特性。目前,关于氮肥对玉米产量和氮素利用效率的影响研究很多,但对不同玉米品种在不同施氮模式下的生长、籽粒产量和氮素利用效率情况尚不完全清楚,而这方面的研究对玉米高产高效生产具有重要指导价值。为此,以河南省 2 个主栽玉米品种郑单 958 和先玉 335 为材料,探讨了不同施氮模式对夏玉米生长、产量和氮素利用效率的影响,以期为夏玉米高产高效栽培提供理论依据和技术指导。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于 2013 年在河南省延津县农业科学研究所试验田进行。试验地位于 114°19'08"E、35°18'92"N。延津县位于黄河北部,年均日照时数 1 806 h,平均气温 13.5 ℃,2013 年降雨量为 855.7 mm,玉米生

长期降雨量为 314.3 mm。试验地前茬为冬小麦,土壤为壤质底砂土。玉米播种前试验田 0 ~ 60 cm 土层土壤基础肥力见表 1。

表 1 供试土壤化学性质

土层/ cm	有机质/ (g/kg)	全氮/ (g/kg)	碱解氮/ (mg/kg)	速效磷/ (mg/kg)	速效钾/ (mg/kg)
0 ~ 20	14.01	0.94	77.61	16.83	386.82
20 ~ 40	10.08	0.70	46.60	11.48	290.91
40 ~ 60	4.84	0.39	15.43	8.47	241.09

1.2 试验设计

供试夏玉米品种为郑单 958 和先玉 335。以品种为主区,施氮模式为副区,设置 4 种施氮模式,N0:不施氮,N1:基施氮 120 kg/hm² + 追施氮 60 kg/hm²,N2:基施氮 120 kg/hm² + 追施氮 120 kg/hm²,N3:基施氮 120 kg/hm² + 追施氮 180 kg/hm²,具体方案见表 2。其中,在拔节期施基肥,在开花期施追肥。另外,所有处理均基施磷酸二铵(含 P₂O₅ 53%)300 kg/hm²、硫酸钾(含 K₂O 34%)225 kg/hm²。氮素肥料为尿素(含 N 46%)。玉米播种前均将小麦秸秆粉碎翻压还田。小区面积为 40 m²(5 m × 8 m),重复 4 次,等行距种植,行距 60 cm,种植密度为 6.75 × 10⁴ 株/hm²,各小区间距离 0.6 m。

表 2 不同模式的具体施氮方案 kg/hm²

品种	施氮模式	基肥	追肥	施氮总量
郑单 958	N0	0	0	0
	N1	120	60	180
	N2	120	120	240
	N3	120	180	300
先玉 335	N0	0	0	0
	N1	120	60	180
	N2	120	120	240
	N3	120	180	300

1.3 测定项目及方法

- 1.3.1 干物质积累量 分别于玉米拔节期、大喇叭口期、开花期、花后 15 d、花后 35 d 和成熟期在各小区选择有代表性的植株 3 株带回室内,在 105 ℃ 下杀青 30 min,80 ℃ 烘干至恒质量,测定植株地上部干物质积累量。
- 1.3.2 叶绿素含量 花后 15 d 在每小区各选取植株 4 株,穗位叶从基部到尖端选取 3 个点,采用日本生产的 SPAD-502 叶绿素测定仪测定 SPAD 值,取平均值。
- 1.3.3 蛋白质含量 成熟期采用全自动凯氏定氮仪测定籽粒蛋白质含量。
- 1.3.4 产量 成熟期从各小区中间选取连续 4 行玉米果穗进行测产。
- 1.3.5 氮素利用效率 氮素利用效率参照 Tollenaar 等^[15]的方法进行计算:氮素利用效率 = 籽粒产

量/植株氮素积累总量。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 16.0 对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮模式对夏玉米群体干物质积累量的影响

由表 3 可以看出,郑单 958 和先玉 335 群体干物质积累量均随生育进程的推进表现为增加趋势,成熟期群体干物质积累量最高,为 13 468.05 ~ 18 733.05 kg/hm²;随施氮量增加,2 个玉米品种群体干物质积累量均呈增加趋势,具体表现为 N3 > N2 > N1 > N0;大喇叭期后在不同氮肥模式下,先玉 335 群体干物质积累量均高于郑单 958,说明先玉 335 花后物质生产优势较强。

表 3 不同生育时期夏玉米群体干物质积累量 kg/hm²

品种	施氮模式	拔节期	大喇叭口期	开花期	花后 15 d	花后 35 d	成熟期
郑单 958	N0	60.75 a	1 454.63 b	4 681.80 b	7 480.80 d	12 469.73 d	13 468.05 d
	N1	60.75 a	2 144.03 a	6 847.20 a	9 537.08 c	14 568.08 c	15 455.03 c
	N2	60.75 a	2 144.03 a	6 847.20 a	11 191.50 b	15 174.45 b	16 642.80 b
	N3	60.75 a	2 144.03 a	6 847.20 a	11 664.45 a	16 242.75 a	18 131.85 a
	均值	60.75	1 971.68	6 305.85	9 968.46	14 613.75	15 924.43
先玉 335	N0	60.12 a	1 522.13 b	5 041.58 b	7 864.65 d	12 695.63 d	14 473.35 d
	N1	60.12 a	2 270.25 a	6 935.18 a	11 814.75 c	15 203.70 c	16 369.88 c
	N2	60.12 a	2 270.25 a	6 935.18 a	12 964.28 b	16 289.10 b	17 716.95 b
	N3	60.12 a	2 270.25 a	6 935.18 a	13 449.60 a	16 812.45 a	18 733.50 a
	均值	60.12	2 083.22	6 461.78	11 523.32	15 250.22	16 823.42

注:同列数据后不同字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

2.2 不同施氮模式对夏玉米叶绿素含量的影响

由图 1 可以看出,2 个玉米品种穗位叶叶绿素含量均随施氮量的增加而增加,具体表现为 N3 > N2 > N1 > N0,模式间差异显著,郑单 958 和先玉

335 叶绿素含量 N3 模式显著比 N0 模式高 21% 和 17%。两品种间比较,在不同施氮模式下,先玉 335 的叶绿素含量均高于郑单 958。

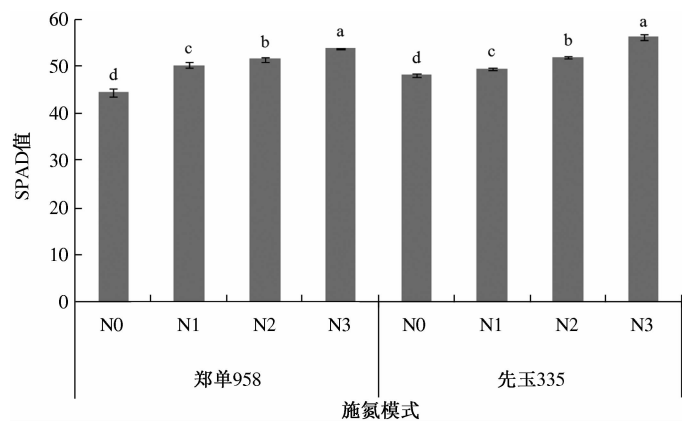


图 1 不同施氮模式对夏玉米叶绿素含量的影响

2.3 不同施氮模式对夏玉米产量及氮素利用效率的影响

由表 4 可以看出,2 个玉米品种施氮模式籽粒产量、蛋白质产量和氮素利用效率均高于不施氮模式。随施氮量增加,郑单 958 和先玉 335 籽粒产量均先增加后降低,以 N2 模式最高,为 10 209.04 kg/hm² 和 11 115.08 kg/hm²,与 N3 模式差异不显著,显著高于 N0、N1 模式;蛋白质产量总体呈增加趋势,郑单 958 以 N3 模式最高,为 914.25 kg/hm²,而先玉 335 以 N2 模式最高,为 1 011.99 kg/hm²,N2 与 N3 模式差异不显著,且显著高于 N0、N1 模式;氮素利用效率先增加后降低,以 N1 模式最高,为 57.37 kg/kg 和 57.01 kg/kg,与 N2 模式无显著差异,显著高于 N0、N3 模式。综合考虑玉米籽粒产量、蛋白质产量和氮素利用效率,以 N2 模式最佳。品种间比较,在不同施氮模式下,先玉 335 的籽粒产量、蛋白质产量和氮素利用效率(除 N0、N1 模式外)均高于郑单 958。

表 4 不同施氮模式对夏玉米产量、氮素利用效率的影响

品种	施氮模式	籽粒产量/ (kg/hm ²)	蛋白质产量/ (kg/hm ²)	氮素利用效率/ (kg/kg)
郑单 958	N0	5 763.15c	416.20c	44.33b
	N1	9 184.72b	723.95b	57.37a
	N2	10 209.04a	889.96a	53.69a
	N3	9 715.61a	914.25a	44.01b
	均值	8 718.13	736.09	49.85
先玉 335	N0	6 355.83c	534.47c	43.65b
	N1	9 805.60b	846.31b	57.01a
	N2	11 115.08a	1 011.99a	56.01a
	N3	10 583.32ab	1 000.98a	48.55b
	均值	9 464.96	848.44	51.30

进行方差分析(表 5)发现,氮肥对夏玉米籽粒产量、蛋白质产量、氮素利用效率的影响均达到极显著水平;品种对夏玉米籽粒产量、蛋白质产量的影响均达到极显著水平,对氮素利用效率无显著影响;品种和氮肥的互作对夏玉米籽粒产量、蛋白质产量、氮素利用效率均无显著影响。

表 5 氮肥、品种对夏玉米产量、氮素利用效率影响的方差分析

变异来源	籽粒产量	蛋白质产量	氮素利用效率
品种	19.74 **	41.33 **	2.01
氮肥	152.64 **	167.04 **	39.20 **
品种×氮肥	0.24	0.24	1.44

注: *、** 分别表示显著($P < 0.05$)、极显著($P < 0.01$)。

3 结论与讨论

在玉米生长发育过程中,适当的氮肥供给不仅可以增加玉米产量,还能获得较高的氮肥利用效率,

最终实现玉米高产高效^[15-16]。张经廷等^[17]研究表明,施氮量达到 180 kg/hm² 就可以满足各器官对氮素的需求,实现高产与高效并举。孙占祥等^[13]研究认为,综合产量、氮肥利用效率和土壤硝态氮累积情况,确定合理施氮量应控制在 200 kg/hm² 左右。马存金^[18]研究认为,合理选用品种,对于提高玉米产量及氮素利用效率具有重要作用。本研究结果表明,2 个玉米品种施氮模式籽粒产量、蛋白质产量和氮素利用效率均显著高于不施氮模式。随施氮量增加,2 个玉米品种籽粒产量和氮素利用效率先增加后降低,当施氮量超过 240 kg/hm² 后,籽粒产量和氮素利用效率则迅速降低。这说明高氮投入并不利于玉米产量及氮素利用效率的提高,与孙占祥等^[13]得出的结论较类似。在施氮量为 240 kg/hm² 时,郑单 958 和先玉 335 获得最高产量分别为 10 209.04 kg/hm² 和 11 115.08 kg/hm²,氮素利用效率分别为 53.69 kg/kg 和 56.01 kg/kg。这不仅证明了 2 个品种高产高效的统一性,而且说明其对氮肥反应具有较大差异。2 个玉米品种比较发现,先玉 335 籽粒产量和氮素利用效率均高于郑单 958,表明先玉 335 综合性能高。

玉米籽粒产量主要来源于花后光合物质的积累分配,其次是花前营养器官贮藏物质转运^[15]。这两者对产量的相对贡献率因品种和环境而异。吴亚男等^[19]、韦彩会等^[20]研究认为,适当的施氮量可使群体干物质积累量增加,而氮肥量过高则不利于干物质的积累。本研究结果表明,随施氮量增加,两玉米品种群体干物质积累量增加;花后物质积累量均以 N3 模式最高,这说明,氮肥模式对两玉米品种花后物质积累量的影响较大。2 个品种比较来看,先玉 335 花后物质积累量高于郑单 958,说明先玉 335 花后物质生产优势较强。

综合分析认为,在不同施氮模式下,先玉 335 的群体干物质积累量明显高于郑单 958;两玉米品种均在施氮量为 240 kg/hm² 时,可以获得较高的籽粒产量和氮素利用效率,从而实现高产与氮素高效利用。适当减少氮肥投入,促进夏玉米花后干物质积累和有效分配,是实现玉米增产与增收的重要途径。

参考文献:

[1] 阎翠萍,张虎,王建军,等. 沟谷地春玉米干物质积累、分配与转移规律的研究[J]. 玉米科学,2002,10(1): 67-71.

[2] Jing Q, Bouman B A M, Hengsdijk H, et al. Exploring options to combine high yields with high nitrogen use efficiencies in irrigated rice in China [J]. European Journal

- of Agronomy, 2007, 26(2):166-177.
- [3] Drinkwater L E, Snapp S S. Nutrients in agroecosystems: Rethinking and the management paradigm [J]. *Advances in Agronomy*, 2007, 92:163-186.
- [4] 王志敏, 王璞, 李绪厚, 等. 冬小麦节水省肥高产简化栽培理论与技术[J]. *中国农业科技导报*, 2006, 8(5):38-44.
- [5] 张福锁, 崔振岭, 王激清, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. *植物学通报*, 2007, 24(6):687-694.
- [6] Zhao R F, Chen X P, Zhang F S, *et al.* Fertilization and nitrogen balance in a wheat-maize rotation system in North China [J]. *Agronomy Journal*, 2006, 98(4):938-945.
- [7] Liu X J, Ju X T, Zhang F S, *et al.* Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat-maize cropping system in the North China Plain [J]. *Field Crops Research*, 2003, 83(2):111-124.
- [8] 王丽梅, 李世清, 邵明安. 水、氮供应对玉米冠层营养器官干物质和氮素累积、分配的影响[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(13):2697-2705.
- [9] 蒿宝珍, 张英华, 姜丽娜, 等. 限水灌溉下追氮水平对冬小麦旗叶光合特性及物质运转的影响[J]. *麦类作物学报*, 2010, 30(5):863-869.
- [10] 马冬云, 郭天财, 王晨阳, 等. 施氮量对冬小麦灌浆期光合产物积累、转运及分配的影响[J]. *作物学报*, 2008, 34(6):1027-1033.
- [11] 徐祥玉, 张敏敏, 翟丙年, 等. 施氮对不同基因型夏玉米干物质累积转移的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(4):786-792.
- [12] 臧贺藏, 刘云鹏, 余鹏, 等. 水氮限量供给下两个高产小麦品种物质积累与水分利用特征[J]. *麦类作物学报*, 2012, 32(4):689-695.
- [13] 孙占祥, 邹晓锦, 张鑫, 等. 施氮量对玉米产量和氮素利用效率及土壤硝态氮累积的影响[J]. *玉米科学*, 2011, 19(5):119-123.
- [14] 徐丽娜, 黄收兵, 陶洪斌, 等. 不同施氮模式对夏玉米冠层结构及部分生理和农艺性状的影响[J]. *作物学报*, 2012, 38(2):301-306.
- [15] Tollenaar M, Daynard T B. Effect of source-sink ration on dry matter accumulation and leaf senescence of maize [J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 1982, 62:855-860.
- [16] 黄振喜, 王永军, 王空军, 等. 产量 15 000 kg · hm⁻² 以上夏玉米灌浆期间的的光合特性[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(9):1898-1906.
- [17] 张经廷, 刘云鹏, 李旭辉, 等. 夏玉米各器官氮素积累与分配动态及其对氮肥的响应[J]. *作物学报*, 2013, 39(3):506-514.
- [18] 马存金. 施氮量对不同氮效率玉米根系特性和氮素利用的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [19] 吴亚男, 齐华, 盛耀辉, 等. 密度、氮肥对春玉米光合特性、干物质积累及产量的影响[J]. *玉米科学*, 2011, 19(5):124-127.
- [20] 韦彩会, 李伏生, 许春辉, 等. 调亏灌溉及施肥对玉米干物质积累和相关生理性状的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(4):76-84.

(上接第 64 页)

参考文献:

- [1] 庄瑞林. 中国油茶[M]. 2 版. 北京: 中国林业出版社, 2008:71-72.
- [2] 彭邵锋, 陆佳, 陈永忠, 等. 油茶品种资源现状与良种筛选技术[J]. *经济林研究*, 2012(4):174-179.
- [3] 马力, 陈永忠. 茶油的功能特性分析[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(8):82-84.
- [4] 廖书娟, 吉当玲, 童华荣. 茶油脂脂肪酸组成及其营养保健功能[J]. *粮食与油脂*, 2005(6):7-9.
- [5] 丁晓纲, 张应中, 陈清风, 等. 广宁红花油茶果实性状的遗传变异规律[J]. *经济林研究*, 2012(2):23-27.
- [6] 高尚士. 国内外辐射育种的研究[J]. *盐碱地利用*, 1994(1):35-37.
- [7] 高健, 卢惠萍. 花卉辐射诱变育种研究进展(综述)[J]. *安徽农业大学学报*, 2000, 27(3):228-230.
- [8] 喻吉生, 宋富根, 欧阳享泱, 等. 辐照在农作物新品种选育上应用研究[J]. *现代农业科技*, 2009(22):61.
- [9] 谢治芳, 洪佩英, 朱干波. 辐射诱变板栗新品种——农大 1 号高产稳产性状分析[J]. *华南农业大学学报*, 1993, 14(3):120-124.
- [10] 张日清, 丁植磊, 张勘, 等. 油茶育种研究进展[J]. *经济林研究*, 2006(4):1-8.
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000:134-137.
- [12] 曾丽琼, 黄永芳, 叶小萍, 等. ⁶⁰Co-γ 辐照油茶种子对其幼苗生长的影响[J]. *亚热带植物科学*, 2012, 41(4):42-44.
- [13] 杨方西. 钴-⁶⁰γ 射线对油茶苗木生育效应及其丰产性状的研究[J]. *核农学报*, 1982(1):1-8.
- [14] 柳颀, 孔广红, 倪书邦, 等. 高剂量⁶⁰Co-γ 射线辐照对澳洲坚果种子的诱变及致死效应[J]. *西南农业学报*, 2014, 27(1):291-295.
- [15] 易立颀, 李文锋, 崔之益, 等. ⁶⁰Co-γ 辐照对广宁红花油茶种子发芽及幼苗生长的影响[J]. *华南农业大学学报*, 2014, 35(5):93-97.
- [16] 叶力勤, 杨世宏. γ 射线辐射诱变中应注意的几个问题[J]. *宁夏农林科技*, 2002(5):49-50.
- [17] 王旭军, 吴际友, 程勇, 等. 辐射育种及其在林木育种中的应用前景[J]. *湖南林业科技*, 2007, 34(2):13-15, 18.
- [18] 齐孟文, 王化国. 我国花卉辐射育种的进展与剖析[J]. *核农学通报*, 1997(6):39-41.