

胡萝卜内源激素含量分布与畸裂肉质根形成的关系*

杨永岗 张化生 李亚莉 曲亚英

(甘肃省农业科学院蔬菜研究所 兰州 730070)

摘要 为深入揭示内源激素对高原夏季胡萝卜肉质根发育的调控作用,以“岐山透心红”的开裂和畸形肉质根为材料,采用酶联免疫吸附法(ELISA),研究分析了内源激素含量分布与开裂和畸形胡萝卜肉质根形成的关系。结果表明,迅速膨大中期,与正常肉质根相比,开裂肉质根中外层或外层内源 GA₃、GA₄、ZR、DHZR 和 IAA 含量较低;畸形肉质根纵向内源 GA₄、ZR 和 DHZR 含量分布呈尾端优势,而 GA₃、ABA 和 IAA 含量呈均匀分布态势。至迅速膨大末期,开裂肉质根中外层或外层内源 GA₃、GA₄、ABA 和 IAA 含量较低,畸形肉质根纵横向内源激素含量呈均匀分布态势。内源激素含量空间分布的改变可诱导开裂和畸形肉质根的形成。

关键词 胡萝卜 肉质根 内源激素 开裂肉质根 畸形肉质根 横向分布 纵向分布 迅速膨大期

中图分类号: S631.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2012)01-0048-05

Distributions of endogenous hormones relative to formation of cracked and malformed fleshy roots of carrots

YANG Yong-Gang, ZHANG Hua-Sheng, LI Ya-Li, QU Ya-Ying

(Institute for Vegetable Research, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract Endogenous hormones (an important internal factor) promote fleshy root thickening in carrot by controlling root sink activity, however, it is not entirely clear whether the distribution of endogenous hormones is related with the formation of cracks and deformities in fleshy root of carrots. The distributions of endogenous hormones across transverse section and along longitudinal section of normal, cracked and deformed fleshy root of carrot (“Qishantouxinhong”) were investigated using the ELISA method. The relationship between the endogenous hormones contents and formation of cracked and malformed flesh roots of carrots was discussed. The results showed that GA₃, GA₄, ZR, DHZR and IAA contents in the outer and mid-outer transverse sections of cracked fleshy roots of carrots were lower than those in the other parts of the plant during the fast metaphase stage of root thickening. Also the contents of GA₃, GA₄, ABA and IAA in outer and mid-outer transverse sections of cracked fleshy root of carrots were lower than those in the other parts of the plant during the fast telophase stage of root thickening. Compared with outer-dominance in normal fleshy roots, endogenous hormone distribution was dominant in the inner and middle vertical cross-sections of cracked fleshy root carrots. This could have led to the formation of cracks in fleshy root carrots. Also compared with top/end-dominance in normal fleshy root carrots, the distributions of GA₄, ZR and DHZR contents exhibited an end-dominance along the longitudinal cross-sections of cracked fleshy root of carrots. In fact, GA₃, ABA and IAA exhibited even distributions in malformed fleshy root of carrots during the fast root thickening stage. The analyses showed that variations in the distributions of endogenous hormones resulted in deformities fleshy root of carrots.

Key words Carrot, Fleshy root, Endogenous hormone, Cracked fleshy root, Malformed fleshy root, Transverse section, Longitudinal cross-section, Root thickening stage

(Received Feb. 16, 2011; accepted Jul. 29, 2011)

高原夏季胡萝卜是西北高原地区农民致富的支柱产业,栽培面积超过 17 000 hm²[1],但其生产中先期抽薹、肉质根开裂和畸形现象较为普遍,导致胡

萝卜产量与商品率的降低,成为影响高原夏季胡萝卜高效安全生产的突出问题[2]。植物激素参与调控农作物的重要农艺性状,例如控制作物株型、水分

* 国家科技支撑计划课题(2007BAD52B01)资助

杨永岗(1967—),男,研究员,博士,主要从事蔬菜育种与栽培生理方面的研究。E-mail: yyg_868@163.com

收稿日期: 2011-02-16 接受日期: 2011-07-29

和营养的利用以及通过与环境因子的互作调控作物对生物和非生物性胁迫的适应性等, 对作物产量的形成与品质的保持起着至关重要的作用^[3]。水稻中生长素极性运输受阻, 明显影响主根与侧根的发育^[4]。ABA 调控种子萌发、植物生长发育以及气孔开闭等重要生理过程^[5]。内源激素含量随果实的发育阶段而发生变化, 果实的生长发育需要 IAA 和 GA₅ 的共同参与, 脱落酸和细胞分裂素能够促进糖向果实的卸载^[6-10], 并对果实畸形有显著影响。较高的 IAA/ZR、GA₄/ZR 比值与胡萝卜先期抽薹间的关系密切^[2], 肉质根干重与 GA₃ 含量呈极显著(或显著)正相关, 与 IAA、IPA 含量呈极显著(或显著)负相关; IAA、GA₄、ABA、GA₃、IPA、DHZR 含量与肉质根的库活性呈极显著正相关, IAA 和 GA₄ 含量与肉质根干、鲜重比值呈极显著正相关^[11]。胡萝卜肉质根开裂与土壤干湿度的剧烈变化有关, 而肉质根生长点的破坏可导致畸形肉质根的形成^[12], 但目前有关胡萝卜开裂和畸形根的形成与其内源激素含量间关系的研究尚少见报道。为了进一步揭示内源激素与胡萝卜肉质根发育的关系, 本试验以“岐山透心红”的正常、开裂和畸形肉质根为材料, 研究了高原夏季胡萝卜肉质根内源激素含量的空间分布与开裂和畸形肉质根形成的关系, 旨在为高原夏季胡萝卜安全高效栽培提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试验设计

试验于 2008 年 4—9 月在甘肃省农业科学院蔬菜研究所皋兰示范点(海拔 1 860 m)进行。选用胡萝卜品种为“岐山透心红”, 是陕西省岐山县地方品种。

小区面积 24 m²(垄宽 45 cm, 沟宽 35 cm, 长 15 m 双行区), 重复 4 次。2008 年 4 月 20 日播种, 5 月 10 日出苗, 5 月 25 日第 1 次间苗, 6 月 25 日定苗, 密度 42 万株·hm⁻²。田间管理同高原季夏胡萝卜高产栽培技术。

1.2 取样方法

自出苗 90 d(迅速膨大期)始, 每隔 10 d 选取代表性正常肉质根 5 株, 取肉质根及其毛状根(从上、中、下 3 个部位混合取)1.0 g, 液氮速冻后低温冷冻保存, 用于内源激素测定; 每隔 10 d 选取代表性开裂肉质根 10 株, 其中 5 株取肉质根及其毛状根(从上、中、下 3 个部位混合取)1.0 g, 另 5 株肉质根从外部到内部均匀分为外层、中层、心层 3 部分, 取各相应部分 1.0 g, 均液氮速冻后低温冷冻保存, 用于内源激素测定; 每隔 10 d 选取代表性畸形肉质根 10 株, 其中 5 株取肉质根及其毛状根(从上、中、下

3 个部位混合取)1.0 g, 另 5 株肉质根从顶部到尾部均匀分为顶部、中部、下部 3 部分, 取各相应部分 1.0 g, 均液氮速冻后低温冷冻保存, 用于内源激素测定。

1.3 激素测定

采用酶联免疫吸附法(ELISA)测定样品中的 IAA、GA₃、GA₄、ABA、ZR、DHZR 含量。试剂盒由中国农业大学农学与生物技术学院提供。样品处理方法: 用 80% 甲醇溶液[含二叔丁基对甲苯酚(BHT)1 mmol·L⁻¹]将肉质根样品 1.0 g 匀浆, 4 ℃ 提取 8 h, 4 ℃ 下 4 000 r·min⁻¹ 离心 10 min, 取上清液后, 沉淀再用 80% 甲醇重复提取 2 次, 合并上清液, 过 Sep-PackC₁₈ 柱纯化, N₂ 吹干, PBSTG 溶解定容至 2 mL, 用于 ELISA 测定。在 BIO-RAD Mode 550(美国生产)酶联免疫仪上读数, 波长 490 nm。

1.4 数据统计分析

采用 Microsoft Excel、SPSS 16.0 软件进行试验数据处理与分析。

2 结果与分析

2.1 开裂肉质根内源激素含量分布

2.1.1 横向分布

图 1A 表明, 在迅速膨大中期, 开裂肉质根内源 GA₃、GA₄、DHZR 和 IAA 含量的层间分布呈内层优势, 心层含量最高, 中层次之, 外层最低: 其中 GA₃、IAA 和 DHZR 心层、中层含量相近, 均与外层含量差异显著, GA₄ 中层、外层含量相近, 均与心层含量差异显著; ZR 心层含量最高、显著高于中层和外层(中层、外层含量相近); ABA 含量在层间均匀分布。至膨大末期图(1B), 开裂肉质根内源 GA₃ 和 GA₄ 含量分布仍呈内层优势; ABA 含量心层和中层含量相近, 且显著高于外层含量; ZR、DHZR 和 IAA 含量在层间均有分布; 内源 GA₃ 和 GA₄ 含量分布同膨大中期。

2.1.2 与正常肉质根内源激素含量分布的差异

图 2A 表明, 在肉质根膨大期, 正常肉质根和开裂肉质根内源激素含量间存在显著差异: 膨大中期, 正常肉质根的 GA₄、ZR 和 DHZR 含量较开裂肉质根含量高, 差异显著或极显著, 其他内源激素含量与开裂根含量相近; 膨大末期(2B), 正常肉质根的 GA₃、ZR 和 IAA 含量较开裂肉质根含量高, 差异显著, 其他内源激素含量与开裂根含量相近。

上述现象表明, 开裂肉质根横向的 GA₃、GA₄、ZR、DHZR、ABA 和 IAA 分布态势为心层和中层高于外层或心层高于中层和外层, 与正常肉质根横向的内源激素分布呈外层优势^[2]的分布态势显著不同;

并且开裂肉质根 GA₃、GA₄、ZR、DHZR、ABA 和 IAA 的总含量显著低于正常肉质根, 由此可推测内源激素横向外层优势分布态势的改变是引起肉质根开裂的内因之一。

2.2 畸形肉质根内源激素含量分布

2.2.1 纵向分布

图 3A 表明, 在肉质根迅速膨大中期, 畸形肉质根纵向内源 GA₄、ZR 和 DHZR 含量的分布具有尾端优势: 其中 GA₄ 和 DHZR 中部和下部含量相近, 与顶部差异显著, ZR 顶部和中部含量相近, 与下部差异显著; GA₃、ABA 和 IAA 顶部、中部和下部的内源激素含量趋均匀分布。至膨大末期(3B), 顶部、中

部和下部的内源激素含量趋均匀分布。

2.2.2 与正常肉质根内源激素含量分布的差异

图 4A 表明, 肉质根迅速膨大中期, 胡萝卜畸形肉质根的内源 ZR 含量与正常肉质根存在一定的差异: 迅速膨大中期, 畸形肉质根内源激素含量与正常肉质根相近; 迅速膨大末期(4B), 畸形肉质根的内源 ZR 含量较正常肉质根低, 差异极显著, 其他内源激素含量与正常肉质根相近。

上述现象表明, 畸形肉质根与正常肉质根的内源 GA₄、ZR、DHZR 和 IAA 含量分布显著不同: 畸形肉质根纵向的内源 GA₄、ZR 含量分布为尾端优势, 而在正常肉质根中为顶端优势; 畸形肉质根纵向的

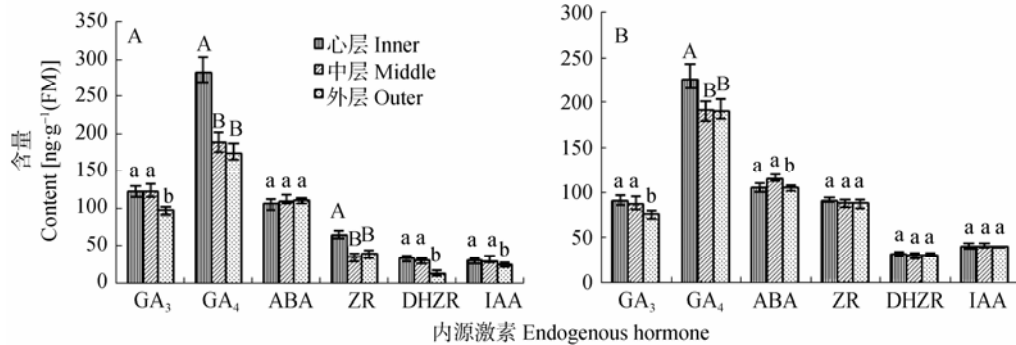


图 1 胡萝卜开裂肉质根迅速膨大中期(A)和膨大末期(B)横向不同部位的激素含量的变化

Fig. 1 Changes of hormone contents across transverse cross-sections of carrot cracked root on metaphase (A) and telophase (B) of fast thickening stage

不同大、小写字母表示处理间差异达到显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)水平, 下同。Different capital and small letters represent significant difference among treatments at 0.05 and 0.01 levels. The same below.

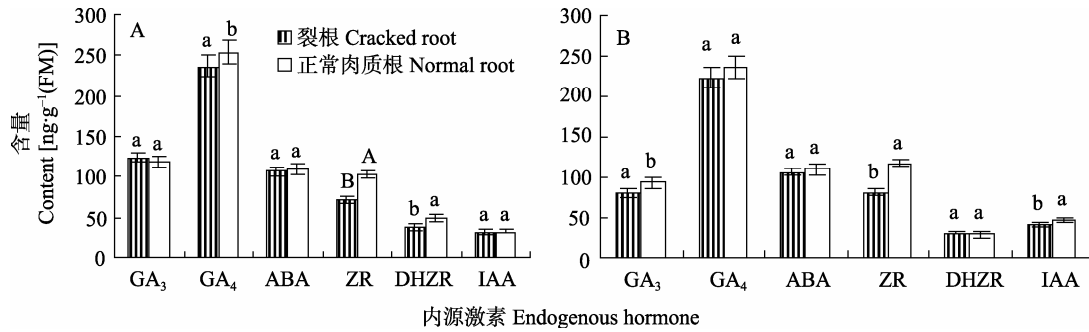


图 2 胡萝卜肉质根迅速膨大中期(A)和膨大末期(B)正常与开裂肉质根内源激素含量

Fig. 2 Hormone contents in normal and cracked roots on metaphase (A) and telophase (B) of fast thickening stage of carrot

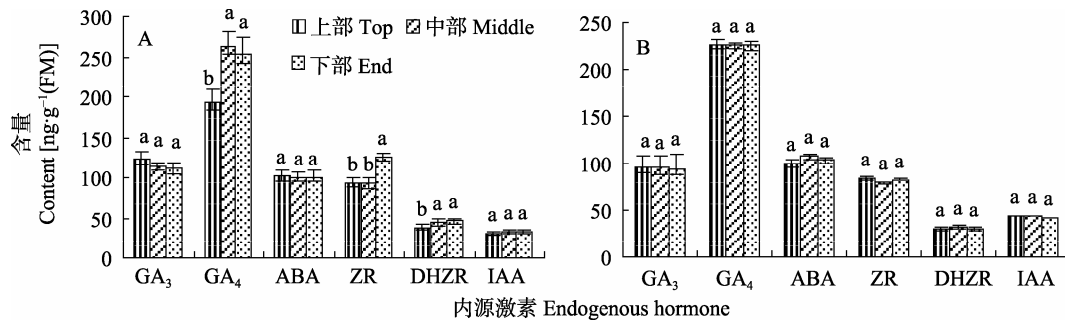


图 3 胡萝卜畸形肉质根迅速膨大中期(A)和膨大末期(B)纵向不同部位激素含量的变化

Fig. 3 Changes of hormone contents in longitudinal cross-sections of malformed root of carrot on metaphase (A) and telophase (B) of fast thickening stage

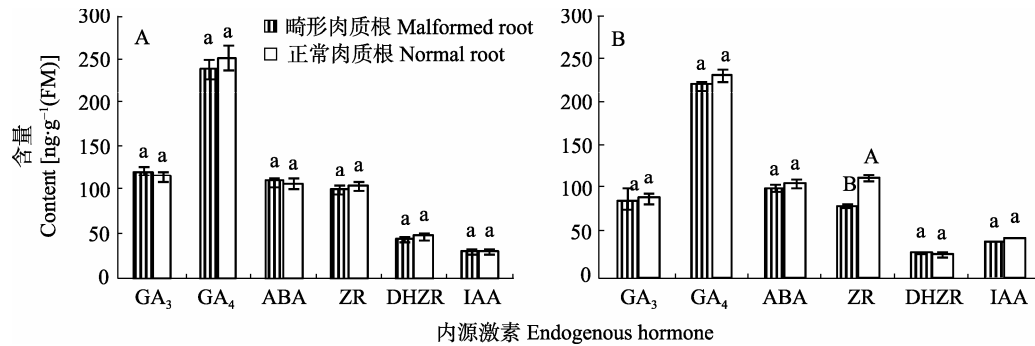


图 4 胡萝卜肉质根迅速膨大中期(A)和膨大末期(B)正常与畸形肉质根内源激素含量

Fig. 4 Hormone contents in normal and malformed roots on metaphase (A) and telophase (B) of fast thickening stage of carrot

内源 DHZR 和 IAA 含量分布呈尾端优势或均匀化,而在正常肉质根中为顶端优势^[2],同时除内源 ZR 外,畸形肉质根与正常肉质根的内源激素总含量差异不显著,表明畸形肉质根的形成与其纵向的 GA₄、ZR、DHZR 和 IAA 含量分布态势的改变有一定关系。

3 讨论与结论

植物激素在植物形态构建中发挥重要的调控作用,如 IAA 调控植物的顶端优势,细胞激动素可解除植物的顶端优势,赤霉素能促进植物节间的伸长等。细胞分裂素主要参与前期器官建成,并促进细胞分裂,增加库容,提高贮藏能力^[13]。GA 和 IAA 主要参与同化物的调运^[14-15]。ABA 的主要作用是促进碳水化合物向块根内的运转和沉积^[16-18]。胡萝卜正常肉质根内源激素含量分布在纵向呈顶端优势、在横向呈外层优势^[2],内源激素纵横向分布态势调控同化优先向肉质根的顶部、尾部与外部运输和沉积,使肉质根按“V”字形正常膨大。本试验发现胡萝卜开裂肉质根内源 GA₃、GA₄、ZR 等含量在其横切面的中层、外层或外层显著降低,从而减缓了外层或中层、外层细胞的生长活性与同化物由心层向外层运输的极性,从而诱导了肉质根的开裂;畸形肉质根内源 GA₃、GA₄、ZR 和 DHZR 的纵向分布仅为尾部优势,减弱或消除了肉质根伸长生长的顶端优势,从而诱导了畸形根的形成。畸形肉质根的形成与内源激素含量空间分布的关系密切。

开裂肉质根有深、浅沟裂或长、短口裂多种类型。土壤干湿度剧烈变化诱导肉质根的开裂,直根生长点的破坏诱发畸形肉质根的形成^[12]。干旱处理的棉花叶片内源脱落酸(ABA)和生长素(IAA)含量升高、细胞分裂素(ZR)和赤霉素(GA)的含量降低^[19]。胡萝卜土壤干湿度剧烈变化可能引起肉质根内源激素的外层优势分布态势的改变,而层间分布态势改变的多样性可能是诱导深、浅沟裂或长、短口裂等多类型开裂根形成的内因之一,而肉质根复水过程

中机械膨胀力则是导致肉质根开裂的外因之一。同样肉质根内源激素的纵向分布态势的改变是诱导畸形根形成的内因之一,而直根生长点破坏是诱导外因。胡萝卜畸形根的形成是内源激素通过与环境因子的互作调控而形成的。

参考文献

- [1] 庄飞云, 欧承刚, 赵志伟. 胡萝卜育种回顾及展望[J]. 中国蔬菜, 2008(3): 41-44
- [2] 杨永岗, 张化生, 李亚莉, 等. 高原夏季胡萝卜肉质根内源激素变化及其与先期抽薹的关系[J]. 园艺学报, 2010, 37(7): 1102-1108
- [3] 许智宏, 李家洋. 中国植物激素研究: 过去、现在和未来[J]. 植物学通报, 2006, 23(5): 433-442
- [4] Zhuang X L, Jiang J F, Li J H, et al. Over-expression of OsAGAP, an ARF-GAP, interferes with auxin influx, vesicle trafficking and root development[J]. Plant J, 2006, 48(4): 581-591
- [5] Shen Y Y, Wang X F, Wu F Q, et al. The Mg-chelatase H subunit is an abscisic acid receptor[J]. Nature, 2006, 443(7113): 823-826
- [6] Frascaron E, Tuberosa R. Effect of abscisic acid on pollen germination and tube growth of maize genotypes[J]. Plant Breeding, 1993, 110: 250-254
- [7] Jones R J, Brenner M L. Distribution of abscisic acid in maize kernel during grain filling[J]. Plant Physiology, 1987, 83(4): 905-909
- [8] Clifford P E, Offler C E, Patrick J M. Growth regulators have rapid effects on photosynthate unloading from seed coats of *Phaseolus vulgaris* L.[J]. Plant Physiology, 1986, 80(3): 635-637
- [9] Teitz A, Ludwig M, Dingkuhn M, et al. Effect of abscisic acid on the transport of assimilates in barley[J]. Planta, 1981, 152(6): 557-561
- [10] Ackerson R C. Abscisic acid and precocious germination of somatic embryos in soybeans[J]. Journal of Experimental Botany, 1984, 35(3): 414-421
- [11] 杨永岗, 张化生, 李亚莉, 等. 高原夏季胡萝卜肉质根膨大与内源激素含量的关系[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 342-346
- [12] 马大燮, 马光灼, 王化, 等. 中国蔬菜栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 280-282
- [13] Michael G, Beringer H. 激素在小麦产量形成中的作用[J]. 国

- 外农学—麦类作物, 1986(5): 33-35
- [14] 刘仲齐, 吴兆芬, 俞世蓉. 吲哚乙酸和脱落酸对小麦籽粒淀粉积累的影响[J]. 南京农业大学学报, 1992, 15(1): 7-12
- [15] 高松洁, 王文静, 夏国军, 等. 小麦大粒品种内源 CA_3 及 ABA 含量的变化规律[J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(3): 213-215, 219
- [16] Matsuo T, Mitsuzono H, Okada R, et al. Variations in the levels of major free cytokinins and free abscisic acid during tuber development of sweet potato[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 1988, 7(4): 249-258
- [17] Nakatani M, Komeichi M. Changes in the endogenous level of zeatin riboside, abscisic acid and indole acetic acid during formation and thickening of tuberous roots in sweet potato[J]. Japan Journal of Crop Science, 1991, 60(1): 91-100
- [18] Sugiyama T. Cytokinins in developing tuberous roots of sweet potato[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1989, 53(1): 49-52
- [19] 刘瑞显, 郭文琦, 陈兵林, 等. 氮素对花铃期干旱及复水后棉花叶片保护酶活性和内源激素含量的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(9): 1598-1607

“百人计划”招聘启事

中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心(以下简称中心)面向国家水安全、粮食安全、生态环境安全的重大战略需求和农业资源与生态学前沿领域开展应用基础研究。根据中心科研布局与学科发展的需要, 现诚聘海内外杰出人才若干名。

一、招聘研究领域

交叉前沿、农业水资源可持续利用及品种选育、区域与农田水循环、农田面源污染、生态系统过程及管理、农业生物技术、农业信息与节水等相关领域的应用基础研究。

二、招聘条件

1. 具有中国国籍的公民或自愿放弃外国国籍来华或回国定居的专家学者, 年龄一般不超过 45 周岁, 身体健康;
2. 恪守科学道德, 学风正派、诚实守信、严谨治学、尊重他人, 具有团队合作精神, 并对所招聘的研究领域有浓厚研究兴趣和艰苦创业的奉献精神;
3. 具有博士学位且在相关研究领域有连续 3 年以上在海外科研工作经历、在国外获得相应职位, 或在国内本学科领域已取得有影响的科研成果且获得研究员(教授)职位;
4. 独立主持或作为主要骨干参与过课题(项目)研究的全过程并做出显著成绩;
5. 在本学科领域有较深的学术造诣, 做出过具有国际水平的研究成果, 在重要核心刊物上发表过 3 篇及以上有影响的学术论文并被引用(第一或通讯作者), 或掌握关键技术、拥有重大发明专利等, 其研究水平足以担当我中心的学术带头人;
6. 在国内外学术界有一定的影响, 能把握本学科领域的发展方向, 具有长远的战略构思, 能带领一支队伍在国际科学前沿从事研究并做出具有国际水平的创新成果。

三、岗位及待遇

1. 聘为研究员(全职)、研究组组长、研究生导师;
2. 入选“百人计划”后由中国科学院提供科研经费 200 万元人民币;
3. 研究中心提供每年 30 万元人民币的研究组研究经费;
4. 研究中心创新领域前沿研究课题 1 项, 经费 50 万元人民币;
5. 依据科研工作需要提供 100 m^2 的科研用房(待新科研大楼建成后再行改善), 以及所需的相关设施与试验用地, 并配备选聘的科研助手;
6. 基本年薪 20 万元人民币加研究生导师津贴, 绩效奖励根据业绩发放;
7. 购房补贴 90 万元人民币;
8. 10 万元人民币的安家费;
9. 享有中心其他的良好福利待遇;
10. 协助安置配偶就业和子女就学, 随迁配偶在暂未落实工作期间, 可享受引进人才配偶生活补贴 1000 元/月, 发放时间不超过 12 个月。

四、应聘材料

1. 填写《中国科学院“百人计划”候选人推荐(自荐)表》;
2. 相关证明材料复印件(已取得的重要科研成果证明、国内外任职情况证明、最高学位证书、身体健康状况证明等);
3. 发表论文目录及代表性论文 3 篇(全文, 复印件);
4. 2 位教授级国内外同行的推荐信函;
5. 本人认为有必要提供的其他相关材料。

五、联系方式

有意者请将本人应聘材料电子文档发至以下联络方式(请在邮件主题上注明: 姓名+百人计划+研究领域或方向):

联系人: 韩一波

电 话: 86-311-85871740

传 真: 86-311-85815093

E-mail: ybhan@genetics.ac.cn

网 址: www.sjziam.ac.cn