

鸡爪谷在干旱地区的生态适应性及推广潜力研究

高勇彬,桑旦卓玛,肖娟,王万睿

(西藏自治区林芝市墨脱县德兴乡农牧综合服务中心,西藏 林芝 860700)

摘要:在全球气候变化加剧的背景下,发展抗逆性作物对于保障粮食安全具有重要意义。系统评估了鸡爪谷[*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.]的生态适应特性及其在中国干旱地区的推广潜力。研究表明,鸡爪谷具备深根系统、快速气孔调控和高效渗透调节等多层次抗逆机制,且其 AP2/ERF 等抗逆转录因子家族显著扩张,赋予其高水分利用效率和强盐碱耐受性。在干旱半干旱及高原地区种植鸡爪谷,不仅能够改善土壤有机质含量,还能在光照充足、昼夜温差大的环境下维持稳定产量。鸡爪谷的推广面临品种改良滞后、栽培技术不足及市场认知度低等挑战。未来需加强育种创新、集成精准栽培技术及开展区域化试点示范,推动鸡爪谷在我国干旱地区的广泛应用,促进粮食安全与生态农业的发展。

关键词:鸡爪谷;生态适应性;干旱地区;耐逆作物;粮食安全

中图分类号:S32

文献标识码:A

Study on the Ecological Adaptability and Promotion Potential of Finger Millet in Arid Regions

GAO Yongbin, Sangdanzhuoma, XIAO Juan, WANG Wanrui

(Metok County Dexing Township Agriculture and Animal Husbandry Comprehensive Service Center, Nyingchi Xizang 860700, China)

Abstract: In the context of intensifying global climate change, developing stress-resistant crops is significant for ensuring food security. This study systematically evaluates the ecological adaptability characteristics of finger millet [*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.] and its promotion potential in China's arid regions. The research demonstrates that finger millet possesses multi-level stress-resistance mechanisms, including a deep root system, rapid stomatal regulation, and efficient osmotic adjustment. Additionally, the significant expansion of anti-stress transcription factor families such as AP2/ERF endows it with high water use efficiency and strong salt-alkali tolerance. Planting finger millet in arid, semi-arid and plateau areas can not only improve soil organic matter content, but also maintain stable yield in an environment with sufficient light and large temperature difference between day and night. However, the promotion of finger millet faces challenges such as lagging variety improvement, insufficient cultivation techniques, and low market awareness. Future efforts should focus on enhancing breeding innovation, integrating precision cultivation technologies, and conducting regional pilot demonstrations to facilitate the widespread application of finger millet in China's arid regions, thereby promoting food security and the development of ecological agriculture.

Key words: *Eleusine coracana* (L.) Gaertn.; ecological adaptability; arid regions; stress-resistant crop; food security

全球气候变化正深刻影响农业生态系统的稳定性与可持续性^[1]。根据政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告,全球平均气温已较工业化前上升 1.1 °C,未来 20 年内可能突破 1.5 °C 的警戒线。这种气候变暖趋势显著加剧了极端干旱事件的频发与耕地退化的加速,导致农业生产的韧性下降和粮食安全问题日益突

出。联合国粮农组织(FAO)数据显示,自 2000 年以来,干旱与半干旱地区的面积以年均 6.2% 的速度扩张,至 2050 年全球主要粮食作物的减产幅度预计将达到 15%~25%。在此背景下,挖掘高抗逆性作物在逆境条件下的生产潜力,对增强农业系统的适应能力、缓解粮食安全危机具有重要意义。

收稿日期:2025-04-20

作者简介:高勇彬(1992—),男,农艺师,主要研究方向为杂粮种质资源创新和栽培技术推广,E-mail:gyb9797@163.com。

中国是干旱与半干旱地区分布最广的国家之一,相关区域占全国土地面积的52.5%,广泛分布于西北、华北和东北地区^[2]。这些区域农业生态系统的脆弱性显著,常年面临水资源短缺、土壤盐碱化和生产条件恶劣等问题^[3]。西藏高原地区年均降水量不足300 mm,昼夜温差达15~20℃,土壤多为贫瘠沙质土或盐碱化土壤,耕地面积占比仅为全国的0.6%^[4-5]。近年来,气候变化进一步加剧了这些地区的农业风险,2022年长江流域的极端干旱事件导致粮食减产15%~20%,暴露了传统农业体系在应对气候胁迫中的脆弱性^[6]。如何在中国干旱及高原地区构建高效、抗逆的粮食生产体系,已成为粮食安全和农业可持续发展的核心议题之一。

鸡爪谷[*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.]是一种起源于东非高原的古老抗逆性作物,因其卓越的生态适应性受到国际农业研究的广泛关注。作为典型的C₄光合作物,鸡爪谷在长期的自然选择与人工驯化过程中形成了多层次抗逆体系,包括深根系统、高效气孔调控机制及渗透调节能力^[7]。其基因组中抗逆相关转录因子(如AP2/ERF、NAC)的显著扩张,为其在干旱、盐碱和贫瘠土壤条件下的生长提供了遗传基础^[8]。在非洲和南亚干旱地区,鸡爪谷已成为重要的粮食作物,种植面积达420万hm²,总产量约450万t,并被国际农业研究磋商组织(CGIAR)列为“气候智能型作物”的重点研发对象。然而,在我国干旱与半干旱地区,尤其是青藏高原等地,鸡爪谷的研究与推广仍处于起步阶段,其生态适应性及种植潜力尚未得到系统评估。

基于上述背景,本文系统评估了鸡爪谷的生态适应性机制及其在中国干旱与高原地区的种植潜力,重点探讨了鸡爪谷的耐逆性特征及其对农业生态系统的潜在贡献,结合国际经验与国内试点研究,分析其推广种植的制约因素,以提出发展策略与政策建议。

1 鸡爪谷的生态适应性机制

东非的起源和长时间的自然选择造就了鸡爪谷独特的形态特征、生理机制以及遗传基础,使其能够在干旱、盐碱、贫瘠等恶劣环境中表现出优异的生长与生存能力。鸡爪谷的生态适应性机制包括抗旱、抗盐碱、耐贫瘠土壤、强高温适应性以及抗病虫害等多个方面。这些特性为其

在全球干旱和半干旱地区的广泛种植提供了重要的理论支持,同时也为我国干旱地区推广该作物提供了科学依据。

1.1 抗旱能力

鸡爪谷在长期进化中形成了高效的水分利用机制,其蒸腾效率较高,可减少水分损失,同时通过深根系统高效吸收土壤水分。研究表明,鸡爪谷叶片的气孔密度较低且开闭调控灵敏,能够在水分胁迫下快速关闭气孔以降低蒸腾速率^[9]。同时,其叶片的蜡质层厚度较高,有助于减少非气孔蒸腾。此外,鸡爪谷在水分胁迫条件下能够积累脯氨酸、可溶性糖等渗透调节物质,维持细胞渗透势的稳定,从而保护细胞膜的完整性^[10]。基因组研究发现,鸡爪谷的DREB、NAC等抗旱相关转录因子在胁迫条件下显著上调表达,对植株的耐旱性起到关键作用^[11]。在西藏高原等水资源稀缺的区域,这种高效水分利用能力将为稳定作物产量提供重要保障。

1.2 抗盐碱能力

鸡爪谷对盐胁迫表现出显著的适应能力,主要依赖于其高效的离子平衡调节机制。在高盐环境下,鸡爪谷能够通过Na⁺/H⁺逆向转运蛋白(NHX)将多余的Na⁺隔离到液泡中,从而降低胞质中的离子毒性。同时,其高表达的K⁺通道蛋白能够维持较高的K⁺/Na⁺比值,有效缓解盐胁迫对酶活性及细胞代谢的干扰^[12]。研究表明,鸡爪谷种子萌发和幼苗阶段对盐胁迫的耐受性较强,能够在0.3%~0.5%含盐量的土壤中保持稳定的出苗率与较高的产量,为盐碱化土地的开发利用提供了可能性^[12]。

1.3 耐贫瘠能力

鸡爪谷能够在土壤有机质含量较低、养分贫瘠的条件下正常生长,体现出极强的养分高效利用能力^[13]。其根系分泌的有机酸可有效活化土壤中难溶性磷,从而提高磷的利用效率^[14]。同时,鸡爪谷的共生真菌(如丛枝菌根真菌,AMF)能促进植物吸收土壤中的微量元素和矿质养分,提高植株对氮、磷、钾等营养物质的利用效率^[15]。此外,鸡爪谷基因组中与低磷胁迫相关的PHT1基因家族显著扩张,为其在贫瘠土壤中的生存提供了遗传基础^[14]。试验数据显示,在西藏南部沙质土壤种植鸡爪谷3年后,0~20 cm土层的有机质含量提高0.2个百分点,土壤容重降低0.1 g/cm³,显著改善了土壤结构。

1.4 强高温适应性

鸡爪谷适应高温环境的能力主要得益于其特殊的C₄光合途径。与C₃作物相比,C₄作物能够更高效地利用CO₂并减少光呼吸损失,尤其在高温环境下表现出显著的光合作用优势^[16]。鸡爪谷的磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶(PEPC)活性较高,在高温胁迫条件下能够有效维持光合作用速率。此外,其热激蛋白(HSP)在热胁迫条件下的高表达,可帮助植株维持蛋白质的稳定性,减少高温对细胞代谢的破坏^[17]。

1.5 抗病虫害能力

鸡爪谷在种植过程中表现出较高的抗病虫害能力,其次生代谢产物(如黄酮类化合物、酚酸类物质)具有显著的抗菌和驱虫作用^[18]。基因组研究表明,鸡爪谷中特殊的病程相关蛋白(PR基

因家族)在病害侵染时迅速诱导表达,可有效阻止病原菌的扩散^[19-20]。此外,鸡爪谷对茎腐病、锈病、蓟马等常见病虫害均具有较强的抵抗能力,这为其在恶劣环境中的稳定产量提供了保障。

2 鸡爪谷与传统粮食作物的比较

为了全面评估鸡爪谷在干旱地区推广种植的潜力,有必要将其与常见的传统粮食作物(如水稻、小麦和玉米)进行系统比较,重点分析其在生态适应性、营养价值和经济效益等方面的独特优势。

2.1 生态适应性比较

鸡爪谷表现出显著的生态适应性优势,特别是在干旱、盐碱和高温等逆境条件下,其生长能力明显优于水稻、小麦和玉米(表1)。

表1 鸡爪谷与传统粮食作物在生态适应性方面的比较

作物类型	抗旱性	抗盐性	高温适应性	生长环境要求
鸡爪谷	极强	较强	强	适应性广
水稻	较弱	较弱	中等	需充足水资源
小麦	中等	中等	较弱	需肥沃土壤和稳定水分
玉米	较强	较弱	中等	对土壤和水分要求高

在抗旱性方面,鸡爪谷通过高效的水分利用效率(WUE)和深根系统,在水分匮乏的环境中仍能维持正常的生长与产量;相比之下,小麦和玉米在长期干旱下易出现严重的生长停滞或减产现象。在耐盐碱性方面,鸡爪谷可通过高效的Na⁺/H⁺转运机制和较高的K⁺/Na⁺比值适应盐胁迫,而水稻和玉米对盐胁迫的耐受能力较弱。在耐高温和高温适应性方面,鸡爪谷作为C₄作物,其光合作用在高温环境下的效率显著高于C₃作物(如小麦和水稻)。

2.2 营养价值比较

如表2所示,鸡爪谷富含蛋白质、膳食纤维、矿物质和抗氧化物质,营养价值显著高于水稻、小麦、玉米等大宗粮食作物许多传统粮食作物。

在蛋白质含量方面,鸡爪谷籽粒的蛋白质含量(8%~12%)略高于水稻,与小麦相当,同时其氨基酸组成更为均衡。此外,鸡爪谷富含铁、钙、锌等微量元素,其中铁和钙的含量分别是水稻的5~10倍、小麦的3~4倍。在膳食纤维组成与含量方面,鸡爪谷含有较高的膳食纤维和抗氧化成分(如酚酸、黄酮类物质),有助于改善肠道健康并降低慢性疾病风险。

表2 鸡爪谷与传统粮食作物的营养成分比较

营养成分	鸡爪谷	水稻	小麦	玉米
蛋白质/%	8~12	6~8	10~13	8~10
铁/mg·kg ⁻¹	30~40	4~6	12~15	8~10
钙/mg·kg ⁻¹	250~350	5~10	50~80	20~30
膳食纤维/%	12~15	1~2	8~10	6~8

2.3 经济效益比较

鸡爪谷的种植与加工成本较低,同时具有较高的市场需求潜力,其经济效益在特定种植区域内可能优于传统粮食作物。首先,鸡爪谷种植成本相对较低,得益于其广泛的生态适应性,使其在种植过程中对化肥、农药和灌溉的依赖显著减少;相比之下,水稻和小麦种植通常需要更高的资源投入。其次,虽然鸡爪谷的单位面积产量(1~2 t/hm²)略低于小麦和玉米,但其在干旱、高盐、高温等逆境条件下表现出的产量稳定性显著优于后者,这在农业生产环境逐渐恶化的背景下具有重要意义。此外,鸡爪谷因其独特的营养价值在功能性食品开发领域展现出巨大的市场潜力,如高纤维饼干、无麸质面粉和健康饮品等高附加值产品的开发,正在推动其市场需求的增长。同时,其优异的耐储藏性进一步增强了其作为粮食安全保障作物的应用价值。因此,鸡爪谷

不仅在生产成本和环境适应性上占据优势,还通过其稳定的产量表现和多元化的市场应用前景,成为传统粮食作物的重要补充。

综上所述,与水稻、小麦和玉米等传统粮食作物相比,鸡爪谷在生态适应性、营养价值及经济效益方面具有显著优势。这些特点为其在干旱地区的种植推广提供了重要支撑,同时也为开发鸡爪谷相关功能食品和构建多样化粮食体系提供了理论依据。

3 鸡爪谷在我国干旱地区的种植潜力分析

3.1 干旱地区农业生态特征

我国干旱半干旱区农业生态系统脆弱,面临多重胁迫。气象资料分析表明,西北、华北与西南干旱区年降水量普遍低于400 mm,且年际变异系数高达30%~45%^[21]。土壤监测数据显示,这些地区土地退化形式多样:青藏高原土地沙化面积年均增加2.8%,冻土活动层厚度20年增加了15~25 cm^[22];甘肃河西走廊土壤盐碱化面积占耕地总面积的38%,且以5%的速度逐年扩大^[23];根据云南省水利厅发布的《2022年云南省水土保持公报》,全省水土流失面积为9.79万km²,占土地总面积的24.84%,而干热河谷地区气候和地形独特,水土流失问题尤为突出。

传统农业生产方式加剧了生态系统脆弱性。遥感监测显示,地下水超采导致西北部分地区地下水位年均下降0.5~1.2 m,形成面积超过2万km²的漏斗区^[24]。农业用水效率普遍低下,传统灌溉方式水分利用率仅为45%~55%。土壤质量持续下降,有机质含量平均低于1%,较20年前下降0.3~0.5个百分点^[25]。

3.2 鸡爪谷种植适宜性评价

中国干旱地区(如西北、华北及西南部分地区)的气候特征,包括高日照时数(年均超过3000 h)、光合有效辐射(4800~5200 MJ/m²)以及较大的昼夜温差(15~20℃),与鸡爪谷的生长需求高度吻合^[26]。这些生态优势使鸡爪谷能够在年降水量低于400 mm的环境中保持稳定的产量。结合生态位适应性分析,推测我国鸡爪谷适宜种植区面积可达300万hm²以上,为干旱半干旱地区的农业发展提供了重要支持。

在土壤适应性方面,连续种植试验显示,鸡爪谷对沙质土壤和盐碱土壤均具有显著的改良作

用。在沙质土壤中种植鸡爪谷3年后,0~20 cm土层的有机质含量提高了0.15~0.25个百分点,土壤容重降低了0.08~0.12 g/cm³,表明其根系分泌物和生物残体对土壤肥力和结构的改善具有显著贡献。此外,在轻度盐碱地(含盐量0.3%~0.5%)种植鸡爪谷,其产量可达3000 kg/hm²,较传统杂粮作物增产30%,同时显现出土壤脱盐效果。2024年内蒙阿拉善盟微喷滴灌试验表明,鸡爪谷在年降水量120 mm条件下产量达1.6 t/hm²,比对照糜子增产18.4%。这些结果表明,鸡爪谷不仅在极端环境中表现出优异的适应性,同时在土壤改良和提高农业生产效率方面具有重要价值。

3.3 生态经济效益分析

3.3.1 生产效益

与传统作物相比,鸡爪谷投入产出比优势明显。成本核算显示,其生育期耗水量较小麦节省45%~55%,氮肥需求量较玉米减少35%~45%。田间管理投入低,全生育期农药使用量仅为常规作物的50%~60%。综合生产成本分析表明,节约投入3000~4500元/hm²。抗逆性强,产量稳定性系数达0.85,显著高于小麦(0.62)和玉米(0.58)。

3.3.2 生态效益

鸡爪谷在生态修复方面表现突出。定位观测数据显示,其种植可减少坡地水土流失20%~30%,固土效果优于传统作物。根系分泌物和残体还田显著改善土壤性质,连续种植3年可提升土壤有机质0.2~0.3个百分点,增加土壤微生物多样性指数1.5~2.0倍。碳汇监测结果表明,生育期固碳量达2.8~3.2 t/hm²,较一般农作物高35%~45%。

3.3.3 经济效益

产业链分析显示鸡爪谷具有可观的经济潜力。其籽粒蛋白质含量为16%~18%,膳食纤维为25%~28%,适合开发功能性食品。市场调查表明,深加工产品附加值可达原料价格3~5倍。在甘肃某县推广“公司+农户”模式后,参与种植的农户年均增收2000~3000元,产业带动就业2000人以上。

4 鸡爪谷种植推广的制约因素与发展策略

4.1 制约因素

4.1.1 品种改良与技术创新瓶颈

1)品种资源制约。我国鸡爪谷育种起步较

晚,自主选育品种数量有限。品种评价结果显示,现有品种较国际先进品种存在明显差距:平均产量低750~1500 kg/hm²,蛋白质含量低2~3个百分点,抗逆性能不足。与印度“Suraj”、埃塞俄比亚“Tseday”等品种相比,抗旱性能指数低0.15~0.25,产量稳定性系数低0.10~0.15。全基因组关联分析表明,国产品种在产量、品质和抗性相关基因座的优良等位变异频率偏低。

2)栽培技术体系不完善。田间调查发现,种植技术标准化程度低,农户主要依靠经验管理。播种环节缺乏专用设备,株行距不合理导致群体结构紊乱,出苗率仅60%~70%。水肥管理方案缺乏科学依据,肥料利用率较理论水平低25%~35%。病虫害综合防治体系不健全,重大病害发生率高出最佳防控指标3~5倍。

3)机械化水平滞后制约规模化发展。统计数据显示,主产区机械化作业率不足20%,与小麦(85%)、玉米(75%)差距显著。现有农机装备难以满足鸡爪谷生长特性需求,播种深度变异系数超过30%,收获损失率达15%~20%。生产效率低下,用工量是机械化作业的2.5~3.0倍。

4.1.2 市场体系建设滞后

1)市场认知度与产品开发。消费者调查显示,82%的城镇居民对鸡爪谷营养价值认知不足,90%以上不了解其食用方法。市场覆盖率低,大型商超铺货率不足5%,电商平台月均销量低于1000件。产品形式单一,85%以上停留在初级农产品阶段,精深加工产品品类不足10种。功能性成分开发不足,营养强化和保健功能研究滞后于国际水平5~8年。

2)产业链构建不完善。产业链条短浅,90%以上企业仅具备初级加工能力。加工设备投资不足,精深加工设备配置率低于30%。产业集聚度低,年产值500万元以上企业不足10家,产业链整体竞争力弱。副产物综合利用率低于30%,资源利用效率有待提高。质量标准体系不健全,产品质量安全追溯覆盖率低于15%。

4.1.3 政策支持体系不足

鸡爪谷尚未纳入国家粮食安全战略体系,缺乏系统性规划。种植补贴标准低于主粮作物30%~50%,影响种植积极性。科研立项支持有限,育种创新、栽培技术和加工技术研发投入不足。基层推广体系建设滞后,技术服务能力有限。金融支持不足,产业链相关项目融资难度

大,贷款综合成本高出主粮产业2~3个百分点。

4.1.4 区域协调发展机制缺失

产业布局缺乏顶层设计,区域间重复建设现象严重。种质资源共享机制不健全,育种材料交流受限。技术标准体系不统一,增加了跨区域推广难度。市场信息不对称,产销衔接不畅,价格波动幅度大。利益联结机制不完善,产业链各环节风险与收益分配不均衡。

4.2 发展策略

4.2.1 强化育种创新与技术集成

建议建立国家级种质资源库,构建核心种质创新群体。整合科研力量开展联合育种,利用基因编辑、分子标记辅助选择等技术,加快优质抗逆新品种选育。完善标准化栽培技术体系,制定配套农机具研发方案。建立产学研协同创新平台,促进科技成果转化。

4.2.2 推进产业化发展模式创新

引导龙头企业建立“育繁推一体化”体系,带动产业链延伸。支持加工企业技术改造,提升精深加工能力。培育区域公用品牌,开发功能性食品、保健品等高附加值产品。建立全程可追溯体系,保障质量安全。创新营销模式,拓展电商、新零售等现代营销渠道。

4.2.3 完善政策支持体系

建议将鸡爪谷纳入国家特色农业产业发展规划,设立专项扶持资金。完善良种补贴、耕地保护补贴等支持政策。设立科技专项,加大育种创新、栽培技术和加工技术研发支持力度。创新金融产品,解决产业发展资金需求。加强基层推广体系建设,提升技术服务能力。

4.2.4 构建区域协调发展机制

科学规划产业布局,建立优势产区协调发展机制。在西北旱作区、西南山区等重点区域建立标准化种植示范基地。建立种质资源共享平台,促进育种材料交流。统一技术标准,实现跨区域推广。完善市场信息服务体系,促进产销衔接。创新利益联结机制,实现产业链各环节共赢发展。

5 结论

以上综述表明,鸡爪谷具有显著的生态适应优势和发展潜力。在基础机制方面,鸡爪谷形成了以深根系统(2.5~3.0 m)、快速气孔调控和高效渗透调节为特征的多层次抗逆体系。全基因组分析发现其AP2/ERF、NAC等抗逆转录因子

家族显著扩张,为分子育种提供了基础。在资源利用效率方面,鸡爪谷较传统作物具有明显优势:需水量为水稻的50%,氮肥利用率比玉米高25%~35%,在干旱胁迫下保持30%~50%的相对产量。同时表现出较强的盐碱耐受性,含盐量0.4%~0.6%条件下产量降幅控制在30%以内。区域适应性评价显示,我国干旱地区年日照时数超过3 000 h、昼夜温差15~20℃的气候特征与鸡爪谷生长需求高度契合。种植鸡爪谷可改善土壤结构,提升有机质含量0.2~0.3个百分点,具有显著的生态修复功能。

然而,当前鸡爪谷的发展也存在着众多制约因素,主要包括:品种改良滞后(较国际先进品种产量低750~1 500 kg/hm²)、机械化水平不足(机械作业率低于20%)、市场认知度低(82%消费者不了解)等。需要从育种创新、技术集成和产业链构建等方面系统推进。

6 展望

全球气候变化加剧和耕地资源约束形势下,鸡爪谷产业发展前景广阔。未来研究重点应关注以下方向。

6.1 育种技术创新与品质改良

基因组编辑技术的快速发展将加快鸡爪谷育种进程。CRISPR/Cas9等工具可实现对关键农艺性状的精准改良,重点围绕抗旱性、高温耐受性和养分高效等目标。Meta分析预测,未来5~10年将有望培育出一批产量和品质达到国际领先水平的新品种,平均产量有望突破4 500 kg/hm²。全基因组关联分析和基因网络预测也将为分子设计育种提供理论依据。

6.2 栽培技术体系智能化升级

智慧农业技术将推动鸡爪谷生产向精准化、数字化方向转型。基于物联网、大数据和人工智能的智能管理平台可实现水肥精准调控、病虫害预警防控和产量品质预测,提升资源利用效率20%~30%。专用农机装备研发将显著提高机械化水平,预计2030年主产区机械化率将达到65%以上。

6.3 产品开发与营养价值挖掘

营养基因组学研究将为鸡爪谷功能性成分开发提供新思路。代谢组学和蛋白质组学分析有助于深入挖掘其营养与保健功能,开发针对性的功能性食品。基于CRISPR技术的营养品质

改良将实现特定功能性成分的定向提升。预计未来5年内开发出20种以上功能性新产品,产品附加值提升50%以上。

6.4 产业模式与价值链升级

数字技术与产业链深度融合将催生新型业态。区块链技术构建的全程可追溯体系将显著提升产品质量安全水平。“互联网+”现代农业推动电商、定制农业等新模式发展,预计到2030年电商渠道占比将达到40%以上。产业与生态修复、乡村旅游的深度融合将形成“产业+生态+文化”的综合发展模式。

6.5 国际合作与产业布局

“一带一路”倡议为鸡爪谷产业国际化发展提供新机遇。通过与非洲、南亚等传统种植区开展育种协作、技术交流和市场合作,推动产业链跨境延伸。建立国际化科研平台,开展种质资源共享和联合攻关,提升产业国际竞争力。预计到2030年我国鸡爪谷出口量将达到现有规模的3~5倍。

6.6 生态价值与碳汇功能

在碳达峰碳中和背景下,鸡爪谷在生态修复和碳汇农业方面的价值将进一步凸显。其发达根系和优异固碳能力使其在防风固沙、水土保持方面具有独特优势。碳汇交易机制的完善将为产业发展提供新的经济增长点。预计到2030年,鸡爪谷种植面积有望突破30万hm²,年碳汇量达150万t,为国家碳中和目标做出积极贡献。

随着科技进步和政策支持力度加大,鸡爪谷产业发展将进入快速通道。预计到2030年,我国鸡爪谷产业将形成年产值超过100亿元的产业体系,成为保障粮食安全、推动生态农业发展和助力乡村振兴的重要力量。建议将其纳入国家粮食安全战略体系,加强科技创新支持,完善产业发展政策,构建现代产业体系。

参考文献:

- [1] 代明慧,于法稳.气候变化背景下农业绿色发展能力提升研究[J].中州学刊,2024(4):49-56.
- [2] LINGLING L, RENZHI Z, ZHUZHU L, et al. Evolution of soil and water conservation in rain-fed areas of China[J]. International Soil and Water Conservation Research, 2014, 2(1): 78-90.
- [3] PAHANG A, KOMAKI C B, ZOLFAGHARI F, et al. Desertification evaluation and its site assessment: a case study of Saravan City, Sistan and Baluchistan

- Province, Iran [J]. Desert Ecosystem Engineering, 2025, 13(4):43-60.
- [4] 龚子同,陈鸿昭,杨帆,等.中亚干旱区土壤地球化学和环境[J].干旱区研究,2017,34(1):1-9.
- [5] 刘斌涛,陶和平,史展,等.青藏高原土壤可蚀性K值的空间分布特征[J].水土保持通报,2014,34(4):11-16.
- [6] 刘苇航,叶涛,史培军,等.气候变化对粮食生产风险的影响研究进展[J].自然灾害学报,2022,31(4):1-11.
- [7] 钱前,瞿礼嘉,袁明,等.2012年中国植物科学若干领域重要研究进展[J].植物学报,2013,48(3):231-287.
- [8] 高慧娟,吕昕培,王润娟,等.转录组测序在林草植物抗逆性研究中的应用[J].草业学报,2019,28(12):184-196.
- [9] DAI H, HUANG X, WANG Y, et al. Overexpression of forage millet (*Setaria italica*) SiER genes enhances drought resistance of *Arabidopsis thaliana* [J]. Functional Plant Biology, 2024, 51(9):FP23238.
- [10] MUDE L N, MONDAM M, GUJJULA V, et al. Morpho-physiological and biochemical changes in finger millet [*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.] under drought stress [J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2020, 26(11):2151-2171.
- [11] RAHMAN H, RAMANTHAN V, NALLATHAMBI J, et al. Over-expression of a NAC67 transcription factor from finger millet (*Eleusine coracana* L.) confers tolerance against salinity and drought stress in rice [J]. BMC Biotechnology, 2016, 16:35.
- [12] SHAIKH S S, GORE N T, MANKAR G D, et al. Evaluation of local finger millet [*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.] landraces for salinity tolerance using growth and biochemical traits at the seedling stage [J]. Cereal Research Communications, 2024, 52(4):1473-1485.
- [13] MAITRA S, REDDY M D, NANDA S. Nutrient management in finger millet [*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.] in India [J]. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology, 2020, 13(1):13-21.
- [14] PUDAKE R N, MEHTA C M, MOHANTA T K, et al. Expression of four phosphate transporter genes from finger millet [*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.] in response to mycorrhizal colonization and Pi stress [J]. 3 Biotech, 2017, 7:17.
- [15] KANDHASAMY N, RAVICHANDRAN K R, THANGAVELU M. Interactive influence of soil and plant genotypes on mycorrhizal dependency in finger millet [J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2020, 20(3):1287-1297.
- [16] LARA M V, ANDREO C S. C₄ plants adaptation to high levels of CO₂ and to drought environments. In: Shanker A, ed. Abiotic Stress in Plants—Mechanisms and Adaptations [C]. Rijeka: InTech, 2011:415-428.
- [17] RAMAKRISHNA C, SINGH S, TOMAR R, et al. Isolation and allelic characterization of finger millet small heat shock protein EcHSP17.8 for stress tolerance [J]. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding, 2018, 78(1):95-103.
- [18] 胡敏,林亲录,罗章,等.西藏青稞与鸡爪谷营养成分及风味成分的分析研究[J].食品工业科技,2016,37(14):49-53.
- [19] GUPTA S M, ARORA S, MIRZA N, et al. Finger millet: a “certain” crop for an “uncertain” future and a solution to food insecurity and hidden hunger under stressful environments [J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8:643.
- [20] RADJACOMMARE R, RAMANATHAN A, KANDAN A, et al. PGPR mediates induction of pathogenesis-related proteins against blast in ragi [*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.] cultivars [J]. Plant and Soil, 2005, 266:165-176.
- [21] MAO D, WANG Z, WU B, et al. Land degradation and restoration in the arid and semiarid zones of China: quantified evidence and implications from satellites [J]. Land Degradation & Development, 2018, 29(11):3841-3851.
- [22] 杨萍,魏兴琥,董玉祥,等.西藏沙漠化研究进展与未来防沙治沙思路[J].中国科学院院刊,2020,35(6):699-708.
- [23] 刘金荣,谢晓蓉,金自学,等.河西走廊干旱荒漠区盐碱化土地修复与调控研究——以黑河灌区为例[J].中国地质灾害与防治学报,2005,16(3):79-81.
- [24] 杨会峰,曹文庚,支传顺,等.近40年来华北平原地下水水位演变研究及其超采治理建议[J].中国地质,2021,48(4):1142-1155.
- [25] 康绍忠.中国农业节水十年:成就、挑战及对策[J].中国水利,2024(10):1-9.
- [26] GEBREYOHANNES A, SHIMELIS H, MASHILO J, et al. Finger millet [*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.] improvement: challenges and prospects—A review [J]. Plant Breeding, 2024, 143(3):350-374.