

ICP-AES检测云南稻核心种质矿质元素含量的地带性特征

曾亚文^{1,3}, 汪禄祥², 普晓英¹, 杜娟¹, 杨树明¹, 刘家富², 邵丽梅^{1,3}

1. 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 云南 昆明 650205
2. 云南省农业科学院质量标准与检测技术研究所, 云南 昆明 650223
3. 云南农业大学, 云南 昆明 650201

摘要 采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定了云南省5个稻作区16个州市的789份地方水稻糙米中的八种矿质元素,该方法简单快速、灵敏度高、准确性好和多元素同时测定,加标回收率为97.1%~110.2%,RSD为0.7%~4.4%。结果表明:糙米元素含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)依次为 $\text{P}(3834.83 \pm 486.49) > \text{K}(2567.72 \pm 336.74) > \text{Mg}(2567.72 \pm 336.74) > \text{Ca}(153.67 \pm 55.90) > \text{Zn}(33.35 \pm 13.65) > \text{Fe}(32.08 \pm 25.51) > \text{Cu}(14.22 \pm 11.85) > \text{Mn}(13.58 \pm 3.22)$;世界生物多样性最丰富及有色金属富集的滇西北糙米P含量高,早寒武纪动物群及磷矿富集的滇中糙米Ca, Mg, Fe和Zn含量高,作物多样性突出的滇西南糙米Cu和Mn含量高;糙米高磷钾、中钙镁锰和高铁锌分布区是世界生物多样性最丰富及矿产资源富集区。首次提出云南糙米矿质元素含量的地带性特征与生物多样性中心、矿产资源富集区、生命起源及其山脉、河流有关;进一步推断地球矿质元素分布不均匀性及其山脉、河流的相互作用是生命起源的关键。文章研究为解决人类Fe, Zn和Ca等矿质营养不良和生命起源问题以及功能稻米育种生产提供参考。

关键词 电感耦合等离子体原子发射光谱法;糙米矿质元素;地带性特征;核心种质;云南地方水稻

中图分类号: O657.3, S511 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2009)06-1691-05

引言

云南是全球生物多样性最丰富的地区^[1]和世界稻种最大的遗传和生态多样性中心之一^[2,3];滇西南的临沧、西双版纳、德宏和思茅是云南稻种资源的遗传和基因多样性中心^[2-4]及其糙米矿质元素的多样性中心^[5]。目前,元素特征谱揭示湘西金属矿区人发Hg和As分别是对照的3.59和2.44倍^[6]、阿胶真伪品^[7]、四合木起源^[8]、元素分布特征与西洋参品种关系密切^[9]及不同产地的山药^[10]、油菜花粉^[11]和玉米芯元素差异大^[12]。但迄今为止,国内外未见以水稻核心种质糙米元素含量揭示矿质元素地带性特征与生物多样性和生命起源关系的报道。

电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)对周期表中70多种元素均有较低检出限、同时测定、线性范围宽、污染小、灵敏度和精密度高等优点而被广泛应用^[5-14]。789份核心种质代表了5285份云南地方水稻品种95%以上的遗传多样性^[4],它是云南稻种矿质元素多样性形成及其生态变迁的活化石。矿质元素(如P, Fe等)在云南稻种遗传和基因多样

性形成中起了重要作用^[5];位于稻种起源中心附近的越南糙米P, K和Mg明显高于澳大利亚^[15]。本文用ICP-AES法测定新平县腰街乡同田种植的789份云南地方水稻糙米八种元素(P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu和Mn),研究原产的5个稻作区16个州市糙米八种矿质元素的地带性特征及其系统地理学关系,不仅对研究矿质元素对稻种起源、演化和多样性形成具有重要的理论意义,而且为功能稻米遗传育种、品种布局及其产业化提供参考。

1 实验部分

用ICP-AES测定的仪器及光谱仪分析条件参考文献[13]。HNO₃, HClO₄, HCl为优级纯;P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu和Mn标准储备液浓度为1 000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (GSB072125722000, 国家环境保护总局标准样品研究所);混合标准液用基体匹配法配制,根据分析元素浓度大小逐级稀释成标准系列工作溶液,水为去离子水。

在云南省新平县腰街乡同田(海拔500 m)种植789份云南地方水稻核心种质,田间试验及水肥管理正常,每份稻谷

收稿日期:2008-03-06, 修订日期:2008-06-08

基金项目:国家自然科学基金项目(30660092, 30260060), 云南省院省校合作项目(2006 YX12)和人才引项目(2005 P Y01-14)资助

作者简介:曾亚文,1967年生,云南省农业科学院研究员 e-mail: zengyw1967@126.com

经砗谷机脱壳成糙米并粉碎,各准确称取 0.50 g 置于 50 mL 烧杯中,加入 5 mL HNO_3 和 1 mL HClO_4 ,电热板上加热消解至溶液清亮,蒸至近干,加入 1 mL HCl 5 mL 溶解残渣,转入 50 mL 容量瓶定容待测;样品经湿法消解后,用 HCl 溶解残渣,使待测元素转变为无机离子态;每个样品糙米各作 3 次重复,同时作样品空白处理。用等离子体发射光谱仪同时测定新平县的 789 份云南地方水稻糙米的 P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu 和 Mn 共八种矿质元素,用 SPSS11.5 软件按云南省 5 个稻作区划图和 16 个州市行政区^[4]计算糙米矿质元

素的平均值和标准差,以稻作区和州市核心种质八种矿质元素的平均值(图 1)和变异系数及 t 测验值(图 2)进行聚类分析。

2 结果与讨论

2.1 方法的精密度和回收率试验

元素分析线按检出限低、灵敏度高和干扰元素少等原则选择,根据仪器分析线波长手册选用元素的最佳分析谱线。通过加标回收试验验证方法的可靠性,添加 $0.100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的标准溶液,各元素回收率为 97.1%~110.2%;12 次平行测定 RSD 为 0.7%~4.4%,说明本法具有较好的准确度和精密度,符合分析要求(见表 1)。

Table 1 Precision and recovery of the method

元素	分析线/nm	检出限/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$	回收率/%	RSD/%
P	178.28	0.029 3	110.2	1.9
K	766.49	0.204 4	99.0	2.2
Ca	317.93	0.013 0	95.8	2.4
Mg	279.55	0.002 1	101.2	0.7
Fe	259.94	0.006 4	97.1	1.7
Zn	213.86	0.001 6	98.4	2.3
Cu	324.75	0.001 6	100.9	3.4
Mn	257.61	0.000 4	101.4	4.4

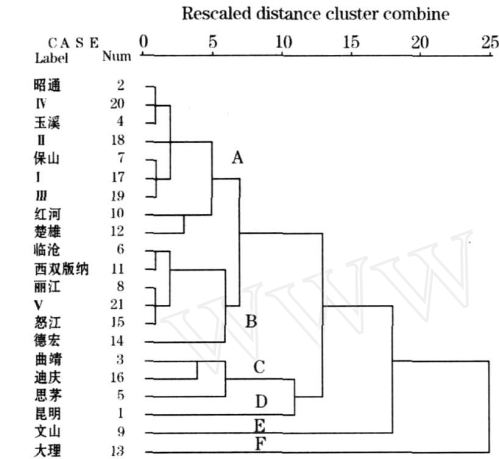


Fig. 1 Dendrogram of mean from ecological prefecture of 8 elements in brown rice of Yunnan rice

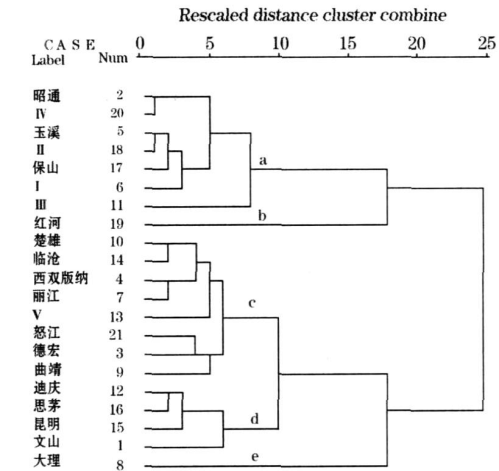


Fig. 2 Dendrogram of variation from ecological prefecture of 8 elements in brown rice of Yunnan rice

2.2 云南稻核心种质矿质元素的生态特征

云南稻核心种质八种矿质元素的生态特征列于表 2:新平热区生产 789 份云南稻糙米元素平均含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)为 $\text{P}(3\ 834.83\pm486.49) > \text{K}(2\ 567.72\pm336.74) > \text{Mg}(1\ 486.76\pm184.53) > \text{Ca}(153.67\pm55.90) > \text{Zn}(33.35\pm13.65) > \text{Fe}(32.08\pm25.51) > \text{Cu}(14.22\pm11.85) > \text{Mn}(13.58\pm3.22)$;不同稻作区间糙米 P 含量平均值为 $> > >$,即世界生物多样性最丰富的滇西北糙米 P 含量高;Ca 为 $> > > >$,Mg 为 $> > > >$,Fe 为 $> > > >$ 和 Zn 为 $> > > >$,即 4.7~5.3 亿年前地球上早寒武纪最丰富的动物群及磷矿丰富^[16]的滇中糙米 Ca, Mg, Fe 和 Zn 含量高;Cu 为 $> > > > 1$ 和 Mn 为 $> > > >$,即世界作物种质资源丰富的滇南边缘地带糙米 Cu 和 Mn 含量高;另外 K 为 $> > > >$ 。这些研究验证了前人提出的“一些矿质元素

Table 2 Ecological characteristics of mineral elements in brown rice of core collection in rice landrace in Yunnan

稻作区	份数	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
云南稻	155	3 853.63 ±458.24	2 579.62 ±334.32	166.13 ±64.94	1 525.99 ±186.08	36.55 ±29.37	34.44 ±12.99	9.30 ±9.18	13.74 ±3.36
	226	3 789.07 ±590.32	2 528.26 ±367.46	161.20 ±61.56	1 485.69 ±197.37	34.30 ±28.45	34.23 ±12.78	15.54 ±12.72	13.49 ±3.30
	321	3 856.23 ±440.82	2 586.99 ±341.74	143.89 ±48.66	1 470.76 ±181.31	28.54 ±23.02	33.58 ±15.40	15.84 ±11.83	13.76 ±3.18
	62	3 788.35 ±322.81	2 592.35 ±215.01	148.79 ±39.15	1 463.39 ±129.69	31.69 ±16.50	27.35 ±7.93	13.22 ±10.92	12.97 ±2.70
	25	3 972.44 ±497.19	2 542.20 ±206.17	145.96 ±39.82	1 517.32 ±183.95	30.75 ±12.06	30.48 ±8.13	14.35 ±13.00	12.68 ±3.19
	789	3 834.83 ±486.49	2 567.72 ±336.74	153.67 ±55.90	1 486.78 ±184.53	32.08 ±25.51	33.35 ±13.65	14.22 ±11.85	13.58 ±3.22

注: =滇中一季籼稻区; =滇南单季籼稻区; =南部边缘水陆稻区; =滇东北高原粳稻; =滇西北高寒粳稻区;表中数据为平均值 ±标准差($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

在生命起源中起重要作用'的论断:P 和 Fe 对地球早期生命起源贡献大,高温高压下 Fe 和 Ni 粒子催化氨基酸形成^[17];P 既是生命起源和生物中复制、信息、代谢和结构的关键元素^[17,18]及磷酸化氨基酸是核酸和蛋白质的共同起源物^[19];又因施磷肥导致土壤肥效低和环境污染及植酸磷束缚铁锌和铁锌缺乏影响全球 30 多亿人口^[20]等问题引发新的科学前沿问题和热点领域。

2.3 云南稻核心种质矿质元素的地区特征

云南稻核心种质八种矿质元素的地区特征列于表 3。云南省 16 个州市核心种质间糙米 P 含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 差异较大,其中糙米高 P 含量区 ($4\,076.55 \pm 193.23 \sim 3\,952.41 \pm 577.15$) 为大理、怒江、德宏、西双版纳、丽江和临沧 6 个州市,即位于世界生物多样性最丰富和有色金属富集的横断山、高黎贡山及其纵谷地带的怒江、澜沧江、金沙江和伊洛瓦底江等流域;中 P 含量区 ($3\,886.22 \pm 486.20 \sim 3\,790.52 \pm 405.43$) 为昆明、保山、楚雄、迪庆、昭通和红河 6 个州市;低 P 含量区 ($3\,760.78 \pm 414.14 \sim 3\,644.79 \pm 452.45$) 为玉溪、曲靖、文山和思茅 4 个州市。糙米高 K 含量区 ($2\,754.55 \pm 310.85 \sim 2\,624.16 \pm 306.89$) 为大理、文山、红河、楚雄、西双版纳和临沧 6 个州市,即位于 3.9 亿年前世界早泥盆世陆生植物和作物种质资源丰富的横断山、哀牢山、岩溶石山区及其相间的珠江、红河、金沙江、澜沧江和怒江流域;中 K 含量区 ($2\,611.91 \pm 405.65 \sim 2\,545.83 \pm 185.11$) 为玉溪、昭通、保山、丽江和怒江 5 个州市;低 K 含量区 ($2\,431.20 \pm 161.78 \sim 2\,401.00 \pm 303.53$) 为迪庆、思茅、德宏、曲靖和昆明 5 个州市。糙米高 Ca 含量区 ($209.54 \pm 99.38 \sim 151.16 \pm 38.49$) 为楚雄、大理、保山、红河、思茅、丽江和昭通 7 个州市;中 Ca 含量区 ($149.51 \pm 38.33 \sim 142.21 \pm 43.62$) 为怒江、曲靖、临沧、德宏和西双版纳 5 个州市,即位于世界生物多样性最丰富和有色金属富集的横断山、乌蒙山及其相间的怒江、澜沧江、金沙江、伊洛瓦底江和南盘江等流域;低 Ca 含量区 ($140.62 \pm 45.34 \sim 120.48 \pm 41.14$) 为文山、玉溪、昆明

和迪庆 4 个州市。糙米高 Mg 含量区 ($1\,693.73 \pm 176.65 \sim 1\,535.35 \pm 174.57$) 为大理、昆明、楚雄、曲靖和丽江 5 个州市,中 Mg 含量区 ($1\,534.92 \pm 213.02 \sim 1\,483.49 \pm 169.52$) 为怒江、红河、临沧、保山、文山、西双版纳和德宏 7 个州市,即位于 3.9 亿年前世界早泥盆世陆生植物和世界生物多样性最丰富和有色金属富集的横断山、哀牢山、高黎贡山、岩溶石山区及其相间的金沙江、澜沧江、怒江、珠江、红河和伊洛瓦底江等流域;低 Mg 含量区 ($1\,461.26 \pm 139.27 \sim 1\,417.74 \pm 154.47$) 为昭通、玉溪、迪庆和思茅 4 个州市。糙米高 Fe 含量区 ($85.74 \pm 45.42 \sim 43.61 \pm 27.76$) 为楚雄、大理和红河 3 个州市;中 Fe 含量区 ($35.30 \pm 20.71 \sim 30.86 \pm 10.35$) 为曲靖、保山、思茅、昭通和丽江 5 个州市,即以 4.7~5.3 亿年前地球上早寒武纪最丰富的动物群^[16];低 Fe 含量区 ($30.69 \pm 30.75 \sim 21.86 \pm 7.99$) 为昆明、怒江、德宏、西双版纳、文山、临沧、玉溪和迪庆 8 个州市,即 3.9 亿年前世界早泥盆世丰富的陆生植物及矿产资源丰富的乌蒙山、横断山、高黎贡山、哀牢山、岩溶石山区及其相间的澜沧江、怒江、珠江、红河、金沙江、伊洛瓦底江流域。糙米高 Zn 含量区 ($44.31 \pm 16.19 \sim 37.28 \pm 17.85$) 为红河、大理、昆明和曲靖 4 个州市;中 Zn 含量区 ($36.37 \pm 22.39 \sim 33.98 \pm 10.54$) 为丽江、思茅、楚雄和保山 4 个州市;低 Zn 含量区 ($32.26 \pm 13.15 \sim 27.22 \pm 8.10$) 为西双版纳、文山、临沧、怒江、玉溪、迪庆、德宏和昭通 8 个州市,即以 4.7~5.3 亿年前地球上早寒武纪最丰富的动物群^[16]、3.9 亿年前世界早泥盆世丰富的陆生植物及矿产资源丰富的横断山、岩溶石山区、哀牢山、高黎贡山及其相间的澜沧江、怒江、金沙江、珠江、红河和伊洛瓦底江流域。糙米高 Cu 含量区 ($23.54 \pm 10.69 \sim 15.16 \pm 9.72$) 为迪庆、红河、文山、临沧、大理和德宏 6 个州市;中 Cu 含量区 ($13.44 \pm 11.05 \sim 9.34 \pm 12.04$) 为昭通、思茅、怒江、丽江、玉溪和西双版纳 6 个州市;低 Cu 含量区 ($8.98 \pm 4.19 \sim 7.61 \pm 6.13$) 为楚雄、保山、昆明和曲靖 4 个州市。糙米高 Mn 含量区 ($16.64 \pm 4.42 \sim 14.08 \pm 3.43$) 为大

Table 3 Prefecture characteristics of mineral elements in brown rice of core collection in rice landrace in Yunnan

州市	份数	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
昆明	9	3 886.22 ±486.20	2 401.00 ±303.53	129.59 ±37.23	1 658.00 ±237.56	30.69 ±30.75	39.30 ±6.78	8.27 ±3.155	14.99 ±3.08
昭通	59	3 799.22 ±324.87	2 605.71 ±205.55	151.16 ±38.49	1 459.98 ±131.15	32.49 ±16.40	27.22 ±8.10	13.44 ±11.05	12.87 ±2.66
曲靖	22	3 757.32 ±410.02	2 405.05 ±258.87	144.26 ±59.20	1 554.77 ±183.87	34.54 ±29.98	37.28 ±17.85	7.61 ±6.13	14.08 ±3.43
玉溪	46	3 760.78 ±414.14	2 611.91 ±405.65	140.44 ±49.24	1 461.26 ±139.27	24.60 ±20.39	29.44 ±6.62	9.42 ±9.50	13.16 ±2.86
思茅	161	3 644.79 ±452.45	2 420.91 ±346.52	159.59 ±69.25	1 417.74 ±154.47	34.39 ±29.89	35.67 ±16.77	13.13 ±11.03	13.10 ±2.84
临沧	151	3 952.41 ±577.15	2 624.16 ±306.89	144.02 ±49.63	1 513.07 ±202.03	26.25 ±23.84	31.59 ±11.77	17.39 ±11.39	13.62 ±3.04
保山	50	3 880.62 ±517.19	2 591.84 ±296.73	189.44 ±69.83	1 499.78 ±157.97	35.30 ±20.71	33.98 ±10.54	8.48 ±7.52	12.98 ±3.03
丽江	20	3 968.80 ±440.69	2 590.45 ±244.66	159.23 ±35.91	1 535.35 ±174.57	30.86 ±10.35	36.37 ±22.39	10.95 ±16.67	13.16 ±3.75
文山	43	3 654.47 ±327.44	2 753.00 ±372.97	140.62 ±45.34	1 489.60 ±210.00	26.38 ±25.00	31.14 ±7.90	22.54 ±10.63	12.95 ±3.63
红河	56	3 790.52 ±405.43	2 725.61 ±349.58	174.79 ±49.17	1 519.11 ±208.90	43.61 ±27.76	44.31 ±16.19	22.56 ±14.75	16.20 ±3.78
西双版纳	75	3 969.53 ±502.73	2 630.84 ±254.77	142.21 ±43.62	1 487.13 ±184.52	26.71 ±20.77	32.26 ±13.15	9.34 ±12.04	13.24 ±3.15
楚雄	8	3 866.00 ±520.96	2 663.75 ±298.88	209.54 ±99.38	1 592.88 ±287.05	85.74 ±45.42	35.51 ±9.83	8.98 ±4.19	15.32 ±4.21
大理	11	4 076.55 ±193.23	2 754.55 ±310.85	197.82 ±63.55	1 693.73 ±176.65	70.40 ±35.12	40.12 ±8.29	16.29 ±13.90	16.64 ±4.42
德宏	61	3 990.61 ±482.91	2 417.54 ±387.71	142.28 ±38.13	1 483.49 ±169.52	30.03 ±13.42	28.90 ±11.31	15.16 ±9.72	13.85 ±2.90
怒江	12	4 034.17 ±534.39	2 545.83 ±185.11	149.51 ±38.33	1 534.92 ±213.02	30.26 ±14.26	30.71 ±4.04	11.67 ±6.99	13.49 ±2.91
迪庆	5	3 825.40 ±660.01	2 431.20 ±161.78	120.48 ±41.14	1 443.80 ±195.08	21.86 ±7.99	28.20 ±5.78	23.54 ±10.69	12.34 ±2.72

理、红河、楚雄、昆明和曲靖 5 个州市；中 Mn 含量区 ($13.85 \pm 2.90 \sim 13.10 \pm 2.84$) 为德宏、临沧、怒江、西双版纳、玉溪、丽江和思茅 7 个州市，即位于世界生物多样性最丰富及矿产资源富集区的横断山、高黎贡山、哀牢山及其相间的澜沧江、怒江、金沙江、伊洛瓦底江、珠江和红河流域；低 Mn 含量区 ($12.98 \pm 3.03 \sim 12.34 \pm 2.72$) 为保山、文山、昭通和迪庆 4 个州市。总之，云南稻核心种质八种矿质元素的地区特征揭示了糙米高磷钾、中钙镁锰和低铁锌分布区是世界生物多样性最丰富及矿产资源富集区，并与生命起源及其山脉、河流有关。

2.4 云南稻核心种质矿质元素的系统地理学特征

用 SPSS11.5 软件按稻作区和州市核心种质八种矿质元素的平均值聚类分析见图 1；再以其变异系数及 t 测验值聚类分析见图 2。由图 1 可知，当 $D=6$ 时可将稻作区和州市核心种质八种矿质元素的总体平均值大小分为 6 类：A 类由 4 个生态区及 5 个州市组成，即位于 4.7~5.3 亿年前地球上早寒武纪最丰富的动物群^[16]附近和哀牢山、高黎贡山、乌蒙山及其相间的怒江、澜沧江、金沙江、珠江、红河、伊洛瓦底江流域；B 类由 1 个生态区及 5 个州市组成，即以世界生物多样性最丰富与有色金属富集的滇西北、滇西南及其横断山与高黎贡山的纵谷地带和澜沧江、怒江、金沙江、伊洛瓦底江流域；C 类由 3 个州市组成，即位于横断山、哀牢山、乌蒙

山及其相间的澜沧江、金沙江、怒江和珠江流域。E 类文山是 3.9 亿年前世界早泥盆世陆生植物的富集区及典型的岩溶石山区和珠江、红河两大流域的分水岭地区；D 类昆明和 F 类大理糙米矿质元素的独特性可能与古代该区域经济发达受人为因素影响大有关。由图 2 可知，当 $D=6$ 时可将稻作区和州市核心种质八种矿质元素的变异大小分为 5 类：a 类由 3 个生态区及 5 个州市组成，即生物多样性与矿质元素多样性和环境复杂性有关；b 类南部边缘水陆稻区是云南稻种的遗传和基因多样性中心^[4]；c 类由滇西北高寒粳稻区及 7 个州市组成，该区拥有 4.7~5.3 亿年前地球上早寒武纪最丰富的动物群^[16]、3.9 亿年前世界早泥盆世丰富的陆生植物，说明糙米矿质元素组成比例及其变异程度与早期生命起源有关。d 类由 4 个州市组成，该区拥有丰富的有色金属对生物多样性影响较大。e 类丽江水稻栽培历史较短有关。总之，云南稻核心种质八种矿质元素的系统地理学特征揭示了糙米矿质元素含量高低及其变异与生物多样性及矿产资源富集区，并与生命起源及其山脉、河流有关，进一步推断地球矿质元素分布不均匀性及其山脉、河流的相互作用是生命起源的关键。

致谢：对王象坤教授和李自超博士提出许多建议及申时全硕士和张洪亮博士参与了部分工作表示衷心感谢！

参 考 文 献

- [1] Zeng Y W, Wang J J, Yang Z Y, et al. Genet Resour Crop Evol., 2001, 48(3): 297.
- [2] Zhang H L, Sun J L, Wang M X, et al. Genome, 2006, 50: 72.
- [3] Zeng Y W, Shen S Q, Li Z C, et al. Genet Resour Crop Evol., 2003, 50(6): 566.
- [4] Zeng Y W, Zhang H L, Li Z C, et al. Breeding Sci., 2007, 57(2): 91.
- [5] ZENG Ya-wen, LIU Jia-fu, WANG Lu-xiang, et al(曾亚文, 刘家富, 汪禄祥, 等). Acta Agronomica Sinica(作物学报), 2006, 32(8): 1166.
- [6] LI Yong-hua, WANG Li-zhen, WANG Wu-yi, et al(李永华, 王丽珍, 王五一, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(4): 789.
- [7] WANG Wen-jing, GUAN Ying, ZHU Yan-ying(王文静, 关颖, 朱艳英). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(9): 1866.
- [8] LIU Ying, LI Jing-feng, FENG Jin-zhao(刘颖, 李景峰, 冯金朝). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(10): 2114.
- [9] CHEN Jun-hui, XIE Ming-yong, FU Bo-qiang, et al(陈军辉, 谢明勇, 傅博强, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(7): 1326.
- [10] ZHANG Wei, ZHANG Zhuo-yong, SHI Yan-zhi, et al(张薇, 张卓勇, 施燕支, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(5): 963.
- [11] CHANG Yan-hong, XUE Guo-qing, SONG Hai, et al(常艳红, 薛国庆, 宋海, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(6): 1235.
- [12] SUN Yong, ZHANG Jin-ping, YANG Gang, et al(孙勇, 张金平, 杨刚, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(7): 1424.
- [13] ZENG Ya-wen, WANG Lu-xiang, SUN Zheng-hai, et al(曾亚文, 汪禄祥, 孙正海, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2008, 28(12): 2966.
- [14] ZENG Ya-wen, WANG Lu-xiang, DU Juan, et al(曾亚文, 汪禄祥, 杜娟, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2009, 29(5): 1413.
- [15] Phuong T D, Chuong P V, Khiem D T, et al. The Analyst, 1999, 124: 553.
- [16] Zhang X G, Siveter D J, Waloszek D, et al. Nature, 2007, 449: 595.
- [17] Huber C, Wachtershauser G. Science, 2006, 314: 630.

- [18] Pasek M A. PNAS, 2008, 105: 853.
- [19] ZHAO Yu-fen, ZHAO Guo-hui, MA Yuan(赵玉芬, 赵国辉, 麻 远). Phosphorus and Life Chemistry(磷与生命化学). Beijing: Tsinghua University Press(北京: 清华大学出版社), 2004. 1.
- [20] Cakmak I. Plant and Soil, 2008, 302: 1.

The Zonal Characterization of Elemental Concentrations in Brown Rice of Core Collection for Rice Landrace in Yunnan Province by ICP-AES

ZENG Ya-wen^{1,3}, WANG Lu-xiang², PU Xiao-ying¹, DU Juan¹, YANG Shu-ming¹, LIU Jia-fu², TAI Li-mei^{1,3}

1. Biotechnology and Genetic Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China

2. Institute of Quality Standards and Testing Technology, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China

3. Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

Abstract In the present paper, the contents of 8 elements in brown rice of 789 accessions core collection for rice landrace from 16 prefectures of five rice regions in Yunnan province were determined by ICP-AES technique. The method proves to be simple, rapid, highly sensitive and accurate, and can be used to determine many elements at the same time. Its recovery ratio obtained by standard addition method ranged from 97.1% to 110.2%, and its RSD was from 0.7% to 4.4%. The analytical results showed that the elemental concentrations ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) in brown rice are in turn of $\text{P}(3\,834.83 \pm 486.49) > \text{K}(2\,567.72 \pm 336.74) > \text{Mg}(2\,567.72 \pm 336.74) > \text{Ca}(153.67 \pm 55.90) > \text{Zn}(33.35 \pm 13.65) > \text{Fe}(32.08 \pm 25.51) > \text{Cu}(14.22 \pm 11.85) > \text{Mn}(13.58 \pm 3.22)$. The highest P content is in brown rice from the northwest Yunnan with the rich nonferrous metals and most abundance of biodiversity in the world, the highest Ca, Mg, Fe and Zn concentrations are in brown rice from the middle Yunnan with early cambrian fauna and phosphorite enrichment, and the highest Cu and Mn contents are in brown rice from the southwest Yunnan with the prominent crop diversity. The distributing zones with the highest P and K, middle Ca, Mg and Mn and lowest Fe and Zn in Yunnan are the enrichment zone of mineral resources and largest biodiversity. As far as we know, this is the first report that the zonal characteristics of mineral elemental concentrations in brown rice are associated with a lot of factors, such as biodiversity center, enrichment zone of mineral resources, origin of life, mountain ranges and rivers and so on, and further it was deduced that the asymmetry of distribution for mineral elements and its reciprocity of mountain ranges and rivers are the key of origin of life. The above results provided reliable data and theory bases for the malnourished Fe and Zn and Ca for 4 billion people in the world, origin of life, the genetic breeding and production of functional rice.

Keywords ICP-AES; Mineral elements in brown rice; Zonal characteristics; Core collection; Rice landrace in Yunnan

(Received Mar. 6, 2008; accepted Jun. 8, 2008)