



不同气候和土壤对小米品质的影响

张艾英¹, 郭二虎¹, 刁现民², 范惠萍¹, 李瑜辉¹, 王丽霞¹, 张莉³, 王瑞¹,
王军¹, 郭红亮¹, 韩芳⁴, 程丽萍¹, 吴引生¹

(¹山西省农业科学院谷子研究所/特色杂粮种质资源发掘与遗传改良山西省重点实验室, 山西长治 046011; ²中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; ³山西农业大学农学院, 山西太谷 030801; ⁴延安市农业科学研究所, 陕西延安 716000)

摘要:【目的】对不同气候条件、土壤类型上生产谷子的小米品质进行测定, 探明环境条件对小米品质的影响, 揭示其品质变化规律, 为优质谷子合理布局提供理论支撑和技术指导。【方法】试验于 2012—2017 年在气候条件和土壤类型差异较大的山西沁县和山西长治 2 个地方进行。先将 2 个试验点 0—60 cm 以上土壤分层置换, 使每个试验点同时拥有 2 种土壤, 然后采用相同的栽培措施和管理方法种植相同的谷子品种, 对两地不同土壤的养分及小米中 17 种氨基酸、蛋白质、脂肪、直链淀粉、维生素等营养成分和钾、铁、铜、锌等矿物质元素含量进行了测定, 获得 2013—2017 年 5 年测量数据, 以年际间为重复, 气候为主区, 土壤为主裂区, 其他因素为副裂区, 采用裂裂区试验统计方法进行汇总分析。【结果】不同气候条件下小米的品质有明显差异。沁县气候条件下, 小米多数氨基酸(蛋氨酸、丙氨酸、胱氨酸除外)含量、氨基酸总量、粗蛋白、VB₁、钾、铜、锌含量都较高, 且小米中有较高的胶稠度、较低的糊化温度和低的直链淀粉, 而在长治气候条件下, 小米的脂肪含量较高。不同土壤条件下, 红黏土上谷子的产量显著高于褐壤土上谷子的产量, 小米的品质也存在明显差异。红黏土上种植的小米中蛋氨酸、甘氨酸、胱氨酸、异亮氨酸、镁、铁、铜的含量较高, 而褐壤土上种植的小米中氨基酸、蛋白质、胶稠度、直链淀粉、VB₁、钙、钾、磷、钠、锌含量较高。尤其是, 褐壤土上种植的小米硒含量显著高于红黏土上种植的小米, 红黏土上种植的小米中脂肪含量显著高于褐壤土上种植的小米中的脂肪含量。【结论】气候、土壤因素影响小米品质、适口性及各种矿物质元素的积累。沁县气候条件有利于多数氨基酸、蛋白质和维生素的积累, 该气候下生产的谷子有较低的糊化温度、较高的胶稠度和低的直链淀粉, 所以该气候条件种植的小米营养品质优良, 而且适口性好; 红黏土种植的谷子有利于小米镁、铁、铜的积累, 褐壤土有利于氨基酸、蛋白质和 VB₁ 的积累, 红黏土谷子的产量显著高于褐壤土谷子的产量, 褐壤土生产的谷子可获得富硒小米。总之, 气候因素对小米的适口性影响较大, 土壤因素影响小米品质及各种矿物质元素的积累。

关键词: 气候; 土壤; 小米; 品质

Effects of Different Types of Climate and Soil on Foxtail Millet Quality

ZHANG AiYing¹, GUO ErHu¹, DIAO XianMin², FAN HuiPing¹, LI YuHui¹, WANG LiXia¹, ZHANG Li³,
WANG Rui¹, WANG Jun¹, GUO HongLiang¹, HAN Fang⁴, CHENG LiPing¹, WU YinSheng¹

(¹Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences/Shanxi Key Laboratory of Genetic Resources and Breeding in Minor Crops, Changzhi 046011, Shanxi; ²Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ³Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi; ⁴Yanan Academy of Agricultural Sciences, Yanan 716000, Shaanxi)

收稿日期: 2019-06-06; 接受日期: 2019-07-26

基金项目: 国家现代农业技术产业体系建设专项(CARS-06-13.5-A21)、山西省农业科学院生物育种工程项目(17yzgc024)、山西省农业科学院农业科技创新研究课题(YYS1703)、山西省农业科学院农业科技创新研究课题(YCX2019T05)

联系方式: 张艾英, E-mail: zay1012@126.com. 通信作者郭二虎, E-mail: guoerhu2003@163.com. 通信作者刁现民, E-mail: diaoxianmin@caas.cn

Abstract: 【Objective】 The foxtail millet grain quality under different types of climate and soil, was determined in this study, in order to discover the main natural factors on the quality of millet, and to reveal the law in quality change, and to provide technical guidance and theoretical support for the rational distribution of high-quality millet. **【Method】** This experiment was carried out at Qinxian and Changzhi, which have different types of climate and soil, during 2012 to 2017. The soil samples at the depth of 0-60 cm were exchanged between two places so that each experimental site has two soil types at the same time. The same millet cultivars were sowed at this two sites with the same fertilization. The soil nutrition, seventeen kinds of amino acids, protein, fat, amylose, VB and mineral nutrients such as K, Cu and Zn in millet grain were determined. The data during 2013 to 2017 was collected and analyzed using a split split-block design with interannual data as duplicates, climate types as the main area, soil types as the main fissure area, and other factors as the secondary fissure area. **【Result】** There are obvious differences in millet quality under different climatic conditions. The results showed that the contents of most amino acids (except methionine, alanine and cystine), total amino acids, crude protein, VB₂, K, Cu and Zn of millet grain in Qinxian were higher than in Changzhi, in contrast, the content of fat in Qinxian was lower than in Changzhi. Moreover the grain in Qinxian had higher gel consistency but lower pastification temperature and less amylose in compared with the grain in Changzhi. In addition, the yield of millet from red soil is significantly higher than that from cinnamon soil. There are obvious differences in millet quality from different types of soils. The millets harvested from red soil contained more methionine, glycine, cystine, isoleucine, magnesium, iron and copper than that from cinnamon soil. The millets harvested from cinnamon soil contained more amino acids, protein, gel consistency, starch, VB₁, calcium, potassium, phosphorus, sodium, zinc content than that from red soil. Moreover, the content of selenium of millet from cinnamon soil is significantly higher than that from red soil, but the content of millet fat from red soil was significantly higher than that from cinnamon soil. **【Conclusion】** Different types of climate and soil have effects on grain quality, millet palatability and the accumulation of mineral. Qinxian climate benefits the accumulation of most amino acids, protein and VB in millet grain. Also the grain harvested in Qinxian had higher gel consistency but lower pastification temperature and less amylose in compared with the grain in Changzhi. Therefore, the millet in Qinxian has good quality and palatability. Moreover, red soil benefits the accumulation of magnesium, iron and copper, but cinnamon soil benefits the accumulation of amino acids, protein and VB₁. In addition, the yield of millet from red soil is significantly higher than that from cinnamon soil, but millet from cinnamon soil are selenium-rich millet. In short, climate factors affect millet palatability, and soil factors affect millet quality and the accumulation of various mineral elements.

Key words: climate; soil; foxtail millet; quality

0 引言

【研究意义】 谷子 (*Setaria italica* (L.) Beauv.) 古称为粟, 属禾本科狗尾草属, 是中国北方重要的粮食作物之一, 种植面积占世界总种植面积的 80%^[1]。谷子去壳后为小米, 营养价值高, 脂肪 (多为不饱和脂肪酸)、粗纤维、维生素 B₁ 的含量明显高于大米和小麦^[2-4], 且含有丰富的矿物质和配比均衡的氨基酸^[5], 对于平衡营养、合理膳食有着重要的意义。近年来, 随着人们健康饮食观念的增强, 对小米需求量不断加大, 品质优良的小米已成为谷子产业和科研发展的目标和动力。气候条件和土壤类型是影响谷子生长发育及品质的重要因素^[6], 实践表明, 不同地域和不同土壤谷子的生长发育及品质存在很大的差异, 尤其在谷子品质上^[7], 这也是困扰小米加工企业并急需解决的问题之一, 明确气候条件与土壤类型对品质的影响, 对于服务产业及指导优质谷子合理布局具有重要的现实意义。**【前人研究进展】** 小米品质包括外观

品质、营养品质、蒸煮品质和食味品质 4 个方面。外观品质指小米的表现特性, 即商品性, 前人研究主要集中在小米的色泽、气味、碎米率等方面^[8]。营养品质是指小米中各种营养成分的含量, 前人研究主要集中在蛋白质及其主要氨基酸、脂肪、维生素、矿物质等含量方面^[9-11]。蒸煮品质和食味品质是指小米煮熟后米饭的色泽、质地等感官品质^[12], 目前, 小米适口性的研究主要集中在直链淀粉含量、糊化温度和胶稠度等方面^[13-14]。影响小米品质的主要因素有品种、土壤条件、气象因素和施肥管理等, 不同谷子品种之间品质差异较大^[15-17,10], 郭宏亮等^[18]对 312 个品种进行分析得出, 小米蛋白质含量为 7.25%—17.5%, 平均为 11.42%, 其中少数来自高原的品种, 含量略高于 15%; 脂肪含量平均为 4.28%; 淀粉 70.93%。栽培管理对小米品质影响也很大, 张喜文等^[19]指出, 随着氮肥量增加, 谷子籽粒中蛋白质含量也增加, 而随着氮肥或者磷肥施用的增加, 粗脂肪含量有所增加但呈现降低趋势。梁克红等^[14]发现地域因素对小米营养品质的影响

比品种因素更大,而且推断土壤条件是影响小米品质的主要因素。古世禄等^[7]通过研究不同海拔和土壤条件下,谷子蛋白质含量及氨基酸的组成。表明不同土壤条件对提高谷子蛋白质质量的影响较大,而高海拔有利于谷子主要氨基酸的积累。赵慧琴^[20]通过研究气象因素对沁县的“沁州黄”小米品质的影响,发现植物对日照的强弱和昼夜温差比较敏感,如果灌浆期光照不足,直接影响营养物质的合成和转运,进而影响小米的品质。贺微仙等^[21]指出中国谷子资源中蛋白质含量北部地区高于南部地区,西部地区高于东部地区,归纳出高寒和半干旱地区一般谷子蛋白质含量较高。

【本研究切入点】有关小米品质的研究主要集中在品种、气候、土壤、施肥^[22]等单因素方面,其中,品种与施肥管理是可以控制的,气候与土壤只能进行选择,而选择不同土壤类型的地点进行试验又难以排除气候因素的影响,气候与土壤对谷子品质的影响协同进行,赵淑玲等^[23]研究表明脂肪含量随着纬度增高而增加不同,而较低纬度宁夏固原及甘肃秦安的脂肪含量也较高,这可能与土壤因素有关,但哪个因素对谷子品质的影响更大,仍不清楚。【拟解决的关键问题】本研究选择气候、土壤类型差异较大的2个点进行土壤置换,然后测定2个点不同土壤条件下小米品质含量,综合2013—2017年5年的测定结果,研究气候和土壤因素对小米品质的影响,揭示其品质变化规律,为优质谷子合理布局提供理论支撑和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为春谷中晚熟区主推品种长农35号和晋谷47号,两品种都属于优质高产品种,生育期约为125 d。

1.2 试验方法

2012年选择气候、土壤类型差异较大长治谷子研究所试点(简称长治试点)和沁县次村东庄试点(简称沁县试点),将2个试点的土壤按试验小区进行置换。具体操作方法为:在长治试点和沁县试点分别建立2个大小为30 m²小区,一个小区保持不变,另一个小区表层60 cm深的土壤和另一地的土壤互换。为了不影响土层结构,保持土层基本不变,分三层,即每20 cm按层置换,使2个试验点除了拥有当地土壤类型外,也同时拥有另一试验点的土壤类型,即一个试点同时有2种土壤类型,按照统一的品种、施肥等管理方法进行试验,每个小区长农35号与晋谷47号

各种一半,行距33.3 cm。肥料按每公顷施硝酸磷肥600 kg计算,每小区1.8 kg,都在5月中下旬播种,9月下旬收获。对2013—2017年5年不同试点的小米品质数据进行测定,以裂区试验方法统计,年际间为重复,气候为第一主区、土壤类型为第二副区,其他因素为第三裂区。

1.3 试验区概况

试验点分别设在山西长治农业科学院谷子研究所试验田和沁县次村乡东庄村农户田。(1)长治谷子研究所(简称长治)试点情况:113°8'27" E, 36°12'57" N, 海拔:900 m, 土壤类型褐壤土;(2)沁县次村东庄试点情况(简称沁县):112°48'03" E, 36°43'31" N, 海拔:1 171 m, 土壤类型红黏土。不同试验地点的温度、降雨、日照时数见表1。

1.4 测定方法与统计分析

1.4.1 项目测定 对2013—2017年两点春播前、秋收后土壤养分和小米17种氨基酸含量、矿物质及蛋白等进行测定,所有项目测定都参照国标进行^[24-35]。

1.4.2 数据汇总 对2013—2017年5年数据汇总,以年际间为重复,气候为第一主区、土壤类型为第二副区,其他因素为第三裂区,采用裂区试验统计方法进行汇总分析。

1.4.3 统计分析 数据分析采用DPS软件^[36]进行,显著性检验采用新复极差法,图表采用Microsoft Excel 2003软件绘制。

2 结果

2.1 土壤养分变化

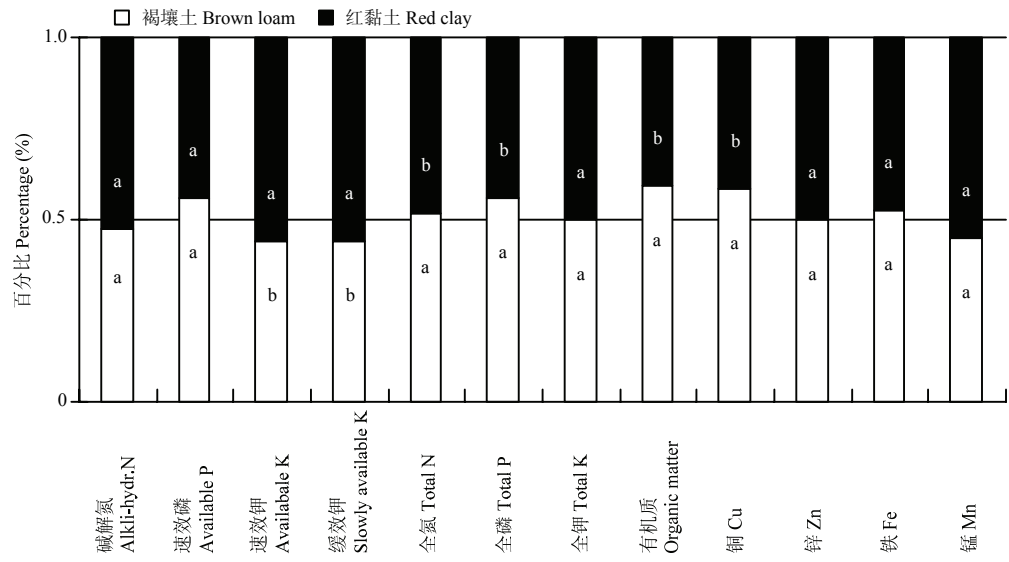
2.1.1 不同土壤类型的土壤养分变化 通过对2013—2017年长治褐壤土和沁县红黏土表层(0—20 cm)土壤养分的分析(图1),可以看出,沁县红黏土中速效钾、缓效钾的含量显著高于长治褐壤土;全氮、全磷、有机质、铜显著低于长治褐壤土;速氮、锰、全钾、锌沁县红黏土较高;速磷、铁长治褐壤土较高。总的来说,长治褐壤土肥力高,供磷、铜等潜力大,沁县红黏土供应氮快,有利于钾的供给。

2.1.2 不同时期(春、秋)土壤养分变化 通过对2013—2017年综合沁县和长治2点春季谷子播种前和秋季谷子收获后红黏土和褐壤土土壤养分的分析(图2),可以看出,2种土壤秋季碱解氮、速效磷、锰显著降低,全磷、有机质、铜、锌、铁有降低的趋势,全氮、全钾有升高的趋势;速效钾和缓效钾2种土壤表现不一样,红黏土表现为减少趋势(速效钾表现为

表 1 不同试验地点的温度、降雨、日照时数

Table 1 Average monthly rainfall , temperature, and sunshine hours in different trial site

气象因子 Meteorological factors	月份 Month	长治 Changzhi					沁县 Qinxian				
		2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
月平均降雨量 Average monthly rainfall (mm·mo. ⁻¹)	5 月 May	18.6	18.4	17.1	16.1	19.2	18.7	18.1	17.6	16.4	19.1
	6 月 Jun	21.8	20.9	20.6	20.6	20.3	21.8	21.1	21.0	20.6	20.4
	7 月 Jul	22.7	22.2	21.9	21.9	23.5	22.9	22.3	22.4	22.5	23.8
	8 月 Aug	22.8	19.8	20.9	22.0	21.7	22.9	19.9	21.1	22.2	21.8
	9 月 Sep	17.6	16.2	16.9	18.4	17.9	17.0	16.5	16.6	17.3	17.2
	总和 Sum	103.5	97.5	97.4	99.0	102.6	103.3	97.9	98.7	99.0	102.3
月平均温度 Average monthly temperature (°C·mo. ⁻¹)	5 月 May	18.6	18.4	17.1	16.1	19.2	18.7	18.1	17.6	16.4	19.1
	6 月 Jun	21.8	20.9	20.6	20.6	20.3	21.8	21.1	21.0	20.6	20.4
	7 月 Jul	22.7	22.2	21.9	21.9	23.5	22.9	22.3	22.4	22.5	23.8
	8 月 Aug	22.8	19.8	20.9	22.0	21.7	22.9	19.9	21.1	22.2	21.8
	9 月 Sep	17.6	16.2	16.9	18.4	17.9	17.0	16.5	16.6	17.3	17.2
	均值 Mean	20.7	19.5	19.48	19.8	20.5	20.7	19.6	19.7	19.8	20.5
月日照时数 Average monthly sunshine (h·mo. ⁻¹)	5 月 May	200.0	262.0	252.0	234.9	274.7	200.0	252.0	244.0	217.1	270.5
	6 月 Jun	192.0	192.0	188.0	238.1	224.8	184.0	194.0	180.0	183.3	209.7
	7 月 Jul	157.0	222.0	236.0	183.3	217.3	165.0	217.0	242.0	158.7	182.2
	8 月 Aug	257.0	181.0	208.0	191.2	188.0	233.0	189.0	215.0	160.9	171.0
	9 月 Sep	162.0	117.0	180.0	178.5	159.7	146.0	104.0	163.0	182.7	153.0
	总和 Sum	968.0	974.0	1064.0	1026.0	1064.5	928.0	956.0	1044.0	902.7	986.4



不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。下同
Different small letters within a column indicate significantly different at the 0.05 level. The same as below

图 1 2013—2017 年褐壤土和红黏土土壤养分变化情况

Fig. 1 The performance of soil nutrient of Brown loam and Red clay from 2013-2017

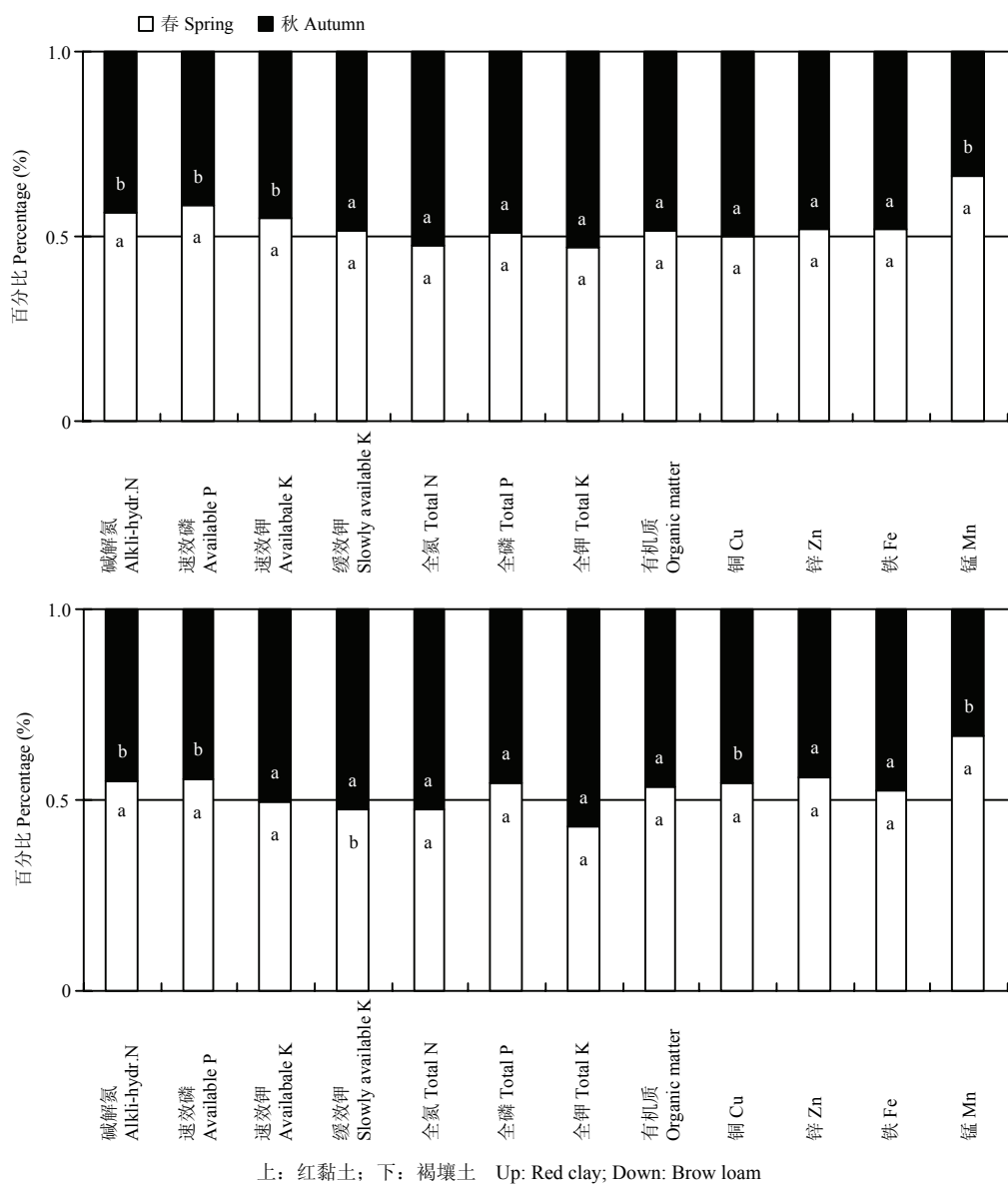


图 2 2013—2017 年春季和秋季不同时间不同土壤养分变化情况

Fig. 2 The performance of soil nutrient in the different time of Spring and Autumn on different soil from 2013-2017

显著减少)，而褐壤土表现为增加的趋势（缓效钾表现为显著增加）。说明谷子生长过程中对土壤碱解氮、速磷、锰吸收显著，对全磷、有机质、铜、锌、铁也有一定的损耗，但对速效钾和缓效钾吸收不同土壤不一样，红黏土更有利于作物对钾的吸收。收获后耕层土壤全氮、全钾含量均高于播种前，这可能是因为播前施肥以及作物生长过程中微生物分解有机质引起的。

2.2 两试点谷子生育期内气温、降水、日照变化分析
通过对 2013—2017 年长治和沁县气候因子变化情况的分析（图 3），沁县气候和长治气候在谷子生

育期内的降雨量和平均温度相差不大，日照表现为长治长于沁县。长治天气变化稳定，晴天多，日照时间自然长，另一点高原气压比较低，形成的云层也比较高而少（相对）对于阳光反射作用很少，大部分的阳光可以到达，相同时间的日照、日照质量也高。

2.3 气候条件、土壤类型、品种差异对小米营养品质及 17 种氨基酸的影响

2.3.1 气候条件对小米营养品质及 17 种氨基酸的影响
通过对 2013—2017 年长治和沁县不同气候条件下小米营养品质的分析（图 4 上），沁县气候有利于

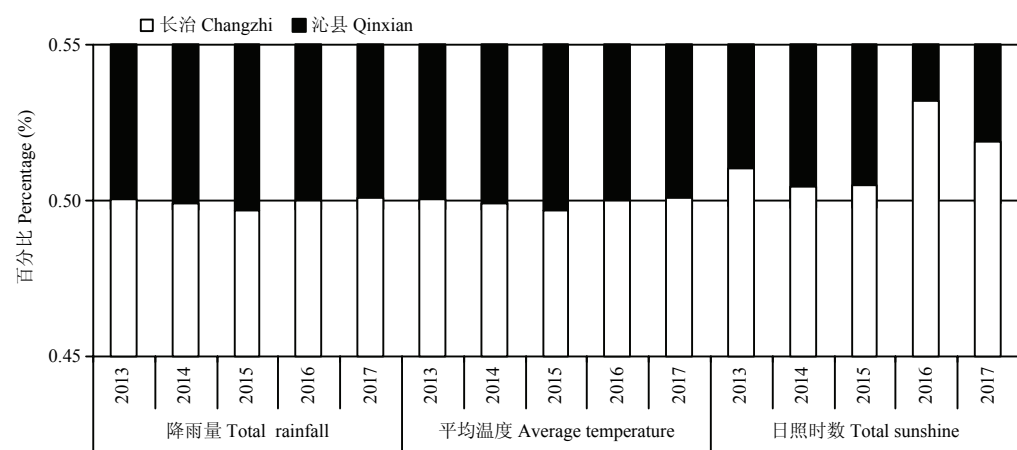
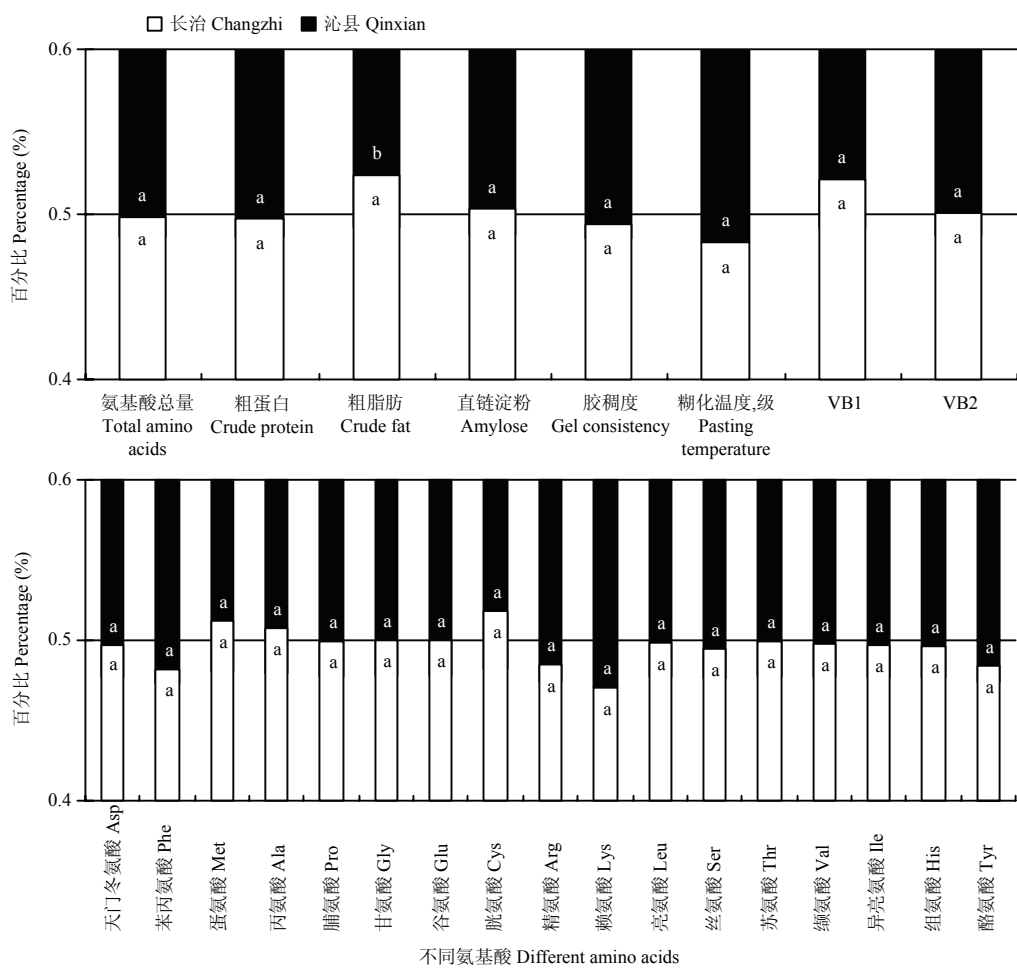


图 3 2013—2017 年长治和沁县气候因子的变化情况
Fig. 3 The performance of Meteorological factors in Changzhi and Qinxian from 2013-2017



上：营养品质；下：不同氨基酸 Up: Nutritional quality; Down: Different amino acids

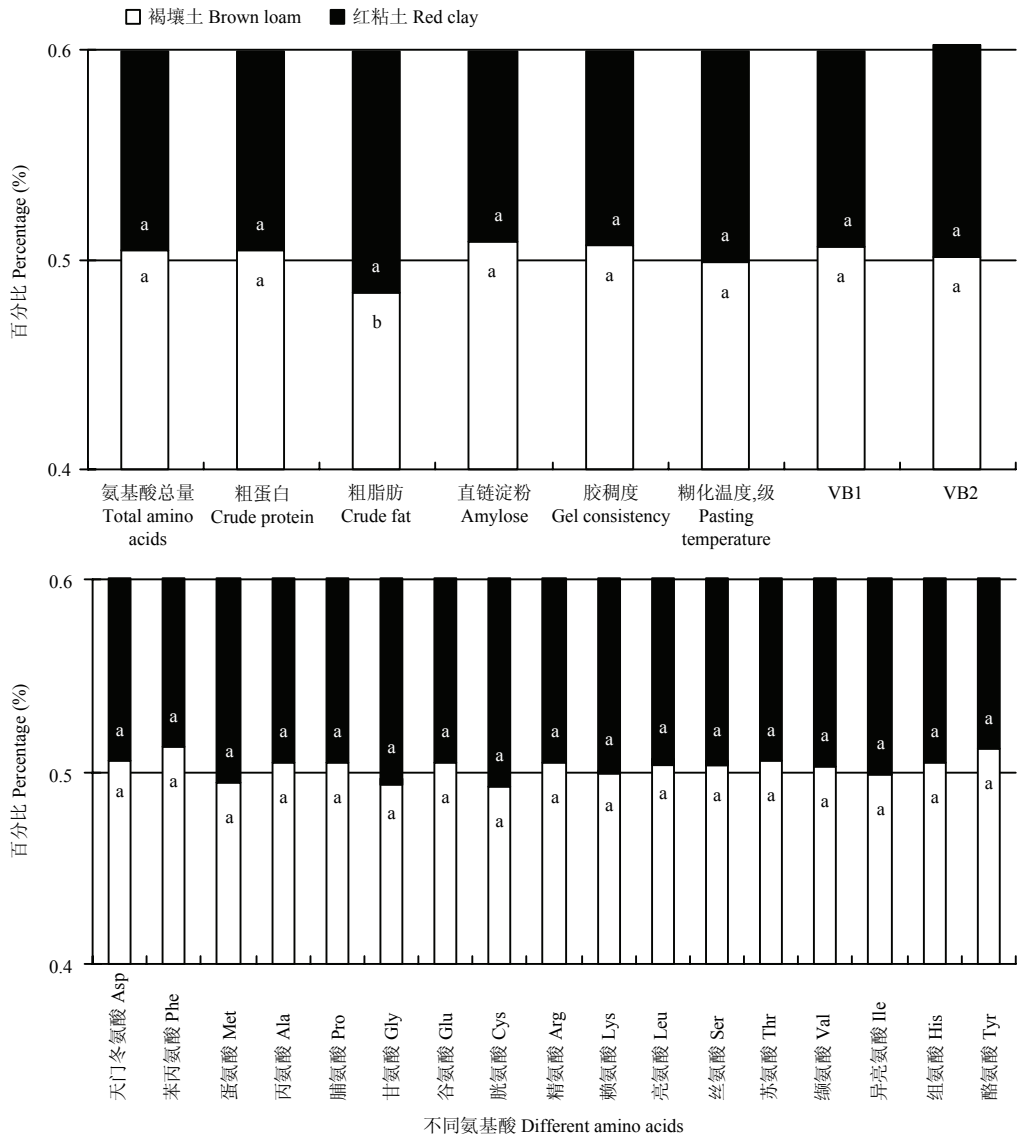
图 4 2013—2017 年长治和沁县不同气候条件下营养品质及不同氨基酸变化情况
Fig. 4 The performance of the contents of nutritional quality and different amino acids of foxtail millet planted in the different climatic conditions in Changzhi and Qinxian from 2013-2017

小米氨基酸总量、粗蛋白含量、VB₂ 的积累, 该气候下生产的谷子有较低的糊化温度、较高的胶稠度和低的直链淀粉, 所以该气候条件下生产的谷子小米适口性佳, 证实了沁县种植的谷子好吃的原因。长治气候有利于脂肪、直链淀粉、VB₁ 的积累, 直链淀粉多, 影响口感, 但该气候条件下对小米脂肪积累达到了显著水平。

通过对 2013—2017 年长治和沁县不同气候条件下小米 17 种氨基酸含量分析 (图 4 下), 从 17 种氨

基酸含量可以看出, 长治和沁县 2 种气候条件下小米的 17 种氨基酸含量总体上差异不显著, 沁县气候有利于大多数氨基酸的积累, 17 种氨基酸中除蛋氨酸、丙氨酸、胱氨酸 3 种氨基酸含量低于长治外, 其他 14 种氨基酸都高于长治, 其中包括小米中第一限制性氨基酸赖氨酸。

2.3.2 土壤类型对小米营养品质及 17 种氨基酸的影响 通过对 2013—2017 年沁县红黏土和长治褐壤土不同土壤条件下生产谷子的小米营养品质分析 (图 5



上: 营养品质; 下: 不同氨基酸 Up: Nutritional quality; Down: Different amino acids

图 5 2013—2017 年褐壤土和红黏土生产谷子营养品质及不同氨基酸含量变化情况

Fig. 5 The performance of the contents of nutritional quality different amino acids of foxtail millet planted in Brown loam and Red clay from 2013-2017

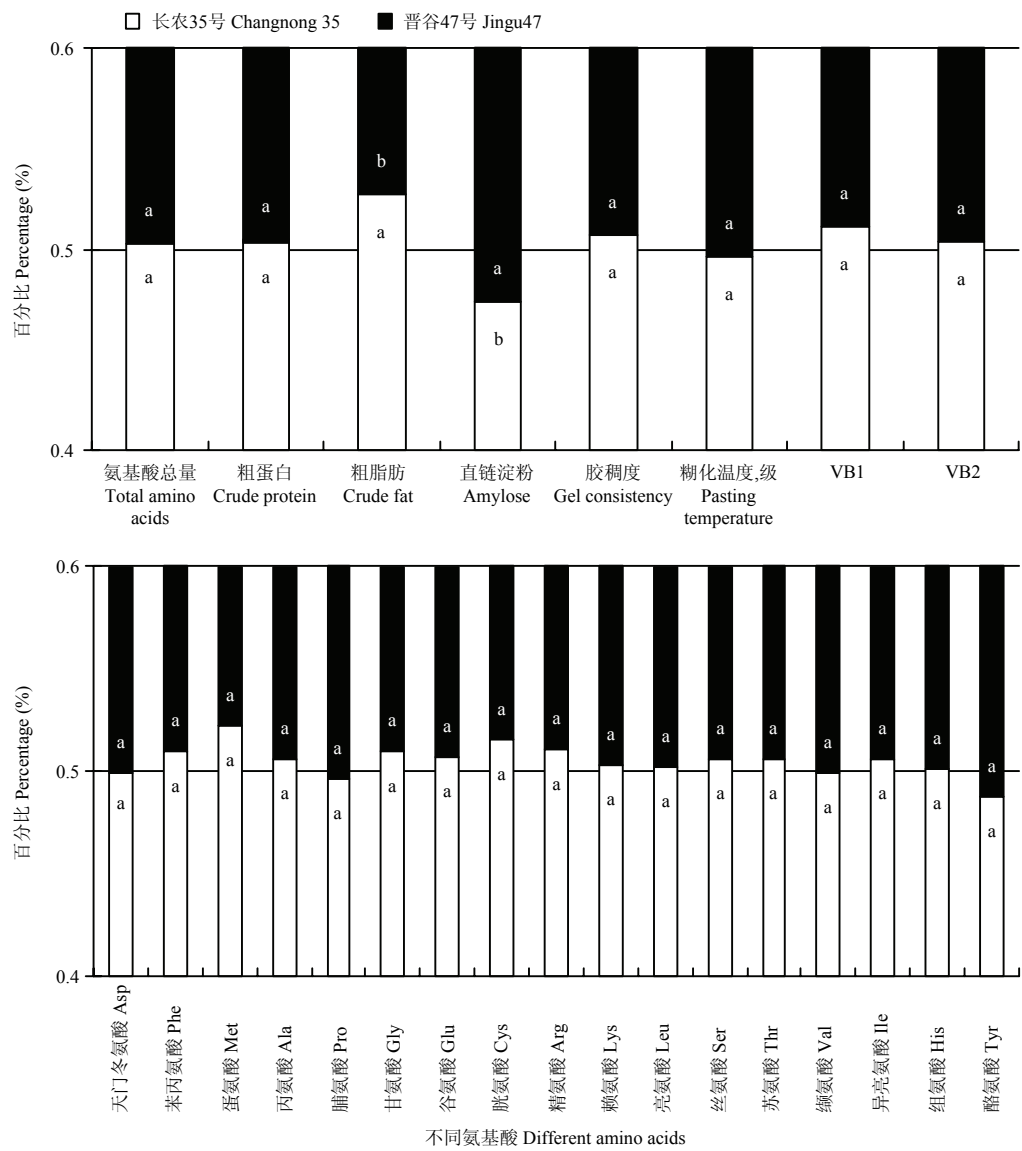
左)，红黏土有利于脂肪的积累，和褐壤土相比存在显著性差异；褐土有利于氨基酸、蛋白、胶稠度、直链淀粉、VB₁的积累；2 种土壤对糊化温度、VB₂ 积累的无影响。

通过对 2013—2017 年沁县红黏土和长治褐壤土种植小米中 17 种氨基酸含量分析（图 5 右），发现沁县红黏土和长治褐壤土条件下，小米的 17 种氨基酸含量总体差异不显著，红黏土土质有利于蛋氨酸、甘氨酸、胱氨酸、异亮氨酸积累，褐壤土土质有利于天门冬氨酸、苯丙氨酸、丙氨酸、脯氨酸、谷氨酸、精氨酸、亮氨酸、丝氨酸、苏氨酸、缬氨酸、组氨酸、酪氨酸，2 种土质对赖氨酸积累相当。

酸、亮氨酸、丝氨酸、苏氨酸、缬氨酸、组氨酸、酪氨酸，2 种土质对赖氨酸积累相当。

2.3.3 品种差异对小米营养品质及 17 种氨基酸的影响 通过对 2013—2017 年不同品种谷子的小米营养品质的分析（图 6 上），长农 35 号的脂肪含量显著高于晋谷 47 号，直链淀粉显著低于晋谷 47 号，糊化温度低于晋谷 47，氨基酸、蛋白、胶稠度、VB₁、VB₂ 都高于晋谷 47 号。

图 6 下为 2013—2017 年不同谷子品种小米 17 种氨基酸含量百分比图，可以看出，长农 35 号品种蛋



上：营养品质；下：不同氨基酸 Up: Nutritional quality; Down: Different amino acids

图 6 2013—2017 年不同品种营养品质及不同氨基酸的变化情况
Fig. 6 The performance of the contents of different amino acids of different varieties from 2013-2017

氨酸含量显著高于晋谷 47，其他 16 种氨基酸含量差异不显著，晋谷 47 号中脯氨酸、酪氨酸含量高于长农 35 号，天门冬氨酸、组氨酸含量 2 个品种相当，其他 13 种氨基酸都低于长农 35 号。

2.4 气候条件、土壤类型、品种差异对小米矿物质营养的影响

2.4.1 气候条件对小米矿物质营养的影响 通过对

2013—2017 年长治和沁县不同气候条件下生产谷子的小米矿物质营养分析（图 7-A），沁县气候有利于钾、铜、锌的积累；长治气候有利于钙、磷、镁、钠、铁、硒的积累。

2.4.2 土壤类型对小米矿物质营养的影响 通过对 2013—2017 年红黏土和褐壤土不同土壤条件下小米其矿物质营养分析（图 7-B），可以看出，与红黏土

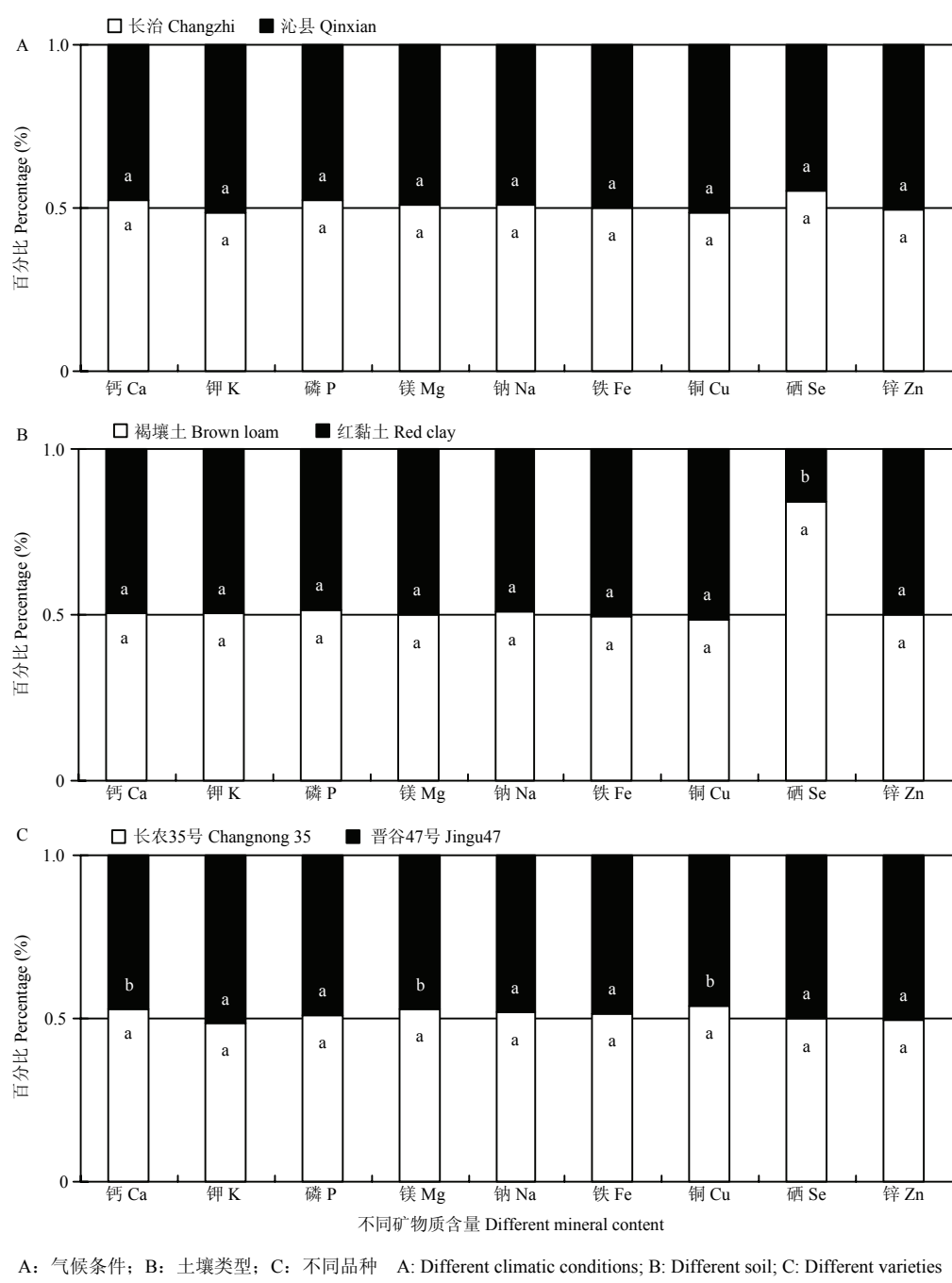


图 7 2013—2017 年不同品种不同矿物质营养变化情况
Fig. 7 The performance of the different mineral content of different climatic conditions, soil and varieties from 2013-2017

相比，褐土土质有利于钙、钾、磷、钠、硒、锌的积累，尤其是硒的含量达到了极显著水平。

2.4.3 品种差异对小米矿物质营养的影响 通过对 2013—2017 年不同品种谷子的小米矿物质营养分析（图 7-C），晋谷 47 号钾含量显著高于长农 35 号，钙、镁、铜显著低于长农 35 号，2 个品种锌、磷、钠、铁、硒含量相当，说明钾、钙、镁、铜含量与品种有关。

2.5 不同土壤类型和品种的产量及农艺性状变化

2.5.1 不同土壤类型谷子的产量与农艺性状变化

通过对 2014—2017 年长治红黏土和褐壤土上种植谷子农艺性状和产量分析（图 8），红黏土地上种植的谷子产量显著高于褐土地种植谷子，其单穗重、单粒重、千粒重、穗长、穗粗及次生根数都表现为增加的趋势。

2.5.2 不同品种谷子的产量和农艺性状变化 通过对 2014—2017 年长治不同品种谷子产量及农艺性状分析（图 8），发现晋谷 47 号产量高于长农 35 号，但其单穗重和穗粒重都不高，说明晋谷 47 号的成穗数高，具体表现在长农 35 号抗性较晋谷 47 号差。

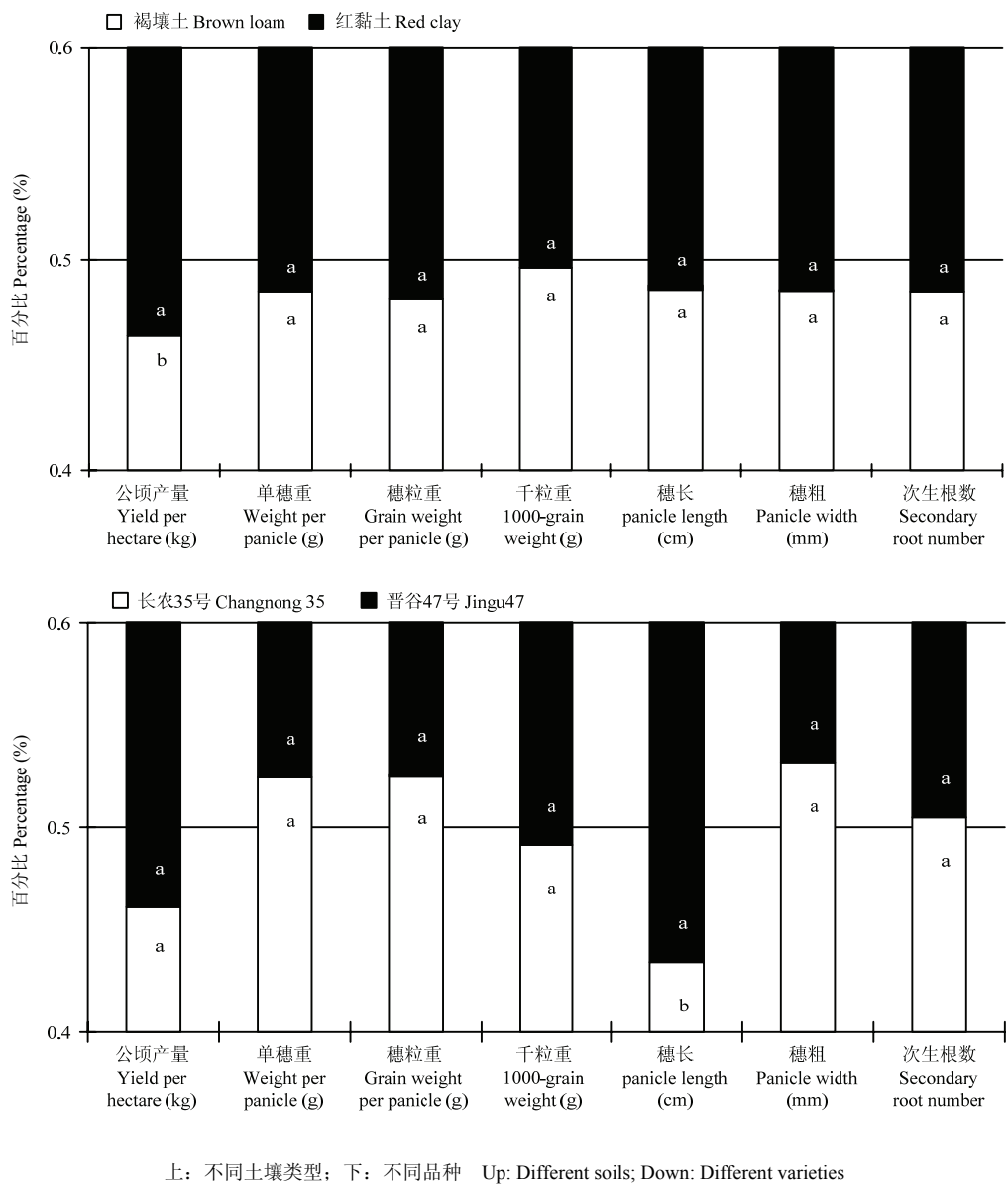


图 8 2014—2017 年不同品种谷子产量及农艺性状的变化情况

Fig. 8 The performance of yield and agronomic traits of different types of soil and varieties from 2014-2017

3 讨论

3.1 不同品种

长农 35 号和晋谷 47 号 2 个品种小米营养品质和氨基酸含量中,直链淀粉和脂肪含量差异较大,长农 35 号直链淀粉含量较高,脂肪含量较高,而晋谷 47 号直链淀粉含量低,脂肪含量也低,2 个指标在品质贡献上起到了互相弥补的效果。2 个品种微量元素钙、铜、镁含量的差异也大,说明不同品种因受遗传因素的影响,在同一生态环境下对微量元素的吸收差异较大,这有利于筛选出富集某一或某几个微量元素的品种进行功能性营养食品的开发。不同品种对不同气候和不同土壤反应存在一定的差异,本试验只选择了 2 个品种,品种对气候和土壤的响应说服力不强,开展多个不同类型品种深入试验将是下一步工作努力的方向。

3.2 不同气候

沁县气候与长治气候相比,谷子生育期内的降雨量和平均气温相差不大,相差较大的是海拔高度,沁县海拔较高,昼夜温差大,日照时间短,本研究该气候条件下,种植谷子有利于小米大多数氨基酸(蛋氨酸、丙氨酸、胱氨酸除外)积累、氨基酸总量、粗蛋白含量有增加的趋势,与古世禄等^[7]认为高海拔有利于谷子主要氨基酸和蛋白的积累相一致,尤其赖氨酸作为小米中作为第一限制性氨基酸在沁县气候条件下较高,且小米中的 VB₂、钾、铜、锌含量也高,说明沁县气候有利于优质谷子的生产。

3.3 不同土壤类型

沁县红黏土和长治褐壤土相比,沁县红黏土中速钾、缓效钾显著高,全氮、全磷、有机质、铜显著低,速氮、锰、全钾、锌较高,速磷、铁较低(图 1)。谷子对土壤养分的消耗主要是土壤碱解氮、速磷、锰,其次是全磷、有机质、铁、铜(图 2),所以沁县红黏土上种植谷子的小米中蛋氨酸、甘氨酸、胱氨酸、异亮氨酸较高(图 5 右),脂肪积累显著(图 5 左),脂肪含量是米质好坏的重要特性之一,脂肪的多少即所谓油性的大小^[23,37],说明红黏土上种植的小米米质好;同时红黏土有利于镁、铁、铜的积累,产量也显著高;而长治褐壤土上种植谷子的小米中硒的含量显著高,谷子籽粒中的硒含量随着外源硒浓度的增加而增加(在一定的浓度范围内)^[38],这和长治褐壤土富硒而沁县红黏土硒缺乏有关(由于试验条件限制,土壤硒未测定)。

3.4 品质分析

蒸煮食用品质主要包括胶稠度、糊化温度和直链淀粉含量^[39]。优质的小米具有中等偏低的糊化温度、偏低的直链淀粉含量和中等偏高的胶稠度^[40-41]。胶稠度是指小米蒸煮一定时间后,米汤中胶质的流动长度,即米胶冷却后的胶稠程度。胶稠度高说明米胶长,米饭柔软、适口性好;胶稠度低米饭较硬,适口性差。刘永忠等^[42]对 11 份谷子品种(系)籽粒的直链淀粉含量、胶稠度、糊化温度等指标分析表明,人们一般喜爱较软的品种。王润奇等^[43]总结了我国北方人民喜食的优质小米应具有的胶稠度标准,据米胶延伸的长短分为米胶长度小于 80 mm 为硬胶稠度,80—120 mm 中胶稠度,大于 120 mm 为软胶稠度。王鲁峰等^[44]认为胶稠度软的小米做出的米饭使人不但感官上更易接受而且米饭的适口性也更好。糊化温度一般以易测定的碱消指数值表示,小米的碱消指数分为 6 个级别,1—3 级对应高糊化温度,3.1—4.5 对应中等糊化温度,4.5 以上对应低糊化温度。小米的主要成分为直链淀粉和支链淀粉,目前,国内对小米直链淀粉的研究相对较少,其中刘辉等^[45]研究了全国 27 个小米品种中直链淀粉的含量。王玉文等^[8]和王力立等^[46]研究表明直链淀粉比例低的小米,其分子结构中的亲水基比例较高,容易和水结合,米饭黏性就大,柔软、有光泽。直链淀粉含量是影响食用品质的最主要的指标,一般优质小米的直链淀粉含量比例要求在 14%—18%。但并非完全取决于此,还与其分子量有一定关系^[8]。该研究沁县气候条件下,小米具有高胶稠度、低的糊化温度(碱消值)和低的直链淀粉,说明沁县气候下种植的谷子具有较好的蒸煮食用品质,从理论数据上证实了沁县种植谷子好吃的传说。

3.5 其他

栽培试验影响因素多,不可预测因素对试验可变性会造成一定的影响,一年、两年试验采集的数据准确性不高,多年试验是解决该问题途径之一,尤其是对土壤置换后,试验土壤需要经过 1—2 年的时间才会越来越稳定,数据的采集也越来越准确。

4 结论

气候因素对小米的品质及适口性影响较大,土壤因素影响小米品质及各种矿物质元素的积累。沁县气候条件有利于多数氨基酸、蛋白质和维生素的积累,该气候下生产的谷子有较低的糊化温度、较高的胶稠

度和低的直链淀粉, 所以该气候条件种植的小米营养品质优良, 而且适口性好; 红黏土种植谷子有利于小米镁、铁、铜的积累, 而褐壤土有利于氨基酸、蛋白质和 VB₁ 的积累。红黏土种植谷子的产量显著高于褐壤土, 但褐壤土种植的谷子可获得富硒小米。总之, 气候因素对小米的适口性影响较大, 土壤因素影响小米品质及各种矿物质元素的积累。

References

- [1] 刁现民. 中国谷子产业与未来发展//刁现民. 中国谷子产业与产业技术体系. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011: 20-30.
- DIAO X M. Industry and developmental perspectives of Chinese foxtail millet//DIAO X M. *Chinese Industry and Technical System of Foxtail Millet*. Beijing: China Agricultural Sciences and Technology Press, 2011: 20-30. (in Chinese)
- [2] KAUR K D, JHA A, SABIKHI L, SINGH A K. Significance of coarse cereals in health and nutrition: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 2014, 51(8): 1429-1441.
- [3] 李国营. 谷子初级核心种质的品质性状及其遗传多样性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- LI G Y. A study on quality and genetic diversity in primary core-collection of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) Beauv.) [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009. (in Chinese)
- [4] 程汝宏. 我国谷子育种与生产现状及发展方向. 河北农业科学, 2005, 9(4): 86-90.
- CHENG R H. The present situation of foxtail millet (*Setaria italica* Beauv) breeding and production as well as the further research directions in China. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2005, 9(4): 86-90. (in Chinese)
- [5] JONES J M. Grain-based foods and health cereals. *Cereal Foods World*, 2006, 51: 108-113.
- [6] 王星玉. 山西省谷子品种资源的品质研究. 作物品种资源, 1985, 3: 9.
- WANG X Y. A study on the quality of foxtail millet variety resources in Shanxi province. *Crop Variety Resources*, 1985, 3: 9. (in Chinese)
- [7] 古世禄, 刘子坚, 李凌雨. 山西省谷子品种蛋白质, 脂肪含量及其相互关系的研究. 华北农学报, 1986, 1(4): 15-20.
- GU S L, LIU Z J, LI L Y. A Study on protein and fat contents and their interrelation in various varieties of foxtail millet in Shanxi province. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1986, 1(4): 15-20. (in Chinese)
- [8] 王玉文, 李会霞, 田岗, 王高宏. 我国小米品质研究进展及其改良设想. 中国农学通报, 2001, 17(5): 49-51.
- WANG Y W, LI H X, TIAN G, WANG G H. Research progress and improvement ideas of the quality of foxtail millet in China. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2001, 17(5): 49-51. (in Chinese)
- [9] 王海滨, 夏建新. 小米的营养成分及产品研究开发进展. 粮食科技与经济, 2010(4): 36-38.
- WANG H B, XIA J X. Advances in research and development of the foxtail millet nutritional components and products. *Grain Science Technology and Economy*, 2010(4): 36-38. (in Chinese)
- [10] 韦露露, 秦礼康, 文安燕, 朱怡. 基于主成分分析的不同小米品质评价. 食品工业科技, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.ts.20181226.0920.004.html>
- WEI L L, QIN L K, WEN A Y, ZHU Y. Quality evaluation of different varieties millet based on principal components analysis. *Science and Technology of Food Industry*, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.ts.20181226.0920.004.html>. (in Chinese)
- [11] 张晓光. 小米的营养与强化. 粮食与饲料工业, 1994(9): 26-28.
- ZHANG X G. Nutrition and nutritional reinforcement of millet. *Cereal & Feed Industry*, 1994(9): 26-28. (in Chinese)
- [12] 张敏, 刘辉. 基于主成分分析法的小米食用品质评价模型的建立. 东北农业大学学报, 2011, 42(8): 7-12.
- ZHANG M, LIU H. Assessment model of taste quality of millet based on principal component analysis method. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2011, 42(8): 7-12. (in Chinese)
- [13] 王玉文, 李会霞, 田岗, 孙美荣, 史琴香, 郭二虎. 小米外观品质及淀粉 RVA 谱特征与米饭适口性的关系. 山西农业科学, 2008, 36(7): 34-39.
- WANG Y W, LI H X, TIAN G, SUN M R, SHI Q X, GUO E H. Relationship between cooked millet palatability and both visual quality and RVA profile character of starch. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2008, 36(7): 34-39. (in Chinese)
- [14] 梁克红, 朱大洲, 商芳芳, 孙君茂. 小米蒸煮品质与矿质元素之间相互关系研究. 现代食品科技, 2016(12): 164-169.
- LIANG K H, ZHU D Z, SHANG F F, SUN J M. Analysis of correlation between mineral content and cooking quality in millets. *Modern Food Science and Technology*, 2016(12): 164-169. (in Chinese)
- [15] 张仁堂, 董浩, 高琳, 林大伟, 辛万利. 不同产区小米品质特性比较研究. 中国食物与营养, 2012, 18(10): 22-26.
- ZHANG R T, DONG H, GAO L, LIN D W, XIN W L. Study on the quality characteristics of millet grown in different areas. *Food and Nutrition in China*, 2012, 18(10): 22-26. (in Chinese)
- [16] 梁克红, 朱大洲, 孙君茂. 品种与地域对小米营养品质的影响研究. 食品工业, 2017(4): 192-196.
- LIANG K H, ZHU D Z, SUN J M. Study on variety and regional

- factors related to nutrient quality in millet. *The Food Industry*, 2017(4): 192-196. (in Chinese)
- [17] 张艾英, 郭二虎, 刁现民, 范惠萍, 李瑜辉, 王丽霞, 郭红亮, 程丽萍, 吴引生. 2005—2015 年西北春谷中晚熟区谷子育成品种评价. *中国农业科学*, 2017, 50(23): 4486-4505.
- ZHANG A Y, GUO E H, DIAO X M, FAN H P, LI Y H, WANG L X, GUO H L, CHENG L P, WU Y S. Evaluation of foxtail millet cultivars developed in the middle and late-maturing spring-sowing region in Northwest china in 2005-2015. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(23): 4486-4505. (in Chinese)
- [18] 郭宏亮, 郭二虎, 王军, 范惠萍, 王秀清, 程丽萍. 浅析小米在功能性食品中的应用与开发前景. *农牧产品开发*, 1999(8): 41-43.
- GUO H L, GUO E H, WANG J, FAN H P, WANG X Q, CHENG L P. Application and development prospect of foxtail millet in functional food. *Griculture Products Development*, 1999(8): 41-43. (in Chinese)
- [19] 张喜文, 宋殿珍, 刘源湘, 姚克明. 氮肥和氮磷配合对谷子籽粒营养品质和食味品质的影响. *土壤通报*, 1992(3): 122-123.
- ZHANG X W, SONG D Z, LIU Y X, YAO K M. Effects of nitrogen fertilizer and nitrogen and phosphorus on nutritional quality and taste quality of foxtail millet. *Chinese Journal of Soil Science*, 1992(3): 122-123. (in Chinese)
- [20] 赵慧琴. 气象因素对“沁州黄”小米生产的影响及栽培中的对策. *山西气象*, 2005(2): 18-19.
- ZHAO H Q. The influence of meteorological elements on the production of “Qinzhouhuang” corn and the countermeasure on the planting. *Shanxi Meteorological Quarterly*, 2005(2): 18-19. (in Chinese)
- [21] 贺微仙, 王文真, 王会龙. 我国北方谷子资源蛋白质含量研究初报. *作物品种资源*, 1985(3): 19-21.
- HE W X, WANG W Z, WANG H L. Preliminary report on protein content of millet resources in North China. *China Seed Industry*, 1985(3): 19-21. (in Chinese)
- [22] 杨军学, 罗世武, 张尚沛, 岳国强, 王勇, 程炳文. 不同有机肥对谷子产量、品质等的影响. *陕西农业科学*, 2016, 62(1): 1-3.
- YANG J X, LUO S W, ZHANG S P, YUE G Q, WANG Y, CHENG B W. The effects of different kinds of organic fertilizer on yield and quality of foxtail millet. *Shanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 62(1): 1-3. (in Chinese)
- [23] 赵淑玲, 李洪, 王殿瀛, 郭桂兰, 王玉文. 生态环境对谷子蛋白质、脂肪和淀粉含量的影响. *华北农学报*, 1990(4): 48-53.
- ZHAO S L, LI H, WANG D Y, GUO G L, WANG Y W. The effects of ecological environment on contents of protein, fat and starch of millet. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1990(4): 48-53. (in Chinese)
- [24] GB/T 21305—2007 谷物及谷物制品水分的测定常规法. 中华人民共和国国家标准.
- GB/T 21305—2007 Conventional method for determination of moisture in cereals and cereal products. *National standards of the People's Republic of China*. (in Chinese)
- [25] GB 5009.5—2010 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定. 中华人民共和国国家标准.
- GB 5009.5—2010 National Food Safety Standard Determination of Protein in Food. *National Standard of the People's Republic of China*. (in Chinese)
- [26] GB/T 5512—2008 粮油检验粮食中粗脂肪含量的测定. 中华人民共和国国家标准.
- GB/T 5512—2008 Determination of crude fat content in cereals and oils for inspection. *National standards of the People's Republic of China*. (in Chinese)
- [27] GB/T 14490—1993 谷物及淀粉糊化特性测定法. 中华人民共和国国家标准.
- GB/T 14490—1993 Method for determination of gelatinization properties of cereals and starches. *National standards of the People's Republic of China*. (in Chinese)
- [28] GB/5009.124—2003 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定. 中华人民共和国国家标准.
- GB/5009.124—2003 National Food Safety Standard Determination of Amino Acids in Food. *National Standard of the People's Republic of China*. (in Chinese)
- [29] GB/T 14609—2008 粮油检验谷物及其制品中铜、铁、锰、锌、钙、镁的测定. 中华人民共和国国家标准.
- GB/T 14609—2008 Determination of copper, iron, manganese, zinc, calcium and magnesium in cereals and cereals and their products for cereals and oils inspection. *National Standards of the People's Republic of China*. (in Chinese)
- [30] GB/5009.93—2010 食品安全国家标准食品中硒的测定. 中华人民共和国国家标准.
- GB/5009.93—2010 National standard for food safety-determination of selenium in foods. *National Standard of the People's Republic of China*. (in Chinese)
- [31] GB/T 5009.91—2003 食品中钾、钠的测定. 中华人民共和国国家标准.
- GB/T 5009.91—2003 Determination of potassium and sodium in food. *National standard of the People's Republic of China*. (in Chinese)
- [32] GB/T 5009.87—2003 食品中磷的测定. 中华人民共和国国家标准.
- GB/T 5009.87—2003 Determination of phosphorus in food. *National standard of the People's Republic of China*. (in Chinese)
- [33] GB/T 7628—2008 谷物中维生素 B1 测定. 中华人民共和国国家标准.

- 准.
GB/T 5009.84—2003 Determination of vitamin B2 in cereals. *National standard of the People's Republic of China*. (in Chinese)
- [34] GB/T 7629—2008 谷物中维生素 B2 测定. 中华人民共和国国家标准.
GB/T 7629—2008 Determination of vitamin B2 in cereals. *National standard of the People's Republic of China*. (in Chinese)
- [35] GB/T 15683—2008 大米直链淀粉含量的测定. 中华人民共和国国家标准.
GB/T 15683—2008 Determination of amylose content in rice. *National standard of the People's Republic of China*. (in Chinese)
- [36] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 处理系统. 北京: 科学出版社, 2002: 280-311.
TANG Q Y, FENG M G. *DPS Data Processing System for Practical Statistic*. Beijing: Science Press, 2002: 280-311. (in Chinese)
- [37] 李秀芝. 吉林省谷子地方品种蛋白质、脂肪含量的分析. 吉林农业科学, 1987(1): 24-27.
LI X Z. The results of analyses of protein and fat contents in millet local varieties from Jilin province. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 1987(1): 24-27. (in Chinese)
- [38] 樊红霞. 硒、除草剂及不同生态因子对谷子品质的影响研究. 乡村科技, 2018(19): 95-96.
FAN H X. Effects of selenium, herbicides and different ecological factors on the quality of foxtail millet. *Agricultural science and technology*, 2018(19): 95-96. (in Chinese)
- [39] 田志芳, 杨春, 石磊, 孟婷婷, 孙秋雁, 王海平. 不同产区谷子品质特性研究. 粮油食品科技, 2011, 19(5): 5-7.
TIAN Z F, YANG C, SHI L, MENG T T, SUN Q Y, WANG H P. Study on the quality of millet grown in different areas. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2011, 19(5): 5-7. (in Chinese)
- [40] 王丹丹, 希日格乐, 孙宇燕, 金砾, 郭世华. 谷子农艺性状相关性与食味品质分析. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2015, 36(4): 29-37.
WANG D D, XI R G L, SUN Y Y, JIN S, GUO S H. Analysis on correlation of agronomic traits and eating quality in foxtail millet. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University(Natural Science Edition)*, 2015, 36(4): 29-37. (in Chinese)
- [41] 彭锁堂, 薛光文, 董淑英. 沁州黄谷子优质机理分析研究. 山西农业大学学报, 2000, 1(4): 13-15.
PENG S T, XUE G W, DONG S Y. Analytic studies on the mechanism of good quality in Qinzhouhuang mille. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2000, 1(4): 13-15. (in Chinese)
- [42] 刘永忠. 谷子食味品质及其在育种上的应用. 山西农业科学, 1987(9): 8-10.
LIU Y Z. The taste quality application in the breeding of foxtail millet. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 1987(9): 8-10. (in Chinese)
- [43] 王润奇, 杜竹铭, 田明, 杨喜. 沁州黄小米优质机理的初步研究. 山西农业科学, 1986(9): 5-7.
WANG R Q, DU Z M, TIAN M, YANG X. Preliminary study on quality mechanism of "Qinzhouhuang". *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 1986(9): 5-7. (in Chinese)
- [44] 王鲁峰, 张韵, 徐晓云, 潘思轶. 食品风味物质分离分析技术进展. 安徽农业科学, 2009, 37(2): 463-465, 468.
WANG L F, ZHANG Y, XU X Y, PAN S Y. Development of food flavor isolation and analysis techniques. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(2): 463-465, 468. (in Chinese)
- [45] 刘辉, 张敏. 不同品种小米的直链淀粉含量与快速黏度分析仪谱特征值关系研究. 食品科学, 2010, 31(15): 31-33.
LIU H, ZHANG M. Relationships between amylose content and gelatinization characteristics of different varieties of millet. *Food Science*, 2010, 31(15): 31-33. (in Chinese)
- [46] 王力立. 小米中主要营养成分的测定及小米茶的制备[D]. 山西大学, 太原: 2011.
WANG L L. Detection of principal nutrition constituents in foxtail millet and the preparation of foxtail millet tea[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2011. (in Chinese)

(责任编辑 李莉)