

套作大豆贮藏蛋白、氨基酸组成分析及营养评价

蒋涛, 杨文钰*, 刘卫国, 王凤

(四川农业大学农学院, 农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 成都 611130)

摘要: 目的: 分析不同品质类型套作大豆贮藏蛋白、氨基酸组分特征, 对套作大豆蛋白质的营养价值进行评价。方法: 使用近红外谷物分析仪、氨基酸分析仪等测定大豆蛋白质、氨基酸等指标。结果: 套作大豆蛋白质平均含量48.71%, 贮藏蛋白7S、11S相对含量分别为24.94%和67.57%, 11S/7S比值高达2.74, 高蛋白型套作大豆D3(中江+月黄)贮藏蛋白11S/7S高达3.08, 比其净作(11S/7S比值为2.89)极显著升高0.19($P=0.001$); 套作大豆氨基酸总量达到37.3%, 其中必需氨基酸含量占总氨基酸的38%以上, 接近或高于FAO/WHO、全蛋参考模式同种氨基酸含量; FAO/WHO参考模式下套作大豆5种化学评分: 氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)、氨基酸比值系数分(SRCAA)和必需氨基酸相对比值(EAARR)分别为64.34、76.82、82.10、83.06、78.06, 与净作相比分别变化: 2.38($P=0.002$)、3.01($P=0.012$)、0.03($P=0.209$)、0.45($P=0.202$)、-0.19($P=0.754$)。结论: 套作大豆具有与净作大豆一致甚至更高的氨基酸营养价值, 11S/7S比值更合理, 可保证大豆蛋白制品的品质。因此选择综合营养价值高的大豆品种与玉米进行套作种植。

关键词: 套作大豆; 贮藏蛋白; 氨基酸; 营养评价

Storage Protein and Amino Acid Composition Analysis and Nutrition Evaluation of Relay-Cropped Soybean

JIANG Tao, YANG Wen-yu*, LIU Wei-guo, WANG Feng

(Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest China, Ministry of Agriculture, College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: Objective: To analyze the storage protein and amino acid composition and evaluate the nutritional value of three different relay-cropped soybean cultivars: Guixia No.3, Gongxuan No.1 and Zhongjiang Shiyuehuang. Methods: Soybean protein was determined using a near infrared grain analyzer, and amino acid composition was determined using an automatic amino acid analyzer. Results: The average content of relay-cropped soybean protein was 48.71%, and the relative contents of storage protein 7S and 11S were 24.94% and 67.57%, respectively. As far as the high-protein cultivar Zhongjiang Shiyuehuang was concerned, relay-cropped soybean had a storage protein 11S/7S ratio as high as 3.08, which was significantly increased by 0.19 ($P=0.001$) compared with that of (2.89) of solo-cropped soybean. The average amino acid content in relay-cropped soybean was 37.3%, and the average ratio of essential to total amino acids was not less than 38%, close to or larger than that obtained from the FAO/WHO standard or the whole egg reference pattern. According to the FAO/WHO reference pattern, the amino acid score (AAS), chemical score (CS), essential amino acid index (EAAI), score of RCAA (SRCAA) of relay-cropped soybean were 64.34, 76.82, 82.10, 83.06 and 78.06, respectively, with variations of 2.38 ($P=0.002$), 3.01 ($P=0.012$), 0.03 ($P=0.209$), 0.45 ($P=0.202$) and -0.19 ($P=0.754$) when compared with solo-cropping soybean. Conclusion: Relay-cropped soybean has the same or even higher nutritional value as solo-cropped soybean and more reasonable 11S/7S ratio which is good for the quality of soybean protein products. As a consequence, it is necessary to select highly nutritional soybean cultivars for relay-cropping with corn.

Key words: relay-cropping soybean; storage protein; amino acids; nutritional evaluation

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)21-0275-05

大豆含有丰富的蛋白质和氨基酸, 其所含蛋白质约占干质量40%以上, 8种必需氨基酸的含量均能满足人体的需要^[1-2]。因此, 大豆蛋白是一种能满足人体生长需要

的优质全蛋白^[3]。大豆贮藏蛋白主要含7S球蛋白与11S球蛋白两种组分, 11S和7S组分在理化性质、营养和功能特性方面均有很大差异, 是大豆蛋白营养价值和功能特性

收稿日期: 2012-04-07

基金项目: 国家“973”计划项目(2011CB100400; 2011CB100402)

作者简介: 蒋涛(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为作物生理与生化。E-mail: chiantao46@sina.com

*通信作者: 杨文钰(1958—), 男, 教授, 博士, 研究方向为作物高产高效栽培。E-mail: wenyu.yang@263.net

的主要决定组分^[4-6]。现代营养学理论还认为,蛋白质的营养价值与蛋白质的氨基酸组成密切相关,食物蛋白质的氨基酸组成越接近人体蛋白质的组成,并为人体消化吸收时,其营养价值越高^[7]。因此,研究大豆贮藏蛋白、氨基酸组成对大豆蛋白相关食品的营养价值研究和产品开发具有重大意义。

近年来,面对国内发展势头强劲的玉米、水稻等优势作物以及国外大量进口大豆的冲击,我国大豆产业遇到了前所未有的发展危机^[8]。在北方大豆重茬减产严重、面积扩大受玉米和水稻制约的不利形式下,南方地区间套作大豆应运而生,它充分利用了光、热、水资源,提高了大豆种植面积,降低了生产成本,增加了大豆产量,对缓解区域粮食安全,起到了重要作用^[8-9]。然而套作大豆在玉米生育中后期种植,因玉米的荫蔽作用使其生育前期光合作用受到影响,那么其蛋白质营养品质是否也受到一定的影响,还须进一步研究。因此,对套作大豆蛋白质、氨基酸组成及其品质评价的研究在解决粮食安全及满足人们对优质大豆蛋白的需求方面具有重要意义。

有关大豆贮藏蛋白、氨基酸组成的研究已有不少,但多局限在净作大豆氨基酸与蛋白质、贮藏蛋白亚基的相关性以及氨基酸营养的研究上^[10-13];对套作大豆品质的研究也多局限在蛋白质、脂肪的含量变化上^[14-15]。而对不同品质特征套作大豆的贮藏蛋白、氨基酸组成特征及其营养品质系统评价的研究尚少。因此,很有必要对不同品质特征套作大豆的营养品质进行系统分析与评价,才能明确套作大豆的营养品质特征。此研究以南方套作常用的、具有代表性的3个不同品质特征的大豆品种为实验材料,进行净作和玉米-大豆套作对比,测定了其贮藏蛋白组成、氨基酸组成,并对其营养价值进行分析比较,以期对南方套作大豆品质改良及其在食用开发上的利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

实验于2011年在四川农业大学农场试验田进行,选用D1(桂夏3号)、D2(贡选1号)、D3(中江十月黄)3个不同品质类型的大豆品种。根据目前生产上普遍采用的玉米-大豆套作模式,采用2m开厢,玉米宽窄行栽培,窄行行距45cm,宽行行距155cm,穴距40cm,每穴2株。大豆套作在玉米宽行内种2行,行距40cm,窝距35cm,每窝留3株;大豆净作行窝距与套作相同。玉米大豆的播种期分别为4月初和6月初,重复3次。种子收获后自然风干,粉碎,过60目筛。

盐酸、乙醚、Tris base、 β -巯基乙醇、SDS、DTT、

TEMED、过硫酸铵、丙烯酰胺。

Infrate 1241近红外谷物分析仪 美国福斯公司;
DY CZ-24A电泳仪 北京六一公司; L-8800全自动氨基酸分析仪 日本日立公司; BIO-RAD Gel Doc XR+凝胶成像分析系统 美国Bio-Rad公司。

1.2 方法

大豆种子品质采用Foss Infrate 1241近红外谷物分析仪测定;贮藏蛋白亚基采用王显生等^[16]的方法测定;氨基酸组分利用全自动氨基酸分析仪测定,称取0.100g大豆样品于安瓿瓶中,准确加入10mL 6mol/L HCl,封口后于110℃烘箱内水解24h,冷却后用水定容至50mL,用0.45 μ m水相滤头过滤200 μ L溶液于大口离心管中,再次放入60℃烘箱里浓缩至没有任何液体后,加入0.02mol/L HCl 1mL混匀,制得样品溶液上机测定。

根据FAO/WHO氨基酸评分标准模式和鸡蛋蛋白模式进行营养价值评定,氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)、氨基酸比值系数分(SRCAA)和必需氨基酸相对比值(EAARR)按文献^[17]公式求得。

2 结果与分析

2.1 不同品种大豆籽粒品质特征

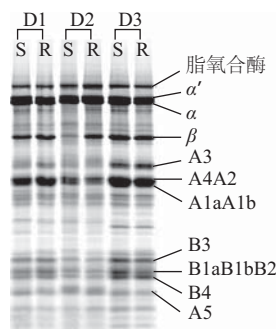
表1 不同品种大豆品质特征
Table 1 Quality characteristics of different soybean cultivars

指标	D1		D2		D3		平均值	
	净作	套作	净作	套作	净作	套作	净作	套作
蛋白质	46.50 ^{cB}	45.60 ^{cB}	49.07 ^{bAB}	49.77 ^{abA}	50.43 ^{abA}	50.77 ^{aA}	48.67	48.71
脂肪	18.43 ^{aAB}	18.67 ^{aA}	17.70 ^{bB}	17.50 ^{bB}	16.00 ^{cC}	15.83 ^{cC}	17.39	17.32
蛋脂总量	64.93 ^{abA}	64.27 ^{aA}	66.77 ^{aA}	67.27 ^{aA}	66.43 ^{abA}	66.60 ^{abA}	66.06	66.03

注:不同的小写字母或大写字母分别表示同一行在0.05和0.01水平上差异显著。下同。

3个不同品质类型的大豆在净作和玉米-大豆套作条件下的品质特征如表1所示,大豆品种D1具有高脂肪型品质特征,D3具有高蛋白型品质特征,D2为中间型;其中蛋白质含量D3>D2>D1;脂肪含量D1>D2>D3;蛋脂总量D2>D3>D1。3个品种套作大豆的蛋白质含量都在45%以上,平均为48.71%;蛋脂总量在64%以上,平均为66.03%。套作大豆和净作大豆蛋白质平均含量分别为48.71%和48.67%,相比较发现无显著性差异。虽然蛋白质的含量不等于质量,但是没有一定数量,再好的蛋白质其营养价值也有限,因此蛋白质含量是食物蛋白质营养价值的基础。由此看出,南方大豆具有很好的植物蛋白质营养潜力,同时套作大豆并没有显著改变南方大豆的高蛋白品质特征。

2.2 不同品种大豆贮藏蛋白亚基分析



S、R分别代表solo-cropping(净作)、relay-cropping(套作)。

图1 不同品质类型大豆贮藏蛋白亚基的SDS-PAGE图谱

Fig.1 SDS-PAGE pattern of storage protein subunits in relay-cropped and solo-cropped soybean from different cultivars

表2 大豆球蛋白亚基相对含量分析

Table 2 Relative contents of storage protein subunits in relay-cropped and solo-cropped soybean from different cultivars

亚基	D1		D2		D3		平均值	
	净作	套作	净作	套作	净作	套作	净作	套作
α'	5.51 ^{cBC}	5.38 ^{cC}	6.63 ^{abAB}	6.03 ^{bcABC}	7.02 ^{aA}	5.84 ^{bcABC}	6.39	5.75
α	8.14 ^{aA}	7.04 ^{bcB}	7.45 ^{bAB}	8.33 ^{aA}	6.68 ^{cB}	6.66 ^{cB}	7.42	7.35
β	10.04 ^{dB}	11.17 ^{cB}	12.64 ^{ba}	13.91 ^{aA}	10.08 ^{dB}	10.46 ^{cdB}	10.92	11.85
7S	23.69 ^{bb}	23.60 ^{bb}	26.72 ^{aA}	27.27 ^{aA}	23.79 ^{bb}	22.97 ^{bb}	24.73	24.94
A3	8.80 ^{cC}	9.44 ^{cBC}	9.75 ^{bcBC}	9.61 ^{cBC}	11.53 ^{aA}	10.46 ^{bAB}	10.03	9.84
A4A2	14.45 ^{bb}	11.21 ^{dd}	15.36 ^{abAB}	15.86 ^{aA}	13.17 ^{cC}	14.45 ^{bb}	14.33	13.84
A1aA1b	10.67 ^{aA}	9.40 ^{bb}	7.13 ^{dd}	7.92 ^{cCD}	8.30 ^{cC}	9.49 ^{bb}	8.70	8.94
B3	10.50 ^{bb}	10.04 ^{bb}	8.89 ^{cC}	5.82 ^{dd}	14.97 ^{aA}	15.14 ^{aA}	11.46	10.00
B1aB1bB2	9.55 ^{abAB}	10.33 ^{aA}	9.35 ^{baB}	9.17 ^{bb}	7.57 ^{cC}	5.75 ^{dd}	8.82	8.42
B4	6.92 ^{cC}	10.27 ^{aA}	6.63 ^{cC}	8.69 ^{bb}	6.73 ^{cC}	8.59 ^{bb}	6.76	9.18
A5	7.94 ^{aA}	7.28 ^{abAB}	7.78 ^{aAB}	7.89 ^{aAB}	6.49 ^{cC}	6.91 ^{bcBC}	7.40	7.36
11S	68.85 ^{abAB}	67.96 ^{aB}	64.88 ^{bb}	63.97 ^{bb}	68.77 ^{abAB}	70.79 ^{aA}	67.50	67.57
11S+7S	92.54 ^{aA}	91.55 ^{aA}	91.60 ^{aA}	91.24 ^{aA}	92.55 ^{aA}	93.76 ^{aA}	92.23	92.52
11S/7S	2.91 ^{ba}	2.88 ^{ba}	2.43 ^{cb}	2.35 ^{cb}	2.89 ^{ba}	3.08 ^{aA}	2.74	2.74

注：表中 11S/7S 表示 11S 相对含量与 7S 相对含量的比值，不带 %。

3个不同品质类型的大豆在净作和玉米-大豆套作条件下贮藏蛋白亚基SDS-PAGE图谱如图1所示，贮藏蛋白亚基含量如表2所示。由图1可知，大豆α'、α等7S球蛋白亚基以及A3、A4A2、B1aB1bB2等11S球蛋白亚基。由表2可知，套作大豆贮藏蛋白7S球蛋白亚基平均相对含量为24.94%，11S球蛋白亚基平均相对含量为67.57%，11S/7S比值达到了2.74，说明南方套作大豆贮藏蛋白具有较高的营养品质潜力。不同品质类型套作大豆贮藏蛋白7S球蛋白和11S球蛋白存在一定的差异，其中D2 7S球蛋白相对含量最高，达到了27.27%，11S球蛋白相对含量最低，D3和D1 7S、11S球蛋白相对含量几乎一致；11S/7S比值D3>D1>D2，并达到显著水平($P=0.024$)。套作大豆与净作大豆相比贮藏蛋白亚基α'、β和B4分别显著变化： -0.64% ($P=0.015$)、 0.93% ($P=0.01$)、

2.42% ($P=0.02$)，其余各亚基变化不显著。套作大豆D3贮藏蛋白11S/7S达到了3以上，比净作极显著升高 0.19 ($P=0.001$)；D1和D2贮藏蛋白11S/7S相对于净作分别下降 0.03 ($P=0.901$)和 0.09 ($P=0.214$)，说明不同基因型大豆对套作的相对适应性有所不同。

2.3 不同品质类型大豆氨基酸组成

表3 不同品质类型大豆籽粒样品氨基酸含量

Table 3 Amino acid composition in relay-cropped and solo-cropped soybean from different cultivars

氨基酸	D1		D2		D3		平均值	
	净作	套作	净作	套作	净作	套作	净作	套作
天冬氨酸	44.22 ^{aA}	45.22 ^{aA}	45.61 ^{aA}	43.02 ^{aA}	36.02 ^{bb}	38.12 ^{bb}	41.95	42.12
苏氨酸*	15.41 ^{aA}	15.32 ^{abAB}	14.70 ^{abAB}	13.94 ^{bb}	11.70 ^{cC}	12.65 ^{cbC}	13.93	13.97
丝氨酸	24.74 ^{aA}	24.67 ^{abA}	24.07 ^{abA}	23.00 ^{baB}	20.22 ^{cB}	20.99 ^{cB}	23.01	22.89
谷氨酸	71.08 ^{aA}	71.53 ^{aA}	70.01 ^{abA}	68.88 ^{ba}	55.59 ^{cB}	58.33 ^{cB}	65.56	66.25
甘氨酸	16.45 ^{aA}	16.83 ^{aA}	16.75 ^{aA}	15.66 ^{aA}	13.07 ^{bb}	13.68 ^{bb}	15.42	15.39
丙氨酸	16.28 ^{aA}	16.23 ^{aA}	15.90 ^{abA}	14.89 ^{abB}	12.68 ^{bb}	13.49 ^{bbC}	14.95	14.87
脯氨酸	8.33 ^{aA}	7.99 ^{abA}	5.98 ^{cA}	6.99 ^{abA}	6.48 ^{abA}	6.02 ^{bcA}	6.93	7.00
缬氨酸*	16.01 ^{ba}	16.35 ^{abA}	17.09 ^{aA}	15.98 ^{ba}	13.49 ^{db}	14.50 ^{cb}	15.53	15.61
蛋氨酸*	7.79 ^{aA}	7.77 ^{aA}	4.69 ^{bb}	5.05 ^{bb}	5.72 ^{bb}	5.58 ^{bb}	6.07	6.13
异亮氨酸*	17.15 ^{aA}	17.39 ^{aA}	17.78 ^{aA}	16.88 ^{aA}	13.37 ^{bb}	14.27 ^{bb}	16.10	16.18
亮氨酸*	30.13 ^{aA}	30.24 ^{aA}	29.29 ^{abAB}	27.59 ^{bb}	22.18 ^{cC}	23.43 ^{cC}	27.20	27.09
酪氨酸	9.03 ^{bcAB}	10.96 ^{aA}	10.63 ^{aA}	9.96 ^{abA}	7.85 ^{bcB}	7.58 ^{cb}	9.17	9.50
苯丙氨酸*	21.68 ^{abA}	21.23 ^{aA}	20.03 ^{baB}	18.11 ^{bb}	14.45 ^{cC}	15.59 ^{cbC}	18.72	18.31
赖氨酸*	30.27 ^{abAB}	32.65 ^{aA}	31.19 ^{abAB}	29.31 ^{bb}	24.37 ^{cC}	25.52 ^{cC}	28.61	29.16
组氨酸▲	2.77 ^{aA}	3.00 ^{abAB}	2.13 ^{bb}	1.99 ^{bb}	1.86 ^{bb}	1.79 ^{bb}	2.26	2.26
精氨酸▲	26.44 ^{abA}	26.09 ^{abA}	28.53 ^{aA}	25.15 ^{ba}	20.58 ^{cb}	21.03 ^{cb}	25.18	24.09
脯氨酸	48.04 ^{aA}	46.13 ^{abAB}	45.80 ^{abAB}	39.11 ^{bcAB}	36.25 ^{cb}	40.01 ^{bcAB}	43.37	41.75
总氨基酸	405.84 ^{aA}	409.59 ^{aA}	400.16 ^{aA}	375.51 ^{bb}	315.88 ^{cC}	332.57 ^{cb}	373.96	372.56
必需氨基酸	0.38 ^{aA}	0.39 ^{aA}	0.38 ^{aA}	0.38 ^{aA}	0.38 ^{aA}	0.38 ^{aA}	0.38	0.38
酸比例								

注：*，必需氨基酸；▲，半必需氨基酸。

不同品质类型的大豆在净作和玉米-大豆套作条件下氨基酸含量如表3所示，3个不同品质类型的套作大豆氨基酸组分丰富；含有异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸和缬氨酸等7种必需氨基酸。不同品种套作大豆比较发现总氨基酸含量D1>D2>D3，差异达到极显著水平($P=0.007$)，其必需氨基酸占总氨基酸含量的比例几乎一致。套作大豆总氨基酸平均含量为372.56mg/g，其中必需氨基酸占总氨基酸含量的38%；与净作大豆比较发现套作大豆总氨基酸含量下降1.4mg/g，但差异不显著，各氨基酸组分也没发生显著性变化。不同品质类型套作大豆总氨基酸含量及氨基酸组分变化不同，其中高蛋白大豆品种D3总氨基酸含量显著升高16.69mg/g($P=0.013$)，中间型大豆品种D2显著降低24.65mg/g($P=0.006$)；D1酪氨酸、赖氨酸含量显著升高，D2脯氨酸含量显著升高，缬

氨酸、精氨酸含量显著下降, D3缬氨酸显著升高。但从这些数据难以反映套作大豆与净作大豆营养价值的差异, 因此须通过化学分析法的营养评价, 了解各个大豆样品的必需氨基酸是否平衡。

2.4 不同品质类型大豆必需氨基酸组分比较

表4 不同品质类型大豆氨基酸含量与FAO/WHO模式和全蛋模式比较
Table 4 Comparison of essential amino acid composition of relay-cropped and solo-cropped soybean from different cultivars with the FAO/WHO pattern and the whole egg reference pattern

mg/g pro										
指标	D1		D2		D3		平均值		WHO/ FAO模 式	全蛋 模式
	净作	套作	净作	套作	净作	套作	净作	套作		
苏氨酸	33.79	33.59	29.95	28.02	23.20	24.92	28.98	28.84	40.00	47.00
缬氨酸	35.11	35.85	34.82	32.10	26.75	28.56	32.22	32.17	50.00	66.00
蛋氨酸+胱氨酸	35.35	34.55	21.76	24.19	24.19	22.85	27.10	27.20	35.00	57.00
异亮氨酸	37.60	38.13	36.23	33.91	26.51	28.10	33.45	33.38	40.00	54.00
亮氨酸	66.08	66.32	59.69	55.43	43.99	46.14	56.59	55.96	70.00	86.00
苯丙氨酸+ 酪氨酸	67.36	70.60	62.46	56.40	44.21	45.62	58.01	57.54	60.00	93.00
赖氨酸	66.39	71.60	63.57	58.89	48.32	50.28	59.43	60.26	55.00	70.00
总值	341.69	350.66	308.48	288.94	237.16	246.46	295.78	295.35	350.00	473.00

蛋白质的必需氨基酸组成以FAO/WHO模式^[18]和全蛋模式规定的必需氨基酸均衡模式为标准, 由表4可知, 套作大豆大多数氨基酸含量接近FAO/WHO和全蛋评分模式中同种氨基酸的含量, 其中赖氨酸含量超过了FAO/WHO评分模式中赖氨酸的含量; 其总氨基酸含量稍低于FAO/WHO评分模式中总氨基酸含量。不同品种套作大豆必需氨基酸含量存在差异, 其中D1的总必需氨基酸含量及各类必需氨基酸含量均高于D2和D3; 且D1必需氨基酸组成与FAO/WHO模式氨基酸组成几乎一致。套作大豆必需氨基酸组成和净作大豆相比无显著性变化, 总必需氨基酸下降0.43mg/g; 不同品种表现不一样, 其中总必需氨基酸含量D1、D3分别上升8.97mg/g($P=0.016$)、9.3mg/g($P=0.031$), D2下降19.54mg/g($P=0.022$)。

2.5 FAO/WHO和全蛋模式下5种化学分析方法的营养评价

用5种化学分析方法: 氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)、氨基酸比值系数分(SRCAA)和必需氨基酸相对比值(EAARR), 以鸡蛋蛋白质、FAO/WHO氨基酸参考模式为评价标准^[18], 对净作及玉米-大豆套作条件下3种不同品质类型大豆的必需氨基酸进行营养评价的结果见表5。可以看出5种化学评分AAS、CS、EAAI、EAARR、SRCAA的评分都很高, 说明南方大豆具有较好蛋白质营养价值。

5种化学评价方法中除D1净作及套作样品、D3净作样品的化学分(CS)外, 以FAO/WHO为参考蛋白模式的评价结果高于全蛋模式。在FAO/WHO参考模式下套作大

豆第一限制性氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸; 5种化学分析指标AAS、CS、EAAI、SRCAA、EAARR分别为64.34、76.82、82.10、83.06、78.06; 套作大豆与净作大豆相比各化学评分AAS、CS、EAAI、SRCAA、EAARR分别变化: 2.38($P=0.002$)、3.01($P=0.012$)、0.03($P=0.209$)、0.45($P=0.202$)、-0.19($P=0.754$)。在全蛋模式下套作大豆第一限制性氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸; 5种化学分析指标AAS、CS、EAAI、SRCAA、EAARR分别为45.61、73.23、60.72、80.76、61.59; 套作大豆与净作大豆相比各化学评分AAS、CS、EAAI、SRCAA、EAARR分别变化: 1.64($P=0.01$)、2.23($P=0.754$)、0.02($P=0.53$)、-0.16($P=0.937$)、-0.27($P=0.814$)。在FAO/WHO及全蛋参考模式下, 对不同品种套作大豆的营养品质比较发现: AAS、EAAI及EAARR表现为D1>D2>D3, 并达到显著水平; CS和SRCAA表现为D3>D1>D2。综上, 套作大豆具有与净作大豆一致甚至更高的氨基酸营养品质, 如套作大豆AAS和CS显著高于净作大豆。

表5 两种参考模式下不同品质类型大豆的AAS、CS、EAAI、SRCAA及EAARR

Table 5 AAS, CS, EAAI, SRCAA and EAARR of relay-cropped and solo-cropped soybean from different cultivars in the FAO/WHO pattern and the whole egg reference pattern

品种	FAO / WHO模式					全蛋模式				
	AAS	CS	EAAI	SRCAA	EAARR	AAS	CS	EAAI	SRCAA	EAARR
D1	净作 70.22 ^{ba}	71.93 ^{cb}	95.42 ^{aa}	83.89 ^{abA}	87.02 ^{aA}	53.19 ^{ba}	73.64 ^{ab}	70.57 ^{ba}	83.27 ^{aA}	71.55 ^{aA}
	套作 71.71 ^{aA}	71.57 ^{cb}	97.25 ^{aa}	81.58 ^{abAB}	85.23 ^{abAB}	54.32 ^{aA}	73.28 ^{ab}	71.92 ^{aA}	80.72 ^{aAB}	72.54 ^{aA}
D2	净作 62.18 ^{cb}	70.54 ^{cb}	84.25 ^{ab}	79.47 ^{cb}	80.41 ^{bcAB}	38.18 ^{dc}	58.54 ^{dc}	62.31 ^{cb}	76.72 ^{bb}	64.16 ^{bb}
	套作 64.20 ^{cb}	77.77 ^{aA}	80.01 ^{bc}	82.52 ^{abAB}	79.18 ^{cb}	42.44 ^{cb}	69.47 ^{cb}	59.17 ^{ab}	79.75 ^{abAB}	60.39 ^{cb}
D3	净作 53.49 ^{cb}	78.95 ^{abA}	66.55 ^{cb}	84.48 ^{abA}	67.3 ^{dc}	40.53 ^{cb}	80.83 ^{aA}	49.22 ^{cb}	82.76 ^{aA}	49.88 ^{cd}
	套作 57.12 ^{dc}	81.12 ^{aA}	69.04 ^{cb}	85.08 ^{aA}	69.76 ^{cb}	40.08 ^{cb}	76.93 ^{ab}	51.06 ^{cb}	81.80 ^{aA}	51.85 ^{cd}
平均	净作 61.96	73.81	82.07	82.61	78.25	43.97	71.00	60.70	80.92	61.86
值	套作 64.34	76.82	82.10	83.06	78.06	45.61	73.23	60.72	80.76	61.59

3 讨论

南方玉米-大豆套作模式下常用的、具有代表性的3个不同品质类型的大豆品种D1(高脂肪型)、D2(中间型)及D3(高蛋白型)蛋白质含量都在45%以上, 最高达到50.77%。研究表明低纬度地区的大豆品种籽粒蛋白质相对含量较高^[19], 北方、黄淮海、南方三大生态区大豆品种和种质资源蛋白含量呈现自北向南递增的趋势^[20]。结合本研究发现, 南方大豆具有高蛋白的品质特征, 完全可以作为植物蛋白开发和利用的优良原料; 同时玉米-大豆套作在保证套作大豆产量的同时^[21], 仍保持着南方大豆高蛋白的优良品质特征。

研究表明11S球蛋白的亚基组成在豆腐的胶凝特性中起着重要的决定作用, 在热诱导成胶过程中, 11S球蛋白的A5、B1、B2、B3亚基与凝胶形成速率和透明度密切相关

关,而A3、B4亚基则与凝胶的硬度有着密切的关系^[5]。由于11S球蛋白的含硫氨基酸含量是7S球蛋白的5~6倍,因此增加11S球蛋白的含量降低7S球蛋白的含量可以提高大豆蛋白的营养品质,调节二者的比例还可以改善大豆蛋白的功能特性^[4,6,22]。本研究表明南方套作大豆7S球蛋白相对含量低、11S球蛋白相对含量高,11S/7S比值达到2.74,说明南方套作大豆完全可为大豆制品加工提供优质蛋白原料。套作条件下,D3贮藏蛋白11S/7S比值比净作高0.19($P=0.001$);D1和D2贮藏蛋白11S/7S相对于净作分别下降0.03($P=0.901$)和0.09($P=0.214$),说明不同基因型大豆对套作的相对适应性有所不同。套作大豆D3贮藏蛋白11S/7S高达3.08,可为适合套作大豆品种选育及优质豆腐用大豆品种的选配提供亲本。

不同品质类型套大豆品种氨基酸种类齐全、含量高;氨基酸总量达到了样品干质量的40%左右;其必需氨基酸含量均占总氨基酸的38%以上。与FAO/WHO参考模式比较,套作大豆的所有必需氨基酸(除色氨酸)含量接近或超过FAO/WHO参考模式中同种氨基酸含量,完全适合作为常规食品直接食用。但要研究套作大豆蛋白质的营养品质,还须通过化学分析进一步对其营养品质进行评价。FAO/WHO分析法和全蛋模式主要针对人体的营养需求,AAS用来评价蛋白质中限制性氨基酸是否缺乏;EAAI反映蛋白质氨基酸组成的平衡程度,EAAI越大,氨基酸组成越平衡;SRCAA可反映必需氨基酸偏离氨基酸模式的离散度,SRCAA越小,蛋白质营养价值也越低^[23-24];EAARR能较客观地反映蛋白质中必需氨基酸与标准蛋白质的偏离程度,EAARR越接近1,说明被评蛋白质中的各种必需氨基酸含量与模式越一致^[25]。在FAO/WHO参考模式下,套作大豆5种化学分析指标AAS、CS、EAAI、SCRAA、EAARR分别为64.34、76.82、82.10、83.06、78.06,达到了较高的营养价值水平;套作大豆与净作大豆相比各化学评分AAS、CS、EAAI、SCRAA、EAARR分别变化:2.38($P=0.002$)、3.01($P=0.012$)、0.03($P=0.209$)、0.45($P=0.202$)、-0.19($P=0.754$),说明套作大豆不但没有降低氨基酸营养价值,而且有所提高大豆蛋白质的营养品质。D1 5项化学评分中有3项(AAS、EAAI和EAARR)显著高于D2和D3,且11S/7S较高,综合看来D1营养价值应该位于3个品种之首。因此,选择蛋白质综合营养价值较高的大豆品种进行间作套种,在解决粮食安全和植物蛋白质开发方面具有潜在的开发利用前景。

参考文献:

- [1] 孟祥勋. 大豆种子贮藏蛋白研究[J]. 东北农业大学学报, 1997, 28(2): 97-103.
- [2] 尹宗伦. 大豆蛋白健康(功效)声明的进展[J]. 中国食品学报, 2008, 8(1): 137.
- [3] 蔡同一. 大豆蛋白: 优质的全蛋白[N]. 中国食品质量报, 2007-11-30(3).
- [4] FUKUSHIMA D. Recent progress of soybean protein foods: chemistry, technology, and nutrition[J]. Food Reviews International, 1991a, 7(3): 323-351.
- [5] FUKUSHIMA D. Structures of plant storage proteins and their functions[J]. Food Reviews International, 1991b, 7(3): 353-379.
- [6] 周瑞宝, 周兵. 大豆7S和11S球蛋白的结构和功能性质[J]. 中国粮油学报, 1998, 13(6): 39-42.
- [7] 马艳弘, 周剑忠, 黄开红, 等. 外源硒对发芽大豆脂肪酸与蛋白质氨基酸组成及营养价值的影响[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(3): 652-657.
- [8] 杨文钰, 雍太文, 任万军, 等. 发展套作大豆, 振兴大豆产业[J]. 大豆科学, 2008, 27(1): 1-7.
- [9] 雍太文, 杨文钰, 任万军, 等. 发展套作大豆, 促进四川大豆产业发展[J]. 作物杂志, 2007 (6): 5-8.
- [10] 李福山, 常汝镇, 舒世珍, 等. 栽培、野生、半野生大豆蛋白质含量及氨基酸组成的初步分析[J]. 大豆科学, 1986, 5(1): 64-72.
- [11] 孟祥勋, 胡明祥. 大豆子粒蛋白质氨基酸组成成分的相关分析[J]. 大豆科学, 1987, 6(3): 213-219.
- [12] 刘珊珊, 王志坤, 葛玉君, 等. 大豆7S球蛋白亚基相对含量与品质性状间的相关分析[J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(3): 284-289.
- [13] 赵法极, 郭俊生, 陈洪章. 大豆平衡氨基酸营养价值的研究[J]. 营养学报, 1986, 8(2): 153-158.
- [14] 伍晓燕. 不同株型玉米对套作大豆形态生理及产量品质影响的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2007.
- [15] 刘增禹, 伍晓燕, 杨文钰, 等. 玉米株型对套作大豆氮素积累、转运和籽粒蛋白质产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(6): 574-581.
- [16] 王显生, 麻浩, 向世鹏, 等. 不同SDS-PAGE分离胶浓度条件下大豆贮藏蛋白亚基的分辨效果[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(2): 75-80.
- [17] 钱爱萍, 颜孙安, 陆鹏, 等. 11种罗非鱼饲料原料必需氨基酸的营养评价[J]. 中国农学通报, 2011, 27(29): 554-558.
- [18] FAO/WHO. Energy and protein requirements: report of a Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee[R]// FAO Nutrition Meeting Report Series No. 52, Rome and WHO Technical Report Series No. 522, Geneva, 1973.
- [19] 张大勇, 宁海龙, 杨庆凯, 等. 东北地区几个大豆品种的蛋白质、脂肪含量的差异[J]. 中国油料作物学报, 2003(3): 18-24.
- [20] 李为喜, 朱志华, 刘三才, 等. 中国大豆*Glycine max*品种及种质资源主要品质状况分析[J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(2): 185-192.
- [21] 王竹, 杨文钰, 吴其林. 玉/豆套作阴蔽对大豆光合特性与产量的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(9): 1502-1507.
- [22] YAMAUCHI F, YAMAGISHI T, IWABUCHI S. Molecular understanding of heat-induced phenomena of soybean protein[J]. Food Reviews International, 1991, 7(3): 283-332.
- [23] HOODA S, JOOD S. Nutritional evaluation of wheat-fenugreek blends for product making[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2004, 59(4): 149-154.
- [24] WONG K H, CHEUNG P C K, ANG P O. Nutritional evaluation of protein concentrates isolated from two red seaweeds: *Hypnea charoides* and *Hypnea japonica* in growing rats[J]. Hydrobiologia, 2004, 512: 271-278.
- [25] 赵建幸. 蛋白质营养评价新方法的研究: 必需氨基酸相对比值法[J]. 食品工业, 1991(5): 38-40.