

# 中国棉秆资源量估算及其自然适宜性评价

左 旭 毕于运 王红彦 高春雨 王 磊 王亚静

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 北京 100081)

**摘要** 对棉花草谷比进行系统考证,科学估算和评价我国棉秆资源量及其各种利用途径的自然适宜性,充分认识我国棉秆资源的开发潜力。通过文献查询法,从大量的研究文献中获取具有价值的 15 篇研究论文中的 102 个籽棉草谷比有效样本数据,系统考证我国棉花的草谷比;采用秸秆资源自然适宜性分级法,就棉秆资源在燃料、饲料、肥料、工业原料和食用菌基料利用方面的自然适宜性进行评价;对将用于包括新型能源化利用在内的各种用途的棉秆资源划分为最适宜、次适宜、不适宜等不同级别。研究结果表明,我国棉花草谷比取值 5.0 为宜。在此基础上计算出 2013 年中国棉秆资源量为 3 149.5 万 t,主要分布在西北干旱区的新疆以及黄淮海和长江中下游地区。在自然适宜性评级方面,棉秆最适宜燃用,亦适宜于用作固化、炭化、气化和发电等新能源化利用,而在沼气生产方面则为次适宜级别。在可饲性适宜性方面,粗棉秆部分均不适宜于直接饲喂和加工饲喂,棉花细茎和叶较适宜直接饲喂,适宜加工饲喂。在肥料化利用方面,棉秆经过机械粉碎可直接还田,此外,棉秆是理想的工业加工原料和食用菌基料。棉秆资源具有多宜性,棉秆资源综合利用应注意合理配置资源、优化棉秆利用结构,将其转化为各种优质的原料资源。

**关键词** 棉秆;资源量;棉花草谷比;自然适宜性

中图分类号 S216.2 文献标识码 A 文章编号 1002-2104(2015)06-0159-08 doi: 10.3969/j.issn.1002-2104.2015.06.022

棉花秸秆(简称棉秆)是棉花收获之后的副产物,主要包括棉花的茎、枝、梢、叶、壳等部分。棉秆富含纤维素、木质素和多缩戊糖等物质,是重要的农业可再生资源,具有很高的开发利用价值,目前已被广泛应用于饲料、燃料、肥料、造纸原料、复合材料、再生纤维素人造丝、活性炭、羧甲基纤维素、木糖等多种用途<sup>[1-5]</sup>。我国是世界上最大的棉花生产国,棉花产量约占年度全球棉花总产量的 30%<sup>[6]</sup>,棉秆资源非常丰富。合理高效开发利用棉秆资源,对于促进我国经济发展、改善生态环境具有积极意义。目前关于棉秆草谷比考证及自然适宜性评价方面的研究尚不多见,有的也不够详尽和系统,对棉秆资源量的估算没有统一的计算标准。国内外研究表明,棉花秸秆的草谷比大约在 3-5 之间<sup>[1,7-10]</sup>。但在这些研究中,多数未就棉花的籽棉草谷比与皮棉草谷比进行明确区分和说明。在棉秆资源的自然适宜性方面,魏敏等<sup>[11]</sup>通过采用尼龙袋法和体外产气技术等方法对棉秆饲用价值进行了基本评价,指出棉花秸秆应属于粗饲料,但要全面评价棉秆的营养价值还需要进一步通过动物试验进行测定。李金霞等<sup>[12]</sup>综述了国内

外棉秆资源在农业上开发利用的现状(主要包括棉秆还田、饲料化利用、能源化利用、食用菌基料等),并对棉秆的综合利用进行了展望,但并未就棉秆的自然适宜性进行分级评价。王亚静等<sup>[13]</sup>指出棉秆适宜用作燃料、工业加工原料,不适宜用作饲料,但并未就棉秆新型能源化开发利用的适宜性进行评价。随着秸秆利用技术的不断改进,越来越多的研究发现,棉秆是一种理想的新型能源开发原料。通过棉秆资源发电、生产生物乙醇等新型能源化利用途径,可实现较高的附加价值<sup>[1,14-15]</sup>。本研究将在收集大量试验数据的基础上,对棉花秸秆的草谷比进行系统考证,并对棉秆资源在“五料”利用方面(燃料、饲料、肥料、工业原料、食用菌基料)的自然适宜性进行分级评价。

## 1 研究方法

### 1.1 棉花草谷比确定方法

根据我国农产品统计说明,棉花产量按去籽后的皮棉计算,每 3 kg 籽棉折 1 kg 皮棉。棉花草谷比包括皮棉草

收稿日期:2015-03-31

作者简介:左旭,博士生,主要研究方向为区域经济。

通讯作者:王亚静,博士,助理研究员,主要研究方向为农业废弃物资源化利用。

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目“北方地区秸秆沼气集中供气工程冬季增温保温能源边际报酬分析”(编号:41301626)、“麦-玉轮作系统实施测土施肥减排 GHG 碳贸易量核算”(编号:31200337)。

谷比(即常规意义上的棉花草谷比)和籽棉草谷比。皮棉草谷比是棉花秸秆与皮棉产量即棉花产量之比。籽棉草谷比是棉花秸秆产量与籽棉产量(3 倍棉花产量)之比。皮棉草谷比 3 倍于籽棉草谷比。

通过对棉花草谷比、谷草比、收获指数文献查询结果的整理和计算,共获得 15 篇文献的 102 个籽棉草谷比有效样本数据,详见表 1。由该表可见,依据种植试验文献获取的籽棉草谷比平均值约为 1.67,标准差为 0.54,即其主要取

表 1 根据棉花种植试验文献获取的籽棉草谷比有效样本  
Tab. 1 Effective samples of straw-grain ratio for cotton from planting tests

资料来源 Data source	样本数 Sample size	样本值 Sample value	平均值 Sample mean	试验地点 Tests site
[16]	7	1.22 1.17 1.17 , 1.13 1.13 1.38 , 1.44	1.23	新疆塔里木农垦大学农业试验站
[17]	3	2.70 3.10 3.85	3.22	新疆塔里木农垦大学试验农场
[18]	5	1.49 1.55 1.77 , 2.21 2.57	1.92	四川省绵阳市农科所
[19]	7	1.86 1.88 1.89 , 1.92 1.83 1.92 , 1.93	1.89	河北省吴桥县中国农业大学吴桥试验站
[20]	9	1.33 2.13 1.13 , 2.70 0.92 1.63 , 1.56 2.03 1.70	1.68	淮北灌云县棉花原种场
[21]	12	1.74 1.49 1.54 , 1.35 1.13 1.11 , 1.48 1.54 1.64 , 1.07 1.29 1.25	1.39	江苏省农业科学院
[22]	3	1.18 1.16 1.55	1.30	江苏省农业科学院
[23]	4	2.34 2.42 2.41 , 2.52	2.42	河南新乡七里营
[24]	15	1.41 1.49 1.67 , 1.41 1.52 1.61 , 1.41 1.49 1.59 , 1.33 1.43 1.47 , 1.33 1.43 1.56	1.48	山东棉花研究中心试验站(临清市)
[25]	2	1.80 1.79	1.79	开顶式气室内盆栽试验
[26]	3	2.12 1.83 1.88	1.94	开顶式气室内盆栽试验
[27]	4	1.31 0.74 1.07 , 1.01	1.03	新疆石河子大学农学试验站
[28]	5	1.33 1.42 1.52 , 1.63 1.63	1.51	河南安阳
	5	1.63 1.63 1.89 , 2.05 2.23	1.89	江苏南京
[29]	15	0.92 1.02 0.97 , 0.87 1.00 0.89 , 1.00 0.99 0.95 , 0.93 0.95 1.00 , 0.75 0.78 0.82	0.92	中国科学院临泽内陆河流域研究站
[30]	3	0.62 1.21 1.59	1.14	新疆石河子大学农学院试验站
合计/平均	102	/	1.67	/

值范围为  $1.67 \pm 0.54$ 。按籽棉:皮棉 = 3:1 折算,依据种植试验文献获取的皮棉草谷比平均值约为 5.02,标准差为 1.60。由表 1 可以看出,在黄淮海、新疆、长江中下游三大棉区之间,棉花草谷比没有明显差异。

上述统计结果与张福春、朱志辉根据 136 个样本统计出的籽棉草谷比(1.613)<sup>[31]</sup>和新疆建设兵团农六师的实测籽棉草谷比结果(1.68)比较相近,但显著低于牛若峰、刘天福在《农业技术经济手册(修订本)》中给出的籽棉草谷比(3.40)<sup>[32]</sup>。随着棉花品种的更新及棉花加工工艺的不断改进,棉花草谷比数值必然呈逐渐变小趋势。

## 1.2 棉秆自然适宜性的评价方法

大多数农作物秸秆具有多宜性,既有自然适宜性,又有技术适宜性、经济适宜性和社会适宜性。秸秆自然适宜性是指在现实技术经济水平条件下,由秸秆形态、质地、密度、物体结构、物质组分、养分含量、热值等自身特征所决定的在其各种利用途径上的适宜程度。本研究就棉秆资源在“五料”利用方面的自然适宜性进行评价,即根据棉秆的不同特性采用分级的方法,将用于各种用途的棉秆划分为最适宜、一般适宜、次适宜等不同级别。

## 2 棉花草谷比及棉秆资源量估算结果

### 2.1 棉花草谷比的估算结果

综上所述,棉花籽棉草谷比实测结果为 1.6 - 1.7,皮棉草谷比约为 5。本研究将皮棉草谷比取值为 5。

### 2.2 棉秆资源量估算结果

棉花秸秆产量主要根据棉花产量和棉花草谷比来估算,计算公式如下:

$$W_{CS} = W_C \times R_C \quad (1)$$

其中: $W_{CS}$  为棉秆产量; $W_C$  为棉花产量; $R_C$  为棉花草谷比。

根据公式 1 估算 2013 年我国棉秆产量为 3 149.5 万 t,占全国秸秆产量的 3.17%。2013 年全国各省(市、自治区)的棉秆产量详见表 2。

我国棉秆资源主要分布在西北干旱区的新疆以及黄淮海和长江中下游地区。其中,新疆是我国最大的棉秆产区。2013 年,新疆棉秆产量 1 758.8 万 t,占全国棉秆总产量的 55.8%;棉秆产量排在全国第 2 - 6 位的分别为山东、湖北、河北、安徽和江苏,产量均在 100 万 t 以上,该五省产量合计 999.0 万 t,占全国棉秆产量的 31.7%;棉秆产量排在全国第 7 - 9 位的分别为湖南、河南和江西,产量均在 50 万 t 以上,产量合计 259.3 万 t,占全国棉秆产量的 8.2%。上述 9 个省份棉秆产量合计为 3 017.0 万 t,占全国棉秆产量的 95.8%。



表2 2013年全国各省(市、自治区)棉秆产量  
Tab.2 Yields of cotton stalk in China (2013) 10<sup>4</sup> t

排序 Sort order	地区 Region	棉秆 Cotton stalk yield	排序 Sort order	地区 Region	棉秆 Cotton stalk yield
0	全国	3 149.5	16	吉林	2.88
1	新疆	1 758.77	17	上海	1.97
2	山东	310.48	18	广西	1.21
3	湖北	229.85	19	内蒙古	0.79
4	河北	228.41	20	辽宁	0.50
5	安徽	125.56	21	贵州	0.48
6	江苏	104.66	22	云南	0.19
7	湖南	99.00	23	北京	0.08
8	河南	94.86	24	重庆	0.05
9	江西	65.44	25	福建	0.04
10	甘肃	35.27	26	宁夏	0.01
11	陕西	28.96	27	黑龙江	—
12	天津	24.24	28	广东	—
13	山西	15.32	29	海南	—
14	浙江	13.98	30	西藏	—
15	四川	6.53	31	青海	—

### 3 棉秆资源自然适宜性评价

#### 3.1 棉秆资源可燃性评价

可燃性是生物质的基本特性。在各类秸秆资源中,除了少数几种自然晾晒风干较困难的秸秆如叶菜类的残余物、甜菜渣(叶)、马铃薯茎叶等之外,绝大多数秸秆皆可燃用。对秸秆的可燃性能做出分级评价,不仅要考虑热值,还需结合秸秆的耐燃性以及农民的炊事习惯等进行综合考虑<sup>[13]</sup>。一般我们将秸秆燃用的适宜性划分为最适宜、一般适宜、次适宜、不适宜4级。棉秆的热值为14 979 KJ/kg,比秸秆(含水率15%左右)的平均热值(14 226 KJ/kg)高5.3%,比薪柴平均热值低15%,相当于标准煤热值的51.1%,即2 kg棉秆约折合1 kg标准煤。棉秆的木质化程度较高,耐燃性极佳(高于玉米秸、麦秸和稻草)。因此,我们将棉秆燃用的适宜性划分为最适宜级别(表3)。2013年在我国可收集利用的棉秆总量为2 834.6万t,可折合1 417万t标准煤。

#### 3.2 棉秆资源新型能源化开发利用自然适宜性评价

秸秆新型能源化开发利用是指利用现代技术进行的秸秆资源能源化开发利用,其开发利用途径可归纳为“四化一电”,即气化、固化、炭化、液化和发电。秸秆新型能源化开发利用的自然适宜性主要取决于秸秆收贮运和粉碎加工的难易程度、耐燃性能、质地、密度、C:N等,且不同的利用方式对秸秆要求有一定的差异,质地密实的稻壳、玉

表3 棉秆资源自然适宜性评价  
Tab.3 Suitability evaluation of cotton stalk

棉秆种类 Cotton stalk type	自然适宜性 Suitability	等级分类 Grading	评价结果 Evaluation result
棉秆	可燃性	最适宜	√
		一般适宜	
		次适宜	
		不适宜	
棉秆	三化一电	适宜	√
		较适宜	
		不适宜	
		新型能源化利用	
棉秆	新型能源化利用	最适宜	
		适宜	
		生物气化	√
		次适宜	
粗棉秆	生物气化	不适宜	
		适宜	
		直接饲喂	√
		较适宜	
粗棉秆	直接饲喂	不适宜	√
		适宜	
		加工饲喂	√
		较适宜	
棉花细茎和叶	加工饲喂	不适宜	√
		适宜	
		直接饲喂	√
		较适宜	
棉秆	直接还田	不适宜	√
		适宜	
		工业原料	√
		不适宜	
棉秆	食用菌基料	适宜	√
		不适宜	

米芯等比较适宜于秸秆热解气化,C:N较低的豆秸、花生秧等秸秆比较适宜于秸秆沼气生产。本研究将秸秆新型能源化开发利用的自然适宜性按利用方式划分为“三化一电”自然适宜性评价(即秸秆固化、炭化、气化、发电)和生物气化(沼气生产)自然适宜性评价。

#### 3.2.1 棉秆资源“三化一电”自然适宜性评价

根据秸秆收贮运以及粉碎加工、可固化成型的难易程度,可将秸秆“三化一电”的自然适宜性划分为3级:适宜、较适宜和不适宜。该分级情况主要根据秸秆收贮运、粉碎加工以及可固化成型的难易程度、耐燃性能进行评价,并按照高位就序的原则进行分级归类。高位就序原则是指对于某一特定的秸秆类型,只要其在“三化一电”的任何

一种新型能源化利用方式中属于最适宜,即将其归入“三化一电”的最适宜原料,并以此类推。

根据棉秆的密度、耐燃性、粉碎加工以及可固化成型等难易程度等特征,我们将其划分为适宜“三化一电”的级别。

### 3.2.2 棉秆资源生物气化自然适宜性评价

秸秆生物气化的自然适宜性主要根据秸秆的 C:N、产气量、木质素含量、吸水性能(避免漂浮的能力)等自然特征进行评价。可将秸秆沼气生产的自然适宜性划分为 4 级:最适宜、适宜、次适宜和不适宜。除烟秆和部分药用作物秸秆对厌氧菌种有不利影响外,绝大多数秸秆皆适用于沼气生产。

在其它条件都具备的情况下,C:N 配成 25:1-30:1 可以使沼气发酵在合适的速度下进行。棉秆的 C:N 为 34,略高于适宜的碳氮比例。当农村户用沼气池以棉秆为原料,采用混合原料发酵工艺制取沼气时,在发酵启动时必须根据接种物用量的多少,加入粪便等低碳物质或添加一些化学元素如尿素或碳酸氢铵等来调节发酵原料的碳氮比。

木质素是一种无定形环状化合物的聚合物,常存在于植物组织的纤维束之间的连接处,化学性质非常稳定,在厌氧发酵中很难被微生物降解,并给纤维素和半纤维素的分解带来一定的困难。秸秆木质素含量越高,越不利于沼气生产。棉秆是一类木质化程度非常高的作物秸秆,木质素含量约为 15.3%。因此,在发酵前对棉秆进行有效预处理十分必要。试验显示,经处理后的棉秆日均产气量、TS 产气率、VS 产气率等指标均有大幅的提升<sup>[33]</sup>。此外,棉秆易漂浮结壳,也不利于沼气生产。研究表明,在常温条件下,棉秆发酵产沼气的潜力较麦秆、稻秆和玉米秆等农作物秸秆低<sup>[34]</sup>。

综上,在生产沼气方面,棉秆属于次适宜级别。

### 3.3 棉秆资源可饲性评价

#### 3.3.1 棉秆资源可直接饲喂性评价

本研究根据各类秸秆直接饲喂的适口性及其作为饲料的营养成分含量,把所有秸秆直接饲喂的适宜性划分为 3 级:适宜、较适宜和不适宜。

秸秆在自然状态条件下是一种劣质饲料,常用作饲料的秸秆包括稻草、麦秸、玉米秸、谷草、薯秧、花生秧等。与其他禾本科秸秆相比,棉秆粗蛋白含量较高(6.5%),稻草、玉米秸、麦秸的粗蛋白含量分别为 2.9%、5.0% 和 2.7%。此外,棉秆磷、钙、无氮浸提物等营养素含量也较为丰富,实践证明可作为反刍家畜的主要饲料来源。但是由于在自然状态下的棉秆粗蛋白质含量低而粗纤维含量高,因此消化率低,适口性差,再加上含有棉酚,棉秆不适

宜直接用作饲料。

需要注意的是,同一种秸秆,若成熟度不同,其木质化程度会有所不同。成熟度越高,木质化程度便越高,消化率就越低(稻草除外,因为稻叶中含大量不能消化的硅酸盐,导致其消化率比茎秆还低)。此外,秸秆的不同部位,尤其是茎、叶之间的适口性有时往往也会有明显差异。因此,不少秸秆茎秆虽然适宜或不太适宜养殖,但其叶梢、细枝却是优良的饲料。从此方面来看,棉花细茎和叶部分较粗棉秆部分适宜于直接饲喂(见表 3)。

#### 3.3.2 秸秆资源可加工饲喂性评价

本研究根据各类秸秆在现实经济技术条件下可加工饲喂的可能性,把所有秸秆划分为 2 级:适宜加工饲喂的秸秆和不适宜加工饲喂的秸秆。

秸秆饲料加工主要包括青贮、氨化、微贮、揉搓丝化、压块、膨化等。秸秆饲料加工不仅可改善秸秆的适口性和营养成分,提高秸秆采食率和转化效率,使较适宜直接饲喂的秸秆更加适宜养畜,而且可使次适宜乃至不适宜直接饲喂的秸秆成为适宜养畜的秸秆。

棉花秸秆不做任何加工直接饲喂牛羊适口性差、消化率低、浪费严重。棉花秸秆中的细茎和叶部采用复合技术处理加工成饲料后,质地变得柔软,增加粗蛋白、粗脂肪等营养成分,并具有酸醇香味,提高牛羊的适口性,牛羊增重效果明显。同时,棉秆作为饲料可节省部分精饲料和青干草,缓解畜牧业养殖中饲草不足的问题。但由于粗棉秆部分的质地等原因,仍不适宜于加工饲喂(见表 3)。

当然,秸秆是否适合直接饲喂或加工饲喂是相对的,是与现实经济技术条件尤其是地区畜牧业发展要求和饲草资源条件相联系的。例如,据中国科学院新疆化学研究所研究<sup>[35]</sup>,棉秆经过微生物发酵处理后,可将其棉酚含量有效地控制在国家饲草料标准容许范围以内,成为适口性较好的牛羊饲料。赵得成<sup>[36]</sup>将棉花秸秆与小麦秸秆、玉米秸秆按照不同搭配比例饲喂肉羊,试验结果表明,棉花秸秆等饲草料通过铡短粉碎、清水虑净等加工处理,搭配少量精料,饲料成本降低,对照组相比养羊增重快,可以大幅度提高棉花秸秆等饲草料的利用率。总之,随着秸秆饲料加工技术水平的不断提高,将使我国适宜于饲用的秸秆种类和数量进一步增加,为我国开辟更为广阔的饲料源。

#### 3.4 棉秆资源直接还田自然适宜性评价

凡是未经过养殖转化和肥料加工,而以原物或直接粉碎后回归土壤的秸秆都应被称为秸秆直接还田。事实上,除了那些必须随农产品一齐收获的农作物副产品,如玉米芯、稻壳、花生壳、甘蔗渣、向日葵盘、甜菜渣等,所有类型的秸秆都可直接还田。

棉花秸秆含有丰富的氮、磷、钾和微量元素,可以作为

棉田重要的有机肥源。根据全国有机肥料品质分级标准<sup>[37]</sup>, 有机肥按照 5 级制划分。不同等级间的养分含量等有所差别。有机肥品质总分分级以 100 分制划分, 级差为 20。根据这一分级标准, 棉秆属于 3 级有机肥级别, 低于大豆秸秆(2 级)。可用于直接还田的棉秆包括其所有的资源量(残留还田和可收集利用量之和), 即 3 149.5 万 t。

随着秸秆还田技术的发展和还田机械的改进, 棉秆还田受到广大棉农的欢迎, 棉花秸秆还田得到广泛应用。但是, 只有解决了机械粉碎, 棉秆才能直接还田<sup>[38]</sup>。随着秸秆还田技术的推广, 不断研制出新的棉秆收获设备、粉碎设备, 将有利于推进棉花秸秆的直接还田。据陕西大荔县棉花秸秆还田示范区试验调查, 棉秆直接还田的棉田比常规棉田节约费用每公顷 525 元, 化肥节省 900 元, 病虫害防治费用也有所减少, 一般每公顷可节约费用 1 500 元左右, 同时增收 15% - 20%, 主要效益表现在改善了生态环境, 促进了可持续农业的发展<sup>[39]</sup>。但是, 棉秆还田也存在着一些问题, 例如棉秆还田质量不稳定, 粉碎设备易磨损, 棉秆粉碎粒度过大, 翻压入土后, 腐熟度降低, 不能当年成肥, 无法达到快速培肥土壤的目的, 棉秆粉碎还田易造成土壤全层污染等<sup>[40]</sup>。

### 3.5 棉秆资源工业加工自然适宜性评价

秸秆工业加工的用途十分广泛, 包括造纸、包装材料加工、人造板加工、环保用品(如一次性方便碗、餐盒、碟子、托盘、筷子等)加工、编织等。此外, 经过深加工处理, 秸秆还可以制造人造丝和人造棉, 生产酒精、木糖醇、羧甲基纤维素、糠醛、饴糖等。

棉秆的纤维形态与物理性能是农作物秸秆中最为接近木材的, 木质化程度比较高, 其纤维形态及物理力学性能与桦木、马尾松、云杉等木材较为接近<sup>[41]</sup>, 是众多农业剩余物中作为木材替代品用于造纸和人造板生产的最好原料之一<sup>[42]</sup>。目前, 我国每年有大量棉秆用于板材加工、餐具生产、木糖醇制取等方面。每 1.6 t 棉秆即可生产 1 t 草浆, 且棉秆造纸具有工艺流程简短、便于操作等优点。目前, 棉秆机械法脱皮制浆造纸技术已成功并进入工业化实施阶段, 为棉秆的大规模开发利用创造了切实可行的技术。此外, 利用棉秆代替木材加工人造板材, 一般每 800 kg 棉秆可以生产 1 m<sup>3</sup> 刨花板。生产的棉秆刨花板不仅具有不崩不裂、价廉耐用等优点, 且生产中没有环境污染问题<sup>[43]</sup>。

### 3.6 棉秆资源种植食用菌自然适宜性评价

棉花秸秆中含有丰富的碳、氮、矿物质及激素等, 利用棉秆、棉籽壳等培养成食用菌基料可以生产出高产量、高蛋白、高维生素含量的食用菌。早在 1995 年, 我国就有利

用棉花秸秆种植金针菇的报道。此外, 棉花秸秆作为育苗基料、花木基料、草坪基料等应用方式也呈加快发展趋势, 如新疆曾报道棉花秸秆可以作为主要基质种植黄瓜、辣椒等蔬菜。

充分利用棉花秸秆替代木屑等原料发展食用菌生产, 能充分利用棉区的棉秆, 丰富食用菌培养物料资源, 降低生产成本, 提高生产效益, 增加农民收入。周明等人<sup>[44]</sup>利用棉秆替代木材进行了生产灵芝的试验, 结果表明, 棉秆物料产出的毛利平均每袋比椴木物料高 1.04 元。此外, 棉秆栽培食用菌的菌糠还可成为畜、禽、鱼等的优质饲料和饵料<sup>[40]</sup>, 能实现资源循环利用与食用菌产业发展双赢。

## 4 讨 论

### 4.1 关于棉秆资源的自然适宜性评价

现有有关棉秆资源自然适宜性方面的研究多是从棉秆资源的不同用途出发(一般用于燃料、肥料、饲料、工业原料和食用菌基料), 就棉秆资源在以上用途上的开发利用现状等进行论述, 并未就用于各种用途的棉秆资源适宜性进行分级评价。本研究将用于各种用途的棉秆资源划分为最适宜、次适宜、不适宜等不同级别, 对包括棉秆新型能源化利用在内的各种用途的棉秆资源量进行估算, 具有一定的创新。

需要指出的是, 由于篇幅所限, 本文在棉秆资源可饲性评价部分, 未将棉秆中的粗棉秆、棉花细茎和叶两部分的资源量分别加以估算, 这在以后的研究中需要进一步补充和完善。

### 4.2 关于我国棉秆主产区的利用途径

棉秆资源的多宜性向我们提出了在棉秆资源综合利用过程中, 如何合理配置资源、优化棉秆利用结构这一命题。不同的地区应根据当地的棉秆资源量、地区资源及生产条件、农民习惯等, 加以分类指导, 选择不同的利用模式。我国棉秆资源分布较为集中, 新疆的棉秆产量占全国棉秆资源量的一半以上。新疆常规能源较为丰富, 但饲料较为短缺。针对新疆地区的资源条件以及生产条件等因素, 结合棉秆资源的自然适宜性等条件, 应主要加强该地区棉秆资源在肥料化和饲料化方面的利用, 充分体现可持续性。而在黄淮海和长江中下游地区, 随着生物质能源高效转换技术的不断完善和发展, 则应着重以棉秆的高值化利用方式为主, 加强棉秆资源在固化成型、食用菌基料方面的利用和研究, 实现棉秆资源的高效利用。

## 5 结 论

(1) 大量的实验数据表明, 籽棉草谷比实测结果为 1.6 - 1.7, 皮棉草谷比约为 5。本研究将皮棉草谷比取值

为 5。

(2) 我国棉秆资源丰富。2013 年全国棉秆产量 3 149.5 万 t, 占全国秸秆产量的 3.17%; 棉秆可收集利用总量 2 834.6 万 t。我国棉秆分布较为集中。其中, 新疆是第一大棉秆产区, 2013 年其产量为 1 758.8 万 t, 占全国棉秆总产量的 55.8%。

(3) 棉秆资源具有多宜性, 可用于“五料”用途(燃料, 饲料, 肥料, 工业原料和食用菌基料), 且在每种用途中的适宜性有所不同。棉秆可燃性极佳, 且在新能源化利用方面, 适宜用作“三化一电”。不太适宜用于沼气生产; 棉秆中的粗棉秆部分不适宜于直接饲喂和加工饲喂, 细茎和叶较适宜直接饲喂, 适宜加工饲喂; 经过机械粉碎, 棉花秸秆可直接还田。在有机肥的 5 级制中, 棉秆属于 3 级有机肥级别; 棉秆是理想的工业加工原料和食用菌基料。

(4) 将棉花生产废弃物转化为优质原料资源, 变废为宝, 既减少对生态环境的破坏, 又提高农产品附加值和竞争力, 促进农业增效和农村经济发展, 实现农业生产良性循环。随着秸秆新型能源利用技术的不断发展, 棉秆作为可再生资源物质通过能源高效转换技术(棉秆气化、棉秆沼气以及棉秆固化成型技术)可转化为高品质的清洁能源。

(编辑: 刘照胜)

#### 参考文献(References)

- [1] Akdeniz R C, Acaroglu M, Hepbasli A. Cotton Stalk as a Potential Energy Source [J]. Energy Source, 2004, 26: 65 - 75.
- [2] Shuang-kui Du, Xinna Zhu, Hua Wang, et al. High Pressure Assist-alkali Pretreatment of Cotton Stalk and Physiochemical Characterization of Biomass [J]. Bioresource Technology, 2013, 148: 494 - 500.
- [3] 赵龙涛, 李入林. 用棉花杆制备羧甲基纤维素 [J]. 河南化工, 2002, (4): 18 - 20. [Zhao Longtao, Li Rulin. Preparation of Carboxymethyl Cellulose with Cotton Straw [J]. Henan Chemical Industry, 2002, (4): 18 - 20.]
- [4] 邓辉, 查志华, 张根林, 等. 氯化锌活化棉秆制备活性炭及孔结构表征 [J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2009, 27(6): 760 - 763. [Deng Hui, Zha Zhihua, Zhang Genlin, et al. Characterization on Pore Structures and Preparation of Activated Carbon from Cotton Stalk Impregnated with Zinc Chloride [J]. Journal of Shihezi University: Natural Science Edition, 2009, 27(6): 760 - 763.]
- [5] 张宏喜, 赵秀峰, 魏玲, 等. 棉秆水解制备木糖的研究 [J]. 安徽农业科学, 2010, (23): 12687 - 12689. [Zhang Hongxi, Zhao Xiufeng, Wei Ling, et al. Preparing D-xylose from Cotton Stalk [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, (23): 12687 - 12689.]
- [6] Wei Jiang, Senlin Chang, Hongqiang Li, et al. Liquid Hot Water Pretreatment on Different Parts of Cotton Stalk to Facilitate Ethanol Production [J]. Bioresource Technology, 2015, 176: 175 - 180.
- [7] 李京京, 任东明, 庄幸. 可再生能源资源的系统评价方法及实例 [J]. 自然资源学报, 2001, 7(4): 373 - 380. [Li Jingjing, Ren Dongming, Zhuang Xing. Systemic Evaluation Method of Renewable Energy Resources and Its Practical Application [J]. Journal of Natural Resources, 2001, 7(4): 373 - 380.]
- [8] 钟华平, 岳燕珍, 樊江文. 中国作物秸秆资源及其利用 [J]. 资源科学, 2003, 25(4): 62 - 67. [Zhong Huaping, Yue Yanzhen, Fan Jiangwen. Characteristics of Crop Straw Resources in China and Its Utilization [J]. Resources Science, 2003, 25(4): 62 - 67.]
- [9] 刘刚, 沈镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布 [J]. 自然资源学报, 2007, 22(1): 9 - 19. [Liu Gang, Shen Lei. Quantitative Appraisal of Biomass Energy and Its Geographical Distribution in China [J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(1): 9 - 19.]
- [10] 崔明, 赵立欣, 田宜水, 等. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 291 - 296. [Cui Ming, Zhao Lixin, Tian Yishui, et al. Analysis and Evaluation on Energy Utilization of Main Crop Straw Resources in China [J]. Transactions of the Chinese Society of the Agricultural Engineering, 2008, 24(12): 291 - 296.]
- [11] 魏敏, 魏秋江, 潘榕, 等. 对棉花秸秆饲用价值的基本评价 [J]. 新疆农业大学学报, 2003, (1): 4 - 7. [Wei Min, Luo Qiujiang, Pan Rong, et al. Initial Evaluation on Nutritional Value of Cotton Stalk [J]. Journal of Xinjiang Agricultural Sciences, 2003, (1): 4 - 7.]
- [12] 李金霞, 卞科, 许斌. 棉秆资源特性及其在农业上的应用 [J]. 河南农业科学, 2007, (1): 46 - 49. [Li Jinxia, Bian Ke, Xu Bin. Characteristics of Cotton Stalk Resources and Its Application of Agriculture [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2007, (1): 46 - 49.]
- [13] 王亚静, 毕于运, 高春雨. 中国秸秆资源可收集利用量及其适宜性评价 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1852 - 1859. [Wang Yajing, Bi Yuyun, Gao Chunyu. Collectable Amounts and Suitability Evaluation of Straw Resource in China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(9): 1852 - 1859.]
- [14] Jian Shi, Ratna R S, Mari S C. Microbial Pretreatment of Cotton Stalks by Submerged Cultivation of Phanerochaete Chrysosporium [J]. Bioresource Technology, 2009, 100: 4388 - 4395.
- [15] Nazife I H, Ufuk B. Ionic Liquid Pretreatment Allows Utilization of High Substrate Loadings in Enzymatic Hydrolysis of Biomass to Produce Ethanol from Cotton Stalks [J]. Industrial Crops and Products, 2013, 51: 408 - 414.
- [16] 邱青山. 长绒棉不同种植密度下光合特性及其与产量关系的研究 [J]. 新疆农垦科技, 1993, (6): 10 - 11. [Qiu Qingshan. Studies on the Relationship Between Photosynthesis Characteristics and Yields of the Long-staple Cotton at The Different Planting Density [J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 1993, (6): 10 - 11.]
- [17] 尚亚南, 李庆典, 胡保民. 长绒棉品系 1120 试作高产种质的可能性 [J]. 中国棉花, 1986, (3): 11 - 13. [Shang Yanan, Li Qingdian, Hu Baomin. The Possibility of High Yield of the Long-

- staple Cotton of Variety1120 Trial [J]. China Cotton ,1986 ,(3) : 11 - 13. ]
- [18]王治斌 杨伯祥. 短果枝棉不同种植密度研究[J]. 江西棉花 , 2003 ,25(5) :34 - 36. [Wang Zhibin , Yang Boxiang. Studies on the Cotton of Short Pod-branch under Different Row Spaces [J]. Jiangxi Cotton 2003 ,25(5) :34 - 36. ]
- [19]柴卫东 刘永平 李洪芹 ,等. 短季棉空心多茎株型施氮效应研究初报[J]. 江西农业大学学报:自然科学版 ,2002 ,24(6) : 748 - 754. [Chai Weidong , Liuyongping , Li Hongqin , et al. A Study on Effect of Nitrogenous Fertilizer on Top-removed Short-dated Cotton [J]. Journal of Jiangxi Agricultural University ,2002 ,24(6) :748 - 754. ]
- [20]王永乐 宋家祥 王建棠 ,等. 淮北棉区棉花高能同步增产原因分析[J]. 南京农业大学学报 ,1988 ,11(3) :8 - 12. [Wang Yongle , Song Jiaxiang , Wang Jiantang , et al. The Reason of Cotton Yield-Increasing with Synchronism of Actively Energy-conserving Period and High Energy Season in North Huai Region [J]. Journal of Nanjing Agricultural University ,1988 ,11(3) :8 - 12. ]
- [21]李大庆 徐立华 郑春宁 ,等. 麦后直播棉生物学产量、群体叶面积对皮棉产量的影响[J]. 江苏农业学报 ,1993 ,9(4) :16 - 21. [Li Daqing , Xu Lihua , Zheng Chunning , et al. Influence of Biomass and Population Leaf Area on Lint Yield in Post-barley Directly Sown Cotton [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences , 1993 ,9(4) :16 - 21. ]
- [22]李大庆 徐立华 郑春宁 ,等. 麦后直播棉种植密度与皮棉产量的关系[J]. 江苏农业科学 ,1991 ,(3) :32 - 34. [Li Daqing , Xu Lihua , Zheng Chunning , et al. Relationships Between Plant Density and Lint Yield of Directly Sown Cotton [J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences ,1991 ,(3) :32 - 34. ]
- [23]李伶俐 王文亮 房卫平 ,等. 杂交棉稀植栽培施肥技术研究[J]. 中国农学通报 ,2005 ,21(8) :175 - 176 ,203. [Li Lingli , Wang Wenliang , Fang Weiping , et al. Research on Fertilization Technology for Hybrid Cotton under Sparse Planting [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin 2005 ,21(8) :175 - 176 ,203. ]
- [24]董合忠 李振怀 李维江 ,等. 抗虫棉保留利用营养枝的效应和技术研究[J]. 山东农业科学 ,2003 ,(3) :6 - 10. [Dong Hezhong , Li Zhenhuai , Li Weijiang , et al. Effects and Utilization Technique of Vegetative Branches on Bt Transgenic Cotton Plants [J]. Shandong Agricultural Sciences 2003 ,(3) :6 - 10. ]
- [25]温民 王春乙 白月明. CO<sub>2</sub> 浓度倍增对棉花生长发育和产量形成的影响[J]. 中国农业气象 ,1995 ,16(3) :19 - 22. [Wen Min , Wang Chunyi , Bai Yueming. The Effects of Carbon Dioxide Concentration Doubling on the Growth and Development of Cotton Plant [J]. Chinese Journal of Agrometeorology ,1995 ,16(3) :19 - 22. ]
- [26]白月明 王春乙 温民. 不同二氧化碳浓度处理对棉花生长发育和产量形成的影响[J]. 生态农业研究 ,1995 ,(2) :20 - 25. [Bai Yueming , Wang Chunyi , Wen Min. Effects of CO<sub>2</sub> Concentrations on the Growth and Yield of Cotton [J]. Eco-agriculture Research , 1995 ,(2) :20 - 25. ]
- [27]李少昆 张旺锋 汪朝阳 ,等. 棉花、玉米根系生长特点及其调控的研究[J]. 石河子大学学报:自然科学版 ,1998 ,(S1) :81 - 88. [Li Shaokun , Zhang Wangfeng , Wang Chaoyang , et al. Studies on the Growth Characteristics and Regulation of Roots in Cotton and Maize [J]. Journal of Shihezi University :Natural Science Edition , 1998 ,(S1) :81 - 88. ]
- [28]薛晓萍 王建国 郭文琦 ,等. 氮素水平对初花后棉株生物量、氮素累积特征及氮素利用率动态变化的影响[J]. 生态学报 , 2006 ,26(11) :3631 - 3639. [Xue Xiaoping , Wang Jianguo , GuoWenqi , et al. Effect of Nitrogen Applied Levels on The Dynamics of Biomass , Nitrogen Accumulation and Nitrogen Fertilization Recovery Rate of Cotton after Initial Flowering [J]. Acta Ecologica Sinica 2006 ,26(11) :3631 - 3639. ]
- [29]杨荣 苏永中. 水氮供应对棉花花铃期净光合速率及产量的调控效应[J]. 植物营养与肥料学报 ,2011 ,17(2) :404 - 410. [Yang Rong , Su Yongzhong. Responses of Net Photosynthetic Rate in Flowering and Boll-forming Stages ,and Cotton Yield to Irrigation and Nitrogen Fertilizer Application [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science 2011 ,17(2) :404 - 410. ]
- [30]王肖娟 危常州 陈林. 不同灌溉频率对滴灌棉花生长及产量的影响研究[J]. 新疆农垦科技 ,2014 ,(7) :55 - 58. [Wang Xiaojuan , Wei Changzhou , Chen Lin. Effects on The Growth and Development of Field Drip Irrigation Cotton of Different Irrigation Frequency [J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology , 2014 ,(7) :55 - 58. ]
- [31]张福春 朱志辉. 中国作物的收获指数[J]. 中国农业科学 , 1990 ,23(2) :83 - 87. [Zhang Fuchun , Zhu Zhihui. Harvest Index for Various Crops in China [J]. Scientia Agricultura Sinica , 1990 ,23(2) :83 - 87. ]
- [32]牛若峰 刘天福. 农业技术经济手册(修订本) [M]. 北京: 农业出版社 ,1984. [Niu Ruofeng , Liu Tianfu. Manual of Agrotechnical Economics (Revised Edition) [M]. Beijing: China Agriculture Press ,1984. ]
- [33]李艳宾 张琴 李为 ,等. 不同预处理条件对棉秆厌氧发酵产沼气的影 响[J]. 农业工程学报 ,2011 ,27(2) :287 - 291. [Li Yanbin , Zhang Qin , Li Wei , et al. Effects of Different Pretreatment Conditions on Biogas Production by Anaerobic Fermentation of Cotton stalk [J]. Transactions of the CSAE ,2011 ,27(2) :287 - 292. ]
- [34]王江丽 李为 严波 ,等. 棉秆沼气发酵潜力的研究[J]. 浙江农业科学 2009 ,(1) :183 - 186. [Wang Jiangli , Li Wei , Yan Bo , et al. Studies on the Potential of Biogas-production of Cotton Stalk [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences ,2009 ,(1) :183 - 186. ]
- [35]谭少容. 棉秆发酵饲料前景广阔[N]. 光明日报 2001 - 11 - 06. [Tan Shaorong. Cotton Stalks Fermented Feed Has Very Broad Prospects [N]. Guangming Daily 2001 - 11 - 06. ]
- [36]赵得成. 棉花秸秆不同搭配比例饲喂肉羊效果[J]. 当代畜牧 , 2009 ,(9) :33 - 34. [Zhao Decheng. The Feeding Effect of Mutton 2009 ,(9) :33 - 34. ]

- Sheep Which Feed with Cotton Stalks of Different Collocation Ratio [J]. Contemporary Animal Husbandry 2009 ,(9) :33 - 34. ]
- [37]全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999. [National Agricultural Technology Extension Service Center. Organic Fertilizer Resources of China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999. ]
- [38]全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999. [National Agricultural Technology Extension Service Center. Records of Nutrients in Organic Fertilizer in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999. ]
- [39]李云, 王正阳, 苏向华, 等. 棉花秸秆还田综合利用技术浅析 [J]. 中国棉花 2009 ,(12) :36. [Li Yun, Wang Zhengyang, Su Xianghua, et al. Analysis on the Comprehensive Utilization Technique of Cotton Stalk Returning to Field [J]. China Cotton, 2009 ,(12) :36. ]
- [40]吴杰. 新疆棉花秸秆利用现状分析和探讨 [J]. 中国棉花 2005 , 33(2) :9 - 11. [Wu Jie. Analysis and Discussion on the Utilization Status of Cotton Stalk of Xinjiang [J]. China Cotton 2005 ,33(2) : 9 - 11. ]
- [41]冯昌信, 郑霞. 棉秆木材复合轻质板生产工艺研究 [J]. 广东农业科学 2009 ,(9) :136 - 137 ,143. [Feng Changxin, Zheng Xia. Study on Production Technology of Cotton Stalk-wood Light-weight Composite Board [J]. Journal of Guangdong Agricultural Sciences , 2009 ,(9) :136 - 137 ,143. ]
- [42]冯德君, 赵泾峰. 陆地棉棉秆解剖构造和基本密度的研究 [J]. 西北林学院学报 2010 ,25 (2) :160 - 162. [Feng Dejun, Zhao Jingfeng. Anatomical Structure and Basic Density of Gossypiumhirsutum Stalks [J]. Journal of Northwest Forestry University 2010 ,25(2) :160 - 162. ]
- [43]王贵春, 李国荣, 孟庆忠, 等. 棉花副产品的可持续开发利用研究探讨 [J]. 安徽农业科学 2008 ,34:15247 - 15249. [Wang Guichun, Li Guorong, Meng Qingzhong, et al. Study on the Sustainable Utilization of Cotton By-products [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences 2008 ,34:15247 - 15249. ]
- [44]周明, 杨德, 程薇, 等. 棉秆代木用作木腐菌灵芝转化资源的可行性研究 [J]. 湖北农业科学 2010 ,49(11) :2771 - 2774. [Zhou Ming, Yang De, Cheng Wei, et al. Feasibility Study on Cotton Stalks instead of Wood for Cultivating Wood-decay Fungi Ganoderma Lucidum [J]. Journal of Hubei Agricultural Sciences ,2010 ,49(11) :2771 - 2774. ]

## Estimation and Suitability Evaluation of Cotton Stalk Resources in China

ZUO Xu BI Yu-yun WANG Hong-yan GAO Chun-yu WANG Lei WANG Ya-jing

(Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract** It's helpful to us to fully reorganize the development potential of cotton stalk resources utilization in China. The research was undertaken to study straw-grain ratio of cotton and evaluate the volume of cotton stalk resources, and it also stated the suitability of cotton stalk resources for different utilization ways which were used as fuel, feedstuff, fertilizer, industrial raw material, and base material of edible mushrooms. With the method of literature summary, the authors got 102 samples of 15 papers and then determined the straw-grain ratio of cotton. Using the classification method of natural suitability, this paper made classified evaluations of suitability of cotton stalk resources for a given special purpose. The results show that the amount of cotton stalk resources in China is  $3.1495 \times 10^7$  t with the straw-grain ratio of cotton of 5.0 in 2013. Most of the cotton stalk resources are distributed in Xinjiang of arid region of northwest China, Huang-Huai-ai region (the area along the Yellow River, Huai River, and Hai River) and lower-middle reaches area of the Yangtze River. Cotton stalk was divided on the basis of different uses, including utilization as new energy source, into three classes as the most suitable, suitable, and not so suitable. Cotton stalk is most suitable for burning and suitable for solidification, carbonization, gasification and electricity generation, while marginally suitable for biogas production. As for feedability for straw resources, the thick cotton stem is not suitable for direct feeding or feeding after processing, while the tip and leaves of cotton is comparatively suitable for direct feeding and suitable for feeding after processing. Cotton stalk resources can be used for field restoration through direct field restoration which shattered directly and restored in the soil and it is also the perfect material for industrial processing and cultivation of edible mushrooms. The evaluation results indicate that the utilizable quantity of cotton stalk in China is abundant and suitable for many purposes which can bring notable economic and ecological benefits. It's necessary to make the comprehensive utilization structure of cotton stalk resources more optimized and reasonable, and turn cotton stalk resources to various kinds of high quality raw material.

**Key words** cotton stalk; resource; straw-grain ratio of cotton; suitability