

低カリウムきのこの栽培技術の開発に関する基礎研究

鹿児島高専 (学)○中久保敬悟 仮屋園恵 (正)片平智仁 (正)山田真義 (正)山内正仁
熊本大学 今村遼 鹿児島大学名誉教授 八木史郎

1. はじめに

血液透析患者数は2018年末の時点で約33.9万人(一般社団法人日本透析医学会)を超え、増加の一途をたどっている。また、糖尿病や腎硬化症をはじめとする慢性腎臓病(CKD)患者数は約1,330万人と推定されている^{1), 2)}。腎機能が低下した場合、カリウム(以下、K)は体内に蓄積され、高K血症を引き起こしてしまう。また、高K血症は不整脈を起こし急死の原因にもなる。そのため、血液透析患者については1日のK摂取量が1,500~2,000mg以下と制限されている^{3), 4)}。

これまでに野菜(ほうれん草、レタス等)に関しては土耕栽培や水耕栽培においてKの施肥量を制限することで低K野菜の栽培に成功し、実用化されている⁵⁾。しかし、食用きのこに関しては子実体形成過程で多量のKを必要とすること、子実体収量と培地中のK量に強い相関があること等から⁶⁾、低Kきのこの生産技術の開発は未知の状況にある。筆者らはこれまでに、きのこ子実体のセシウム(以下、Cs)濃縮特性を明らかにするために、低K培地(ビール粕培地)に化学的・物理的性質が類似しているK(KCl)とCs(CsCl)を添加し、ヒラタケ栽培試験を実施した。その結果、培地中のK量が少ない条件下では、子実体はCsを取込み、一方で、Cs量を増加させることで、子実体収量は増加することを明らかにした⁷⁾。つまり、きのこは子実体形成過程において、同族の金属を拮抗的に取込むことがわかった。これらの知見を活用すると低K培地にKと拮抗的関係のあるナトリウム(以下、Na)を添加することで低Kきのこを栽培できるのではないかと考えた。

そこで本研究では、ビール粕培地にK(KCl)とNa(NaCl)を添加した培地を調製し、これらの元素添加量を変化させることで低Kきのこを栽培することが可能か検討した。

2. 試験方法

表-1に培地配合条件を示す。無添加区(K0_Na0)とは、ビール粕培地にK(KCl)、Na(NaCl)無添加を示し、K0_Na100区とは瓶あたりのK添加量が0mg、Na添加量が100mgを示す。また、対照区として米糠培地(針葉樹おが屑46%、米糠50%、貝化石4%)を準備した。これらの培地は水分率を65%程度に調整後、ポリプロピレン製の培養瓶(850mL)にビール粕培地は450g、対照区は600g充填し、121℃で3時間高圧滅菌処理を行った。その後、室温まで冷却し、栽培期間が短く、害菌に強いヒラタケ菌(H67号;(株)キノックス)を約10gずつ接種した。接種後の培養瓶は培養室(温度;22±1℃、湿度;75±5%)で30日間程度培養し、菌掻き、注水操作を施し、発生室(温度;14±1℃、湿度;90±5%)で子実体形成を促した。なお、培養室内の蛍光灯の点灯は作業時のみ、発生室内の蛍光灯の点灯は8時間とした。収穫は発生した子実体の8割が傘径20~30mm程度まで成長した段階で行った。その後、子実体の生重量、水分率を測定し、一般成分(蛋白質;ケルダール法(窒素・蛋白質換算係数6.25)、脂肪;ジエチルエーテル抽出法、灰分;直接灰化法、炭水化物;100-(蛋白質+脂肪+灰分))、無機成分(K, Na;原子吸光度法)の分析に供した。

3. 試験結果と考察

表-2にヒラタケの栽培試験結果を示す。全体的に総栽培日数は無添加区(試験区1)と比較して、培地にKやNaを添加することで短縮される傾向にあった。収量(生)は無添加区(試験区1)、K0_Na区(試験区2~5)は極端に少なかった。このことから、K量が極端に少ない培地(K0区)では、Naを増加させても子実体収量の増加にはつながらなかったことがわかった。しかし、培地中のK量、Na量を増加させることで、収量は大きく増加した。特に、培地中にKを100mg添加した試験区(K100区)では、Naを添加することによる増収効果は顕著であり、試験区12~14では対照区の約7割の収量を得た。しかしながら、培地中のK量が200mg、500mgと増加するにつれて、Na添加による子実体の増収効果は小さくなり、Na添加量の増加により収量は減少した。関谷⁶⁾はビール粕培地やコーンブレンダー培地にKClを添加した培地でヒラタケの栽培試験を行い、K量が極端に多い培地では収量が減少することを報告している。本試験においてもKと拮抗的関係にあるNa添加量が多い試験区では同様な現象が見られた。子実体の発生本数は、K添加量の増加に伴い、30~40本程度であった。傘の発育不良は収量が極端に少ないK0区で認められたが、K50区以上では認められなかった。また全体的な傾向として、子実体

表-1 培地配合条件

試験区	培地 基材	培地 栄養材	その他	びん詰 め重量	pH*	培地 水分率*
	針葉樹 おが屑	ビール粕	貝化石			
	(乾物(%))			(g)	(-)	(%)
1 無添加区(K0_Na0)					5.4	64.7
2 K0_Na100区					5.5	64.7
3 K0_Na250区					5.5	64.6
4 K0_Na500区					5.4	64.0
5 K0_Na1,000区					5.3	64.8
6 K50_Na0区					5.5	64.5
7 K50_Na100区					5.4	64.5
8 K50_Na250区					5.4	63.9
9 K50_Na500区					5.3	64.0
10 K50_Na1,000区					5.4	64.2
11 K100_Na0区					5.4	64.5
12 K100_Na100区					5.3	66.1
13 K100_Na250区	46	50	4	450	5.4	64.3
14 K100_Na500区					5.4	64.6
15 K100_Na1,000区					5.3	63.9
16 K200_Na0区					5.5	64.8
17 K200_Na100区					5.4	64.5
18 K200_Na250区					5.4	64.8
19 K200_Na500区					5.4	64.1
20 K200_Na1,000区					5.3	64.9
21 K500_Na0区					5.5	65.9
22 K500_Na100区					5.5	64.5
23 K500_Na250区					5.4	65.0
24 K500_Na500区					5.3	65.2
25 K500_Na1,000区					5.4	64.7
*滅菌後の値						
米糠培地(対照区)	46	50(米糠)	4	600	6.0	64.9

の水分率は Na 添加量の増加に伴い、培地中の水分の子実体への移動が抑制され易いことが示唆された。

表-3 に子実体の一般成分、無機成分の分析結果を示す。まず一般成分を K 添加量ごとに比較すると、K 添加量 200mg/瓶以下の試験区（試験区 6～20）では、培地中の Na 量の増加により、子実体中の蛋白質量は減少し、炭水化物量は増加した。K 添加量が 500mg/瓶の試験区では、Na 添加量の変化による子実体一般成分への大きな変化は見られなかった。次に無機成分を同様に比較すると、K 添加量 200mg/瓶以下の試験区（試験区 2～20）では培地中の Na 量の増加により、子実体中の K 量は減少し、Na 量は増加傾向にあった。一方、K500_Na 添加区では、培地中の Na 量に関係なく、子実体中の K 量に大きな変化は認められなかったが、Na 量は増加した。これらのことから、高 K 培地（K500_Na 添加区）では子実体に優先的に K が取り込まれ、培地中の Na 量が増加しても子実体の低 K 化は難しいが、低 K 培地（K0～K200_Na 添加区）では、子実体への K 取込量を抑制できることがわかった。特に試験区 13、14 では収量は対照区の 7 割程度であったが、K 量は 57.8～62.2%（日本食品標準成分表（以下、七訂表）⁸⁾）と比較すると、60.6～64.7% 削減できることがわかった。一方で、Na 量は対照区や七訂表と比較して大きく増加した。

腎臓病透析患者は Na も十分排泄できないため、Na 増加は高血圧や浮腫の原因となり、患者にとって好ましくない。そこで、次に K 含有量の減少によるメリットとそれに伴う Na 増加による弊害のどちらの影響が大きいのかについて検討した。腎臓病透析患者は 1 日の K 摂取量を 1,500～2,000mg に制限されている^{3), 4)}。この量は試験区 13、14 で得られた子実体（生）100g に含まれる K 量（164.3mg/100g 現物）の 9.1～12.2 倍に相当する。一方、1 日の食塩摂取量は 5,000～8,000mg に制限されており、これを Na 量に換算すると約 2,300～3,200mg になる^{3), 4)}。この量は試験区 13、14 で得られた子実体（生）100g に含まれる Na 量（試験区 13：24.1mg/100g 現物、試験区 14：35.0mg/100g 現物）の 54.8～132.8 倍に相当する。これらの二つの元素は、食品に含まれる量が問題であるが、Na は調味料の制限でコントロールし易い。このことから、Na 含有量の増加よりも、K 含有量の減少の方がメリットは大きいと考えられる。

4. おわりに

本研究では、腎臓病透析患者を対象にした低 K きのこの栽培試験技術を確立することを目的に、ビール粕に K(KCl)と Na(NaCl)を混合した培地を調製し、これらの元素の添加量を変化させることで低 K きのこの栽培することが可能か検討した。その結果、K0_Na 添加区～K200_Na 添加区（試験区 6～20）では、Na 量が増加するにつれて子実体の K 含有量は減少し、特に子実体収量が多く、K 量が少ない試験区 K100_Na250 区、K100_Na500 区（試験区 13、14）では、対照区と比較して収量は 3 割程度減少するが、K 量は約 6 割削減できることがわかった。加えて腎臓病透析患者の 1 日の K、Na 摂取制限量および食品としての利用法から判断して、子実体中の Na の増加は、調味料を制限することで回避でき、本技術は腎臓病透析患者向けの食品生産技術として有効と考えられた。

参考文献：

- 1) 日本透析医学会：わが国の慢性透析療法の実況 2018 年 12 月 31 日現在、日本透析医学会統計調査委員会、pp.683-686、2018。
- 2) 生活習慣病の調査・統計-CCKD（慢性腎臓病）、（一社）日本生活習慣病予防協会、<http://www.seikatsusyukanbyo.com/statistics/disease/ckd/>、(2020.12.27 閲覧)。
- 3) 阿部研紀：慢性腎臓病の栄養管理、日大医誌 78(4)、pp.237-241、2019。
- 4) 日本腎臓学会編：慢性腎臓病に対する食事療法基準 2014 年度版、日腎会誌 56(5)、pp.553-599、2014。
- 5) 小川ら：腎臓病透析患者のための低カリウム含有量ホウレンソウの栽培法の確立、日本作物学會紀事 76(2)、pp.232-237、2007。
- 6) 関谷敦：ビール粕を主成分とする培地におけるヒラタケ子実体の発生に及ぼすカリウムの添加効果、日本応用きのこ学会誌、Vol.7、No.2、pp.65-69、1999。
- 7) 上田橋克、福山一世、山田真義、山口隆司、山内正仁：低カリウムきのこの培地を用いたセシウムの回収に関する基礎研究、土木学会西部支部研究発表会、pp.829-830、2014。
- 8) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告：日本食品標準成分表 2015 年版（七訂）、pp.108-113、2015。

表-2 栽培試験結果

試験区	総栽培日数	発生本数*	収量（生）	水分率
	（日）	（本/瓶）	（g/瓶）	（%）
1 無添加区 (K0_Na0)	50.0±1.63	3.33±2.62	5.00±3.97	-
2 K0_Na100区	49.0±0.00	5.00±2.45	6.10±1.39	83.3
3 K0_Na250区	49.0±2.45	5.00±2.16	9.23±7.75	82.5
4 K0_Na500区	45.7±0.47	4.67±1.70	9.23±1.87	83.1
5 K0_Na1,000区	46.7±0.94	11.0±1.63	16.4±0.05	81.7
6 K50_Na0区	46.3±0.47	14.0±1.63	26.7±1.70	85.0
7 K50_Na100区	44.0±1.41	13.3±5.31	47.2±5.84	82.0
8 K50_Na250区	44.7±1.25	10.0±1.14	34.4±9.55	82.8
9 K50_Na500区	45.0±0.00	12.3±4.99	40.7±1.30	76.1
10 K50_Na1,000区	45.3±0.94	12.3±3.86	27.5±2.36	73.0
11 K100_Na0区	43.3±0.47	18.3±3.30	44.6±3.59	88.7
12 K100_Na100区	42.3±0.47	29.3±4.03	68.6±5.17	87.0
13 K100_Na250区	42.3±0.47	29.0±1.41	69.0±5.95	87.0
14 K100_Na500区	42.7±0.47	35.3±5.73	69.1±3.83	85.5
15 K100_Na1,000区	43.3±0.47	30.7±0.47	55.1±2.62	84.8
16 K200_Na0区	44.0±0.82	32.0±8.52	53.6±3.58	87.3
17 K200_Na100区	42.3±0.47	39.3±1.70	63.4±0.95	84.9
18 K200_Na250区	42.0±0.00	45.7±7.14	61.7±0.95	85.3
19 K200_Na500区	42.3±0.47	39.7±14.3	54.6±1.96	80.6
20 K200_Na1,000区	43.7±0.47	31.3±0.47	44.2±1.52	77.8
21 K500_Na0区	41.0±0.82	36.7±3.09	82.5±8.71	88.4
22 K500_Na100区	42.3±1.25	38.3±5.56	86.1±0.45	88.0
23 K500_Na250区	40.3±0.94	36.7±2.87	74.5±10.4	86.5
24 K500_Na500区	42.7±1.25	34.0±2.16	73.1±3.99	87.2
25 K500_Na1,000区	42.7±0.94	35.3±4.19	69.0±2.21	85.0
*直径10mm以上の子実体について調査。N=3				
米糠培地（対照区）	44.7±0.9	58.3±29.2	96.6±5.3	90.0

表-3 子実体の一般成分、無機成分の分析結果

試験区	一般成分			無機成分	
	蛋白質	脂質	灰分	炭水化物	Na K
	(g/100g乾物)			(mg/100g乾物)	
1 無添加区 (K0_Na0)	-	-	-	-	-
2 K0_Na100区	-	-	-	137.7	1,407
3 K0_Na250区	-	-	-	228.6	1,240
4 K0_Na500区	-	-	-	242.6	1,272
5 K0_Na1,000区	-	-	-	486.3	934.4
6 K50_Na0区	55.3	4.0	7.3	33.4	164.7 2,280
7 K50_Na100区	39.4	2.8	6.7	51.1	148.9 1,656
8 K50_Na250区	39.5	3.5	6.4	50.6	216.3 1,529
9 K50_Na500区	36.4	2.9	5.4	54.8	315.5 1,172
10 K50_Na1,000区	32.2	2.2	4.8	60.8	258.1 966.7
11 K100_Na0区	46.4	2.9	6.9	43.8	159.5 1,993
12 K100_Na100区	39.6	1.6	6.4	52.4	177.7 1,477
13 K100_Na250区	38.8	1.7	6.4	53.1	185.2 1,264
14 K100_Na500区	35.9	1.3	5.7	57.1	241.3 1,133
15 K100_Na1,000区	36.4	2.0	6.0	55.6	337.6 1,052
16 K200_Na0区	45.0	1.8	7.5	45.7	155.1 1,947
17 K200_Na100区	41.4	2.0	7.3	49.3	343.7 1,954
18 K200_Na250区	40.1	2.7	7.5	49.7	215.0 1,830
19 K200_Na500区	38.7	1.5	6.2	53.6	173.7 1,485
20 K200_Na1,000区	37.4	2.3	6.8	53.5	183.8 1,378
21 K500_Na0区	44.0	0.9	9.5	45.6	40.5 2,405
22 K500_Na100区	45.0	0.8	9.2	45.0	83.3 2,533
23 K500_Na250区	45.2	0.7	5.9	48.2	96.3 2,422
24 K500_Na500区	43.8	1.6	7.0	47.6	148.4 2,500
25 K500_Na1,000区	47.3	2.0	6.7	44.0	193.3 2,407
※試験区1～5は子実体発生量が少なく、一般成分の分析不可。					
米糠培地（対照区）	26.0	2.4	7.1	64.5	49.0 3,000
日本食品成分表	31.1	2.8	7.5	58.1	18.9 3,208