

白さらし餡が食パンのレジスタントスターチ量と テクスチャー特性に及ぼす影響

*亀井 文・**高橋 いくみ

要旨

本研究では、食物繊維および機能性成分であるレジスタントスターチ (RS) が多く含まれると考えられる白さらし餡 (WBP) を食パンの材料である強力粉の代替材料として調製し食パン調製の可能性について検討することを目的とした。実験に用いる食パンは標準 (0% WBP)、25% WBP を強力粉と代替、50% WBP を強力粉と代替する3条件の食パンを、マルチホームクッカー (TWINBIRD 製 PY-E621) の健康パン・全粒粉パンのメニューを用いて焼成を行った。標準 (WBP0%) パンのRS量は1.21%、WBP25%代替パンは2.83%、WBP50%代替パンのRS量は3.95%であり、パンに含まれるRS量は、WBP 0%代替、25%代替、50%代替と代替率が増加するに従い、RS量も有意に増加した。WBP粉末に含まれる不溶性食物繊維量も非常に高い値であることから、WBPを用いて焼成した食パンには、市販されている食パンと比較してRSと食物繊維が非常に多く含まれていることが示唆された。しかしながら、WBPに代替した食パンは代替比率の増加により、標準パンと比べて硬く噛み応えのあるパンとなった。実際に毎日食すことを考えると、WBP25%代替パンが食しやすく、WBP25%代替食パン摂取によって、RSと食物繊維による健康効果が期待できると考えられる。

Key words : 白さらし餡、レジスタントスターチ (RS)、食パン、テクスチャー特性

I. 緒言

レジスタントスターチ (RS) は「健康なヒトの小腸内で消化吸収されないでんぷんおよびでんぷん分解物」であり、RS1からRS4の4つあるいはRS5を加えて5つに分類されている。RS1は細胞壁によって物理的に消化できないでんぷん、RS2はでんぷん粒子自体に耐消化性があるでんぷん、RS3は調理後に再結晶した老化でんぷん、RS4は化学的修飾を施されたでんぷん、RS5はアミロースと脂肪の複合体でんぷんである^{1) 2) 3)}。

RSは最近では食物繊維と同様に、適量を習慣的に摂取することにより健康に寄与することができる機能性成分として注目されている。RSの主な栄養生理機能としては、小腸での消化率が低いことから、糖質や脂

質代謝において血糖値抑制作用や血液中コレステロールおよび中性脂肪の低下などがあり、さらに大腸において、腸内細菌の発酵基質として代謝されて、短鎖脂肪酸、特に酪酸を産生する。そして、この酪酸が腸内細菌叢を変化させ腸内の有用な菌を増殖させたり、癌化株細胞の増殖を抑制する、との報告がある^{2) 3) 4)}。

日本人の食生活は、伝統的に食されてきた豆類、根菜類、海藻、キノコ類などの摂取が減り、主食の米や芋などのでんぷん性食品の摂取も減少し続けている。その結果、日本人の食物繊維摂取量は1960年代から減少の一途をたどり、現在も20歳から29歳の若者は日本人の食事摂取基準⁵⁾の目標量の8割程度しか摂取されていないのが現状である⁶⁾。日本において食されてきた豆類には、油脂とたんぱく質を主成分とする大豆や落花生、でんぷんとたんぱく質を主成分とする小豆、い

* 宮城教育大学 教科内容学域 理数・生活科学部門 (食物学)

** 宮城教育大学元家庭科教育講座

んげん豆などがある⁷⁾。豆は昔から伝統的な日本型食生活で食されてきたが、令和元年の国民健康栄養調査によると、豆類の摂取量は60～69歳では72.5 g、70～79歳では76.2 gに対して、15～19歳では40.8g、20～29歳では45.6 gと若年層の摂取は高齢者の2/3以下となっている⁶⁾。

でんぷん性の豆類は和菓子の餡として食されることが多い。餡は餡細胞の集合体であり、餡細胞の大きな特徴は、その細胞内にでんぷん粒が存在していることである。小豆の子葉細胞は数個のでんぷん粒が強靱な細胞膜に包まれているが、水の存在下で加熱するとでんぷん粒は細胞内で膨潤する。さらに細胞間物質（ペクチン質）が可溶化して、細胞の形態を保ったまま、ばらばらに分離し餡細胞となる。餡細胞の細胞膜はタンパク質の熱変性によって凝固し安定化する。この丈夫な細胞膜で包まれているため、でんぷん粒はある程度の煮熟時間において、糊化によって膨潤しても餡細胞の外に流れ出ることがない⁸⁾。先の研究において、小豆の煮熟時間の違いによる餡細胞の形態を光学顕微鏡で観察したところ、煮熟時間が長いほど細胞膜が薄くなり、損傷・崩壊部位のある餡細胞が数多くに見られたが、ある一定時間の煮熟においては、餡細胞のでんぷん粒は細胞内に留まっている状態であり、小豆さらし餡（乾燥あん）にはだいたい5%前後のRSが含まれていることが示唆された⁹⁾。

日本人の主食は近年までほとんど米であり、米からのでんぷん摂取が大半を占めていたが、最近では日本人の主食のあり方も変化している。総務省家計調査（家計収支編）時系列データ（二人以上の世帯）1.品目分類：支出金額（年）全品目（2020年改定）の表では¹⁰⁾、2000年からの米とパンの支出金額は2010年にはほぼ同額となり、それ以降はパンの支出金額は米の支出金額よりも多くなっている。このことより、最近では主食としてパンを摂取する日本人が非常に増加していると考えられる。

そこで本研究では、日々の食生活の中で毎日主食として摂取することができ、主菜や副菜と一緒に食することができる食パンについて、不足している食物繊維摂取量を容易に増加させることができ、さらにRSが多く含まれる食パンの調製について検討することを目的とした。調製したときの色調が白く、外観が食パンに近くなる白さらし餡を食パンの材料である強力粉の

代替材料とする。白さらし餡に使用される豆は白色種のいんげん豆の大手芒、白金時が使用されており、これらの豆もでんぷん性豆である。この白さらし餡代替食パンによって、若い日本人の食物繊維不足分を補うことができ、さらに機能性成分であるRSも摂取できることが期待される。

II. 方法

1. 材料および試料調製配合割合

本研究に用いた材料は、乾燥白いんげん豆こし餡「白さらし餡」((株) 富澤商店)(以下 WBP)、日清カメリヤ強力小麦粉（日清製粉（株））、上白糖、((株) パールエース E)、スキムミルク（森永乳業（株））、バター（雪印メグミルク（株））、ドライイースト（日清スーパーカメリヤドライイースト、日清フーズ（株））である。

食パン調製の試料調製配合割合を表1に示す。水道水の分量については、標準パンの焼成前ドウの柔らかさと同様になるようにあらかじめ予備実験で水分量調整を行った。

表1 食パン調製の試料調製配合割合

代替率	0%	25%	50%
共通材料	砂糖 15g 塩 2.7g スキムミルク 4g バター 5g ドライイースト 1.5g		
強力粉	125g	93.75g	62.5g
白さらし餡 (WBP)		31.25g	62.5g
水道水	90ml	100ml	75ml+35ml

2. 食パンの調製方法

実験に用いる食パンは標準（0% WBP）、25% WBPを強力粉と代替、50% WBPを強力粉と代替する3条件の食パンを焼成することとした。食パンの調製はマルチホームクッカー（TWINBIRD 製 PY-E621）の健康パン・全粒粉パンのメニューを用いて行った。

パンの調製方法は、①パンケースに水を入れる、②砂糖、塩、スキムミルク、バターを入れる、③標準パ

ンと25%代替パンは分量の小麦粉と乾燥白さらし餡（以下、WBP）を入れるが50%代替パンは小麦粉のみを投入する、④ドライイーストを、水に触れないように粉の上に振り入れる。⑤パンケースをマルチホームクッカーにセットする、⑥マルチホームクッカーの電源を入れ、メインメニュー2の「健康パン」、サブメニュー5の「全粒粉パン」に設定してスタートボタンを押す、⑦具入れブザーが鳴ったときに、50%代替パンにWBPと水道水をさらに加える、⑧形成発酵直前（スタートから3時間20分後）にハネを取り出す。この際、50%代替パンは上面を手でならず、⑨焼成を行う、⑩焼成後2時間冷却、の手順で調製した。50%WBP代替パンの調製は材料を一度に全量投入すると膨らまなかったため、具入れブザーが鳴った時にWBP粉末と水をさらに投入した。図1に標準（0%WBP）および25%、50%代替パンの材料投入方法を示している。

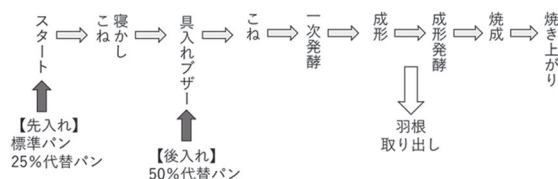


図1 標準および各代替パンの材料投入方法

3. 水分量測定

標準（0%WBP）および25%、50%代替パンを焼成し1時間放冷した試料を常圧加熱乾燥法により測定を行った。クラム部分を細かくした試料約2gを正確（0.1mgの単位まで）に恒量した秤量瓶に採取し、定温恒温乾燥器（NDO-400、東京理科器械株式会社）内で105℃1時間乾燥し30分間デシケーター内で放冷後秤量することを恒量となるまで行ない、減量した重量を水分として計算した。

4. WBP代替割合の異なる食パンのRS量測定

(1) 試料の作成

標準（0%WBP）および25%、50%代替パンを焼成し放冷した試料を、個体差がないようにするためにクラム部分のサンプリングを行い、約20gずつ分取した。これらの試料は、井川ら¹¹⁾の方法に準じて脱水操作を行った。パンを細かくして乳鉢に入れて、メタノール120mlを加えて乳鉢中で磨砕しながら脱水し

た。この操作を3回繰り返す、その後アセトン50mlを加えてさらに3回洗浄を行った。

(2) RS測定

RSの測定はMegazyme社のRS ASSAY KIT（AOAC Method 2002, AACC Method 32-40）により行った。脱水操作を行なった各代替パン試料100mgに対してアミログルコシターゼを含む α -アミラーゼ溶液を4.0ml加え、16時間、37℃の恒温槽で連続的な振とう（200strokes/min）を行い反応させた。その後、4.0mlのエタノールを加え混和後1500×gで10分間遠心分離を行い上清を取り除いた後、50%エタノール2mlを入れて混和し、さらに50%エタノールを6ml加えて混ぜ、1500×gで再び10分間遠心分離機で分離し、上清を取り除く操作を2回行なった。残った沈殿に2MのKOH2ml加え、20分間攪拌した後、1.2M酢酸ナトリウム緩衝液（pH3.8）を8ml加えて混和後、アミログルコシターゼ（3300U/ml）を0.1ml加え50℃30分間反応させた。1500×gで10分間遠心分離を行い、上清0.1mlにGOPOD溶液を3.0ml入れ、50℃で20分間反応させた後、510nmにおいて吸光度測定を行ない、グルコース量としてRS量を測定した。

5. テクスチャー測定

テクスチャー測定はレオメーター（NRM-2002J 不動工業株式会社）を用いて行った。標準（0%WBP）および25%、50%代替パンを焼成し放冷した試料はクラム部分を用い、縦×横×高さが30mm×30mm×25mmの測定試料を作成した。テクスチャーとして硬さ、緩和率、弾性率の測定を行った。測定条件は、プランジャー直径2cmの円盤形、圧縮スピードは1mm/sec、圧縮率は50%で行った。

6. 統計解析

統計解析は、統計処理ソフトSPSS 17.0 J for Windowsを用いて一元配置分散分析を行い、5%の有意水準で有意な差が見られた場合はTukey HSDによる多重比較検定を行った。

Ⅲ. 結果及び考察

1. 白さらし餡 (WBP) 代替割合の異なる食パンの水分量

WBP 代替割合の異なる食パンの水分量を表 2 に示す。一元配置分散分析の結果、標準 (WBP0%) 代替パン、25% 代替パン、50% 代替パン間で有意な差が得られ、多重比較検定の結果、WBP 代替量が増えるにしたがって、水分量も有意に増加する結果となった。これは、WBP パンを調製する際に標準パンのドウの柔らかさと揃えるために WBP 代替パンの水分量を増やしたことに起因していると考えられる。そのため、WBP50% 代替パンの水分量が一番高い結果となった。

表 2 WBP 代替割合の異なる食パンの水分量

	0%WBP 代替	25%WBP 代替	50%WBP 代替
水分量±標準偏差	43.3 ± 0.4 a	45.5 ± 0.4 b	47.2 ± 0.2 c

(異なるアルファベットは $p < 0.05$ で有意差あり)

*WBP: 乾燥白さらし餡

2. 白さらし餡 (WBP) 代替割合の異なる食パンの RS 量と食物繊維量

WBP 代替割合の異なる食パンの RS 量を図 2 に示す。標準 (WBP0%) パンの RS 量は 1.21%、WBP25% 代替パンの RS 量は 2.83%、WBP50% 代替パンの RS 量は 3.95% であり、パンに含まれる RS 量は、WBP 0% 代替、25% 代替、50% 代替と代替率が増加するに従って、RS 量も有意に増加した。また、WBP 粉末の RS 量は 5.60% であった。WBP0% 代替パンにも RS が含まれていたことから、この RS は強力粉由来と考えられる。WBP0% 代替パンに含まれていた RS 量を、各 WBP 代替パンの RS 量から引いた値は、WBP 代替量に含まれる RS 量とほぼ同量となることから、他の材料を加えてパンを焼成する操作を行っても、WBP に含まれる RS 量にはあまり影響を与えないことが分かった。この実験で用いた WBP の餡細胞の細胞膜はパンを調製する過程においても損傷や破壊されることなく、でんぷん粒を内包した状態を保つことが出来たと考えられ、WBP 中の内包されたでんぷん中の RS は焼成されても変化しなかったことが示唆された。さらに強力粉内でのでんぷん中にもパン調製後に RS が存在することが示唆されたが、今回の実験では強力粉の RS 量測

定を行っていないため、強力粉に含まれる RS 量については、今後の実験で明らかにしていきたい。

6 枚切りの食パン 1 枚 (1 斤を 6 等分) 約 60 g の食物繊維量は日本食品標準成分表 2020 版 (八訂)¹²⁾ に記載されている角形食パンでは食物繊維量は約 2.5 g 含まれていると考えられるが、この食物繊維量は強力粉に含まれるものと考えられる。WBP 粉末に含まれる食物繊維量の分析を行ったところ、プロスキー変法試験法で水溶性食物繊維量は 1.5%、不溶性食物繊維量は 41.0% であった (株式会社 日本食品機能分析所において分析)。本研究で用いたホームベーカリーでは 0.5 斤焼成用である。25% WBP 代替率の食パンには 31.25 g の WBP が含まれるので、WBP 由来の総食物繊維量は 13.3 g、6 枚切り食パン 1 枚の WBP 代替率 25% の食パンに換算すると約 4.4 g の WBP 由来の食物繊維と強力粉由来 1.9 g の食物繊維合わせて 6.3 g の総食物繊維量が含まれると考えられる。同様に、WBP 代替率 50% の食パンには約 26.6 g の WBP 由来の食物繊維が含まれるので、6 枚切り食パン 1 枚の WBP 代替率 50% の食パンでは約 8.9 g の WBP 由来の食物繊維と強力粉由来 1.3 g の食物繊維合わせて 10.2 g の総食物繊維量が含まれると考えられ、これらの WBP 代替パンに含まれる総食物繊維のうち、不溶性食物繊維は RS である可能性が高い。このように、でんぷん性豆から作られる白さらし餡粉末 (WBP) を用いて焼成した食パンには、市販されている食パンと比較して RS と食物繊維が非常に多く含まれていることが示唆された。RS は不溶性食物繊維の腸内での機能に加えて、腸内細菌に資化されることによって短鎖脂肪酸が生成され、この短鎖脂肪酸が腸内環境を改善するこ

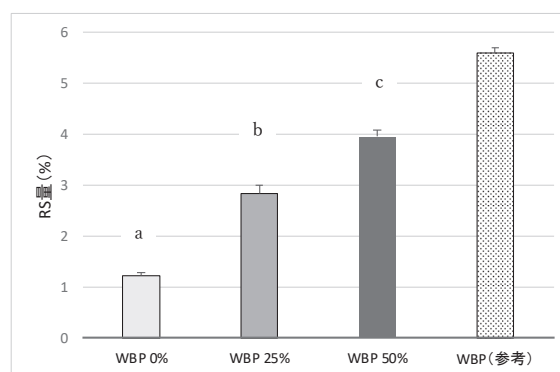


図 2 WBP 代替割合の異なる食パンの RS 量

(異なるアルファベットは $p < 0.05$ で有意差あり)

*WBP: 乾燥白さらし餡

とが明らかとなっている²⁾。WBP 代替食パンの摂取によって、食物繊維による腸内健康の保持増進に加えて、RS による健康効果も期待することができると考えられる。

3. 白さらし餡 (WBP) 代替割合の異なる食パンのテクスチャー

食品の嗜好性を評価する際、テクスチャーは重要な要素の一つである。食パンの場合はクラム部分のテクスチャーが大きく関わると考えられる。そこで本研究では、食パンのテクスチャーとしてクラム部分の硬さ、弾性率、緩和率の測定を行った。

WBP 代替割合の異なる食パンのテクスチャーを表 3 に示す。硬さとは、物質を変形させるのに必要な力であり、口に入れた時の最初の咀嚼によって感じられる性質の特徴である¹³⁾。硬さについては、WBP 0% 代替、25% 代替、50% 代替と代替率が増加するに従って、硬さも有意に増加した。さらに50% 代替パンの硬さは0% 代替、25% 代替パンと比べて非常に高い値となり、硬いパンであることが示唆された。

弾性とは、外力による変形に対して元に戻ろうとする応力のことである。弾性率とはパンの弾性の大きさを示す係数で応力と歪みとの比であり¹³⁾、数値が大きくなるほど、力を加えても変形しにくいパンといえる。硬さの結果と同様に WBP 0% 代替、25% 代替、50% 代替と代替率が増加するに従って、弾性率も有意に増加し、50% 代替パンの弾性率も0% 代替、25% 代替パンと比べて非常に高い値であった。このことから、50% 代替パンのクラムは非常に変形しにくいテクスチャーであることも示唆された。

緩和率とは、圧縮されたパンが元に戻る比率で、数値が大きくなるほど圧縮後の回復が悪いパンである¹⁴⁾。緩和率も硬さと弾性率の結果と同様に WBP 0% 代替、25% 代替、50% 代替と代替率が増加するに従って、緩和率も有意に増加したが、硬さと弾性率の結果のように50% 代替パンが非常に高い値とはならなかった。

これらのテクスチャーの結果より、WBP に代替した食パンは代替比率の増加により、強力粉のみのパンと比べて硬く噛み応えのあるパンで、WBP25% 代替パンは0% 代替パンの約3.6倍、WBP50% 代替パンは0% 代替パンの約14倍の硬さであった。WBP 代替パ

ンが硬くなり、噛んだ後の回復率が悪くなった原因としては、強力粉を WBP に代替することにより、グルテンの形成が抑えられ、生成される網目構造が弱くなり発酵時に十分膨らむことができなかつたことが原因として考えられる。

以上の結果より、WBP50% 代替パンは非常に硬いパンであり、実際に毎日食すことを考えると WBP25% 代替パンが食しやすいことが示唆された。

表 3 WBP 代替割合の異なる食パンのテクスチャー

	0%WBP代替	25%WBP代替	50%WBP代替
硬さ(gf)	122±18 a	440±15 b	1766±44 c
弾性率(N)	672±98 a	2424±83 b	9730±242 c
緩和率(%)	18.4±1.9 a	26.6±0.8 b	35.0±0.3 c

(異なるアルファベットは p<0.05 で有意差あり)

*WBP：乾燥白さらし餡

IV. まとめ

本研究では、日々の食生活の中で毎日主食として摂取することができ、主菜や副菜と一緒に食することができる食パンについて、不足している食物繊維摂取量を容易に増加させることができ、さらに RS が多く含まれると考えられる白さらし餡を食パンの材料である強力粉の代替材料として調製し検討することを目的とした。

実験に用いる食パンは標準 (0% WBP)、25% WBP を強力粉と代替、50% WBP を強力粉と代替する 3 条件の食パンを焼成することとした。食パンの調製はマルチホームクッカー (TWINBIRD 製 PY-E621) の健康パン・全粒粉パンのメニューを用いて行った。

標準 (WBP0%) パンの RS 量は1.21%、WBP25% 代替パンは2.83%、WBP50% 代替パンの RS 量は3.95% であり、パンに含まれる RS 量は、WBP 0% 代替、25% 代替、50% 代替と代替率が増加するに従って、RS 量も有意に増加した。WBP 粉末に含まれる不溶性食物繊維量も非常に高い値であったことから、WBP を用いて焼成した食パンには、市販されている食パンと比較して RS と食物繊維が非常に多く含まれていることが示唆された。テクスチャーの結果では、WBP に代替した食パンは代替比率の増加によ

り、強力粉のみのパンと比べて硬く噛み応えのあるパンで、WBP25% 代替パンは0% 代替パンの約3.6倍、WBP50% 代替パンは0% 代替パンの約14倍の硬さであった。

以上の結果より、WBP50% 代替パンは非常に硬いパンであり、実際に毎日食すことを考えると、WBP25% 代替パンが食しやすく、WBP25% 代替食パンの摂取することによって、RSと食物繊維による健康効果が期待することができると思われる。

哲. 米飯における初期老化の評価方法. 応用糖質科学. 2002, 49, 29-33.

- 12) 文部科学省 (2020.12)、日本食品標準成分表2020版 (八訂)、第2章 (データ) https://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/mext_01110.html (2021/9/22)
- 13) 中濱信子、大越ひろ、森高初恵. II. レオロジーの基礎 p6 おいしさのレオロジー(1997) 弘学出版株式会社.
- 14) 岡野節子、水谷令子、岩崎ひろ子. 野菜及び抹茶添加パンの物理的特性. 栄養学雑誌 1993 51, 101-105.

(令和3年9月30日受理)

V. 参考文献

- 1) Englyst H. N., Kingman S. M. and Cummings J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 1992, 46, S33-S50.
- 2) Birt, F. D., Boylston T., Hendrich S. et al. Resistant starch: Promise for improving human health. *Adv. Nutr.* 2013, 4, 587-601.
- 3) 森田達也 レジスタントスターチの栄養生理機能に関する基盤解析. *日本食物繊維学会誌*, 2010, 14, 91-103.
- 4) Asp, N-G. "Resistant starch- An update on its physiological effects." *Dietary Fiber in Health and Disease*. Kritchevsky and Bonfield eds. Plenum Press. 1997, 201-210.
- 5) 厚生労働省 (2020.12)、日本人の食事摂取基準 (2020年版)「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書 <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586553.pdf> (2021/09/15) p 165
- 6) 厚生労働省 (2020.12)、令和元年国民健康・栄養調査報告、第1部栄養素等摂取状況調査の結果 <https://www.mhlw.go.jp/content/000711006.pdf> (2021/09/15)
- 7) 山崎清子, 島田キミエ, 渋谷祥子, 下村道子. 第5章 豆、豆製品の調理 p 206-228 新版 調理と理論 (2003) 同文書院
- 8) 丹羽昭夫, 中莖秀夫, 鬼頭幸男, 藤井正人. 湿熱処理による小豆あんの性状変化. *愛知県産業技術研究所研究報告*. 2004, 3, p102-105.
- 9) 亀井文, 渥美令奈. 小豆の煮熟時間の違いによる餡のレジスタントスターチ量について. *宮城教育大学紀要* 2017, 52, 211-217.
- 10) 総務省、家計調査 (家計収支編) 時系列データ (二人以上の世帯) 1. 品目分類: 支出金額 (年) 全品目 (2020年改定) <https://www.stat.go.jp/data/kakei/longtime/index.html#time> (2021/9/15)
- 11) 井川佳子、菊池智恵美、兼平咲江、村川由紀子、井尻

Effect of white bean paste powder on resistant starch content and texture characteristics of plain bread

KAMEI Aya and TAKAHASHI Ikumi

Abstract

Objectives: RS escapes digestion until reaching colon and acts like dietary fiber. Recently, many studies recommend taking this new type of dietary fiber because of health benefits. Starchy white bean paste are very popular in Japanese sweets. These are a good source of carbohydrate as well as of protein. Furthermore, they contain a lot of dietary fiber and may also include resistant starch (RS). The purpose of this study was to investigate feasibility of replacing wheat flour to white bean paste (WBP) powder by analyzing RS contents and texture characteristics of plain bread.

Materials & Methods: Plain bread was prepared from various blends of wheat flour (WF) and WBP powder (100%WF:0%WBP, 25%WF:75%WBP, 50%WF:50%WBP). RS content of these bread was measured by Resistant Starch Assay Kit (Megazyme International Ireland, Ireland) and evaluated texture characteristics using rheometer. Results & Findings: RS content of powder WBP was 5.6% and RS contents of plain bread with 0%WBP, 25%WBP, 50%WBP were 1.2%, 2.8%, 4.0%, respectively. As a ratio of WBP in bread increased, RS content also increased. Hardness of bread also increased, when a ratio of WBP in bread increased. These results implied that bread made of powder WBP in place of wheat flour increased amount of RS. Taking account of texture characteristics, 25% replacement of powder WBP bread was found to be feasible.

Key words : white bean paste flour, resistant starch (RS), texture characteristics, plain bread